الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

المدرسة العليا للأساتذة - الشيخ محمد البشير الإبراهيمي

القبة – الجزائر



مجلة بشائر العلوم

فصلية، ثقافية، علمية

تصدرها المدرسة العليا للأساتذة، الشيخ محمد البشير الإبراهيمي

القبة – الجزائر

العدد 19 : جويلية 2026

كلمة العدد 19	
تعليمية وتربية	
مهارة ضبط النظام وعلاج مشاغبة التلاميذ الجزء الأول: التعريف بمشكلة المشاغبة، وتحديد أهم أسبابها	عبد الرحمن بن بريكة
الاستراتيجيات العشر للتدريس عالي التأثير	لطيفة بن حموش
استخدام الترميز التقليدي للقوة لكشف المفاهيم الخاطئة لدى الطلاب: دراسة حالة التفاعلات المتبادلة	لحسن سرحان، وعبد الحميد زغداوي
رياضيات	
إرهاصات حول تطور علم الاحتمالات والإحصاء الرياضي الجزء الثاني: سنوات التنظير والتمنهج	عبد الوهاب بيبي
حديث عن المنطق الجزء الأول: ما هو المنطق؟	ناجي هرماس
حول معيار كوشي: إتمام مجموعة الأعداد الناطقة	زهية مصطفاوي وآخرون
الرياضيات وإسهاماتها في تطوّر الحضارة عبر التاريخ (2)	جمال حيمان
الأحياء والكون	
أسباب وأعراض نقص فيتامين د عند الإنسان	عبد الكريم كاملي
البلازما	إبراهيم سعد الله
عالم السُّدم: محركات التطور المجرّي والتركيب الكيميائي	جمال ميموني
تكنولوجيات وصناعة	
من الفحم إلى الهواتف الذكية: رحلة الكربون والنيوديميوم	مسعود خيط
النظام الوطني للابتكار في الجزائر – الجزء الثاني:	يوسف زيدان
أساسيات التدريب في مجال الصناعة	العالية بلقاسم
شخصية العدد	
الأستاذ محمد هشام قارة، رئيس الأكاديمية الجزائرية للعلوم والتنكنولوجيات	تقديم :أبو بكر خالد سعد الله
عرض كتاب	
أخلاقيات النشر العلمي وإشكاليات الأمانة العلمية	تأليف :طاهر بوترعة عرض: هيئة التحرير

كلمة العدد 19

يُفتتح العدد التاسع عشر من مجلة **بشائر العلوم** بجملة من المواضيع تغطي أربعة محاور رئيسية، توزعت فيها ثلاثة عشر مقالاً، تتقاطع في مجملها حول همّ معرفي واحد: فَهمُ الظواهر من أجل تمثّل أفضل للعالم والعلم والتربية. وهذا فضلا عن تقديم شخصية العدد -وهو الأستاذ محمد هشام قارة، رئيس الأكاديمية الجزائرية للعلوم والتكنولوجيات- وعرض كتاب "أخلاقيات النشر العلمي وإشكاليات الأمانة العلمية" للأستاذ طاهر بوترعة.

يتصدّر المحور الأول، الذي يُعْنى بالتعليمية والتربية، مقال يناقش ظاهرة المشاغبة والإخلال بالنظام في الأقسام الدراسية، متتبعًا أسبابها ومتدرجًا في فهمها من النوع البسيط إلى العدواني العنيف. ويكشف عن التناقض الصارخ بين ما تقدمه التكوينات التربوية النظرية ونصائح الخبرة العملية التي تدعو أحيانًا إلى القسوة والعقاب. ثم ينتقل المقال الثاني إلى الحديث عن الاستراتيجيات العشر للتدريس عالي التأثير. أما المقال الثالث فيأخذنا في دراسة حالة حول تدريس الفيزياء، وتحديدًا تمثيل القوى حيث كشفت التجربة عن مفاهيم خاطئة شائعة لدى الطلاب تتعلق بالتفاعل المتبادل بين الأجسام، مؤكدة أن الترميز التقليدي للقوة قد يكون أداة لكشف هذه التصورات المغلوطة

وفي المحور الثاني، تُعرض أربعة مقالات تتوزع بين تاريخ الرياضيات ومنطقها. يعود المقال الأول إلى سرد الخطوط العريضة لتطور علم الاحتمالات والإحصاء الرياضي، متوقفًا عند اللحظة التي شهدها هذا العلم في النصف الأول من القرن العشرين. ثم ينتقل المقال الثاني إلى الحديث عن المنطق، ناقدًا بعض الاعتقادات السائدة. ويتطرق المقال الثالث لمعيار كوشي في إتمام مجموعة الأعداد الناطقة. أما المقال الرابع فيواصل الجولة التاريخية بمقاربات إضافية.

وفي المحور الثالث "الأحياء والكون" نطالع ثلاثة مقالات تبدأ بنقص فيتامين د، حيث يُعرض هذا الموضوع من زاوية مثيرة، وهي أن الجزائر المشمسة تعرف انتشارًا لهذا النقص. يتبعه مقال حول البلازما، تلك الحالة الرابعة للمادة التي نتحدث عنها منذ عام 1922. ويكتمل المحور بمقال في غاية الجمال عن السدم الكونية، تلك

السحب الغريبة التي تبيّن أنها ليست مجرد لوحات فنية كونية، بل محركات التطور المجري ومصانع إعادة تدوير كيميائية تصل بين موت النجوم القديمة وولادة عوالم جديدة.

أما المحور الرابع والأخير، الخاص بالتكنولوجيات والصناعة، فيشمل ثلاثة مقالات نفتتحها برحلة سردية شيّقة عن الكربون، ذلك العنصر البسيط الذي يمتلك قدرة استثنائية على التنوع البنيوي، والذي يصل بنا من الفحم إلى الهواتف الذكية مرورًا بالنيوديميوم. ويتناول المقال الثاني النظام الوطني للابتكار في الجزائر، مقدّمًا قراءة نقدية للفجوة بين الإمكانات البشرية والعلمية والنتائج الفعلية في مؤشر الابتكار العالمي. ويختم المقال الثالث هذا العدد بالحديث عن أساسيات التدريب في الصناعة، متتبعًا جذوره من الحِرف اليدوية إلى الثورة الرقمية، ومؤكدًا أن التدريب المنظم صار ضرورة للبقاء والمنافسة.

وبعد هذا الكمّ المعرفي الذي حملنا بين عوالم متعددة من الأفكار والتجارب والتخصصات، نأمل أن يكون هذا العدد قد نجح في فتح نوافذ جديدة للتأمل والحوار، وأن يكون قد أسهم، ولو بقدر يسير، في إثارة أسئلة جديدة بقدر ما قدّم من أجوبة ورؤى. ويسرّنا بهذه المناسبة أن نشير إلى أن عدد زوار موقع المجلة قد تجاوز 320 ألف زائر، وهو رقم يعكس حجم الاهتمام الذي تحظى به موضوعات المجلة، ويحمّلنا في الوقت نفسه مسؤولية أكبر لمواصلة تقديم محتوى مفيد يليق بتطلعات قرائنا داخل الوطن وخارجه. وإلى أن نلتقي في عدد جديد، نتقدم بخالص الشكر إلى جميع الكتّاب الذين أثروا المجلة بإسهاماتهم القيمة، آملين أن تتواصل هذه المسيرة العلمية بروح التعاون والانفتاح.

وبالله التوفيق.

هيئة التحرير

طاقم المجلة

- **المشرف العام**

مدير المدرسة : الطاهر بلال

- **هيئة التحرير**

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

مديرة التحرير: الأستاذة ليلى زيتوني (قسم الرياضيات)

الأمانة : ليلى بن شويخ

الإشراف التقني :

الأستاذ علي نصبة (قسم الإعلام الآلي)

الأستاذة آيت محيوت لطيفة (قسم الرياضيات)

المهندسة إيمان براهيمي

تعليمية وتربية

مهارة ضبط النظام وعلاج مشاغبة التلاميذ

الجزء الأول: التعريف بمشكلة المشاغبة، وتحديد أهم أسبابها

عبد الرحمن بن بريكة
أستاذ بالمدرسة العليا للأساتذة، القبة
abderahmane.benbraika@g.ens-kouba.dz

مقدمة

تنتشر ظاهرة المشاغبة والإخلال بالنظام في مدارسنا، مما جعل بعض الأساتذة يعتقدون أن نجاحهم أو فشلهم في مهنة التعليم يقاس بقدرتهم على ضبط النظام. وقد يقضي بعض الأساتذة وقتًا أطول في ضبط النظام من الوقت الذي يقضونه في التدريس الفعلي. وهناك من ترك هذه المهنة بسبب عدم قدرته على ضبط النظام [11]. كما أن الإدارة المدرسية تحكم على الأستاذ من خلال الانضباط الذي يوفره داخل القسم.

تتدرج مشكلة المشاغبة من النوع البسيط الذي يمكن السيطرة عليه إلى النوع العدواني العنيف. وقد يؤثر الشغب في عمل الأستاذ، فيسبب له الإرهاق ويؤثر على أعصابه، أكثر مما يتعبه الشرح وتقديم الدرس. كما يتسبب في إزعاج بقية التلاميذ ويشتت انتباههم، مما ينعكس سلبا على متابعتهم واستيعابهم. وقد تؤدي هذه الظاهرة إلى الرسوب والانقطاع الدراسي [1]. وقد أشارت دراسة [17] إلى أن أكبر المشكلات التي يواجهها المعلّمون هي تدني مستوى الانضباط في غرفة الصف.

وقد يلجأ بعض الأساتذة الجدد إلى زملائهم القدامى ملتمسين النصح حول كيفية التصرف مع التلاميذ المشاغبين. وعادة ما تكون النصائح على النحو التالي: "انسَ كل ما درسته في علم النفس التربوي والمواد التربوية، واعمد إلى أول تلميذ يشاغب وعاقبه بقسوة، فيخاف بقية التلاميذ ويسود الهدوء. فالتلميذ المشاغب لا تنفع معه إلا العصا والمعاملة القاسية"! فهل نقبل مثل هذه النصائح الهدامة؟

ينتشر لدى العديد من الأساتذة سوء فهم لمفهوم "ضبط النظام"، إذ اقترن لدى معظمهم بزجر التلاميذ وتخويفهم. والواقع أن ضبط النظام لا يعني قطع أنفاسهم وشلّ حركتهم، ولا محاسبتهم على كل صغيرة وكبيرة، بل يعني المحافظة على حدّ معقول من النظام دون إفراط أو تفريط. أي إن ضبط النظام لا يحرم التلاميذ من استثارة إمكاناتهم الحركية، وإشباع حاجاتهم من النشاط في أعمال منظمة تساعدهم على التعلم والنمو السليم [15].

1. سلوكيات ومظاهر المشاغبة

حاول بعض الباحثين إحصاء أهم سلوكيات المشاغبة الأكثر شيوعًا وانتشارًا في المدارس، ومن أبرزها: الكلام في أوقات غير مناسبة، والحديث الجانبي مع الزملاء (التشويش)، والإجابة دون استئذان، والمقاطعة أثناء الحديث، وعدم المشاركة بفاعلية في المناقشات، والانعزال الاجتماعي (الانطواء)، والتأخر عن وقت الحصة أو الامتحان، وكثرة الغياب، وكسر القواعد الصفية المتفق عليها، وعدم إنجاز الواجبات، وعدم كتابة الدروس، والقيام بحركات وإيماءات غير مقبولة، وممارسة سلوكيات لجذب الانتباه، وإظهار الملل أثناء الدرس (التثاؤب، التأفف، إلخ)، وتوجيه النقد غير البناء لمحتوى الدرس، ومضغ العلكة (اللبان)، والغش في الامتحانات والواجبات، وتحريض الزملاء على الفوضى، وتمرير القصاصات المكتوبة، والتعليق المتهور (الفظ)، واللامبالاة، ومجادلة الأستاذ لتضييع الوقت، والانفعال الزائد، والرد على الأستاذ

بصوت مرتفع، ورفض الامتثال لأوامر الأستاذ، والاستهزاء بالزملاء، والاستهزاء بالأستاذ، وتحدي سلطة الأستاذ، والتعامل بعنف مع الزملاء، والسرقة، والاعتداء على الأستاذ، وافتعال النزاع والعنف، والقيام بأعمال تخريبية داخل المدرسة [12].

وقد ذُكرت أهم سلوكيات المشاغبة الشائعة في القائمة أعلاه، غير أن هناك سلوكيات أخرى قد تغيب عنا، فهي من إبداعات المشاغبين وتفننهم في تعطيل الدرس وإزعاج الآخرين.

ويمكن تصنيف سلوكيات المشاغبة المنتشرة في مدارسنا إلى ثلاثة أنواع:

أ- **المشاغبة البسيطة**: مثل تشتت الانتباه المؤقت، الحديث الجانبي مع زميل.

ب- **المشاغبة المستمرة**: وهي التي تستمر رغم محاولة إيقافها، مثل عدم إنجاز الأعمال واللامبالاة.

ج- **المشاغبة الخطيرة**: مثل التحدي، واستعراض القوة، ورفض الامتثال لأوامر الأستاذ، والسخرية منه.

2. تعريف المشاغبة

المشاغبة هي كل سلوك يصدر عن تلميذ أو أكثر، ولا يتقبله الأستاذ لأنه يؤثر سلبًا في سير الدرس أو يعيقه، أو يخالف الأعراف والقواعد والقوانين المدرسية المتعارف عليها. وقد تكون المشاغبة لفظية أو حركية، أو رفض الإذعان للأوامر، كما قد تكون موجهة ضد الأستاذ أو ضد أحد الزملاء أو بعضهم أو ضد المدرسة ككل. وقد تتفاوت خطورتها من مشاغبة بريئة (عادية) إلى مشاغبة مُدبَّرة (خبيثة) تُصنف ضمن العنف المدرسي [7]، [14].

يرى بعض الباحثين أن الشغبَ ظاهرةٌ سلوكية لا ترتبط بالمستوى الحضاري أو الثقافي للأمة، بل ترتبط بدافع العدوان عند الإنسان؛ فهي عبارة عن طاقة نفسية لدى كل إنسان، غير أن طريقة التنفيس عنها تختلف من فرد إلى آخر [4]. كما يرى بعض الباحثين أن ما يدفع التلاميذ للقيام بأعمال الشغب هو إثبات الذات والحاجة إلى التقدير [10]، وعمومًا، لا يلجأ التلميذ إلى المشاغبة إلا إذا توفرت له الظروف المواتية. لذا ينبغي على الأستاذ تطوير ثقافته التربوية باستمرار في هذا المجال، والتصرف بوعي لمواجهة هذه المشكلة بكفاءة وحسن تصرف.

3. أسباب مشاغبة التلاميذ أثناء الدرس

1.3 أسباب راجعة للأستاذ

قد يتفاجأ بعض الأساتذة عندما نقول إنهم من أهم أسباب المشاغبة. فإذا تساءل أحدهم: ما أسباب المشاغبة في حصتي؟ نطلب منه استرجاع شريط الأحداث والوقائع التي تمت خلال الحصة؛ فسيتوصل إلى أن معظم أسباب المشاغبة ناشئة عن أخطاء في تصرفاته. فمعظم سلوك التلاميذ غير المنضبط يرتبط ارتباطًا وثيقًا بشخصية الأستاذ واستراتيجياته في التدريس. والشاهد على ذلك أن التلاميذ أنفسهم قد يكونون مشاغبين في حصة أستاذ ما، ثم ينضبطون طواعية في حصة أستاذ آخر.

وهذه أهم أسباب مشاغبة التلاميذ الراجعة للأستاذ:

1) **ضعف التكوين العلمي للأستاذ**: فقد نجده يفشل في الإجابة عن أسئلة في مجال تخصصه، أو يرتبك ويتلعثم عند الإجابة، أو يقدم حلولًا خاطئة لبعض التمارين، أو يقول بأنه غير متأكد من دقة المعلومات التي يُدرّسها.

2) **ضعف شخصية الأستاذ**:

- **الأستاذ الضعيف أو الفوضوي**: حيث يكون غير حازم في حسم الأمور، ومترددًا في قراراته، ومتساهلًا مع بعض التلاميذ عندما يكثرون التعاليق أو يتنقلون داخل القسم دون استئذان. ولا يُفسّر هذا التساهل على أنه تواضع، بل يُعدّ دليلًا على ضعف شخصيته، مما يشجع على تفاقم المشاغبة.

- **الأستاذ المضطرب انفعاليًا**: حيث يمتاز بحدة المزاج، ويغضب لأتفه الأسباب، فيصبح عرضة لاستفزاز التلاميذ؛ إذ يتصيدون المواقف التي تثير انفعاله ويفقد فيها أعصابه، فيتسلّون بذلك. كما يتسمّ سلوكه بالتقلب، وقد يكون متناقضًا أحيانًا، فيغضب ويصرخ في مواقف تتطلب ضبط النفس، وقد يبالغ في الضحك في موقف يقتضي الاكتفاء بابتسامة [5].
- **وجود إعاقة جسدية**: كأن تكون في الحركة أو النطق أو البصر أو السمع، وقد تكون سببًا في المشاغبة. لذلك ينبغي على الأستاذ تعويض هذا النقص بالتفوق العلمي والتربوي، فإذا أحبه التلاميذ وتعلقوا به، تغاضوا عما لديه من نقص.
- **اللازمة الكلامية**: وهي تكرار الأستاذ كلمة أو عبارة بكثرة أثناء الدرس، مثل تكرار كلمة "يعني" أو "جيد". فيسخر منه التلاميذ، وقد يطلقون عليه تسميات، مثل: "أستاذ يعني"، "أستاذ جيد". وتكون هذه اللازمة سببًا في ضحكهم ومشاغبتهم أثناء الحصة. ويمكن الحدّ من هذه المشكلة من خلال تسجيل الدروس (صوتًا أو فيديو) ثم مراجعتها لتصحيح هذا السلوك.
- **إهمال المظهروالهندام**: يخلط بعض الأساتذة بين "التواضع" و"الاستهانة بالمظهر"، فيتصرفون بطريقة تقلل من مكانتهم وتظهر بمظهر مزرٍ. وقد يكون ذلك مدعاة لسخرية بعض التلاميذ ومشاغبتهم، لأن المظهر يعطي صورة على شخصية الفرد. وليس المطلوب المبالغة في الاهتمام بالمظهر، بل أن يكون متناسقًا ونظيفًا ومناسبًا للمرحلة العمرية وجنس الأستاذ.

3) **ضعف التكوين التربوي للأستاذ**: حيث نجد دروسه مملة وروتينية، فلا يغيّر من أسلوبه، ويُركِّز عل حشو الأدمغة بأكبر قدر من المعلومات، دون الاكتراث بمدى فهم التلاميذ واستيعابهم للمفاهيم المدروسة، ولا يُعير اهتمامًا لتطوير تفكيرهم أو بناء كفاءاتهم.

- ضعف التحكم في طرائق ومهارات التدريس، أو استعمالها في غير موضعها المناسب من الدرس.
- عدم تحديد قواعد السلوك الصفي من بداية السنة الدراسية، أو ما يُعرف بالعقد الديداكتيكي، لتوضيح ما هو مسموح به وما هو غير مسموح به من التصرفات داخل القسم [2].
- عدم ضبط سلوك التلاميذ من بداية السنة الدراسية؛ مما يجعلهم يعتادون بعض التصرفات غير المقبولة التي يصعب إيقافها لاحقًا.
- الإسراع في تقديم الدرس دون تقدير لدرجة صعوبة المفاهيم في كل جزء منه، مع إهمال الفروق الفردية في مستويات فهم التلاميذ.
- تكليف التلاميذ بمهام لا تتناسب مع مستواهم أو تفوق طاقتهم، فالمثل الشعبي يقول: "إذا أردت أن تطاع فأطلب المستطاع".
- ضعف إدارة وقت الحصة: حيث يتوسع الأستاذ في شرح عنصر من الدرس على حساب عناصر أخرى، أو لا يميز بين المفاهيم الصعبة وتلك السهلة، فيستغرق وقتًا طويلًا في شرح ما لا يحتاج إلى ذلك، فإذا تكررت هذه الحالة ينتج عنها ما يمكن تسميته: "مشاغبة صعوبة الفهم".
- نقص التواصل البصري مع التلاميذ، إذ قد يركز بصره على فئة من دون الأخرى، أو ينشغل عن متابعتهم بأمور غير متعلقة بالدرس (مثل استعمال الهاتف النقال، أو الحاسوب، أو قراءة الجرائد والمجلات)، أو يكتب على السبورة دون أن يلتفت إليهم من حين لآخر.
- القمع والقسوة في معاملة التلاميذ، ومن أمثلة ذلك: السخرية منهم والاستهزاء بهم، أو شتمهم ووصفهم بأوصاف تمسّ كرامتهم، أو التكبر والاستبداد بالرأي. وقد يعتقد البعض أن هذه الأساليب تجعل التلاميذ يخافون وبالتالي

سيلتزمون الهدوء، لكن هذا النوع من الهدوء يكون مبطنًا بكراهية الأستاذ ورغبة في الانتقام منه. فهل يستوي هدوء أساسه احترام الأستاذ وتقديره مع هدوء أساسه الخوف؟

- العقاب الجماعي دون مبرر: كمعقابة كل التلاميذ بسبب مشاغبة أحدهم، وهو ما يُعدّ ظلمًا لعدد كبير ممن ليس لهم ذنب. وبهذا يتحول معظمهم إلى مشاغبين، فلسان حالهم يقول: "سنتعرض للعقاب حتى إذا لم نشاغب، وما دام العقاب مفروض علينا فلماذا لا نشاغب؟".
- كبت مشاعر التلاميذ وعدم إعطائهم فرصة للتنفيس عنها: إن كبت المشاعر السلبية ضد المادة الدراسية، أو ضد الأستاذ، أو ضد بعض القوانين المفروضة عليهم -وفي حالة استمرار هذا الكبت- سينفجر لاحقًا في شكل تصرفات غير مرغوبة.
- تعبير بعض الأساتذة علنًا عن كراهيتهم لمهنة التعليم أو للمادة التي يدرّسونها، مما يؤدي عند تكرار ذلك إلى نفور التلاميذ منهم وظهور المشاغبة في حصصهم.

4) المو اقف والتصرفات الخاطئة أو غير المناسبة لبعض الأساتذة:

- قلة إحترام التلاميذ: إذ إنهم مفطورون على الدفاع عن كرامتهم، فإذا احترمنا كرامتهم احترموا كرامتنا. فكيف ينتظر الأستاذ منهم الاحترام وهو يسخر منهم أو يستهزئ بهم أو يحتقرهم، كأن يصفهم بأوصاف الحيوانات؟ فتتولد لديهم مشاعر الكراهية اتجاهه، ثم تتحول إلى قلة احترام له.
- إساءة الظن في تصرفات تلاميذه: فقد يتصرف أحدهم تصرفًا عفويًا بريئًا فيُساء الظن به. وإذا تكرر هذا الموقف، تتولد لديه مشاعر سلبية تجاه الأستاذ، وتنشأ لديه الرغبة في الانتقام منه، ويصبح التلميذ مشاغبًا مع سبق الإصرار.
- التمييز بين التلاميذ في المعاملة: ومن أمثلة ذلك التمييز على أساس الجنس، أو الطبقة الاجتماعية، أو الجهة، أو المستوى الدراسي، أو الانتماء إلى مجموعة الدروس الخصوصية. والتلميذ حساس جدًا للتمييز، فإذا شعر بالتهميش بسببه، لجأ إلى المشاغبة.
- إظهار الأستاذ لبعض تلاميذه مشاعر سلبية تصريحًا أو تلميحًا، فيبادلونه المشاعر ذاتها. فقد نلاحظ في الواقع قول بعض التلاميذ: "الأستاذ الفلاني وضعني بين عينية"، فهل يجوز للأستاذ أن يحقد على أحد تلاميذه؟

2.3 أسباب راجعة للتلميذ

يوصف التلميذ المشاغب بأنه تلميذ كثير العناد والفوضى، يحاول دائما جذب انتباه الآخرين إليه، ويمتاز بضعف الدافعية للتعلم، وغالبًا ما يتحدى سلطة مُدرّسيه، ويتسبب في تعطيل الدرس، حيث يكون منفلتًا في ضبط سلوكه الحركي واللفظي، وافتعال المشكلات مع الآخرين، ويصل به الحد إلى أعمال العنف والتخريب [8].

كما يتأثر سلوك التلميذ بخصائص النمو في مرحلة المراهقة، فالنمو في هذه المرحلة يمتاز بالسرعة في مختف جوانبه (الجسمية، الانفعالية، الاجتماعية، العقلية). وبالتالي من الطبيعي أن يكون المراهق كثير الحركة وسريع الانفعال، فإذا لم نحتويه ونتفهم سلوكه وتصرفاته بالحكمة وحسن التوجيه، قد يتحول سلوكه إلى تصرفات طائشة تزعج من حوله.

وفي ما يلي أهم الأسباب التي تجعل التلميذ يشاغب:

1) شعور التلميذ بالملل والضجر أثناء الدرس، نتيجة أساليب التدريس الرتيبة والمملة أو ضعيف إدارة الصف، مما يدفعه إلى سلوكيات تعطل سير الدرس، مثل اللعب بالأدوات، أو الكلام دون استئذان، أو التشويش، وغيرها من سلوكيات الشغب.

2) شعور التلميذ بالإحباط نتيجة معاملة الأستاذ، مما قد يجعله يفكر في الانتقام، ويظهر ذلك في تصرفاته العدوانية تجاه زملائه أو أستاذه، مما قد يتسبب في تعطيل الدرس.

3) شعور التلميذ بالتهميش من قبل الأستاذ أو بعض زملائه، وهو ما يُولّد لديه ردود أفعال تتمثل في تصرفات تهدف إلى جذب الانتباه، مثل إصدار أصوات مزعجة، أو إطلاق عبارات مضحكة، أو السخرية من الآخرين. ويرى بعض الباحثين في علم النفس التربوي أن الدافع الرئيس لهذه السلوكيات هو الحاجة إلى إثبات الذات، خاصة عندما لا يتحقق للتلميذ النجاح [10].

4) تدني الدافعية وضعف الرغبة في الدراسة: وقد يكون ذلك ناتجًا عن شعور التلميذ بالفشل في مادة أو أكثر، أو بسبب مبالغة الأستاذ في انتقاده أو مقارنته بغيره، مما قد يدفعه إلى التنفيس عن ذلك بالمشاغبة ومضايقة الآخرين.

5) تشتت الانتباه أو ضعف التركيز، مما يجعل التلميذ غير قادر على متابعة الدرس، فيلجأ إلى إثارة المشاغبة لتعويض هذا العجز. وقد يلجأ البعض إلى الانسحاب والانطواء وعدم المشاركة.

6) فرط الحركة: حيث يعاني بعض التلاميذ من طاقة حركية زائدة، فإذا لم تُوجّه نحو أنشطة مناسبة مثل الرياضة، قد تتحول إلى سلوكيات مشاغبة. وقد تُصنّف بعض حالات فرط الحركة ضمن اضطرابات سلوكية ذات أسباب بيولوجية أو نفسية.

7) الشخصية الاجتماعية: فالتلميذ ذو الشخصية الاجتماعية، إذا لم تُتَح له فرصة المشاركة وإبداء الرأي أثناء الدرس، سيتكلم دون استئذان، مما يتسبب في إحداث بعض الشغب.

8) رغبة التلميذ في استعراض ما لديه من قدرات فكرية ومهارية: فقد يسعى إلى المشاركة مرارًا دون أن يتاح له ذلك، ومع تكرار هذا الموقف قد يتجه إلى سلوك المشاغبة والتمرد.

9) الانتساب إلى الدروس الخصوصية: إذ قد يعتقد بعض التلاميذ أنها تغنيهم عن متابعة الدرس، وأن ما يتلقونه في القسم مضيعة للوقت، فيلجؤون إلى المشاغبة.

10) تنمر بعض التلاميذ على زملائهم: مما قد يجعل الفئة المستضعفة تشاغب خوفًا من المتنمرين.

11) الصراعات والاضطرابات الانفعالية: حيث تعاني بعض الحالات من مشاكل نفسية حادة، فإذا لم نتفهّم حالتهم، قد يحدثون بعض الصراخ والعويل لأسباب تافهة.

12) عوامل صحية مثل: ضعف السمع أو البصر، فقر الدم، ضعف الانتظام في إفرازات بعض الغدد؛ مما قد يكون سببا في بعض الاضطرابات السلوكية التي ينتج عنها بعض المشاغبات.

3.3 أسباب تتعلق بالمادة الدراسية

بسبب الطبيعة المجردة للمادة الدراسية أو نتيجة تعطل الوسائل التعليمية أو انعدامها اللازمة لإجراء الأعمال التطبيقية، تنشأ صعوبة في فهمها، مما يؤدي إلى تكرار الرسوب فيها، ومن ثم تتولد كراهية لها. وإذا لم يبذل الأستاذ جهدًا إضافيًا في شرحها وتبسيطها، سيشعر التلاميذ بالملل أثناء حصتها، فتظهر سلوكيات المشاغبة.

4.3 أسباب تعود إلى الإدارة المدرسية

1) تعاطف بعض المدراء مع التلاميذ المشاغبين الذين يتمتع أولياؤهم بنفوذ إداري أو اجتماعي، فلا تتم معاقبتهم. وقد يعمد بعض المدراء إلى التقليل من شأن الأستاذ واحتقاره أمام تلاميذه، وهذا ما يزيد من تمردهم ومشاغبتهم [9].

2) التسامح مع التلاميذ المتأخرين عن بداية الحصص الدراسية.

3) سوء تنظيم وبرمجة حصص المواد الدراسية، وضعف تنظيم استعمال قاعات التدريس

4) اكتظاظ الأقسام، مما يجعل الأستاذ، مهما كانت كفاءاته العلمية والتربوية، يجد صعوبة في ضبط النظام..

5) التوزيع غير المدروس للتلاميذ على الأقسام دون مراعاة سلوكياتهم، مما قد يؤدي إلى اجتماع عدد من التلاميذ المشاغبين في قسم واحد، فيكون أستاذهم في وضع لا يحسد عليه [13].

5.3 أسباب تعود إلى المجتمع

1) التربية الأسرية: تُعدّ الأسرة المؤسسة الاجتماعية الأولى التي تضع حجر الأساس الذي سيبنى عليه الإنسان سلوكه الاجتماعي فيما بعد داخل الأسرة وخارجها. فإذا اعتمدت الأسرة على العنف والفوضى والعادات السيئة في تربية الأبناء، أو أهملتهم وتركتهم دون رعاية ومتابعة، أو بالغت في تدليلهم دون حزم عند قيامهم بالمخالفات خوفًا على مشاعرهم، انعكس ذلك سلبا على سلوكهم. كما أن وقوف الأسرة إلى جانب ابنهم المشاغب يزيد من تماديه في هذا السلوك [1]. وقد أكدت نتائج دراسة [18] وجود علاقة ارتباطية بين القيم التي يحملها الفرد ومستوى سلوك المشاغبة والعنف لديه.

2) تفكك الأسرة: يعاني بعض التلاميذ من مشكل التفكك الأسري، مما يحرمهم من العطف والرعاية والتوجيه. فتتميز هذه الفئة بهشاشة في الشخصية؛ فيميل بعضهم إلى الانطواء، في حين يلجأ آخرون إلى سلوك الشغب بغرض لفت نظر الأساتذة إليهم.

3) سوء الأحوال المعيشية: تُمثل البطالة والفقر ضغوطًا هائلة تؤثر على تربية الأبناء، إذ تنعكس ظروف المعيشة السيئة مباشرة على تربية الأبناء، فيتولد عنها اضطرابات السلوك لدى معظم التلاميذ الذين يعيشون مثل هذه الظروف [18].

4) انتشار العنف في المجتمع: تسهم الصراعات والمشاجرات، سواء بين أبناء الحي الواحد أو بين الأحياء المتجاورة، في انتقال هذه السلوكيات إلى للتلاميذ، فتصبح المدرسة حلبة لهذه الصراعات.

5) انحلال الأخلاق لدى بعض الفئات الاجتماعية وابتعادها عن قيم المجتمع السليم، واعتبار الانحراف حرية شخصية، فينتج عن ذلك اللامبالاة في سلوكياتهم وتصرفاتهم.

6) وسائل الإعلام وما تبثه من أفلام ومسلسلات، يمارس فيها العنف بوصفه عملًا إيجابيًا [3].

7) الوسائل التكنولوجية: مثل الهاتف النقال، والحاسوب، والإنترنت، فعلى الرغم من أنها تسهل عملية الاتصال والتعلّم، إلّا أنّ المشاغبين وظفوها في السلوكيات السلبية، والتي تحولت لاحقا إلى إدمان إلكتروني.

8) تدني مكانة الأستاذ في المجتمع تجعله أقل تقديرًا في أعين تلاميذه فيتطاولون عليه، خاصة إذا لم يستطع فرض نفسه من خلال شخصيته القويّة.

6.3 أسباب تعود إلى البيئة الفيزيقية

سوء الحالة الفيزيقية للقسم، مثل ضعف الإضاءة، وسوء التهوية، والتطرف في درجة حرارة غرفة الصف، اهتراء المقاعد والطاولات [6].

سنتناول في الجز الثاني من هذا العمل:

- أهمية ضبط النظام وتعريفه.
- الكفاءات الأساسية للأستاذ المساعدة على ضبط النظام.
- الإجراءات التربوية المساعدة على ضبط النظام.
- أساليب التعامل مع سلوكيات المشاغبة.

المراجع

[1] بلعسلة، فتيحة وخطار، زهية، تأثير الظروف الاجتماعية الأسرية على ظهور سلوك الشغب عند تلاميذ الثانوي وعلاقتها ببعض المتغيرات، مجلة العلوم النفسية والتربوية، 5(2)، 2019، 238 – 253.

[2] الجملي، عدنان علي، والجبوري، وداد مهدي، بعض العوامل المؤثرة في الإدارة الصفية لدى أعضاء الهيئة التعليمية في المدارس الثانوية، مجلة القادسية في الآداب والعلوم التربوية، 1(8)، 2009، 149–166.

[3] حسين، طه عبد العظيم، إستراتيجية مواجهة العنف والمشاغبة في التعليم، دار الوفاء للطباعة والنشر، الإسكندرية، 2010.

[4] الرفاعي، نعيم، الصحة النفسية، المطبعة الجديدة، دمشق، 1972.

[5] زيتون، حسن حسين، مهارات التدريس : رؤية في تنفيذ التدريس، سلسلة أصول التدريس (الكتاب الثالث)، عالم الكتب، القاهرة، 2004.

[6] شفشق، محمود عبد الرازق ، والناشف، هدى محمود، إدارة الصف المدرسي، دار الفكر العربي، القاهرة، 2000.

[7] شوقي، عبد الله محمد، ظاهرة الشغب في مدارس التعليم العام، دراسة تحليلية للعوامل والأسباب، مجلة كلية التربية، جامعة بنها، 10(38)، 1999، 42 – 84.

[8] عبد القادر، فواز عبد الحميد، أثر برنامج إرشادي في تعديل السلوك العدواني لدى طلبة مرحلة التعليم الأساسي في الأردن، أطروحة دكتوراه (غير منشورة)، كلية التربية، الجامعة المستنصرة، العراق، 1996.

[9] عريفج، سامي سلطي، الإدارة التربوية المعاصرة، دار الفكر للنشر والتوزيع، عمان، 2004.

[10] غالي، أحمد، وآخرون، الشغب في الملاعب الكويتية لماذا؟، مجلة الرياضي العربي، 77، 1987.

[11] الفتلي، حسين هشام هندول، أسباب الشغب الصفي لدى تلاميذ المرحلة الابتدائية، مجلة القادسية في الآداب والعلوم التربوية، العددان 3و4، المجلد 6، 2007، 268–282.

[12] القحطاني، نورة، وحسين صبحا، خولة، السلوكيات غير المقبولة من الطالبات واستراتيجيات الانضباط المستخدمة في القاعات الدراسية من وجهة نظر عضوات هيئة التدريس في الأقسام الإنسانية والعلمية بجامعة الملك سعود، المجلة الدولية التربوية المتخصصة، 3(6)، 2014، 119–143.

[13] القرعان، أحمد خليل، وإبراهيم محمد علي الحراحشة، الإدارة المدرسية الحديثة، دار الإسراء للنشر والتوزيع، عمان، 2004.

[14] مظلوم، مصطفى علي، فعالية برنامج إرشادي لخفض سلوك المشاغبة لدى طلاب المرحلة الثانوية، مجلة كلية التربية، جامعة بنها، 17(61)، 2007، 83 – 118.

[15] ناصر الدين، خالد، كفاية ضبط القسم، مجلة علوم التربية، العدد 67، 2017، 134– 139.

[16] Eddy, J. M., Reid, J. B., & Curry, V., The Etiology of Youth Antisocial Behavior, Delinquency, and Violence and a Public Health Approach to Prevention. In M. R. Shinn, H. M. Walker, & G. Stoner (Eds.), *Interventions for academic and behavior problems II: Preventive and remedial approaches*, National Association of School Psychologist, 2002.

[17] Gallup, A.M., The 17th Annual Gallup Poll of the Public's Attitudes toward the Public Schools. Phi Delta Kappan, 67(1),1985, 35-47.

[18] Lee, M. R & Ousey, G. C., Reconsidering the culture and violence connection strategies of action in the rual south, Journal of Interpersonal Violence, 26(5), 2011, 899–929.

الاستراتيجيات العشر للتدريس عالي التأثير

لطيفة بن حموش
أستاذة بكلية الرياضيات، جامعة البليدة

المقدمة

تُعرّف استراتيجيات التدريس عالية التأثير (HITS: High Impact teaching strategies) بأنها مجموعة من الممارسات التعليمية التي تم تحديدها لامتلاكها أثرًا إيجابيًا كبيرًا على تعلّم الطلاب. توفر هذه الاستراتيجيات للمعلّمين منهجيات عملية لتحسين تعلّم الطلاب، ويمكن تكييفها مع مختلف المستويات الصفية والمجالات الدراسية. كما تساعد على خلق بيئة تعليمية أكثر شمولية ودعمًا، تراعي احتياجات الطلاب المتنوعة، وتعزز مشاركة الطلاب وتحقيقهم الأكاديمي. فمن خلال دمج هذه الاستراتيجيات في التدريس، يمكن للمعلّمين تحسين نتائج تعلّم الطلاب وخلق بيئة صفية أكثر تفاعلًا وفعالية. نسعى في هذا المقال إلى التعرف على هذه الاستراتيجيات والأساليب وتفصيل مصدرها ومقاصدها.

بدايةً، من المهم الإشارة إلى أن استراتيجيات HITS قائمة على الأدلة العلمية ومستمدة من أبحاث أُجريت في فصول دراسية عبر أستراليا والعالم، وقد خضعت لأبحاث مكثفة، ويُعترف بها دوليًا كمناهج تعليمية فعّالة.

تتألف هذه الاستراتيجيات من عشر ممارسات رئيسية ثبت أنها تحسّن باستمرار فهم الطلاب ومشاركتهم في العملية التعليمية، نوردها فيما يلي باختصار، ثم نعمد بعدها إلى تفصيلها:

1- تحديد الأهداف
2- هيكلة الدروس
3- التعليم المباشر الصريح أو الواضح
4- الأمثلة المحلولة
5- التعلّم التعاوني
6- التعرّض المتعدد للمفاهيم
7- طرح الأسئلة الفعّال
8- تقديم التغذية الراجعة
9- استراتيجيات ما وراء المعرفة
10- التدريس المتمايز ومراعاة الفروق الفردية

قبل البدء، دعنا نعد قليلًا إلى الوراء. في مقال سابق، تناولنا في الفقرة الأخيرة التحولات في البيئة التعليمية الناتجة عن سهولة الوصول إلى المعلومات عبر الإنترنت، مما قادنا إلى إعادة تعريف دور المعلّم من مجرد ناقل للمعرفة إلى مرشدٍ وموجهٍ في رحلة التعلّم. كما أشرنا إلى أن وفرة المعلومات قد تؤدي أحيانًا إلى تشتيت الانتباه بدلًا من إثراء المعرفة. ومن هذا المنطلق، جاء التأكيد على ضرورة تدريب المعلّمين على أساليب تربوية مبتكرة تستجيب لهذا الواقع، مثل التعلّم النشط الذي يجعل الطالب محور العملية، والتعلّم القائم على المشاريع الذي يربط المعرفة بحل المشكلات الواقعية، باستخدام النمذجة وتقديم أمثلة تطبيقية. وبهذا، يصبح التركيز منصبًا على تنمية مهارات التفكير والتحليل لدى المتعلّم، وليس مجرد تزويده بالمعلومات.

في سياق السعي نحو تعليم أكثر عُمقًا واستدامة، هناك مبدأ هو أساس ما نطلق عليه اليوم "التعلّم التجريبي" أو "التعلّم النشط"، وهو حكمة شهيرة منسوبة للفيلسوف الصيني كونفوشيوس (Confucius)، ما زالت صالحة وملهمة بعد آلاف السنين. تبرز هذه الحكمة الهدف الجوهري للتدريس الفعَّال: "قل لي وسوف أنسى، أرني ولعلي أتذكر، أشركني وسوف أفهم" (كونفوشيوس).

تؤكد هذه المقولة أن التعليم الفعّال لا يكمن في التلقين، بل في المشاركة العملية والتجربة المباشرة لتثبيت المعرفة، حيث إن الإخبار وحده يسبب النسيان، بينما المشاهدة تخلق الذكرى، والمشاركة تخلق الفهم العميق. تعكس هذه الكلمات جوهر فلسفة كونفوشيوس التعليمية والتربوية بشكل دقيق.

المعرفة السلبية أو التلقي وحده غير كافٍ. المعلومات التي تسمعها فقط (محاضرة، تلقين) تكون سطحية وعرضة للنسيان بسرعة لأنها لا تثير انتباهًا عميقًا ولا تترسخ في الذهن. المشاركة البصرية أو التوضيح العملي يجعل المعلومة أكثر واقعية وملموسة. عندما ترى شيئًا (عرضًا، تجربة، نموذجًا)، فإنه يخلق صورة ذهنية أقوى، مما يزيد من فرص تذكّرها، وهنا تبدأ المعرفة بالاستقرار. الفهم الحقيقي والاستيعاب العميق لا يأتيان إلا من خلال المشاركة الفعالة والتجربة المباشرة. عندما تشركني (في حوار، مناقشة، تطبيق عملي، مشروع، تمثيل دور)، فإنني أعالج المعلومات بنفسي، وأربطها بواقعي، وأختبرها. هذا التفاعل هو الذي يولد الفهم والإدراك الحقيقي، وليس مجرد الحفظ.

يتضح الآن أن هذا الاقتباس يشجع على تبني طرق تعليمية تفاعلية، مثل: التعلّم باللعب، والتعلّم القائم على المشاريع، والتجارب العملية، والمناقشات، والتمثيل. فهو نقد ضمني للتعليم التلقيني.

أما في التدريب والإدارة، فلا يكفي إعطاء الموظفين تعليمات شفهية أو كتيبات؛ الأكثر فاعلية هو عرض المهمة ثم منحهم الفرصة لتطبيقها تحت الإشراف. وفي الحياة الشخصية، لفهم أي مفهوم جديد (مهارة، فكرة، ثقافة)، يجب الغوص فيه وممارسته، وليس فقط القراءة عنه. وكذلك في التواصل والقيادة، إذا أردت إقناع شخص بفكرة، فاجعله جزءًا من الحل، وشاركه في عملية الوصول إليها. هذه الكلمات الثلاث لكونفوشيوس ليست مجرد سُلَّم تصاعدي للتعلّم، بل هي الخارطة التي تُرشدنا إلى تصميم أساليب تدريسية حقيقية.

فالمرحلة الأولى تُظهِر محدودية الأسلوب التلقيني التقليدي حيث تبقى المعلومات المُسْمَعة عُرضة للتبخُّر سريعًا. أما الانتقال إلى "أَرِني" –عبر العروض التوضيحية والوسائط البصرية والتجارب– فيُعَدُّ خطوةً كبيرة نحو ترسيخ المعرفة، إذ تتحول المفاهيم المجردة إلى أمثلة ملموسة. غير أن ذروة الفعَّالية تكمن في الدرجة الثالثة: "أَشرِكني". هنا يتحول الطالب من متلقٍّ سلبي إلى شريك فاعل في بناء المعرفة، عبر المناقشات الحوارية، والتعلّم التعاوني القائم على حل المشكلات، والمشاريع التطبيقية، والتعلّم بالتجربة. في هذه المرحلة لا يُكتفَى بتذكُّر المعلومة، بل يتم استيعابها وتحليلها وتوظيفها، مما يُولّد فهمًا شخصيًا راسخًا ومهاراتٍ قابلةً للتطبيق في مواقف الحياة.

إن التحدي الحقيقي للمعلِّم لا يكمن في كمّ المعلومات التي ينقلها، بل في كيفية تصميم بيئة تسمح بالمشاركة الفعلية. فالتدريس الفعَّال هو ذلك الذي يتجاوز إخبار الطالب وإرشاده، إلى خلق السيناريوهات التي تمكِّنه من الاكتشاف، والتفكير النقدي، والبناء الذاتي للمعنى، تحقيقًا للحكمة: "أشركني وسوف أفهم".

خلاصة القول إن التعلم فعلٌ نشط، وليس حدثًا سلبيًا. وهو يقتضي التنقل من السمع، وهو أدنى درجات الفهم، إلى الرؤية، وتُعدّ درجة متوسطة، ثم إلى الممارسة والمشاركة، وهي أعلى درجات الفهم والاستيعاب.

1. رؤية جون ديوي للتربية الديمقراطية

في نظر جون ديوي (John Dewey)، التعليم الحقيقي هو عملية اجتماعية تفاعلية، تتحقّق من خلال الممارسة والخبرة المباشرة داخل بيئة تربوية تشبه المجتمع المصغّر حيث يشارك الطلاب في أنشطة هادفة، ويتعاونون لحل

المشكلات، ويمارسون الحوار والتفكير النقدي. مثل هذه التربية لا تهدف إلى تخريج حاملين للمعلومات فحسب، بل إلى تشكيل مواطنين قادرين على المساهمة الفعّالة في شؤون مجتمعهم، يتحلّون بالمرونة الفكرية والمسؤولية الاجتماعية، ويُظهرون اهتمامًا حقيقيًا بالصالح العام. وهكذا يصبح التعليم، وفق رؤية ديوي، مختبرًا ضروريًا للديمقراطية، يُعدّ الأفراد ليس فقط للعيش في مجتمع حر، بل للمساهمة في بنائه وتطويره بشكل مستمر.

في كتابه "الديمقراطية والتربية"، يقدّم جون ديوي حجّة مركزية مفادها أن التعليم ليس مجرد أداة تكميلية للمجتمع الديمقراطي، بل هو شرطه الجوهري لبقائه وتجدده. يرى ديوي أن الديمقراطية، في جوهرها، ليست نظام حكم فحسب، بل هي شكل من أشكال الحياة المشتركة القائمة على المشاركة الواعية والتواصل الحر والتجربة الجماعية. ومن هذا المنطلق، تكون التربية هي الوسيلة الحيّة التي تُنمّي في الأفراد القدرات الضرورية لهذا النمط من الحياة.

ولتبسيط الفكرة تخيّل أن الديمقراطية مثل فريق كرة قدم. الفريق لا ينجح لمجرد أن لديه قوانين اللعبة وحكَمًا عادلًا. النجاح الحقيقي يأتي عندما يفهم كل لاعب دوره، ويتعاون مع زملائه، ويستطيع اتخاذ قرارات ذكية وسريعة أثناء المباراة. كيف يصل اللاعبون إلى هذه الدرجة؟ من خلال التدريب المستمر والممارسة.

هذا ما يقوله جون ديوي عن العلاقة بين التعليم والديمقراطية بالنسبة له الديمقراطية ليست فقط صناديق اقتراع وانتخابات. الديمقراطية الناجحة تحتاج إلى مواطنين مُدرَّبين عليها، مثل لاعبين في فريق. والتدريب هنا هو التعليم الصحيح. يرى ديوي أنه ليس أي نوع من التعليم ينفع.

- **التعليم التقليدي** (الذي يرفضه): هو مثل مدرب كرة يأمر اللاعبين بحفظ خطط اللعب عن ظهر قلب، ويجلسون في الفصل طوال اليوم دون لمس الكرة. النتيجة؟ لاعبون يعرفون النظرية لكنهم عاجزون عن التطبيق في الملعب الحقيقي.
- **التعليم الصحيح** (الذي يدعو إليه): هو مثل تدريب عملي. يدخل اللاعبون الملعب، ويلمسون الكرة، ويتدربون على التمريرات، ويلعبون مباريات تجريبية، يخطئون ويتعلمون من أخطائهم، ويتعاونون لحل مشكلات الملعب. هكذا يتعلمون الفن الحقيقي للعبة.

هكذا تكون المدرسة في نظر ديوي، ليست سجنًا للحفظ، بل ملعب تدريب للحياة الديمقراطية. فيها يتعلّم الطلاب كيف يفكرون بأنفسهم (بدلًا من تلقينهم الإجابات)، وكيف يعملون معًا ويحترمون آراء غيرهم، وكيف يحلون المشكلات التي تواجههم كمجموعة، كيف يهتمون بشؤون فريقهم (أي مجتمعهم) ويتحملون المسؤولية. والخلاصة التي يصل إليها ديوي أن المجتمع الديمقراطي الحقيقي لا يمكن أن يبنيه مواطنون تلقّوا تعليمًا استبداديًا وسلبيًا. الديمقراطية تحتاج إلى تربية ديمقراطية من البداية. فالمدرسة التي تُعلّم الطلاب الطاعة العمياء والتفكير الواحد، تُخرّج بالضرورة مواطنين سلبيين مهيئين للاستبداد وليس للحرية. أما المدرسة التي تجعلهم شركاء فعالين في عملية التعلم، فهي تبني اللبنة الأساسية لمجتمع قوي ومتضامن.

2. تجربة جامعة أشيسي في غانا

بعد عمل دام قرابة العقد في شركة مايكروسوفت، عاد باتريك أوواه (Patrick Awuah Jr.) إلى وطنه غانا، وأسس مشاركةً جامعة أشيسي (Ashesi University)، وهي كلية صغيرة للفنون الحرة (Liberal Arts) تهدف إلى تعليم الجيل القادم من قادة إفريقيا، حيث تخرجت أول دفعة من طلابها في عام 2006. ويؤكد باتريك أوواه أن التعليم في الفنون الحرة حاسم لتشكيل قادة حقيقيين. يرى باتريك أن بناء قادة يجمعون بين الحكمة والعزيمة هو ما يخلق فرقًا حقيقيًا في مسيرة الأمم والمؤسسات. وتشكيل قادة حقيقيين يكون ببناء مهارات اتخاذ القرار، وترسيخ الإطار الأخلاقي، وصَقْل الرؤية

الواسعة. فنحن لا نكتفي بتدريب القادة على المهارات التقليدية فحسب، بل نغرس فيهم المرونة الفكرية، والنزاهة، والتواصل، والرؤية الواضحة، وهذا ما يصنع الفرق.

نتساءل الآن ما الذي يستطيع المربّون حقا فعله؟ والجواب واضح: المربّون يبنون التفكير النقدي، وينمّون مهارات اتخاذ القرار، ويعززون قدرات حل المشكلات. المربون المهمون هم مَن يُحْدِثون التغيير الحقيقي في المجتمعات. بينما سلوك المعلّمين السيئ، أو ما يعرف بالتلوث التربوي السلوكي والممارسات التدريسية الخاطئة، مثل الاكتفاء بالتلقين، والتساهل مع الغش، يؤدي كل ذلك إلى تكوين جيل يفتقر للقيم والأخلاق، وكذلك إلى انخفاض القدرات المعرفية، وانتشار الشعور بالإحباط. ولكن هل نربط التربية بمهارة اتخاذ القرارات وحل المشكلات؟ ونربط التلوث التربوي بالتخلف والانحطاط؟

3. قصة المعلّم خايمي إسكالانتي

المربّي له الدور المحوري، لذلك تُخصَّص جوائز عالمية للمربّين الملهمين الذين يُحدثون فرقًا في حياة طلابهم ومجتمعاتهم. نذكر مثلًا البوليفي الأمريكي خايمي إسكالانتي (Jaime Escalante) أستاذ الرياضيات، والذي خُلّدت مسيرته في فيلم Stand and Deliver (1988).

الفيلم يحمل رسالة قوية عن قوة التعليم في تغيير الحياة، ودور المعلّم الملهم الذي لا يستسلم. يستند الفيلم إلى قصة حقيقية للمعلم خايمي إسكالانتي (جسّد دوره الممثل إدوارد جيمس أولموس)، وهو مدرس بوليفي-أمريكي انتقل للعمل في مدرسة "جارفيلد" الثانوية في حي لاتيني فقير ومهمّش في لوس أنجلوس.

تدور أحداث الفيلم حول تحدي إسكالانتي للصورة النمطية والانخفاض الشديد في مستويات الطلاب، حيث يقرر تدريس مادة حساب التفاضل والتكامل (AP Calculus) - المادة المتقدمة التي يندر أن يدرسها طلاب مثل هذه المدارس. يواجه إسكالانتي في البداية سخرية وتمردًا من الطلاب، وتشكيكًا من إدارة المدرسة وأولياء الأمور في قدرات هؤلاء الطلاب، وثقافة اليأس وانعدام الثقة السائدة.

باستخدام أساليب غير تقليدية، ومزج بين الحزم الفولاذي والحب الأبوي، والتفاني الكامل (حتى على حساب صحته)، يستطيع إسكالانتي تدريب مجموعة من الطلاب على اجتياز الامتحان الوطني الموحد في Calculus. عندما يحقق الطلاب نتائج مذهلة ومتماثلة، تتهمهم لجنة الاختبارات الوطنية بالغش بسبب تحسنهم غير المسبوق، مما يعكس تحيزًا عنصريًا وطبقيًا. هنا يثبت إسكالانتي وطلابه شجاعتهم مرة أخرى، حيث يوافقون على إعادة الاختبار تحت ضغط شديد، ويمرّون به بنجاح باهر، مبرهنين أن الإرادة والتدريس الجيد يمكنهما تغيير المصير.

4. التعلّم المرئي لجون هاتي

نعود الآن إلى الإطار النظري لبعض الاستراتيجيات المذكورة في بداية المقال، وهو ما يُعرف بالتعلّم المرئي (Visible Learning) حيث ظهر هذا المفهوم بشكل بارز مع نشر كتاب بعنوان "التعلّم المرئي: توليف لأكثر من 800 تحليل حوصلي متعلق بالتحصيل الدراسي" عام 2009، وهو نتاج 15 عامًا من البحث، ويجمع أكثر من 800 تحليل شمولي متعلقٍ بالتأثيرات على التحصيل الدراسي للطلاب. قام بتأليف الكتاب جون هاتي (John Hattie)، وهو أستاذ التربية ومدير مختبرات التعلّم المرئي بجامعة أوكلاند في نيوزيلندا، حيث يُطوّر نموذجًا للتعليم والتعلّم يقوم على فكرة التعليم المرئي والتعلّم المرئي.

يجسّد مفهوم التعلّم المرئي فكرة تحوّل المعلّم إلى مقيّم لتأثيره الخاص، حيث يصبح التعليم مرئيًا عندما يرى المعلّمون التعلّم من عيون الطلاب، ويصبح التعلّم مرئيًا عندما يطور الطلاب وعيًا بذاتهم التعليمية ليصبحوا معلّمين

لأنفسهم. وقد تبع الكتاب الأول أعمال أخرى مثل "التعلّم المرئي للمعلمين" في 2012 لشرح التطبيقات العملية، ويستمر هاتي وفريقه في تطوير هذا البحث في جامعتي ملبورن وأوكلاند.

تتمحور الديناميكية الأساسية للتعلّم المرئي حول مفهومي "التدريس المرئي" و"التعلّم المرئي":

- يجعل المعلّمون تدريسهم مرئيًا من خلال تقييم تأثير طرقهم التعليمية على تعلم الطلاب بشكل مستمر ومنهجي.
- بينما يجعل الطلاب تعلمهم مرئيًا من خلال فهم أهدافهم التعليمية الذاتية واستراتيجياتهم وتقدمهم بصورة واضحة.

والهدف في نهاية الأمر هو تمكين الطلاب ليصبحوا معلّمين لأنفسهم — متعلّمين قادرين على تنظيم ذواتهم ويمتلكون وعيًا ما وراء المعرفي (Metacognitive) بعمليات التعلّم الخاصة بهم.

جون هاتي في كتابه "التعلّم المرئي للمعلمين: تحقيق أقصى تأثير على التعلّم" طوّر نموذجًا تربويًا يرتكز على مبدأ أساسي هو "جعل التعلم مرئيًا" لكل من المعلّم والمتعلّم. ويؤكد أن دور المعلّم الفعّال ليس مجرد نقل المعرفة، بل تقييم الأثر المستمر لتدخله التعليمي من خلال السؤال الجوهري: "ما تأثير طريقتي في التدريس على تعلّم طلابي؟". ويقترح هاتي هيكلًا ثلاثي المراحل للتعلّم:

- الاكتساب السطحي للمعرفة،
- الفهم العميق للعلاقات بين المفاهيم،
- نقل المعرفة وتطبيقها في سياقات جديدة.

ومن أهم ركائز نموذجه وضوح المعلّم في تحديد نوايا التعلّم ومعايير النجاح، وتقديم تغذية راجعة (feedback) فعّالة تجيب للطالب عن ثلاثة أسئلة: إلى أين أنتقل؟ وكيف أحقق التقدم؟ وما الخطوة التالية؟ كما يُعدّ تمكين الطالب من التقييم الذاتي وتوقّع أدائه، وهو ما يُسمّى تقدير الطلاب الذاتي لدرجاتهم، من أقوى العوامل المؤثرة في التحصيل. وفي النهاية، يهدف النموذج إلى بناء بيئة مدرسية تشجع على ثقافة الخطأ كجزء طبيعي من التعلّم، وتعزز التعاون (Collaborative Expertise) بين المعلّمين القائم على الأدلة، مما ينتقل بالطالب من الاعتمادية إلى الاستقلالية والتفكير ما وراء المعرفي.

في كتاب "التعلّم المرئي للمعلّمين"، يرسم جون هاتي أدوارًا متميزة ومتكاملة للمعلّم والمتعلّم. دور المعلّم هو دور المُفعّل والمُقيّم، حيث يتحول من مُلقّن إلى باحث عن الأثر، فيصمم تعليمًا واضحًا محدد النوايا ومعايير النجاح، ويوفر تغذية راجعة نوعية تركز على المهمة والتطوير، ويخلق بيئة آمنة للتجريب والخطأ. أما دور الطالب فيتحول من مستقبل سلبي إلى شريك نشط في عملية التعلم، حيث يمارس التقييم الذاتي، ويحدد توقعاته الخاصة لأدائه، ويفكر بطريقة ما وراء معرفية في تعلّمه، ويستخدم التغذية الراجعة للإجابة عن أسئلته: "إلى أين أمضي؟" و"أين أنا الآن؟" و"ما الخطوة التالية؟". وبالتالي، يتحقق الهدف النهائي وهو انتقال الطالب من الاعتماد الكلي على المعلّم إلى الاستقلالية في إدارة تعلّمه.

الفكرة الأساسية هي جعل التعلّم مرئيًا – لكل من المعلّم والطالب. هذا يعني التحول من ما يدرّسه المعلّم إلى ما يتعلّمه الطالب ويفهمه. وأما الأفكار الثانوية فنلخصها فيما يلي:

1- عقلية معلّم (Mindset) التعلّم المرئي المنشط أو المفعّل

يصنف هاتي المعلّمين؛ فالأكثر فاعلية ليسوا "ميسّرين" يخلقون بيئة لطيفة فحسب، بل مفعّلين يتدخلون بنشاط، ويقيّمون، ويتكيفون. من السمات الرئيسية: اعتبار دورهم الأساسي تقييم الأثر الذي يُحدثونه بأنفسهم، وأن يكونوا شغوفين بتعزيز التعلّم، وليس مجرد تقديم المحتوى. وكذلك أن يؤمنوا بأن جميع الطلاب يمكنهم تحقيق نموّ تعليمي لمدة عام على الأقل مقابل عام من التعليم.

2- اعرف أثرك: يجب على المعلمين البحث باستمرار عن تغذية راجعة حول تأثيرهم.

السؤال الذي يجب طرحه: "ما هو أثر تدريسي على تعلّم طلابي؟"، ويكون الجواب من خلال التقييم التكويني، وتغذية الطلاب الراجعة، وتحليل الأعمال، والاختبارات القبلية والبعدية. الهدف هو استخدام هذه الأدلة لتحديد "إلى أين بعد ذلك؟".

3- **هيكل الدرس: السطحي، والعميق، والنقل**

التعلّم ليس حدثًا واحدًا، فالدروس والوحدات الفعّالة تمرّ بثلاث مراحل:

- التعلّم السطحي: اكتساب المعرفة والمهارات الأساسية.
- التعلّم العميق: فهم العلاقات بين الأفكار، وربطها، وتطوير الفهم المفاهيمي.
- تعلّم النقل: تطبيق المعرفة والمهارات بشكل مستقل على مواقف جديدة وغير مألوفة.

ومن المهم القول إن استراتيجيات التدريس المختلفة تكون فعّالة في مراحل مختلفة (مثلًا، التعليم المباشر فعّال للمرحلة السطحية، وحلّ المشكلات للمرحلة العميقة).

4- **التغذية الراجعة الفعّالة** يجب أن تجيب للطالب عن ثلاثة أسئلة أساسية:

أ- إلى أين أتجه؟ أي توضيح الهدف؛

ب- كيف أحدد موقعي الآن؟ بمعنى تقييم التقدم؛

ج- إلى أين بعد ذلك؟ وذلك لتوجيه الخطوات القادمة المركزة على المهمة والعملية، مثل: "حلك صحيح حتى الخطوة الثالثة، لكن هناك خطأ في التعويض بالقانون."، "الخطوة التالية: راجع خطوة التعويض ثم جرّب مسألة مشابهة."

تجنّب المدح العام أو التركيز على الذات، مثل "أنت ذكي"، بل ركز على العمل ذاته وخطوات تحسينه.

5- **وضوح المعلّم أمر بالغ الأهمية**

قبل أن يبدأ الدرس، يجب على الطلاب فهم:

- نيّات التعلّم: ماذا نتعلّم اليوم؟ ليس مجرد النشاط.
- معايير النجاح: كيف سيبدو الناتج الناجح؟ كيف سأعرف أنني تعلمته؟ (مقاييس التقدير، النماذج، قوائم المراجعة).

هذا الوضوح يمكن الطلاب من التقويم الذاتي وامتلاك تعلمهم.

6- **قوة تقديرات الطلاب الذاتية وما وراء المعرفة**

يتحدث جون هاتي عن قدرة الطلاب على التنبؤ بأدائهم بأنفسهم. وهذا يشمل ما وراء المعرفة، أي تعليم الطلاب التفكير في تفكيرهم الخاص، وكذلك التنظيم الذاتي، أي تحديد الأهداف، ومراقبة التقدم، وتقييم الاستراتيجيات. عندما يستطيع الطلاب الحكم بدقة على مستوى فهمهم، يصبحون محرّكين لتعلّمهم الخاص.

7- **بناء بيئة مدرسية للتعلّم المرئي**

الأمر لا يتعلق بمعلّمين أفراد فقط، بل يجب على المدرسة تعزيز ثقافة تقبل الخطأ واعتباره جزءًا أساسيًا من التعلّم. يجب أن تكون الغرفة الصفية آمنة نفسيًا.

الخبرة التعاونية أو عمل المعلّمين معًا (Professional Learning Communities) لتقييم الأثر، ومشاركة الأدلة، وتحسين الممارسة.

وأخيرًا، توفير القيادة التعليمية، أي قادة يركزون على تعزيز التقييم والممارسة القائمة على الأدلة، وليس الإدارة فقط.

نستخلص في الختام أن الأمر أقل ارتباطًا بتقنيات محددة، وأكثر ارتباطًا بعقلية المعلّم واتجاهه. معلّم التعلّم المرئي هو مقيّم شغوف يبحث عن الأدلة، ويستخدم أدلة التعلّم لتكييف التدريس، ويعزز علاقات تتحدى الطلاب، ويجعل عملية التعلّم شفافة لكل طالب في الغرفة. الهدف دائمًا هو نقل الطلاب من الاعتماد إلى الاستقلالية.

مراجع

[1] Hattie, John, *The applicability of visible learning to higher education*, Scholarship of Teaching and Learning in Psychology, 1(1), (2015), 79-91.

[2] https://mathshistory.st-andrews.ac.uk/Biographies/Escalante/

[3] Dean's Lecture Series - Prof John Hattie on five big ideas from the latest Visible Learning research

[4] Recap: Leadership Masterclass with Ebenezer Twum Asante



استخدام الترميز التقليدي للقوة لكشف المفاهيم الخاطئة لدى الطلاب: دراسة حالة التفاعلات المتبادلة

لحسن سرحان، عبد الحميد زغداوي
zeghdaouiens@hotmail.fr

يبدأ الطلاب عادةً بتعلّم كيفية تمثيل القوى باستخدام الأدوات كالأسهم والحروف والخطوط وما إلى ذلك، في وقت مبكر من تعليمهم العلمي. الدراسة التمهيدية التي نناقشها في هذه المقالة تقدّم وتقيّم هذه الطريقة (التدوين التقليدي للقوة conventional notation of force – CNF) بوصفها تقنية فعّالة لكشف المفاهيم الخاطئة لدى الطلاب، وتحديدًا تلك التي تظهر من خلال التدوين أو يُعبّر عنها الطلاب شفهيًا.

وُزّع استبيان ورقي على عيّنة من 102 طالبًا في السنة النهائية من المرحلة الثانوية (17-18 عامًا) في مدارس ثانوية جزائرية مختلفة، يتضمن مجموعة متنوعة من الصور التخطيطية التي توضح تفاعل جسمين. ثم طُلب من الطلاب تمثيل القوتين المتفاعلتين باستخدام التدوين المعتاد ($\vec{F}_{A/B} = -\vec{F}_{B/A}$) كما يتبعه المدرسون ويُستخدم في الكتب المدرسية المعتمدة. وفي نهاية كل مثال، تُركت مساحة للطلاب لإضافة تبرير لإجابتهم.

كشف التحليل اللاحق لإجابات المشاركين عن المفاهيم الخاطئة التالية:

- يُفهم التفاعل المتبادل على أنه تبادل متتابع بين قوتين.
- يميل المشاركون إلى إساءة استخدام الأحرف التي تشير إلى الأجسام.
- لا يتساوى الفعل ورد الفعل دائمًا في المقدار.
- يميل المشاركون إلى حصر التفاعلات المتبادلة في الأجسام الساكنة فقط.
- صعوبة تحديد نقاط تأثير القوى، خاصة في حالات التلامس.
- يُستخدم مصطلح "رد الفعل" بمعناه العام في التواصل اليومي، بدلًا من استخدامه العلمي بوصفه قوة متزامنة، مساوية له في المقدار ومعاكسة له في الاتجاه.
- يُقدم المشاركون تفسيرًا غير رسمي لا يتضمن كلمة "قوة" على الإطلاق.

يرى بوزر (Pozzer) وَروث (Roth) [16] أن "الصور تبدو امتدادًا للطبيعة إلى صفحات الكتاب". ويمكن تبنّي هذا الرأي والقول إن تمثيل قوى التفاعل المتبادلة على تلك الصور (المخططة) قد يكون امتدادًا لعالم الطلاب الداخلي (معرفتهم وفهمهم للفيزياء) إلى العالم الخارجي. وقد استُلهمت فكرة إمكانية استخدام أساليب لاستنباط فهم الطلاب من نظرية "الشفرة المزدوجة" لبايفيو (Paivio) [14]. ووفقًا لهذه النظرية، يستخدم الإدراك البشري قناتين مختلفتين لمعالجة وتخزين المعلومات: غير لفظية (بشكل أساسي النمط البصري) ولفظية. وبالتالي، يبني المتعلم معنى المفهوم، أي تمثيله الذهني، باستخدام كلتا القناتين.

لذلك، من أجل استنباط ما يخفيه الطلاب في أذهانهم بشأن مفاهيم معينة، يجب حثهم على إظهار ما هو مخزن في كلتا القناتين الإدراكيتين. تتطلب طريقة CNF من الطلاب عرض تصوراتهم البديلة بشكل تمثيلي (كتابي) و/ أو شفهي (في المساحة المتبقية بعد كل وضعية أو صورة تخطيطية). وبما أن هذه الطريقة تتطلب من المشاركين تمثيل القوتين المتفاعلتين في كل وضعية، فقد يدفع ذلك الطلاب إلى إظهار مفاهيمهم الخاطئة بأنفسهم. في الواقع، أحد مصادر مفاهيم الطلاب الخاطئة هو المفاهيم الخاطئة التي ينشرها المعلمون أنفسهم [23]. وقد خلصت العديد من الدراسات إلى أن المعلمين لديهم مفاهيم خاطئة أيضًا (على سبيل المثال، في الفيزياء [4]؛ في الكيمياء الفيزيائية [6]؛ في علم الأحياء [23]).

1. التصوّرات الخاطئة المرتبطة بقانون نيوتن الثالث

لقد شكّلت التصوّرات الخاطئة المرتبطة بقانون نيوتن الثالث موضوعًا للعديد من الدراسات، وهي معروفة وموثّقة توثيقًا جيدًا. غير أنّه ينبغي التنبيه إلى أنّ هذه الدراسة لا تهدف أساسًا إلى استكشاف تصوّرات الطلبة، بقدر ما تسعى إلى تقديم واختبار طريقة الترميز التقليدي للقوة (CNF). وقد اختير قانون نيوتن الثالث لهذا الغرض لأنه موضوع مدروس على نحو واسع، مما يجعله مرجعًا مناسبًا. إضافة إلى ذلك، فإن هذا القانون ملائم لأهداف الدراسة لأنه، من جهة، يمكن تمثيله بصريًا بسهولة من خلال صور لوضعيات من الحياة اليومية، ومن جهة أخرى، هو ليس قانونًا سهلًا كما يظن كثير من المتعلّمين.

في الواقع، لا شك في أنّ قانون نيوتن الثالث يُعدّ من القوانين الصعبة نسبيًا مقارنة بغيره، بل يُعرف بأنه من المفاهيم التي تُخفي بعض آخر التصوّرات الخاطئة التي ينبغي تجاوزها عند الانتقال إلى الفهم النيوتني [8]. كثيرًا ما يُبدي الناس شكوكًا بشأن صحة هذا القانون في جميع الحالات [5]. ويُعدّ القانون الثالث قانونًا أساسيًا، إذ يحدّد في جوهره معنى "القوة" ذاتها: فالقوة تنشأ دائمًا من تفاعل بين جسمين. ويبيّن براون (Brown) أنّ فهم هذا القانون يتطلّب إدراك أنّ القوى تنبثق من التفاعلات [1]. وهناك خمس أفكار أساسية ينبغي أخذها في الاعتبار عند تناول قانون نيوتن الثالث:

1- لا يمكن لجسم ما أن يتعرّض لقوة بمعزل عن غيره.

2- وارتباطًا بالنقطة السابقة (لا يمكن لجسم أن يؤثّر بقوة بمعزل عن جسم آخر)، لا يمكن لجسم A أن يؤثّر بقوة ما لم يوجد جسم آخر B يؤثّر عليه بدوره، وعندئذ نقول إن الجسمين في حالة تفاعل متبادل.

3- في كل لحظة زمنية، تكون القوة التي يؤثّر بها A على B مساوية في المقدار للقوة التي يؤثّر بها B على A ومعاكسة في الاتجاه.

4- يترتّب على ذلك أنّ أيًّا من القوتين لا تسبق الأخرى زمنيًا.

5- في تفاعل الجسمين A وB، تكون القوة التي يؤثّر بها A على B معاكسة تمامًا في الاتجاه للقوة التي يؤثّر بها B على A.

يمكن تلخيص النقاط السابقة على النحو الآتي:

إذا أثّر الجسم A بقوة على الجسم B، فإن الجسم B يؤثّر في اللحظة ذاتها بقوة على الجسم A، مساوية لها في المقدار ومعاكسة لها في الاتجاه.

غير أنّنا في حياتنا اليومية نلاحظ العديد من المواقف غير المتناظرة (تبدو لنا غير متكافئة)؛ مثل تصادم سيارة صغيرة مع شاحنة، أو اصطدام كرة كبيرة بأخرى صغيرة، أو دفع شخص ضخم لطفل صغير. وغالبًا ما يميل أغلبنا إلى الاعتقاد بأن الجسم الأكبر أو الأسرع أو الأقوى يؤثّر بقوة أكبر من الجسم الأصغر أو الأبطأ أو الأضعف. ويمكن تفسير مفهوم "التفاعل" من خلال استعارة "الصراع" [8]؛ إذ توحي التجارب والخبرات اليومية أنه من غير البديهي أن يؤثّر جسم ضخم وسريع الحركة وجسم صغير وبطيء الحركة بقوتين متساويتين في المقدار عند تفاعلهما.

وفي الواقع، يبدو من الأكثر منطقية (لكن ذلك غير صحيح) أن تُنسب القوى أثناء التفاعل إلى "الأجسام الفاعلة"، وأن يُعتقد بأن الأجسام الكبيرة وسريعة الحركة تمتلك "قوى داخلية" كبيرة، ومن ثمّ تؤثّر بقوى أكبر على الأجسام الأخرى، في حين أن الأجسام الصغيرة والبطيئة تؤثر بقوى صغيرة. كما أن عرض قانون نيوتن الثالث في وضعيات ساكنة يجعل فهمه أكثر صعوبة. ووفقًا لبراون، فإن تصور القوة بوصفها خاصية لجسم واحد، بدلًا من كونها ناتجة عن تفاعل، يظهر بوضوح في المسائل المرتبطة بالحالات الساكنة [1].

2- هدف الدراسة

هدفت هذه الدراسة إلى إبراز فعالية طريقة الترميز التقليدي للقوة (CNF) بوصفها أداةً لاستخلاص التصوّرات الخاطئة، وذلك باستخدام التفاعلات المتبادلة - أو بصيغة تقليدية، قانون نيوتن الثالث - كحالة دراسية.

تم تزويد المشاركين بورقة تتضمن مجموعة من الصور التخطيطية التي تُظهر جسمين في حالة تفاعل، وطُلب منهم تمثيل القوتين المتبادلتين في كل صورة باستخدام الترميز المعتاد للقوى، كما هو متّبع في التدريس والكتب المدرسية المعتمدة، بعبارة أخرى $(\vec{F}_{A/B} = -\vec{F}_{B/A})$ وفقًا لقانون نيوتن الثالث.

وقد تُرك حيّز بعد كل وضعية ليضيف الطالب تفسيرًا لإجابته. ومن الجدير بالذكر أن برامج وزارة التربية (في الجزائر) تركّز عمومًا على المبادئ التربوية ومنهجيات التدريس والممارسة التعليمية، أكثر من تركيزها على تعميق الفهم المفاهيمي للمادة العلمية.

3- تحليل أعمال الطلبة

من أجل تحليل المعطيات التي قدّمها الطلبة (سواء تمثيلاتهم للقوى أو تفسيراتهم لها)، جرى في البداية قراءة أعمال المشاركين وإعادة قراءتها (ثلاث مرات في المجموع). وفي نهاية المطاف، تبيّن أنّ الإجابات يمكن تصنيفها إلى ثلاث فئات رئيسة:

أ- تمثيل صحيح (متوافق تمامًا مع المنظور النيوتني)؛

ب- تمثيل ناقص غير مكتمل و/ أو غير دقيق (على سبيل المثال: رموز غير واضحة بما فيه الكفاية، غياب إحدى القوتين، نقص بعض العناصر- إما نتيجة نسيانها أو إهمالها، سوء استخدام الحروف التي تدل على الأجسام)؛

ج- عدم وجود أي تمثيل أو تعبير كتابي على الإطلاق.

تركّزت البحوث في الغالب على حالات التلامس، مثل كتاب موضوع على طاولة [19]، [8]، [20]؛ بينما كانت الحالات التي تتضمن تفاعلات عن بُعد أقل شيوعًا نسبيًا، مثل التفاعل بين الأرض وكرة غولف تتحرك في الهواء [8]، [9]؛ أو بين الأرض وكرة تُسقط من ارتفاع [17].

وقد كشفت نتائج البحوث عن الصعوبات التالية في فهم قانون نيوتن الثالث:

1- يوجد خلط دائم بين حالات التلامس وحالات التأثير عن بُعد؛ مما يؤدي إلى لبس ليس فقط في التمييز بين هذين النوعين من القوى، بل أيضًا إلى صعوبات في تحديد نقاط تأثير هذه القوى.

2- يستخدم الطلبة في تفسيراتهم عبارة "رد الفعل" بمعناها العامي، أي بوصفها استجابة لحدث، بدلًا من معناها العلمي الذي يشير إلى قوة مساوية ومعاكسة تؤثر في الوقت ذاته.

3- توجد صعوبات في تحديد نقاط تأثير القوى بدقة؛ إذ لا يعير الطلبة هذا الجانب اهتمامًا كافيًا، أو يفشلون في تحديده بشكل صحيح.

4- يستخدم معظم الطلبة بشكل متكرر عبارة "قوة الجسم ..." في تفسيراتهم، مما يعزز استمرار التصور الخاطئ للقوة بوصفها "خاصية من خصائص الأجسام".

5- يُنظر إلى الفعل ورد الفعل على أنهما عملية زمنية متعاقبة (يحدث أحدهما بعد الآخر بفاصل زمني)، حيث يحدث الفعل أولًا ثم يتبعه رد الفعل، وهو تصور خاطئ؛ إذ إن القوتين تحدثان في آنٍ واحد. وقد يكون ذلك جزئيًا بسبب استمرار بعض الكتب المدرسية في استخدام مصطلحي "الفعل" و"رد الفعل" بدلًا من "التفاعل المتبادل". ويشير وارن (Warren) إلى أن هذين المصطلحين يوحيان بعلاقة زمنية سببية [22].

6- يميل بعض الطلبة إلى إدخال كيانات غير ذات صلة في تفسيراتهم، من خلال افتراض وجود مؤثرات إضافية غير معنية بالتفاعل المدروس.
7- يوجد ميل إلى حصر تطبيق قانون نيوتن الثالث في الحالات الساكنة فقط.
8- يوجد خلط بين قانون نيوتن الثالث وقانونه الثاني.
9- يستخدم الطلبة تفسيرات غير رسمية تخلو من مصطلح "القوة"، ويستبدلونه بكلمتي "الدفع" و"السحب".
10- يؤثر سياق المسألة بشكل كبير في تفكير الطلبة؛ فقد يقدمون إجابات منسجمة مع الرؤية العلمية في سياق معين، بينما تكون إجاباتهم في سياق آخر مخالفة أو مختلفة عن التفسير العلمي المقبول [13]، [18].

ومن المهم الإشارة إلى أن هذه الصعوبات ليست متنافية؛ إذ قد تنطبق أكثر من صعوبة على إجابة واحدة. ومن الناحية المنهجية، تجدر الإشارة إلى أن الصعوبتين 7 و9 - أي الميل إلى قصر صلاحية القانون الثالث على الحالات الساكنة، واستخدام تفسيرات غير رسمية دون ذكر مفهوم القوة - تعكسان صعوبات مفاهيمية لا يمكن استنتاجها مباشرة من خلال تحليل مخطط واحد، بل تظهر عند دراسة مجمل العينة.

4. النتائج

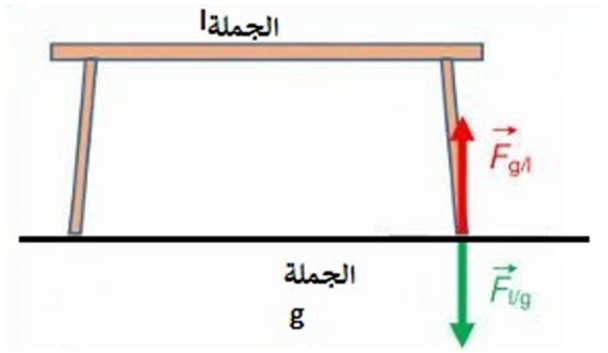
أسفر التحليل عن عدد كبير من الصعوبات لدى الطلبة، إضافة إلى تصنيفات متعددة للإجابات. وتُعرض النسب المئوية المرتبطة بكل حالة في الجدول أدناه. (وباعتبار عينة مكونة من 102 طالبًا، فإن عدد الإجابات يعطي تقديرًا تقريبيًا للنسب المئوية لكل فئة).

نوع الإجابة	n (الحالة 1)	n (الحالة 2)	n (الحالة 3)
إجابة صحيحة	8	11	7
إجابة ناقصة أو غير مكتملة	51	39	74
لا توجد إجابة	43	52	21
المجموع	102	102	102

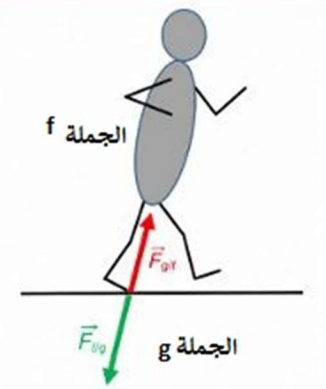
وقبل عرض الاتجاهات وأنماط التصورات الخاطئة بالتفصيل، من المهم التأكيد على أن النسب المئوية المقدمة لكل حالة تعكس البيانات المستخلصة من إجابات الطلبة، ولا تُمثّل بالضرورة المستوى الحقيقي لمعرفة المشاركين. فمن الممكن أن يكون عدد أكبر من الطلبة يحملون أحد هذه التصورات الخاطئة، لكن لم تظهر في الحالات المقترحة. في الواقع، كانت معظم الحالات مألوفة لدى الطلبة. وفي الحالات المعروضة في هذا البحث، يوجد جسم يكون - بدرجة أو بأخرى - أصغر أو أكبر كتلة أو أقوى، ويبدو عمومًا أكثر وضوحًا بوصفه العامل المسبِّب للتأثير مقارنةً بالجسم الآخر.

غالبًا ما يكون لدى الطلبة الذين اعتادوا على تصور القوة بوصفها خاصية مكتسبة للأجسام. ومن المتوقع، وفق هذا التصور، أن يجيب الطلبة بأن الجسم الأكثر كتلة أو وزنًا أو قوة يؤثر بقوة أكبر من الجسم الأقل كتلة أو وزنًا أو قوة، أو أن الجسم البطيء لا يؤثر بأي قوة على الإطلاق [10].

تتكوّن الصورة الأولى في هذه الدراسة من حالة ساكنة: إذ تُظهر طاولةً مستندةً إلى الأرض، ويُطلب من الطلبة تمثيل القوتين المتفاعلتين بين سطح الأرض وسطح أحد أرجل الطاولة عند النقطة A (نقطة التلامس بين سطح رجل الطاولة وسطح الأرض). أما الصورة الثانية، فتعرض رجلًا يمشي على الأرض، حيث طُلب من الطلبة التركيز فقط على تمثيل القوى المتبادلة بين قدم الرجل وسطح الأرض.



الصورة 1. تفاعل سطح أحد أرجل الطاولة مع سطح الأرض



الصورة 2. القوى المؤثرة على سطح الأرض وعلى القدم التي تمكّن الرجل من المشي.

لقد صُممت جميع هذه الأسئلة بهدف الحصول على تصور شامل حول مدى فهم الطلبة لقانون نيوتن الثالث. وربما لم يكن من المفاجئ أنه من بين 102 طالبًا، لم يتمكن سوى ثمانية طلاب فقط من تقديم إجابة صحيحة ودقيقة بشأن التفاعل بين رجل الطاولة والأرض.

وعلى الرغم من وضوح السؤال، فقد ذهب معظم المشاركين إلى تمثيل التفاعل بين مركزي الطاولة والأرض، بدلًا من تمثيل التفاعل المحدد بين رجل الطاولة ونقطة من سطح الأرض. ويُظهر ذلك بوضوح نزوع الطلبة إلى إدخال كيانات ليس لها علاقة البتة بالسؤال في أجوبتهم. ويمكن تفسير ذلك بأن الطلبة يواجهون صعوبات في تحديد القوى الصحيحة المتضمنة في حالة التفاعل، بل وفي تحديد الأجسام التي تؤثر فيها هذه القوى بدقة.

وبالمثل، في حالة المغناطيس وإبرة البوصلة، طُلب من الطلبة التركيز فقط على "التمثيل النوعي والواضح" للقوتين اللتين يؤثر بهما كل جسم في الآخر. ومن خلال دراستهم للفيزياء، يُفترض أن الطلبة قد أصبحوا بدرجة متفاوتة على دراية - إلى حدٍّ ما - بالقوى المغناطيسية والقوى الناتجة عن الدفع والسحب. وبالتالي، كان ينبغي ألا يطرح تمثيل القوى المتداخلة في هذا السؤال أية صعوبة تُذكر. ومع ذلك، لم يقدّم سوى 11 طالبًا تمثيلًا دقيقًا وواضحًا للقوى المتفاعلة في هذه الحالة، في حين قدّم أكثر من ثلث الطلبة إجابات مشوشة وغير واضحة وغير دقيقة، وأشار بعضهم إلى وجود قوة واحدة فقط تؤثر على الإبرة. أما ما يقارب نصف العينة، فلم يقدّموا أي تمثيل على الإطلاق.

تناولت المسألة الثالثة حالة شخصٍ يمشي حيث يعرض الشكل رجلًا يسير على الأرض، وطُلب من الطلبة رسم القوى المتبادلة، وفقًا لقانون نيوتن الثالث، بين قدم الرجل و(سطح) الأرض. ولم يتمكن سوى سبعة طلاب من تقديم تمثيل صحيح وكامل للقوى المتفاعلة. في المقابل، خلط 74 طالبًا بين التفاعلات التلامسية والتفاعلات البعدية (عن بُعد)، وبدا أنهم غير واضحين بشأن القوى المتداخلة في حالة بسيطة من الاحتكاك السكوني. أما بقية الطلبة، فلم يقدّموا أية إجابة تذكر.

في الواقع، كان الهدف من هذا السؤال هو حثّ الطلاب على إظهار مدى فهمهم لآلية أو(ميكانيكية) المشي، ومن ثم الكشف عن تصوراتهم والصعوبات التي يواجهونها. في الواقع، إن بناء الرسوم التخطيطية وصياغة الحجج التي تُمثّل التفاعلات بين قدم الإنسان والأرض ليس أمرًا بسيطًا، بل يتطلب قدرًا من الانتباه والتحليل المتعمق. ووفقًا لدراسات أجريت من قبل [3]، غالبًا ما يخلط الطلاب في تطبيق قوى الاحتكاك، إذ يعتقد معظمهم أن قوة الاحتكاك تكون دائمًا في

اتجاهٍ معاكس لحركة الجسم المعني. ولذلك، فإن عددًا قليلًا جدًا منهم يقبل فكرة أن قوة الاحتكاك يمكن أن تؤدي أيضًا دور قوة محركة أو دافعة (في اتجاه الحركة)، وليس مجرد قوة مقاومة تعارض الحركة. فعلى سبيل المثال، يؤثر الشخص أثناء المشي بقوة على الأرض في اتجاه خلفه، بينما تؤثر الأرض بقوة في اتجاه أمامي تمكّنه من الحركة.

إن فهم آلية المشي تمكّن الطلاب من التعامل مع حالات أكثر تعقيدًا بكثير، مثل التفاعلات بين الأرض والعجلة المحركة لدراجة نارية أو سيارة أثناء التسارع أو الكبح. وقد قُدِّمت تفسيرات صحيحة لكل حالة من الحالات الممثلة.

5. المناقشة

كان الهدف الرئيسي من هذه الدراسة هو تقديم وتقييم مدى فاعلية طريقة CNF في استكشاف التصورات الخاطئة لدى الطلاب في فيزياء القوى. وتعتمد هذه الطريقة على المصطلحات الأساسية والرموز الاصطلاحية المتداولة في الوسط المدرسي لتمثيل القوى. وقد استُخدمت طريقة CNF في هذا البحث ضمن سياق موضوع فيزيائي محدد، وهو التفاعلات المتبادلة، المعروفة تقليديًا باسم "قانون نيوتن الثالث".

ونرى أن فهم القوانين الفيزيائية يتضمن القدرة على تطبيقها في مواقف واقعية. وقد أظهرت هذه الطريقة قدرتها على تحديد ما إذا كان الطلاب قادرين بالفعل على تطبيق القوانين الفيزيائية المجردة على الظواهر الحقيقية أم لا. في الواقع، كانت جميع الحالات المقترحة مرتبطة بقانون نيوتن الثالث، ومع ذلك لم يتمكن سوى عدد قليل من الطلاب من تمثيل القوى المتبادلة بشكل صحيح في كل حالة. وقد يُعزى ذلك إلى الصعوبة في الربط بين عالم الفيزياء كما يُدرَّس في الصف وعالم الحياة اليومية خارج الفصل الدراسي.

وفي هذا السياق، يرى كاجاس (Cajas) أن ربط العلوم المدرسية بحياة الطلاب اليومية - بما في ذلك قدرتهم على توظيف المعرفة العلمية في مواقف واقعية بدلاً من الاكتفاء بحل مسائل نصية مصطنعة - يُعد مهمة صعبة ومعقدة [2].

استخدم العمل المنهجي الذي قام به مايو (Mayoh) وَكنوتون (Knutton) حول العلوم المدرسية وخبرات الطلاب خارج المدرسة الصورَ لطرح أسئلة على الطلاب والمعلمين بشأن مواقف ساكنة وديناميكية يمكن ملاحظتها [12]. ومع ذلك، وعلى الرغم من أن الصور تُعد عنصرًا محوريًا في طريقة CNF، فإن مجرد نظر الطلاب إلى الوضعية المعروضة في الصور من خلال "الرؤية العلمية"، وتمثيلها وفقًا للترميز الاصطلاحي المتعارف عليه (باستخدام الأشعة) أو لفظيًا (باستخدام التعابير)، يُجبرهم على الكشف عن تصورهم لكيفية التقاء الواقع بالمجرد.

وتكمن أهمية هذه الطريقة في أنها كشفت عن بعض التصورات الخاطئة والميول غير الموثقة سابقًا، ومن بينها:

- الاعتقاد الخاطئ بأن قانون نيوتن الثالث يصف تتابعًا زمنيًا للأحداث؛
- الميل إلى إدخال عناصر غير ذات صلة في التمثيلات؛
- استخدام مصطلح "رد الفعل" بمعناه المتداول في اللغة اليومية.

كما أكدت هذه الطريقة وجود بعض التصورات الخاطئة المعروفة، مثل تلك المرتبطة بالنزعة إلى قصر تطبيق قانون نيوتن الثالث على الحالات الساكنة فقط. إن ظهور تصورات خاطئة جديدة من خلال استخدام طريقة CNF قد يشير إلى امتلاكها إمكانات متميزة مقارنة بغيرها من طرائق الكشف عن التصورات الخاطئة.

ومع ذلك، ينبغي التنبيه إلى أن طريقة CNF لم تكشف عن جميع التصورات الخاطئة الموثقة في الأدبيات. وربما كان من الضروري اقتراح عدد أكبر من الوضعيات للكشف عن تصورات أخرى. ومن ثم يمكن استخلاص أن لهذه الطريقة مزايا خاصة، من أبرزها:

- بساطتها وطابعها العملي؛
- سهولة توظيفها من طرف المعلمين كجزء مدمج في عملية التدريس؛

- تمكينها الطلاب من ربط خبراتهم اليومية خارج الصف بتعلمهم الفيزيائي بطريقة أصيلة ومشوقة.

وكما ذُكر سابقًا، فقد كان الهدف من هذه الدراسة اختبار مدى فاعلية طريقة CNF. وقد أظهرت النتائج أن هذه الطريقة قادرة على إبراز ضعف الفهم العميق لدى الطلاب لقانون نيوتن الثالث. ووفقًا لهلينغمان (Hellingman) ليس الطلاب فقط، بل حتى الفيزيائيون المحترفون، ولحدٍّ كبير، لا يمتلكون فهمًا كاملًا لمفهوم القوة [7].

إضافةً إلى ذلك، كشفت طريقة CNF عن فئتين من الطلاب من حيث اللغة المستخدمة في الرسوم التخطيطية: الفئة الأولى تميزت بغياب شبه تام لاستخدام المصطلح الفيزيائي المجرد "قوة"، مع الاعتماد بدلًا من ذلك على لغة الحياة اليومية مثل "الدفع" و"السحب"؛ أما الفئة الثانية فقد استخدمت مصطلح "قوة". وينبغي أخذ هذه الفروق في المصطلحات والتعابير على محمل الجد.

فقد اعتبر فيغوتسكي (Vygotsky)، على سبيل المثال، اللغة الأساس في جميع الوظائف العقلية العليا [21]. وفي الواقع، استخدام المصطلحات العلمية يدل على أن الطلاب الذين بلغوا مستوى أعلى من التفكير والفهم يجدون من الطبيعي وصف العالم الواقعي باستخدام لغة فيزيائية دقيقة.

ونظرًا للدور الحاسم الذي تؤديه اللغة في نمو المفاهيم، فمن المهم أن يستخدم المعلّمون المصطلحات العلمية الرسمية، وأن يشجعوا الطلاب على استخدامها عند تفسير المواقف الواقعية المرتبطة بقانون نيوتن الثالث. إذ يؤدي ذلك إلى تفسيرات أكثر دقة، ومن ثم إلى فهم أفضل للقانون وإمكانية تطبيقه في الواقع.

وفي هذا السياق، تجدر الإشارة إلى أن الكتب المدرسية لا تزال، للأسف، تعتمد في كثير من الأحيان صياغة تقليدية قديمة لقانون نيوتن الثالث بصيغة "الفعل ورد الفعل" بدلًا من صياغته من حيث "القوى". وقد أشار كلٌّ من ماير (Mayer) وَغاليني (Gallini)، في مقالهما الشهير [11] إلى أن: "الأدوات والتقنيات التي تعزز التعلم البصري للمعلومات العلمية لدى الطلاب تمثل إمكانات كبيرة لا تزال غير مستثمرة بالقدر الكافي في تحسين عملية التعليم".

نأمل أن يشكل هذا العمل المتواضع إضافةً جديدة إلى مجال التربية العلمية، وأن يوفر وسيلة فعالة ومتاحة للمعلمين والباحثين من أجل تطوير التعليم عمومًا، وتعليم الفيزياء على وجه الخصوص.

المراجع

[1] Brown, D. E. Students' concept of force: the importance of understanding Newton's third law. *Physics Education*, **24**, 1989, 353–358.

[2] Cajas, F. Public understanding of science: using technology to enhance school science in everyday life. *International Journal of Science Education*, **21**, 1999, 765–773.

[3] Caldas, H. and Saltiel, E. Static friction: analysis of students' ways of reasoning. *Didaskalia Review*, **6**, 1995, 55–71.

[4] Galili, I. and Hazan, A. Learners' knowledge in optics: interpretation, structure and analysis. *International Journal of Science Education*, **22**, 2000, 57–88.

[5] Gauld, C. Solutions to the problem of impact in the 17th and 18th centuries and teaching Newton's third law today. *Science and Education*, **7**, 1998, 49–67.

[6] Gopal, H., Kleinsmidt, J., Case, J. and Musonge, P. An investigation of tertiary students' understanding of evaporation, condensation and vapor pressure. *International journal of Science Education*, **26**, 2004, 1597–1620.

[7] Hellingman, C. Newton's third law revisited. *Physics Education*, **27**, 1992, 112–115.

[8] Hestenes, D., Wells, M. and Swachamer, G. (1992) Force concept inventory. *The Physics Teacher*, **30**, 141–153.

[9] Kruger, C. J., Summers, M. K. and Palacio, D. J. An investigation of some English primary school teachers' understanding of the concepts force and gravity. *British Educational Research Journal*, **16**, 1990, 383–397.

[10] Maloney, D. P. Rule-governed approaches to physics – Newton's third law. *Physics Education*, **19**, 1984, 37–42.

[11] Mayer, R. E. and Gallini, J. K. When is an illustration worth ten thousand words? *Journal of Educational Psychology*, **82**, 1990, 715–726.

[12] Mayoh, H. and Knutton, S. Using out-of-school experience in science lessons: reality or rhetoric? *International Journal of Science Education*, **19**, 1997, 849–867.

[13] Montanero, M., Suero, M. I., Perez, A. L. and Pardo, P. J. Implicit theories of static interactions between two bodies. *Physics Education*, **37**, 2002, 318–323.

[14] Paivio, A. *Mental Representations: A Dual Coding Approach*. Oxford: Oxford University Press, 1986.

[15] Palmer, H. D. Investigating the relationship between students' multiple conceptions of action and reaction in cases of static equilibrium. *Research in Science and Technological Education*, **19**(2), 2001, 193–204.

[16] Pozzer, L. L. and Roth, W. M. Prevalance, function, and structure of photographs in high school biology, 2003.

[17] Suzuki, M. Social metaphorical mapping of the concept of force 'CHI-KA-RA' in Japanese. *International Journal of Science Education*, **27**, 2005, 1773–1804.

[18] Tao, P.-K. and Gunstone, R. F. The process of conceptual change in force and motion during computer-supported physics instruction. *Journal of Research in Science Teaching*, **36**, 1999, 859–882.

[19] Terry, C., Jones, G. and Hurford, W. (1985) Children's conceptual understanding of forces and equilibrium. *Physics Education*, **20**, 1985, 162–165.

[20] Trumper, R. and Gorsky, P. A cross-college age study about physics students' conceptions of force in pre-service training for high school teachers. *Physics Education*, **31**, 1996, 227–236.

[21] Vygotsky, L. S. *Thought and Language*. Newly revised, translated and edited by A. Kozulin. Cambridge, The MIT Press, 1934/1986.

[22] Warren, J. W. *Understanding Force*. John Murray, 1979.

[23] Yip, D. Y. Identification of misconceptions in novice biology teachers and remedial strategies for improving biology learning. *International Journal of Science Education*, **20**, 1998, 461–477.

رياضيات

إرهاصات حول تطور علم الاحتمالات والإحصاء الرياضي

الجزء الثاني: سنوات التنظير والتمنهج

عبد الوهاب بيبي

أستاذ بجامعة الشهيد العربي بن مهيدي، أم البواقي

abd.bibi@gmail.com

ملخص الجزء الأول

لعلك تذكر عزيزي القارئ ما تناولته في الجزء الأول من هذا المقال من المبادرات الرئيسية التي بادر بها العلماء الروس والتي كانت اللبنات الأساسية لعلم الإحصاء الرياضي. وهكذا بعد أن رأى هذا الأخير النور، سارع المنظرون لتنظيره ووضع الأساليب والمناهج الرياضية لتطبيقه والاستفادة منه في شتى مناحي الحياة. سأسرد في هذا الجزء الخطوط العريضة لتوطين علم الاحصاء كجزء من الرياضيات البحتة أو التطبيقية.

1. من ذكريات كرامر

يقول كرامر (Cramer) في كتيّبه لكامبريدج إن العرض التوضيحي الذي قدّمه عن عبقرية ليفي (Lévy)، جلب له بعض الدعوات لتقديم عروض أخرى في مختلف الأماكن، وقد اغتنم كرامر هذه الفرص لمقابلة بعض المؤلفين الذين تابع أعمالهم لاحقًا باهتمام كبير. ففي ربيع عام 1937، دُعي إلى باريس لإلقاء بعض المحاضرات في جامعة السوربون، وتعرّف حينها على بعض الاحتماليين الفرنسيين، منهم فريشيه (Fréchet) وَليفي وبعض أعضاء الجيل الصاعد أمثال ديفي (Dugué) وفورتي (Fortet) ولوف (Loève). وبدا حينها جليًا لكرامر أن ليفي كان رائدًا في تطوير علم الاحتمالات من خلال مؤلفه "نظرية إضافة المتغيرات العشوائية".

بعد ذلك بقليل، في عام 1937 نفسه، عُقد مؤتمر في جنيف حول الاحتمالات والإحصاء الرياضي، والتقى كرامر بعدد كبير من الشخصيات العلمية المشهورة آنذاك. وغاب عن هذا المؤتمر العلماء الروس الذين قبلوا الدعوة ولم يتمكنوا من التواجد (وهو ما يحدث غالبًا). جاء كرامر وفيلر (Feller) من ستوكهولم، وكان كرامر مهتمًا خاصة بلقاء نيمان (Neyman) الذي جاء لتقديم طريقته الجديدة للتقدير بمناطق الثقة. وفي منتصف محاضرته، تمت مقاطعته من قبل اثنين من الخصوم، فريشيه وليفي. ولما كان كرامر مترأسًا للجلسة، كان عليه تهدئتهم والسماح لنيمان بإنهاء عرضه. وكان كرامر قد قرأ مقالة نيمان البارعة في منشورات الجمعية الملكية، وكان لديه الاقتناع التام بأن أفكار نيمان كانت سليمة، معتقدًا أن خصومه الفرنسيين قد يتوصلون إلى النتيجة ذاتها فيما بعد.

يردف كرامر قائلًا: "قرب نهاية عام 1938، بعد أن دُعيت إلى لندن، استقبلني بعض أصدقائي القدامى، والتقيت للمرة الأولى مع فيشر (Fisher) وبيرسون (Pearson). كان نيمان وقتها في كاليفورنيا. لقد قدّمت عرضًا موجزًا لأعمالي في الاحتمالات، مع الحرص على تجنب أطروحات الاستدلال الإحصائي المثيرة للجدل". كان ذلك بعد وقت قصير من اتفاقيات ميونيخ، ومسألة السلام أو الحرب كانت راسخة في أذهان الجميع. وخلال صيف عام 1939، قبل شهر بقليل من بداية الحرب، كان هناك مؤتمر في جنيف، حول تطبيق الاحتمالات. كان فيشر حاضرًا، أتذكر، يقول كرامر إنني قلت له بضع كلمات من الإطراء على حدسه الهندسي في معالجة التوزيعات المتعددة الأبعاد، وقد تلقيت منه ردًا فيه ما يُقال إلى حد ما: "أنا أُتّهم أحيانًا بالحدس كجريمة ". قابلت خلال هذا المؤتمر ويلكس (Wilks) وبارتلات (Bartlett)، وكان لدينا ما يكفي من الوقت للعودة إلى السويد قبل مهاجمة النازيين لبولندا، وبدأت الحرب العالمية الثانية.

2. سنوات الحرب

خلال سنوات الحرب، كان علماء الاحتمالات والإحصاء الرياضي معزولين تمامًا. ففي السويد كانوا محاطين بالحرب حيث احتل النازيون الدنمارك والنرويج، وكانت فنلندا في حالة حرب مع روسيا. وفي ستوكهولم، حاول كرامر، ضمن مجموعته الصغيرة من علماء الاحتمالات، مواصلة العمل، لكن الوصول إلى المنشورات العالمية كان شبه مستحيل. وفي فرنسا ظلت المدرسة الفرنسية لحساب الاحتمالات نشطة للغاية، مع أعمال السادة بوريل (Borel) وَفريشيه وَليفي.

بعد عمله على أسس حساب الاحتمالات (التوابع المميزة، ومجموع المتغيرات العشوائية)، نشر ليفي مذكراته حول التكامل العشوائي والحركة البراونية، ومسائل مختلفة خارج نطاق الاحتمالات، مما حفز علماء الاحتمالات من الجيل الصاعد على دراسة، وبشكل أساسي، التوابع العشوائية الثابتة. في هذا الوقت طبق بيير (Beer) أسس الاحتمال على مسائل في الفيزياء النظرية. أشير أيضًا إلى أن دوبلان (Doblin)، وهو من أصل ألماني، ترك عملًا غير مكتمل بعد أن قُتل في بداية الحرب، إذ كان مقاتلًا في الجيش الفرنسي.

لم يتطور الإحصاء في فرنسا كما هو الحال في الدول الأنجلوساكسونية. الأعمال الرئيسية هي أعمال دارموا (Darmois) وفريشيه في الإحصاء النظري، وماليكوت (Malécot) في القياسات الحيوية. لا أتحدث هنا، بالطبع، عن العلوم الاكتوارية. في السنوات التي سبقت الحرب، كان الإحصائيون الأنجلوساكسونيون يعملون دون تواصل متبادل كافٍ، وكان من المفيد محاولة تجسير محاور أبحاثهم.

منذ عام 1938، كان كرامر قد أحرز تقدمًا في تأليف كتاب عن الأساليب الإحصائية الحديثة، استنادًا إلى النظرية الرياضية للاحتمالات، وأبدى ناشر ألماني اهتمامًا بنشر الكتاب، ولكن بسبب معاداة كرامر الشديدة للنازية، فإن المشروع لم يُنجَز. لكن بحلول عام 1942، عندما بدت نهاية الحرب بعيدة، استأنف كرامر هذا المشروع، وبدأ بتحرير كتاب باللغة الإنكليزية. وبحلول صيف عام 1945، أصبح المخطوط جاهزًا للطباعة بعنوان "الأساليب الرياضية للإحصاء"، متكونًا من ثلاثة أجزاء: مقدمة رياضية بحتة، ونظرية المتغيرات العشوائية وتوزيعاتها الاحتمالية، ثم تطبيقها على الاستدلال الإحصائي. لقي الكتاب انتقادًا لاذعًا من قبل الكثير من المؤلفين لعدم تضمينه نظرية كولموغوروف كاملةً في الجزء الاحتمالي من الكتاب، والاكتفاء بالتوزيعات في الفضاءات الأقليدية المحدودة (ربما لتسهيل القراءة).

من ناحية أخرى، فإن عدم تضمين الكتاب مناقشة وافية حول تقارب متتاليات المتغيرات العشوائية، والتطرق إلى السيرورات العشوائية كان موضع نقد أيضًا. في الجزء المخصص للاستدلال الإحصائي، حاول كرامر عرض عمل فيشر بشكل منهجي حول توزيع العينات والتقدير الإحصائي، وقدّم عروضًا توضيحية دقيقة لنتائجه، مُكملًا إياها في نقاط معينة. كما خصص كرامر فصلًا لمناطق الثقة لنيمان، محاولًا توضيحها للقارئ، دون الإصرار كثيرًا على الانحياز إلى نيمان في الجدل الدائر حول احتمالية فيشر الائتمانية. كما قدّم لمحة عامة عن نظرية نيمان-بيرسون، مدركًا لاحقًا أنه كان ينبغي تناول هذا الموضوع المهم بمزيد من التفصيل.

في الفترة التي تلت الحرب، تجلّت أهمية وجود منهجية إحصائية متطورة للتطبيقات الصناعية والعسكرية بشكل متزايد. وعمل علماء الرياضيات والإحصاء في الدول المتحاربة على إتقان هذه الأساليب وتطبيقاتها. عندما ظهرت بعض النتائج بعد الحرب، اتضح أن مشاكل التحكم في أنظمة الدفاع الجوي والرادارات كانت موضوعًا لأبحاث بالغة الأهمية، ووفرت حينها نظرية السيرورات العشوائية المستقرة أداةً فعّالة في هذا الصدد. وقد أنجز كلٌّ من كولموغوروف وفينر (Wiener) بشكل مستقل، أعمالًا مهمة في هذا المجال.

في مذكرتين قصيرتين، لكنهما بالغتا الأهمية، نُشرتا خلال الحرب، أشار كولموغوروف إلى إمكانية تطبيق نظرية فضاءات هيلبرت بنجاح في دراسة المتغيرات العشوائية والسيرورات العشوائية المستقرة. بعد الحرب بفترة وجيزة، طوّر عالم الرياضيات الفنلندي كارهونن (Karhunen) هذا العمل، وكان له تأثير عميق على تطوير نظرية وتطبيقات

السيرورات العشوائية المستقرة وغيرها. ومن الأعمال المهمة الأخرى في هذا الاتجاه أطروحة عام 1950 بعنوان "السيرورات العشوائية والاستدلال الإحصائي لغريناندر (Grenander) الذي كان آنذاك عضوًا في مجموعة كرامر في ستوكهولم.

أشار كرامر في مذكراته إلى أنه خلال زيارته لباريس في ربيع عام 1946، التقى ببعض أصدقائه القدامى، أمثال ليفي الذي نهب النازيون شقته وأحرقوا كتبه ومذكراته، لكنه كان قد بدأ بالفعل عملًا جديدًا في السيرورات العشوائية، والذي أسفر عن نتائج مهمة. يقول كرامر: "في إحدى محاضراتي في باريس، كان عليّ أن أتحدث عن التقدير الإحصائي، وكنتُ قد خططتُ لإلقاء بعض الكلمات حول مسألة فترات الثقة والاحتمالية الائتمانية المثيرة للجدل. كان من المزعج بعض الشيء بالنسبة لي معرفة أن فيشر كان في باريس ويحضر محاضرتي. كنتُ أتوقع بعض التعليقات غير المريحة، ولكن في نهاية محاضرتي، أخبرني أنه لا يجيد الفرنسية بما يكفي لفهم ما أقوله، وأنه يريد مقابلة خاصة. حدث هذا في نفس المساء وانتهى بشكل سعيد للغاية، مع أنني لم أُخفِ رأيي.

يضيف كرامر قائلًا: "في عام 1946، زرتُ الولايات المتحدة لأول مرة بمناسبة الذكرى المئوية الثانية لجامعة برينستون (Princeton) حيث التقيتُ ببعض أصدقائي القدامى، ويلكس، نيمان، فيلر، وآخرين، بالإضافة إلى عدد كبير من الأصدقاء الجدد. كان من دواعي سروري التعرف على دووب (Doob) الذي لطالما أعجبتُ بعمله في مجال السيرورات العشوائية. وبدعوة من كوكس (Cox) وهوتلينغ (Hotelling)، قمتُ بزيارة قصيرة إلى تشابل هيل (Chapel Hill) حيث كنتُ أعود إليها كثيرًا منذ ذلك الحين. في بيركلي (Berkeley)، حيث دُعيتُ لحضور ندوة صيفية، كان نيمان يُعدّ سلسلته الشهيرة من "ندوات بيركلي"، وقد اهتممتُ بشدة بأبحاثه، وكذلك بلقائي بمجموعة من زملائه الشباب في مختبر بيركلي للإحصاء، وجميعهم معروفون الآن بأعمالهم العلمية المتميزة".

يواصل كرامر: "في عام 1955، حضرتُ احتفال جامعة موسكو بالذكرى المئوية الثانية لتأسيسها، ممثلًا عن جامعة ستوكهولم. أتذكر ذلك الحدث الاستثنائي عندما ذهبنا في أول ليلة إلى أوبرا البولشوي (Bolschoi)، ورأينا الحكومة السوفيتية بأكملها مجتمعة على المنصة. شخصيًا، كانت تلك فرصة ثمينة للتعرف على علماء الرياضيات السوفييت الذين ساهموا بعملهم إسهامًا كبيرًا في تطوير نظرية الاحتمالات. للأسف، مرض خينتشين (Khintchine) وتوفي بعد ذلك بوقت قصير. لكنني التقيتُ كولموغوروف الذي أبهرني كشخصية علمية بارزة، والذي سعدتُ برؤيته عدة مرات بعد ذلك. التقيتُ أيضًا بدينكين (Dynkin) الذي كان حينها قد بدأ عمله على سيرورات ماركوف (Markov)، والذي يواصله الآن في الولايات المتحدة الأمريكية. التقيتُ لينيك (Linnik) الذي كان عمله ذا صلة وثيقة بعملي. التقيتُ أيضًا غنيدانكو (Gnedenko) الذي كتب بالاشتراك مع كولموغوروف عملًا مهمًا عن مسائل النهاية في الاحتمالات والعديد من الأعمال الأخرى. وكانوا يستعدون لإطلاق مجلة جديدة بعنوان "نظرية الاحتمالات وتطبيقاتها"، والتي أصبحت منذ ذلك الحين منشورًا دوليًا مهمًا".

يضيف كرامر: "في خمسينيات القرن الماضي، انغمستُ بشدة في العمل الإداري بالجامعة، واستغرق ذلك وقتًا طويلًا. بعد أن تمكنتُ من التخلي عن هذه المهام عام 1961، أجريتُ بعض الأبحاث حول السيرورات المستقرة، وحاولتُ تعميم بعض الأجزاء المهمة من النظرية على فئات أعم من السيرورات العشوائية. قضيتُ وقتًا طويلًا في السفر، وزرتُ الولايات المتحدة الأمريكية والاتحاد السوفيتي والهند وعددًا من الدول الأوروبية. وفي كل مكان، رأيتُ جهدًا مكثفًا في البحث في المجالات التي تحدثتُ عنها، مستكشفًا اتجاهات جديدة ومحملًا نتائج جديدة على مسائل قديمة. ولكن لم يعد بإمكان أي شخص متابعة وفهم أكثر من جزء صغير جدًا من العمل العظيم الجاري الآن".

الخلاصة

يُستشف مما سبق في الجزء الأول أن البوادر الأولى لظهور علم الاحتمالات والتي أسست فيما بعد لبروز علم الإحصاء بوصفه نتيجة حتمية، كان للعلماء الروس اليد الطولى، بالإضافة إلى العلماء الإسكندناف. فلم تثن سنوات الحرب عزائمهم وطموحاتهم، بل على العكس، فسنوات الحرب الأولى كانت بالفعل سنوات التأسيس لعلم أصبح في عصرنا من الركائز، بل قل الركيزة الأساسية للاقتصاد العالمي. فهو محرك سوق البورصة العالمي، ومنقذ الدول من أزمات التضخم، والمتحكم الفعلي في اقتصاداتها. إنه بحق رئة العالَم وقلبه النابض؛ فبدونه ما كانت لتنبؤات الأرصاد الجوية وجود، ولا للجودة رقيب، ولا لعلم الديموغرافيا توقع وتقدير.

رابط الجزء الأول من المقال https://www.ens-kouba.dz/magazine/pdf/n18/article18-1.pdf

المراجع

[1] Bernoulli, J., *Ars conjectandi* : *Opus posthumum* : accedit tractatus de seriebus infinitis, et Epistola Gallicè Scripta de ludo pilae reticularis, Impensis Thurnisiorum, fratrum in Basileae, 1713.

[2] Burton, D. M., *The History of Mathematics : An Introduction*, McGraw-Hill, New York, 2011.

[3] Cramer, H., *Probabilité mathématique et inférence statistique. Quelques souvenirs personnels sur une importante étape du progrès scientifique*, Revue de Statistique Appliquée, 31(3), (1983), 5-15.

[4] Fisher, R. A., *Uncertain Inference*. Proceedings of the American of Arts and Sciences, 71, (1936), 245-258.

[5] Fisher, R. A., *The Nature of Probability*. Unit Review, 2, (1958), 261-274.

[6] Kolmogorov, A. N., *From the Heritage of A. N. Kolmogorov*: *The Theory of Probability*, THEORY PROBAB. APPL. 48(2), (2004), 191–22.

[7] Kolmogorov, A. N. and Khintchine, A., *Foundations of the Theory of Probability*, Asymptotische Gesetze der Wahrscheinlichkeitsrechnung, 1952.

[8] Pearson K., *La grammaire de la science*, Journal de la société statistique de Paris, 53 (1912), 196-214.



حديث عن المنطق
الجزء الأول: ما هو المنطق؟

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

إلى الذكرى المثيرة والمُلهِمة للإمام تقي الدين أحمد بن تيمية رحمه الله

1. مقدمة

منذ فترة طويلة، وتحديدًا منذ ربيع العام 1999، تشكّل لدي انطباع قوي حول وجود إهمال قوي متعمد أو غير متعمد، للمنطق ليس في المدارس والجامعات الجزائرية فحسب، وإنما أيضًا في جل المؤسسات الأكاديمية، سواء كانت حكومية أو خاصة، في الوطن العربي الكبير. وما يثير الحزن في النفس، وأحيانًا السخرية، وجود اعتقاد منتشر لدى المهتمين بدراسة وتدريس الرياضيات في الجزائر مفاده أن دراسة هذه المادة الحيوية لا تحتاج إلى معرفة ولو ضئيلة للغاية بالمنطق، كما لو أن الرياضيات من طينة والمنطق من طينة أخرى. في حين يوجد جمهور معتبر من عتاة علماء المنطق الذين يتزعمهم راسل، ينظر إلى الرياضيات كجزء أصيل من المنطق. وبغض النظر عن توجهات فكرية كهذه، يجد الدارس لموضوعات الرياضيات أحكامًا بالصحة أو بالخطأ للمقولات الرياضية، التي تسمى صيغًا رياضية، الأمر الذي يعني وجود أنظمة حكم بالصواب من عدمه في الدراسات الرياضية. ومثل هذه الأنظمة هي ما يُطلق عليها اسم المنطق. وهكذا يستطيع العاقل أن يدرك أن الدراسات الجارية في الرياضيات، السليمة منها لا السقيمة، مستندة حتمًا إلى منطق ما.

ويستغرب المرء بشدة حديث البعض عن شأن ما في الرياضيات من دون امتلاك وعي حقيقي بمعنى الصواب والخطأ في هذا العلم. وربما قد يقال إن مفهومي الصواب والخطأ متعاليان عن الممارسات الجارية في الرياضيات، ومن ثمة لا يحتاجان إلى المنطق اللازم للتعرف عليهما، كما لو أن العقل البشري لديه قدرة فطرية لاكتشافهما. إن مثل هذا الشعور الطاغي على عقول البعض زائف تمامًا ولا صحة له، وإنما هو نتاج مباشر لطغيان منطق آخر على هذه العقول والمتمثل في المنطق الشخصي (Personal logic)، والذي يشكّل المنطق التجريبي العادي (Ordinary empirical logic) جزءه الأكبر. وسنتحدث عن هذا المنطق لاحقًا. إن المنطق المناسب للدراسات الرياضية هو المنطق الرياضي الكلاسيكي CML (Classical mathematical logic)، والذي سنتحدث عنه أيضًا لاحقًا.

وقد يتساءل البعض عن الفائدة المرجوة من استبدال منطق سهل، هو نتاج التربية الأسرية والمجتمعية والواقع المعاش، بمنطق رمزي مجرد صعب. في الحقيقة لا تُمثل عملية الاستبدال هذه ترفًا فكريًا، وإنما هي ضرورية لبناء الرياضيات مثلما أن غاز الأكسجين ضروري لحياة الكائنات الحية الهوائية. ولقد دافع هيلبرت بحماسة لا نظير لها في بداية القرن العشرين عن استخدام المنطق الرياضي الكلاسيكي في الدراسات الرياضية، ليس حبًا فيه، وإنما لأنه يعرف عن يقين تام أن عدم استخدامه يعني بكل بساطة فقدان الجزء الأهم والأجمل في الرياضيات، وهو الجزء الساحر المتعلق باللانهاية. وإذا أصر مدرّس رياضيات ما على استخدام منطقه الخاص الذي تعلّمه بالقرب من منزله في مهامه، فعليه بالمقابل أن يتخلى عن تدريس الأشياء الجميلة والساحرة في الرياضيات مثل الأعداد الحقيقية وتكامل لوبيغ وفضاءات لوبيغ، والسبب هو أن منطقه الشخصي لا يسمح له بإنشاء مثل هذه المفاهيم الرياضية، فهي في حكم العدم بالنسبة له.

وما يجهله البعض للأسف بسبب التحصيل الضعيف في الدراسات المنطقية هو أن منطقًا يُقر بمبدأ الثالث المرفوع (The principle of the excluded middle) وبخاصية الانفصال المنطقية (Logical disjunction property) في آن معًا، مثل أنواع المنطق التجريبية، يعجز حتمًا عن بناء الرياضيات المهمة المتعلقة باللانهاية. ويدرك علماء المنطق، وعلى رأسهم هيلبرت، ذلك. لذلك اختاروا الطريق الصائب الذي يوصلهم بأمان إلى البناء الأكثر كمالًا للرياضيات، وذلك بالاحتفاظ بمبدأ الثالث المرفوع والتخلي عن خاصية الانفصال.

وإهمال المنطق لدينا ليس جديدًا، بل يعود في الحقيقة إلى قرون طويلة مضت. ولقد اطلعت بصورة كاملة على كتاب شيخ الإسلام ابن تيمية رحمه الله، والذي عنوانه "الانتصار لأهل الأثر" [1]. لقد دافع الشيخ بحماسة منقطعة النظير وببلاغة قوية في هذا الكتاب عن العقيدة الإسلامية الصحيحة، وهي عقيدة السلف أو أيضًا عقيدة أهل السنة والجماعة. وذمّ المنطق، وهو يقصد بلا شك المنطق القياسي الأرسطي، كما ذمّ استخدامه من قِبل البعض في الدفاع عن هذه العقيدة. وبحثت كثيرًا في طيات كتاب الشيخ عن عرض ما لمنطق أرسطو، ولم أعثر عليه، الأمر الذي يرجح لدي فكرة أن الشيخ سمع عن هذا المنطق، ولم يطلع عليه مباشرة. وحاولت الحصول على عروض كاملة لهذا المنطق زعم البعض وجودها، ولم أقع لها على أثر. وقيل إن ابن سينا والغزالي والرازي رحمهم الله تناولوا بالدراسة منطق أرسطو، وقدّموا بدائل له. بيد أني فشلت أيضا في العثور على بديل واحد منها. وحتى دراسة الفيلسوف ابن رشد رحمه الله، والذي يعتبره الفلاسفة الغربيون الحافظ الأمين لفلسفة أرسطو، حول المنطق لم تتبين لي حقيقة وجودها أو مصيرها. من هنا قررت عرض المنطق القياسي الأرسطي بحذافيره في الجزء الثالث من هذا المقال، آملًا أن يتيح ذلك فائدة ما للبعض.

سنرى كيف أن منطق أرسطو هو في جوهره نظام استدلال جزئي من المنطق التجريبي العادي الوثيق الارتباط بالعالم الفيزيائي الذي نحيا فيه. وعلى هذا الأساس فهو غير صالح بالمرة لتقييم موضوعات العقيدة الإسلامية المتجاوزة لهذا العالم، بل هو غير صالح حتى للتقييم والحكم في إطار الرياضيات. من هنا نرى ذم الإمام ابن تيمية لاستخدام هذا المنطق في الدفاع عن العقيدة مشروعًا تمامًا. وأجهل كليًا إن كان الشيوخ الأجلاء من أمثال الأشعري والشهرستاني والرازي والآمدي والإيجي والتفتازاني وابن همام رحمهم الله جميعًا قد استخدموا هذا المنطق في الدفاع عن العقيدة الإسلامية في وجه خصومهم من فرق الكلام والفلاسفة. وعمومًا فإن دراسة مثل هذه المواضيع تخرج عن الهدف المحدد لهذا النص.

نعرض في هذا الجزء الأول أهم أنواع المنطق، والتي لها تأثير جمعي واضح.

2. المنطق

المنطق هو نظام عقلي للحكم والتقييم، هو نظام عقلي لإثبات صفات الحق والصدق والصِّحة والصواب من عدمها. ويُفهم من عبارة "نظام عقلي" هنا أن العقل البشري كآلة تفكير هو الممارس الفعلي لعمليات الحكم والتقييم أيًا كانت طبيعتها، وليس المقصود منها أن يتبنى هذا العقل نهجًا محددًا في التفكير دون غيره، كأن يتبنى على سبيل المثال نهج تفكير فلاسفة الإغريق القدامى، ويزدري بالمقابل كل نهج مغاير له، وهذا ما فعلته بعض فرق الكلام حين زعمت أنها تسعى إلى اختراع صياغة عقلية صلبة باللغة العربية للعقيدة الإسلامية، وسار عليه فلاسفة مسلمون مثل ابن رشد. وما يترتب على هذا التصريح هو أن عمليات الحكم والتقييم النابعة من الاعتقادات المختلفة، وإن كانت قديمة وتبدو غامضة في نظر البعض، هي في جوهرها ممارسات عقلية منطقية، وإنما تمت هذه العمليات على أسس منطق مختلف عن المنطق الاستنباطي (Deductive logic)، وهو المنطق الاعتقادي (Belief logic).

يتضمن أيّ منطق مجموعة محددة من قواعد الاستدلال، والتي يمكن صياغة كل واحدة منها على النحو الآتي:

$$\frac{P_1, \dots, P_n}{P}$$

حيث تسمى P_1، ...، P_n مقدّمات أو مُدْخلات، بينما تسمى P نتيجة أو مُخرجة.

وتحدد طبيعة قواعد الاستدلال المتبناة في منطق ما نوعه. ويُتوقع على هذا الأساس وجود عدد لا يحصى من أنواع المنطق. وسعيًا إلى فهم أفضل، نعرض فيما يلي بعضًا من أهم هذه الأنواع.

1.2. المنطق التجريبي العادي

هو أكثرها وضوحًا واستخدامًا في حياة الناس العادية. ويُستند في الحكم على صحة المقولات من عدمها في هذا المنطق على وصفها لوقائع معينة حدثت بالفعل في إطار الواقع الفيزيائي من حولنا، والذي ندعوه بالنموذج الفيزيائي $PhyM$ (Physical model). ويتضمن هذا المنطق قاعدة استدلال أساسية واحدة هي

$$\frac{PhyM \vDash P}{P}$$

مضافًا إليها بعض قواعد الاستقراء الهامشية. تعني الكتابة الرمزية المختصرة $PhyM \vDash P$ أن المقولة P، والتي تصف أحداثًا فيزيائية حقيقية، محققة بالمعنى الفيزيائي في النموذج الفيزيائي $PhyM$، وعلى هذا الأساس يقال إنها صحيحة (في إطار المنطق التجريبي العادي).

يسمى المنطق التجريبي العادي كذلك "الحدس" أو "البديهة" أو المنطق الحدسي البسيط أو المنطق البديهي البسيط، وهو يختلف كليًا بطبيعة الحال عن المنطق الحدسي، الذي سنتحدث عنه لاحقًا. يتبنى جميع البشر بلا استثناء المنطق التجريبي العادي، ويُنظر إلى كل من يخالفه بغير السوي عقليًا. ويبدو للناظر كما لو أن هذا المنطق يفرض نفسه فرضًا على العقل البشري. وقد انطلق أحد الفلاسفة، وهو إيمانويل كانت، من هذا التصور ليبني ما سمّاه بالحدس الخالص، وهو غير الحدس الفيزيائي الذي تحدثنا عنه. ويرى هذا الفيلسوف أن هذا الحدس ضروري لعمل العقل، وقد مهدت أفكاره لميلاد المنطق الحدسي فيما بعد.

في إطار المنطق التجريبي العادي، مبدأ الثالث المرفوع "المقولة P صحيحة أو نفيها المنطقي $\neg P$ صحيح"، والذي يصاغ غالبًا كما يلي: "المقولة P صحيحة أو خاطئة"، هو مبدأ منطقي صحيح وأساسي، ويعتمد عليه. ويتمتع هذا المنطق كذلك بما يسميه المنطقيون خاصية الانفصال، وهي الخاصية الموصوفة بالمقولة التالية: "المقولة P صحيحة أو المقولة Q صحيحة $\Leftrightarrow$ المقولة P أو Q صحيحة". هنا يمثل الرمز $\Leftrightarrow$ اختصارًا للعبارة العربية "إذا وإذا فقط". وكمثال، فعندما يقول أحدهم: "جاء زيد أو عمرو"، إنما يقصد تحديدًا أن أحد الرجلين قد جاء فعلًا. وقد بيّنا في مقال سابق كيف أن المنطق الرياضي الكلاسيكي لا يحقق خاصية الانفصال المشار إليها. وعلى هذا الأساس فهو يختلف عن المنطق التجريبي العادي.

تصاغ المقولات التي يتناولها المنطق التجريبي العادي غالبًا بواسطة إحدى اللغات البشرية المنطوقة مثل العربية والإنكليزية والفرنسية. ولا يُخشى أبدًا من الوقوع في ظاهرة التناقض الخطيرة، وهي الوصول أثناء خطوة ما من خطوات الاستدلال إلى مقولة من النوع: "المقولة P ونفيها المنطقي $\neg P$ صحيحتان"، في إطار هذا المنطق. والسبب هو أن علماء الطبيعة، وفي المقدمة منهم علماء الفيزياء والكيمياء والأحياء، يعتقدون جازمين أن الكون الذي نعيش فيه خالٍ من الحوادث الفيزيائية المتضادة.

تكمن واحدة من التحديات المطروحة في المنطق التجريبي العادي في التحقق الميداني من صحة المقولة $PhyM \vDash P$. ففي بعض الأحيان يصير صعبًا وربما مستحيلًا القيام بذلك. ونذكر على سبيل المثال أن الناس العاديين ليس بمقدورهم الحكم على صحة المقولة "بعض الأمراض تسببها كائنات حية لا تُرى بالعين المجردة" من عدمه، وأن إصدار مثل هذا الحكم يتطلب إمكانيات غير متوفرة لدى هؤلاء، إمكانيات أصبحت، كما يعلم الجميع، متاحة منذ مدة لعلماء الأحياء والأطباء. وما يراد قوله هو أن علماء الطبيعة طوروا إمكانياتهم الخاصة التي تسمح لهم بالحكم على مقولات يعجز الرجل العادي أخذ أي قرار حيالها، وبذلك نقلوا المنطق التجريبي العادي إلى مستوى متقدم جديد حيث تم اختراع اسم جديد هو المنطق التجريبي العلمي أو منطق علماء الطبيعة. وهذا ما سنتحدث عنه فيما يلي.

2.2. المنطق التجريبي العلمي

ليس باستطاعة الإنسان العادي أن يصدر، مستندًا إلى المنطق التجريبي العادي، حكمًا بالصحة من عدمه على المقولة "تطير مجرة درب التبانة عبر الفراغ الواسع بين المجرات بسرعة تقارب 600 كلم في الثانية"، والمؤهلون لإصدار مثل هذا الحكم هم علماء الفلك والكون. وتعتبر الجملة المعنية صحيحة استنادًا إلى كتابات بعضهم. والله أعلم.

طور علماء الطبيعة آليات للتحقق الميداني من صحة المقولات المتناولة من قبلهم ومن صياغة مقولات جديدة واصفة لأحداث طبيعية معروفة أو مستجدة. ويمكن حصر هذه الآليات في الملاحظة والتجربة العلميتين والحساب العلمي، وفي آليات نظرية تتمثل بالضبط في النظريات العلمية المطورة والمقبولة والمعتمدة من قبلهم. سنبدل ما أسميناه النموذج الفيزيائي $PhyM$ بعالم أوسع منه هو الكون الفيزيائي $PhyU$ (Physical universe). قاعدة الاستدلال الأولى في المنطق التجريبي العلمي هي

$$\text{(I)} \quad \frac{PhyU \vDash P}{P}$$

حيث تعني الكتابة الرمزية المختصرة $PhyU \vDash P$ أن المقولة P محققة فيزيائيًا في العالَم $PhyU$. توجد قواعد استدلال أخرى في هذا المنطق هي

$$\text{(II)} \quad \frac{Th \vdash P}{P}$$

حيث Th هي إحدى النظريات التي طورها علماء الطبيعة باتفاق بينهم. وتعني الكتابة الرمزية $Th \vdash P$ أن المقولة P صحيحة استنادًا إلى النظرية Th.

تسمى المقولات المتوصل إلى صحتها بالقاعدة (I) وحدها بالحقائق الطبيعية التجريبية المحتاجة إلى التفسير النظري. بينما تسمى المقولات المتوصل إلى صحتها بواسطة القواعد (II) وحدها بالتخمينات النظرية المحتاجة إلى إثبات تجريبي. في الأخير تسمى المقولات المتوصل إليها بواسطة قواعد الاستدلال

$$\frac{PhyU \vDash P, Th \vdash P}{P}$$

بالحقائق الطبيعية أو بالحقائق في العلوم الطبيعية.

في بعض الأحيان نحصل على $PhyU \vDash P$ وَ $Th \vdash Q$، حيث تكون المقولتان P وَ Q غير متوافقتين، وربما تنتج عنهما تفسيرات ومدلولات فيزيائية متضاربة. في هذه الحالة يعاد التحقق من صحة المقولة $PhyU \vDash P$ ميدانيًا. فإذا تم ذلك بلا نتائج جديدة، يعاد النظر في النظرية الفيزيائية Th. وكمثال على ذلك عندما عجزت الميكانيكا الكلاسيكية عن تفسير نتيجة تجربة ميكلسون وَمورلي الشهيرة، قام آينشتاين لهذا السبب ولأسباب أخرى بتعديلها في العام 1905، مقدّمًا بذلك نظرية فيزيائية محوّرة وجديدة، هي نظرية النسبية الخاصة. وفي العام 1915 قام بتوسيع وتعميق هذه النظرية مقدّمًا بذلك بديلًا لها أكثر عمومية هو نظرية النسبية العامة، والتي تعطي تفسيرًا جديدًا وثوريًا لمفهوم الجاذبية كانحناء لما سماه آينشتاين الزمكان (الزمن + المكان).

ولقد توجس في البداية فيزيائيون كثر من هذه النظرية. بيد أن هذا التوجس سرعان ما خفت عندما أكد عالم الفلك إدينغتون في العام 1919 ظاهرة انحراف ضوء بعض النجوم عند مروره بالقرب من الشمس، معطيًا بذلك دليلا تجريبيًا على أن الجاذبية لا تؤثر في الكتل وحدها، وإنما أيضا في الضوء، وهي بالمناسبة نتيجة متوقعة تمامًا في إطار النسبية العامة. ولقد جعل هذا الاكتشاف آينشتاين مشهورًا عالميًا، ورسخ مكانته كفيزيائي استثنائي بين نظرائه. وحتى وقت قريب كان بعض المنظرين الفيزيائيين يحلمون بإجراء تغيير ما على النسبية العامة، وقد تزودوا برياضيات فائقة التطور مثل التوبولوجيا الكمومية لأجل إنجاز هذه المهمة. بيد أن الاكتشاف التجريبي للموجات الثقالية في العام 2015، وهي ظاهرة

فلكية تنبأت بها النسبية العامة في العام 1915، جعل عبورهم عبر هدم جزء ولو يسير من نظرية آينشتاين إلى نظرية جديدة مستحيلًا في الوقت الراهن.

3.2. المنطق الرياضي

هو أكثر أنواع المنطق الفلسفي حضورًا وشهرة. ولقد تحدثنا بإيجاز في مقال سابق عن أشهر أنواعه المسمى بالمنطق الرياضي الكلاسيكي، وقدّمنا له نظامًا للبرهان في إطار أنظمة البرهان الهيلبرتية المشار إليها اختصارًا بالرمز HK. المقولات التي يُعنى بها المنطق الرياضي هي الصيغ الرياضية، وهي كلمات مكتوبة باستخدام أبجديات اللغات الرياضية الرمزية. وتحتوي هذه الأبجديات جميعا على رموز الروابط المنطقية ¬، ∧، ∨، ⇒، ⇔، وعلى رمزي المكممين الوجودي والعمومي ∃، ∀.

يتبنى المنطق الرياضي الكلاسيكي مبدأ الثالث المرفوع "الصيغة الرياضية $P \vee \neg P$ صحيحة" ومبدأ النفي المضاعف "الصيغة الرياضية $P \Leftrightarrow \neg\neg P$ صحيحة"، ولا يتمتع، كما يجهل الكثير، بخاصية الانفصال، وإنما يتمتع بالخاصية الأضعف منها: الصيغة P صحيحة أو الصيغة Q صحيحة ⇐ الصيغة $P \vee Q$ صحيحة. وقد بدأ دي مورغان وبول وبيرس وفريجه تأسيس هذا المنطق في القرن التاسع عشر.

المنطق الرياضي الحدسي IML (Intuitionistic mathematical logic)، وهو منطق إنشائي (Constructive logic)، يأتي من حيث الشهرة والأهمية في الرياضيات في المرتبة الثانية بعد المنطق الرياضي الكلاسيكي. أسس هذا المنطق بروير وتلاميذه في بداية القرن العشرين. وقد استند هؤلاء في عملية التأسيس إلى مقولات كرونيكر، والذي يعتبر على نطاق واسع الأب الأول للفكر الرياضي الحدسي. ويُعتقد أن هذا الأخير استلهم مقولاته حول الرياضيات من أطروحات الفيلسوف كانت حول ما يسمى بالحدس الخالص.

لا يتبنى المنطق الرياضي الحدسي مبدأ الثالث المرفوع والنفي المضاعف، ويتمتع، على خلاف المنطق الرياضي الكلاسيكي، بخاصية الانفصال: الصيغة P صحيحة أو الصيغة Q صحيحة ⇔ الصيغة $P \vee Q$ صحيحة.

في العام 1934 نشر كل من جنتزن [6] وجاسكوفسكي [8] مقالين رائدين حول نُظم البرهان التتابعية (Sequent proof systems)، وهي أنظمة استدلالية غاية في الجدة والحداثة، وشكّل ظهورها قفزة نوعية غير متوقعة، وبذلك اعتبرت حدثًا مهمًا في تاريخ نظرية البرهان الرياضية. سمّى جنتزن هذه الأنظمة باسم "نظم الاستنباط غير المسلماتية" (Non-axiomatic deductive systems)، بينما سمّاها منافسه جاسكوفسكي باسم "الأنظمة المركبة" (Composite systems)، وهذا لتمييزها عن الأنظمة الأكثر تقليدية، وهي أنظمة البرهان الهيلبرتية. وفي خضم نشاطهما المبدع قدّم هذان المنطقيان أنظمة برهان خاصة، سمّياها أنظمة الاستنتاج الطبيعي (Natural deduction systems)، واعتبراها الأنظمة الاستدلالية الأكثر طبيعية والأكثر مناسبة وفائدة للعمل الفكري في الرياضيات والفلسفة، وحتى للخطابات السياسية العامة.

يُرمز في كتب المنطق الرياضي إلى أنظمة البرهان التتابعية وأنظمة الاستنتاج الطبيعي الخاصة بالمنطق CML بالرمزين LK وَNK على التوالي، وإلى نظيرتها الخاصة بالمنطق IML بالرمزين LJ وَNJ على التوالي.

نقدّم فيما يلي نظام استنتاج طبيعي للمنطق الرياضي الأصغري (Minimal mathematical logic)، والذي عرضه لأول مرة جنتزن في مقاله [7]:

$$\frac{P,Q}{P \wedge Q}, \frac{P \wedge Q}{P}, \frac{P \wedge Q}{Q}, \frac{P}{P \vee Q}, \frac{Q}{P \vee Q}, \frac{P \vee Q, \frac{P}{R}, \frac{Q}{R}}{R}, \frac{\frac{P}{Q}}{P \Rightarrow Q}, \frac{P, P \Rightarrow Q}{Q},$$
$$\frac{\frac{P}{F}}{\neg P}, \frac{P, \neg P}{F}, \frac{P}{(\forall x)P}, \frac{P[x \leftarrow y]}{(\exists x)P}, \frac{(\exists x)P, \frac{P[x \leftarrow y]}{Q}}{Q}$$

حيث F ثابت قضَوي (Propositional constant)، يدعى "الخطأ"، وَ$P[x \leftarrow y]$ هي الصيغة الرياضية الناتجة عن P بتعويض المتغير الفردي x بالمتغير الفردي y. إذا أضفنا إلى مجموعة قواعد الاستنباط السابقة القاعدة

$$\frac{F}{P}$$

نحصل على نظام استنتاج طبيعي للمنطق IML. وإذا أضفنا مرة أخرى القاعدة

$$\frac{\neg\neg P}{P}$$

نحصل على آخر للمنطق CML.

هناك نوع من أنواع المنطق الرياضي تتزايد دراسته وأهميته مع مرور الوقت منذ العام 1918، وهو ما سأطلق عليه هنا اسم "المنطق الرياضي المَوْضي" أو أيضا "المنطق الرياضي النمطي" (Modal mathematical logic). يُعنى هذا المنطق بالصيغ الرياضية المكتوبة بواسطة أبجديات رياضية رمزية حاوية على رابط منطقي جديد $\Box$، يدعى مؤثرا نمطيًا (Modal operator). يؤول معنى هذا الرابط من حالة إلى أخرى، وذلك حسب الحاجة والذوق. واعتمادًا عليه يُعرَّف رابط منطقي جديد $\Diamond$ كالآتي:

$$\Diamond P := \neg \Box \neg P$$

حيث P صيغة رياضية. قاعدتا الاستدلال الجديدتان الخاصتان بالمنطق الرياضي النمطي هما القاعدة

$$\overline{\Box (P \Rightarrow Q) \Rightarrow (\Box P \Rightarrow \Box Q)}$$

وقاعدة الضرورة (Rule of necessitation)

$$\text{RN:}\frac{P}{\Box P}$$

4.2. المنطق الفلسفي

يُمثل المنطق الفلسفي توسيعًا معتبرًا للمنطق الرياضي، وذلك على صعيد الروابط المنطقية ومعانيها، وعلى صعيد اللغات المستخدمة في صياغة المقولات المعنى بها. يُمثل المنطق الفلسفي الكلاسيكي المنطق الفلسفي الأهم على الإطلاق في الفكر البشري بسبب كونه منطقًا خالصًا، أي لا يتعلق بالذات الممارسة لعملية التفكير، ومجسدًا لممارسات مدرسة أفلاطون الفلسفية القديمة. وقد وسمه بيرناييز [4] لأسباب وجيهة بسمة "الكلاسيكية" أو "الأفلاطونية"؛ فالفيلسوف الكلاسيكي المعتنق لهذا المنطق هو باحث عن الحقيقة ومكتشف لها مثلما هو عالم الفلك باحث عن الأجرام الفلكية ومكتشف لها. ويفرض هذا السلوك الفكري على العقل أن يتقيد بحكاية الوجود المنفصل والمسبق لمختلف المفاهيم المعنى بها، ويجعله بذلك يقترب من مبدأ أفلاطون الشهير حول المثل والصور العقلية المتجاوزة والمنفصلة عن العالم الفيزيائي. من هنا نفهم سر وصف بيرناييز للمنطق الكلاسيكي بأنه أفلاطوني الهوى. وفي الحقيقة أهم ما يميز هذا المنطق هو ذاك المعنى المحدد الذي منحه للوجود، والذي يرفضه الفلاسفة الإنشائيون جملة وتفصيلا، وقد تحدثنا في مقال سابق عن هذا المعنى. ويمكن القول إجمالًا إن المفهوم الكلاسيكي حول الوجود يتسم بخاصية الاكتشاف لا الإنشاء للمفاهيم العقلية الموصوفة بواسطة المقولات الفلسفية. وهو ما قد يكون قصده أفلاطون حينما وضع مبدأه المشار إليه آنفًا.

يحتفظ المنطق الفلسفي الكلاسيكي بالروابط المنطقية المعهودة للمنطق الكلاسيكي الرياضي وبمعانيها كما هي دون تغيير. وعلى هذا الأساس يتوقع المرء أن يتبنى هذا المنطق مبدآ الثالث المرفوع والنفي المضاعف، وألا يتمتع بخاصية الانفصال.

المنطق الفلسفي الحدسي هو النظير الفلسفي للمنطق الحدسي الرياضي. يتبنى هذا المنطق الإنشائي المنبثق عن أفكار كانت حول الحدس الخالص المعاني التي أعلنها وحددها الثلاثي بروير وَهيتينغ وَكولموغوروف في مطلع عقد الثلاثينيات

من القرن الماضي للروابط المنطقية وللوجود. وبالمجمل يؤكد أصحاب هذا المنطق أن هناك مفاهيم، سموها حدسًا خالصًا، ضرورية لعمل العقل. ومنها ينطلق هذا العقل في إنشاء، لا اكتشاف، مفاهيم معقدة جديدة. وتلخص جيدًا هذا التوجه الفكري الإنشائي مقولة كرونيكر الشهيرة: "أعطانا الله الأعداد الطبيعية، وكل ما عدا ذلك فهو من صنع الإنسان".

في تعليقه على الجزء الأول من كتاب "الأصول" لأقليدس والمكتوب في حوالي العام 450 م فرّق بروكلوس [9] على نحو جوهري بين الفكرين الكلاسيكي والإنشائي حينما عرض القول الصادر عن سيبوسيبوس وأتباعه في العام 350 ق.م "جميع مسائل الإنشاء هي مبرهنات" والقول الصادر عن منافسيهم في الوقت ذاته، وهم مينايخموس وجماعته "جميع المبرهنات هي مسائل إنشاء". وليس صعبًا على المرء أن يدرك من هم الكلاسيكيون ومن هم الإنشائيون هنا.

في بداية القرن الماضي لاحظ بيرنايز [4] الفرق الرئيس بين صياغة أقليدس لمسلّمات الهندسة وبين نظيرتها الحديثة التي قدّمها هيلبرت. فبينما تحدّث الأول عن أشكال هندسية يمكن إنشاؤها بالمسطرة والمدور، صاغ الثاني مسلّماته حول وجود هذه الأشكال منذ البداية بانفصال تام عن العقل الممارس للتفكير. وفي الحقيقة لا يتبنى المنطق الهندسي لأقليدس معنى الوجود المتضمن في المنطق الرياضي الكلاسيكي المدعوم بقوة من قبل هيلبرت، وإنما يتبنى حرفيًا المعنى الحدسي الحديث للوجود. وكدليل على ذلك نعرف أن مسألة تربيع الدائرة الشهيرة المقترحة منذ زمن الإغريق القدامى لا تقبل حلًا إنشائيًا بالمسطرة والمدور. ويعود سبب هذه الاستحالة تحديدًا إلى ما اكتشفه ليندمان عن حقيقة كون العدد π هو عدد متسامٍ، بمعنى أنه لا يُمثل جذرًا لأية معادلة جبرية بمعاملات كسرية. من ناحية أخرى تقبل المسألة الآنفة الذكر حلًا سهلًا في جميع النماذج المعيارية للهندسة الأقليدية، وهي المستويات التآلفية الأقليدية. ولا ينبغي أن يدعونا هذا الأمر إلى الاستغراب، ذلك لأن المنطق المتبنى في بناء الهندسة التآلفية هو المنطق الرياضي الكلاسيكي لا المنطق الرياضي الحدسي.

إن أنواع المنطق الفلسفي المحض، مثل المنطق الرياضي الكلاسيكي، ليس بمقدورها تناول مختلف الرؤى الاعتقادية والمعرفية والأخلاقية والقانونية والواجبية للبشر. وقد قال فريجه [5]: "إن مفهومي الضرورة والإمكانية ينتميان إلى نظرية المعرفة، ويتضمنان إشارة خفية إلى المعرفة الإنسانية التي لا مكان لها في المنطق المحض". بيد أن المنطق الفلسفي النمطي المطور منذ العام 1918 يتمتع بنكهة فلسفية خاصة، وذلك لقدرته على تناول تركيبات لغوية غير قابلة للمعالجة من قبل المنطق الفلسفي الخالص من قبيل: "فلان يعتقد أن ..."، "الأشخاص الفُلاَّن يعرفون أن ..."، "من الواجب أن ..."، "من الأخلاق أن ..."، "من القانوني أن ..."، "من العُرْف أن ..."، "من الضروري أن ..."، إلى آخر ذلك. لنتذكر أن الاعتقادات والأخلاق والقانون والمعرفة الشخصية لا يمكن أن تكون بأي حال من الأحوال خالصة، فما يراه أناس أخلاقيًا قد يكون لا أخلاقيًا عند آخرين. وربما لو نطقت الشاة، لقالت لمن يريد ذبحها: "إن ذبحك لي غير أخلاقي". وهذا لا يلغي أبدًا أهمية المنطق الفلسفي النمطي، بل على العكس، فهو يساعد كثيرًا في تطوير منظومات أخلاقية وقانونية انطلاقًا من مسلّماتها الأساسية، والتي تختلف من حال إلى آخر.

إن المفارقة التالية التي اقترحها هينتيكا: "إذا كان السلوك أ غير أخلاقي، وإذا استحال القيام بالسلوك ب دون القيام بالسلوك أ، فهذا يعني أن السلوك ب غير أخلاقي. إذا كان السلوك أ غير أخلاقي، وإذا كان القيام بالسلوك ب مستحيلًا، فهذا يعني أن القيام بالسلوك ب دون القيام بالسلوك أ مستحيل أيضًا. وعليه فإن ب سلوك غير أخلاقي" تتجاوز إمكانيات أي منطق فلسفي خالص. بيد أنها تمثل من ناحية أخرى استنباطًا صحيحًا في إطار المنطق الفلسفي الكلاسيكي النمطي المعتمد على اللغة العربية. وينتج هذا الأخير بإضافة المؤثر النمطي "من الأخلاق أن ..." إلى المنطق الفلسفي الكلاسيكي. ولا ضرر هنا في وصف السلوك البشري المستحيل بغير الأخلاقي، لأنه بكل بساطة ما من وقوع حقيقي له، فهو في حكم العدم.

5.2. المنطق الاعتقادي

هو أحد أشهر أنواع المنطق النمطي، حيث يقابل المؤثر النمطي الخاص به، والذي يرمز له عادة بالرمز □، بالجمل العربية: "فلان يعتقد أن ..."، "الجماعة الفلانية تعتقد أن ..."، "الشعب الفلاني يعتقد أن ..."، "الأمة الفلانية تعتقد أن ..."، إلى غير ذلك. ويُستخلص بوضوح من الدراسات التاريخية والأنثروبولوجية أن وجود هذا المنطق على مسرح التاريخ قديم قدم الوجود البشري ذاته. ويفسر بعض علماء الإسلام ذلك بالقول إن جميع المعتقدات البشرية بخلاف العقيدة الإسلامية هي تشويهات لعقائد دينية صحيحة سابقة. ويقدّمون كدليل على طرحهم حقيقة أن الله خلق آدم عليه السلام، ومنحه عقيدة التوحيد الأولى، وهي التي توارثها أبناؤه فيما بعد، ولحقت بها تشويهات متعددة بعد مرور أحقاب زمنية معينة. بينما يرى المفكرون الغربيون أن حاجة البشر إلى التدين نابعة كليا من شعورهم بالخوف. ويعتبرون هذه الحاجة هي علة وجود المعتقدات البشرية الشديدة التنوع والملحوظة هنا وهناك.

وفي القديم تعالى الإغريق على المنطق الاعتقادي المحض وعلى ما نجم عنه من معتقدات. واعتبروا السلوك الاعتقادي سلوكًا شرقيًا محضًا، بمعنى أنه من تراث الشرق لا الغرب. ويقصدون بالشرق كل ما هو واقع جنوبي البحر الأبيض المتوسط، بينما يعتبرون أنفسهم ممثلين للغرب. وتحتفظ الحضارة الغربية الحديثة بهذا التعالي حتى عصرنا الحالي. بيد أن تشعب وتوسع الدراسات المنطقية في بداية القرن الماضي جعل المنطق القياسي الأرسطي المعتد به قديمًا والمنطق الفلسفي الكلاسيكي الحديث الذي خلفه في نهاية القرن التاسع عشر خيارين منطقيين باهتين جدًا ضمن حزمة ثرية وغنية للغاية من الخيارات المنطقية المتنوعة. ولعل المنطق الاعتقادي الذي أعيد الاهتمام به هو أحد هذه الخيارات المنطقية الجديرة بالاحترام.

مراجع

[1] ابن تيمية، الانتصار لأهل الأثر (المطبوع باسم: نقض المنطق)، دار علم الفوائد للنشر والتوزيع.

[2] ناجي هرماس، الرياضيات التعليمية: ما هي الرياضيات التي تُدرَّس؟ الجزء الثاني: مبادئ المنطق الرياضي الكلاسيكي، المدرسة العليا للأساتذة، القبة، العدد 16، أكتوبر 2025.

[3] ناجي هرماس، الرياضيات التعليمية: ما هي الرياضيات التي تُدرَّس؟ الجزء الثالث: الحقيقة في المنطق الرياضي الكلاسيكي واتساق النظرية ZF، المدرسة العليا للأساتذة، القبة، العدد 17، جانفي 2026.

[4] P. Bernays, *Abhandlungen zur philosophie der mathematik*, Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt, 1976.

[5] G. Frege, *Begriffsschrift*, Halle, 1879.

[6] G. Gentzen, *Untersuchungen über das Logische Schliessen*, Mathematische Zeitschrift 39: 176–210, 405–431, 1934.

[7] G. Gentzen, *Untersuchungen über das logische Schließen*, Mathematische Zeitschrift, 39:176–210, 1935.

[8] S. Jaśkowski, *On the rules of suppositions in formal logic*, Studia logica 1: 5–32, 1934.

[9] Proclus de Lycie, *Les commentaires sur le premier livre des éléments d'Euclide*: Traduits par Paul Ver Eecke, 1948.

حول معيار كوشي: إتمام مجموعة الأعداد الناطقة

زهية مصطفاوي[1]، لينة سلمون[2]، بشرى فحام[2]، حنان نقاز[2]

[1]أستاذة بقسم الرياضيات، المدرسة العليا للأساتذة، القبة

[2]طالبة متخرجة بقسم الرياضيات، المدرسة العليا للأساتذة، القبة

zahia.mostefaoui@g.ens-kouba

هذا المقال هو ترجمة من الفرنسية إلى العربية لجزء من مقال صدر عام 1984 عنوانه "تاريخ الفضاءات التامة" لبيير دوغاك.[1]

يبدو أنّه في القرن الخامس قبل الميلاد اكتشف فيثاغوريٌّ مجهول أن العدد $\sqrt{2}$ غير ناطق. ومن هنا بدأت المسيرة الطويلة لإتمام مجموعة الأعداد الناطقة، وهي المسيرة التي ارتبطت بأسماء عدد من كبار الرياضيين، من بينهم: أويلر، وبولزانو، وكوشي، وميراي، وهاين، وكانتور، وديدكيند، الذين أسهموا بطرائق مختلفة في بناء مجموعة الأعداد الحقيقية انطلاقًا من الأعداد الناطقة، سواء عبر المتتاليات، أو المقاطع، أو مفاهيم النهاية.

1. ظهور معيار كوشي

إنّ معيار كوشي، الذي سيؤدي إلى مفهوم الفضاء التام، هو المبرهنة المركزية (الأساسية) التي يقوم عليها كل التحليل الكلاسيكي. نذكّر بالصيغة الحالية المتعلقة بالمتتاليات العقدية لمعيار كوشي:

لكي تكون للمتتالية العقدية $(u_n)_n$ نهاية، يلزم ويكفي أن يكون من أجل كل $\varepsilon > 0$ يوجد عدد طبيعي N حيث من أجل كل n, m حيث $n, m \geq N$ يكون لدينا $|u_n - u_m| < \varepsilon$.

نقدّم أولا بعض الملاحظات حول الرموز المستخدمة في هذا التعريف، والتي تُظهر المسار الطويل الذي سلكه للوصول إلى هنا.

علامات الترجيح وردت في كتاب *Artis analyticae praxis* لتوماس هاريوت، الذي نُشر عام 1631، حيث قدّم هذا المؤلف علامات المقارنة المستخدمة للمتتاليات. أما الكتابة $(u_n)_n$ فقد ظهرت أولًا عند لاغرانج عام 1759 على الشكل y^m حيث يمثل الأس في y موقعها في ترتيب حدود المتتالية. قبل أن تُثبّت في شكلها الحالي عام 1800 في كتاب *Traité des différences et des séries* للاكروا. وبالنسبة لترميز القيمة المطلقة، فقد أدخله فايرشتراس، وعُثر على أول أثر له في مذكرة نُشرت عام 1877 بمناسبة عرضه نظريته التوابع التحليلية المنتظمة.

في القرن الرابع عشر بدأ الرياضيون في الاهتمام بالسلاسل غير المنتهية، مما أدى إلى البحث عن معايير التقارب المتعلقة بحدود السلسلة، وإلى وضع مفهوم النهاية، ونلاحظ أن صعوبة إثبات معيار كوشي تنبع من أنه يجب استنتاج وجود النهاية، دون معرفتها صراحة. يتطلب الإثبات بناء النهاية انطلاقًا من المتتالية المعنية. هذا الإثبات يفترض مسبقًا بناء مجموعة الأعداد الحقيقية، وهي إحدى المحطات الأساسية للتحليل الكلاسيكي، والتي تم إنجازها في الستينات والسبعينات من القرن التاسع عشر.

[1] P. Dugac, Histoire des espaces complets, Revue d'histoire des sciences, tome 37, n°1, 1984. pp. 3-28.

نلاحظ أن نيكول أورسم كان قد أثبت في القرن الرابع عشر أن السلسلة ذات الحد العام $\frac{1}{n}$، وهي السلسلة التوافقية، متباعدة. قام بتجميع حدود السلسلة التوافقية في مجموعات، مجموع كل مجموعة منها أكبر من أو يساوي $\frac{1}{2}$.

$$1, \frac{1}{2},$$
$$\frac{1}{3}+\frac{1}{4} > 2\,\frac{1}{4} = \frac{1}{2},$$
$$\frac{1}{5}+\frac{1}{6}+\frac{1}{7}+\frac{1}{8} > 4\,\frac{1}{8} = \frac{1}{2},$$
$$\vdots$$
$$\frac{1}{2^n+1}+\frac{1}{2^n+2}+\ldots+\frac{1}{2^{n+1}} > 2^n\,\frac{1}{2^{n+1}} = \frac{1}{2}$$

قام أورسم بتجميع حدود السلسلة التوافقية في مجموعات من 2^n حدًّا لكل مجموعة، مجموع كل مجموعة منها أكبر أو يساوي $\frac{1}{2}$. وبما أن هناك عددًا لا نهائيًا من المجموعات، فإن مجموع السلسلة التوافقية يجب أن يكون أيضًا لا نهائيًا (غير محدود، إذن غير متقارب). ينتج عن ذلك أن المجموع الجزئي للسلسلة التوافقية أكبر من $\frac{n}{2}$ مهما كان n. لذلك فإن هذا المجموع يقترب من المالانهاية مع n، والسلسلة متباعدة.

على وجه التحديد كتب أورسم في كتابه *Questiones super geometriam Euclidis* ما يلي: "مجموع السلسلة غير منتهٍ لأن مجموع الحدين الثالث والرابع أكبر من $\frac{1}{2}$، وكذلك مجموع الحدود من الخامس إلى الثامن، وإلى السادس عشر، وهكذا إلى المالانهاية."

2. معيار أولر

ما هو مهم في إثبات أورسم، هو من جهة إبراز أن الشرط اللازم لتقارب سلسلة (الحد العام يؤول إلى الصفر عندما يؤول n إلى المالانهاية) ليس كافيًا، فهو لا يميز تمامًا تقارب السلسلة؛ ومن جهة أخرى، يحتوي هذا الإثبات ضمنيًا معيار كوشي، وبشكل أدق نَفْيَه.

الخطوة التالية ستكون نحو صياغة هذا المعيار قام بها أويلر عام 1740 في مقاله *De progressionibus harmonicis observationes* حيث ذكر لأول مرة، بصفة غير مكتملة، معيار كوشي، وهو مبدأ مكّنه من الاستنتاج بأن "مجموع سلسلة معينة هو منتهٍ أو غير منتهٍ". لم يتعرض أويلر إلى السلاسل المتباعدة التي تكون مجاميعها الجزئية محدودةً، وهو الموضوع بدأت دراسته الرياضية على يد دالمبير عام 1768، وسيؤدي في القرن التاسع عشر إلى مبرهنة بولزانو-فايرشتراس.

يدرس أويلر السلسلة

$$\frac{c}{a}, \frac{c}{a+b}, \frac{c}{a+2b}, \ldots, \frac{c}{a+(n-1)b}, \ldots$$

المرتبطة بالمتتالية

$$S_n = \frac{c}{a}+\frac{c}{a+b}+\frac{c}{a+2b}+\ldots+\frac{c}{a+(n-1)b}.$$

افترض ضمنيًا أن $a>0\,, b>0\,, c>0$، ثم طبّق معيار كوشي على الفرق $S_{ni}-S_i$. نظرًا إلى أن عدد الحدود هو $(n-1)i$، فإن هذا الفرق سيكون أكبر من $\frac{(n-1)ic}{a+(ni-1)b}$. وعليه عندما يؤول i إلى المالانهاية فإن هذا الفرق لا يؤول إلى الصفر. ومن هنا يستنتج أويلر أن السلسلة المقترحة تؤول إلى المالانهاية عندما يؤول n إلى المالانهاية.

سبق وأن لاحظ برينجشيم أن معيار أويلر ليس شرطًا كافيًا للتقارب، لأن السلسلة المتباعدة ذات الحد العام $\frac{1}{n\ln n}$ تحققه.

3. معيار بولزانو

يعود الفضل إلى بولزانو في أول صياغة دقيقة للمعيار الأساسي للتقارب، وكذلك إثبات أن أي مجموعة غير منتهية ومحدودة من الأعداد الحقيقية تحتفظ بخاصية وجود الحدين الأعلى والأدنى، وهي خاصية بديهية للمجموعات المنتهية. هذه المسألة الأخيرة فتحت الطريق لدراسة المجموعات الجزئية غير المنتهية من المستقيم الحقيقي، وبالتالي إلى تحسين مفهوم النهاية.

قدّم بولزانو أفضل أعماله في التحليل في مذكرته حول مبرهنة القيم المتوسطة المنشورة عام 1817، والتي تنص على أن أي دالة حقيقية مستمرة f معرفة على مجال $[a,b]$ تأخذ جميع القيم المحصورة بين $f(a)$ و $f(b)$. ورغم أن هذه المذكرة ظلت مجهولة لدى الرياضيين حتى إعادة اكتشاف بولزانو حوالي عام 1865، فإنها تشكل إحدى الخطوات الأساسية نحو حسابية التحليل.

إنّ مذكرة بولزانو لافتة للنظر، لأنها تقدّم أول صياغة دقيقة لمعيار كوشي، وأول محاولة لإثباته، وتطبيقًا جميلًا لهذا المعيار في إثبات وجود الحد الأعلى. بهذه المناسبة، وضع بولزانو سلسلة من البراهين المبتكرة، وهي السلسلة التي، بمجرد بناء الأعداد الحقيقية، سترسخ التحليل الكلاسيكي على أسس متينة.

عندما يتناول بولزانو في هذه المذكرة نظرية السلاسل، فإنه يعتبر أن السلاسل المتقاربة صنفًا فرعيًا من صنف السلاسل التي يكون كل مجموع جزئي فيها محدودًا. يُعدّ بولزانو أول من أكد على السلاسل المتباعدة التي "لا تتجاوز قيمتها، مهما أردنا تمديدها، قيمة معينة". نحن هنا على الطريق الذي سيؤدي إلى مبرهنة بولزانو-فايرشتراس.

وما هو بارز في هذه المذكرة، أنها أول إثبات في تاريخ الرياضيات لمعيار كوشي. يرمز بولزانو بـ $F^n x$ ، الذي نكتبه $F_n(x)$ ، إلى مجموع الحدود n الأولى من سلسلة توابع، ويثبت أولًا أن معيار كوشي هو شرط لازم لتقارب سلسلة. ثم يحاول بولزانو إثبات العكس، أي أن هذا المعيار هو أيضًا شرطٌ كافٍ للتقارب.

ومع ذلك، فإن هذا البرهان لم يكن ولا يمكن أن يكون صحيحًا. يؤكد بولزانو أن الفرضية القائلة بوجود مقدار X تقترب منه، بقدر ما يراد، حدود المتتالية $(F_n(x))$ "لا تحتوي على أي شيء مستحيل"، ذلك لأن هذه الفرضية تتيح تحديد هذا المقدار بأي دقة نريدها. وبالتالي، يتحول إثبات وجود X إلى إثبات إمكانية الاقتراب منه، والذي لا يضمن أي شيء آخر وجوده بدقة مرغوبة مسبقًا. لكن ما دامت نظرية الأعداد الحقيقية لم تكن قد وُضعت بعد، كان من المستحيل إثبات وجود X.

في الواقع، يعتمد إثبات هذه النتيجة العكسية، مثلًا، على المبرهنة القائلة بأن كل عدد حقيقي هو نهاية لمتتالية من الأعداد الناطقة. وبالتالي، فطالما لم تكن هناك نظرية صارمة للأعداد الحقيقية، لم يكن من الممكن إثبات هذه النتيجة العكسية. كانت الحلقة المفرغة حتمية طالما لم يدرك الرياضيون بوضوح أنه، قبل تعريف النهاية، لا بد من تحديد المفاهيم التي ينطبق عليها هذا التعريف، ألا وهي مجموعة الأعداد الحقيقية. وعلى أي حال، كنا بعيدين عن مفهوم حقل تبديلي مرتب كليًا وتام.

في حوالي عام 1835، كتب بولزانو *Théorie des grandeurs* وهي محاولة واسعة، بقيت غير مكتملة، لوضع مؤلف يشمل جميع الرياضيات في عصره. نشر ج. بيرغ (J. Berg) عام 1976 القسم المتعلق بنظرية الأعداد البحتة عند بولزانو، حيث يعرض فيه نظريته حول الأعداد الصحيحة والناطقة والصماء. تُعدّ هذه أول محاولة جادة لتأسيس نظرية الأعداد الحقيقية على أساس حسابي خالص، على الرغم من أن نظرية بولزانو القائمة على طريقة تقريبية (فكرة كان قد طرحها سابقًا في مذكرته عام 1817) لم تكن صارمة.

بعد أن بنى بولزانو مجموعة الأعداد "القابلة للقياس"، انطلاقًا من الأعداد الصحيحة، وهي المجموعة التي كان من المفترض أن تتوافق مع مجموعة الأعداد الحقيقية، استنتج النظريات الأساسية في التحليل. في هذا الصدد، من المثير للاهتمام دراسة برهانه لمعيار كوشي. إن طريقة صياغة هذه المبرهنة وإثباتها تُظهر أن بولزانو كان قد فهم تمامًا التسلسل الذي يربط بين معيار كوشي وبناء مجموعة الأعداد الحقيقية. لذلك فهو يعتبر متتالية من الأعداد "القابلة للقياس" (X_n) تحقق فرضيات هذا المعيار، ويستنتج وجود عدد قابل للقياس A حيث

$$\lim_{n\to\infty} X_n = A.$$

غير أن بولزانو، في برهانه، يفترض فرضية إضافية حول رتابة المتتالية (X_n)، مما يؤدي إلى استخدام ضمني للمبرهنة القائلة بأن المتتالية المتزايدة المحدودة تقبل نهاية، وهذه المبرهنة هي نتيجة من معيار كوشي.

4. معيار كوشي

في كتابه *Cours d'analyse* الصادر عام 1821، والذي فتح الطريق إلى التحليل الحديث، عرّف كوشي مفهوم النهاية على النحو التالي:

عندما تقترب القيم المتتالية لمتغير ما اقترابًا غير محدود من قيمة ثابتة، بحيث ينتهي الأمر بأن تختلف بقدر ضئيل يُراد، فإن هذه الأخيرة تُسمى نهاية لجميع القيم الأخرى. وهكذا، على سبيل المثال، العدد الأصم هو نهاية الكسور الذي تعطي قيمًا مقرّبة منه أكثر فأكثر.

من الواضح أنه للحديث عن نهاية الأعداد الناطقة، لا بد من أن تكون مجموعة الأعداد الحقيقية قد عُرّفت مسبقًا، وهو ما لم يكن كوشي على دراية به، شأنه شأن جميع رياضيي ذلك العصر.

أما الفصل السادس *Des séries convergentes et divergentes* فهو من بين أهم فصول كتاب *Cours d'analyse*. يُقدّم كوشي بطريقة طبيعية جدًا، بعد أن حدّد الترميزات الحالية، معيار كوشي اللازم والكافي لتقارب سلسلة. لا يوجد ما يقال عن برهان الشرط اللازم، أما بالنسبة لبرهان الشرط الكافي، فإنه يختصر في: "عكسيًا، عند تحقق هذه الشروط المختلفة، فإن تقارب السلسلة مضمون".

لكن كان لهذا الكتاب الذي وضعه كوشي صدى هائل في رياضيات القرن التاسع عشر، وبفضله سيصبح هذا المعيار مبرهنة أساسية في التحليل الكلاسيكي.

5. إتمام مجموعة الأعداد الناطقة

سوف نرى أنه في حوالي عام 1870 ظهرت عدة بحوث حول بناء الأعداد الحقيقية انطلاقًا من مجموعة الأعداد الناطقة المزودة بالطبولوجيا الاعتيادية المعرّفة بالقيمة المطلقة. هذه الإنشاءات هي نتيجة الوعي بأن التحليل لا يقوم على أسس متينة. أول محاولة منشورة وناجحة هي التي قام بها شارل ميراي.

1.5. النهايات "الخيالية" (Fictives) لميراي

في عامي 1868 و1869، نشر ميراي مذكرتين، ثمرة سنوات من التفكير: الأولى " ملاحظات جديدة حول النقاط الأساسية للحساب اللامتناهي وحول نشر التوابع بواسطة السلاسل "، ترسم ملامح مذهبه في التحليل -الذي يعتبره أساس كل الرياضيات- القائم على نشر التوابع إلى سلاسل تايلور. أما الثانية "ملاحظات حول طبيعة الكميات المحددة بشرط أن تكون نهايات لمتغيرات معينة" فتقدّم تبريرًا للأولى من خلال إعطاء تعريف مقنع للأعداد الصماء.

في مذكرته حول الأعداد الصماء، يشير أولًا إلى وجود مبدأين كانا في ذلك الوقت القاعدة الأساسية لجميع الأجزاء الرياضية التي يدخل فيها مفهوم النهاية. المبدأ الأول هو أن كل متتالية متزايدة ومحدودة من الأعلى (على التوالي، متناقصة ومحدودة من الأدنى) تؤول إلى نهاية. والمبدأ الثاني هو أن متتالية كوشي تؤول إلى نهاية. كتب ميراي أنه: "حتى الآن تم اعتبار هاتين القضيتين مسلّمتين". ويضيف قائلًا: "حتى ذلك الوقت تم اعتبار هذه الاقتراحات بمثابة مسلمات، ومن خلال فحصها بعناية أدرك أنه يمكن الدمج بين هذين المبدأين من أجل تجنب إدخال مفهوم العدد غير القابل للقياس في التفكير".

أثبت ميراي، لأول مرة في تاريخ الرياضيات، مبرهنة بولزانو-فايرشتراس، أي أنه من متتالية محدودة يمكن استخراج متتالية جزئية متقاربة. ولأجل ذلك، يثبت أولًا أن المتتالية المدروسة محدودة، ثم يبين أنه يمكن أن نستخرج منها متتالية متزايدة ومحدودة من الأعلى أو متتالية متناقصة ومحدودة من الأدنى. إذن هذه المتتالية المستخرجة تتقارب نحو نهاية l، وبما أن المتتالية المدروسة هي متتالية لكوشي فإنها تتقارب أيضًا نحو l.

أثبت ميراي إذن أن مبرهنة المتتاليات الرتيبة تستلزم مبرهنة المتتاليات المتقاربة لكوشي، وبما أن الاستلزام العكسي صحيح أيضًا، فإن المبدأين الذين وضعهما ميراي متكافئان. وكتب بعدها: "بالعودة إلى المبدأ الأول، فإن جميع الطرق تهدف إلى إثبات وجود قيمة تحقق الشروط المحددة، والتي تعتمد بشكل أساسي على بعض العمليات التي يمكن من خلالها إيجاد هذه القيمة المجهولة اعتمادًا على المعطيات. لكن المفاهيم التي توفرها المسلمات وحدها لا تسمح باكتشاف نهاية القيمة المجهولة، وبالتالي فإنها لا تكفي أيضا لإثبات وجودها".

لكن وفقًا لميراي فإن هذه الصيغ تحجب خصائص خاصة للأعداد نفسها، ويكفي استخراجها للتغلب على العقبات التي تمّت مواجهتها.

لنفرض إذن متغيرًا تدريجيًا، معناه متتالية $v = (v_n), n \in \mathbb{N}$ من الأعداد الناطقة والتي تؤول نحو عدد ناطق V، إذن v هي متتالية لكوشي. إذا كانت الآن v متتالية لكوشي ولا يوجد عدد ناطق تتقارب نحوه، فإننا نقول إن هذه المتتالية تتقارب نحو نهاية خيالية.

تقديم النهايات الخيالية سيسمح لميراي بإتمام مجموعة الأعداد الناطقة. يُعرّف أولًا مفهوم متتالية كوشي من الأعداد الناطقة المتكافئة، ويكتب أنه إذا كان متغيران مكافئين لثالث فإنهما متكافئان، وهي ما تُسمى الآن بعلاقة التكافؤ.

سيتوافق تعريف ميراي للأعداد الصماء مع الانتقال إلى حاصل القسمة بواسطة هذه العلاقة .

يلاحظ أولًا أنه إذا كانت متتاليتان v وu لهما نهايتان V وU على الترتيب، حيث V وU أعداد ناطقة و v وu متكافئتان، فإن V وU متساويان. أما إذا لم تكن للمتتاليتين v وu نهايتان ناطقتان، فسنقول إن لهما نهايتان متساويتان إذا كانتا متكافئتين.

2.5. رموز الأعداد لهاين-كانتور

نشر هاين في عام 1872 كتابه *Les éléments de la théorie des fonctions*، وهو عمل شامل عن أسس التحليل، يُقدّم أول إثبات صحيح لمبرهنة القيم الوسطى. وكتب في بداية كتابه "التقدم في نظرية التوابع مقيّد بشكل أساسي بسبب حقيقة أن بعض المبرهنات الأساسية، حتى لو تم إثباتها من قِبل أكثر العلماء ذكاءً، ما زالت موضع شك، بحيث إن نتائج البحث لا تعتبر صحيحة في كل مكان عندما تستند إلى هذه المبرهنات الأساسية. أجد تفسير ذلك في الحقيقة أن مبادئ السيد فايرشتراس قد انتشرت في نطاق واسع -بشكل مباشر من خلال دروسه وغيرها من المحاضرات الشفوية، وبشكل غير مباشر من خلال نسخ من دفاتر الملاحظات التي تحتوي على هذه الدروس- ولكن هذه المبادئ لم تنشر في نسخة أنشأها

بنفسه. وبالتالي، لا يوجد مكان يمكن فيه العثور على المبرهنات المطورة بشكل منهجي. ولكن صحة هذا التفسير تستند إلى حقيقة أن الأعداد الصماء غير معرفة بشكل كامل".

يشير هاين في بداية كتابه إلى أن نظرية الأعداد الصماء التي سيقدّمها هي من عمل جورج كانتور. هذه النظرية تشبه في جوهرها نظرية ميراي. يقدّم هاين أولًا مفهوم المتتالية الكوشية التي يسميها متتالية أعداد، ثم مفهوم المتتاليات المكافئة للمتتاليات الكوشية التي يسميها متتاليات الأعداد المتساوية. أخيرًا، فإن رموز الأعداد هي أصناف التكافؤ التي تمثل الأعداد الصماء المنشأة .

قدّم أيضًا، من بين أمور أخرى، إثباتًا دقيقًا لمبرهنة القيم الوسطى، بالإضافة إلى مبرهنة أن دالة مستمرة على مجال مغلق ومحدود تدرك حدودها العليا والسفلى.

تعتبر مذكرة هاين مهمة أيضًا في ما قبل تاريخ الطوبولوجيا العامة، لأن إثباته للمبرهنة القائلة بأن الدالة الحقيقية المستمرة على مجال مغلق ومحدود $[a,b]$ هي دالة مستمرة بانتظام على هذا المجال، تستخدم تغطية $[a,b]$ بعدد محدود من المجالات الجزئية، هذه العملية ستؤدي إلى مفهوم المجموعة المتراصة.

3.5. مقاطع ديدكيند

في كتابه *Continuité et nombres irrationnels*، الذي نُشر عام 1872، قدّم ديدكيند نظرية جديدة للأعداد الصماء، بالإضافة إلى أفكاره حول أسس التحليل. في بداية مقدمة كتابه، يوضح ديدكيند أن الأفكار التي سيقدّمها تعود إلى خريف عام 1858، عندما كان أستاذًا في المعهد السويسري للتكنولوجيا في زيورخ، وكان مضطرًا لأول مرة إلى تدريس أساسيات الحساب التفاضلي. في الواقع، كان يلقي، خلال فصل الشتاء من عام 1858-1859، دورة بعنوان Première partie du calcul différentiel et intégral، وفي هذه المناسبة، شعر "بنقص أساس علمي حقيقي للحساب."

الفقرة الأولى من كتابه بعنوان *Propriétés des nombres rationnels*، ويفترض ديدكيند فيها أن نظرية الأعداد الناطقة قد تم إنشاؤها. يُقدّم لمحة سريعة عن تطور الرياضيات التي أدّت، بعد إنشاء الأعداد الصحيحة السالبة والأعداد الصحيحة، إلى مجموعة الأعداد الناطقة التي تمتلك خاصية الاستقرار للعمليات الأربع الأساسية في الرياضيات، وهي الخاصية التي قدّمها ديدكيند كميزة لمفهوم المجال، الذي أدخله في الطبعة الثانية من كتاب *Leçons sur la théorie des nombres* لديريكليه.

تمتلك مجموعة الأعداد الناطقة خاصية مميزة، وهي:

إذا كان a عددًا ناطقًا، فيمكن تقسيم مجموعة الأعداد الناطقة إلى مجموعتين A_1 و A_2 حيث من أجل كل عدد $a_1 \in A_1$ نجد $a_1 < a$، ومن أجل كل عدد $a_2 \in A_2$ نجد $a < a_2$. العدد a يمكن أن ينتمي إلى A_1 أو A_2 .

نلاحظ أن هذا التعريف للمقاطع في مجموعة الأعداد الناطقة، والذي يتضمن تقسيم هذه المجموعة إلى مجموعتين جزئيتين، يعتمد على التعريف الديدكيندي للأعداد على مفهوم المجموعة نفسها.

في الفقرة الثالثة، *Continuité de la droite*، يذكر ديدكيند أن الإغريق كانوا يعرفون بالفعل عددًا لا نهائيًا من النقاط على الخط المستقيم التي لا تتوافق مع أي عدد ناطق. وبالتالي، فإن الخط المستقيم غني بالنقاط أكثر من مجال الأعداد الناطقة، وبالنسبة لديدكيند، فإن هذا الاكتمال هو السبب وراء إنشاء أعداد جديدة، حتى يكون مجال الأعداد له نفس الاستمرارية للخط المستقيم.

ومع ذلك، فإن مقارنة مجموعة الأعداد الناطقة والخط المستقيم تبرز الاستمرارية الأخيرة. ويطرح ديدكيند حينئذ السؤال الأساسي: "ما هي هذه الاستمرارية في جوهرها؟". الإجابة، وفقًا لديدكيند، ستسمح بإيجاد أساس علمي لدراسة جميع المجالات المستمرة.

يشير ديدكيند إلى أنه وجد أخيرًا ما كان يبحث عنه بعد تفكير طويل، وهو أن جوهر الاستمرارية يكمن في التعريف التالي: "إذا تم تقسيم جميع نقاط المستقيم إلى مجموعتين، بحيث تتواجد كل نقطة من المجموعة الأولى على يسار كل نقطة من المجموعة الثانية، فإن هناك نقطة وحيدة، وهي التي تولد هذا التقسيم لجميع النقاط إلى مجموعتين، هذا المقطع (coupure) للمستقيم إلى قسمين."

الفقرة الرابعة بعنوان *Création des nombres irrationnels*، وهكذا، فإننا نُشير مسبقًا إلى أنه سيتم إنشاء هذه الأعداد.

لنفترض أي تقسيم لمجموعة الأعداد الناطقة إلى مجموعتين فرعيتين A_1 و A_2 حيث يكون كل عدد حقيقي a_1 من A_1 أصغر من أي عدد حقيقي a_2 من A_2. سنقول إن هذا التقسيم هو مقطع، ونرمز إليه بِ (A_1, A_2). وبالتالي، يمكننا القول إن عددًا ناطقًا يولد مقطعًا، ويملك هذا المقطع الخاصية التالية: إما أن A_1 لها أكبر عنصر، أو أن A_2 لها أصغر عنصر. وبالعكس، إذا كان المقطع يمتلك هذه الخاصية، فإنها تُولد بواسطة أكبر عنصر من A_1 أو أصغر عنصر من A_2.

ثم يُقدّم ديدكيند مثالًا على عدد لا نهائي من المقاطع التي لا تولّدها أعدادًا ناطقة. بالنسبة له، فإن هذا الأمر - وهو أن جميع المقاطع لا تولدها أعدادًا ناطقة - هو الذي تكمن فيه عدم استمرارية مجالات الأعداد الناطقة، ويكتب: "الآن، كلما وجدت مقطع (A_1, A_2) لا يولدها عدد ناطق، فإننا ننشئ بذلك عددًا جديدًا، وهو عدد أصم a الذي نعتبره معرفًا بواسطة هذا المقطع (A_1, A_2). سنقول إن العدد a يتوافق مع هذا المقطع أو أنه يولد هذا المقطع".

في الفقرة الخامسة، *Continuité du domaine des nombres réels*، يوضح ديدكيند أن مجموعة الأعداد الحقيقية المنشأة $\mathbb{R}$ لها الخاصية التالية:

إذا كان $a \in \mathbb{R}$، فإنه يمكننا تقسيم المجموعة $\mathbb{R}$ إلى مجموعتين جزئيتين A_1 و A_2 حيث يكون من أجل كل $a_1 \in A_1$ نجد $a > a_1$ ومن أجل كل $a_2 \in A_2$ نجد $a < a_2$ بالنسبة لـ a نفسه، $a = \sup A_1 = \inf A_2$، يمكن أن يكون إما $a \in A_1$ أو $a \in A_2$، وسنقول إن هذه القسمة مولدة بواسطة a.

يثبت ديدكيند بعد ذلك أن مجموعة الأعداد الحقيقية المنشأة تمتلك أيضًا خاصية الاستمرارية، أي لدينا المبرهنة التالية:

إذا قمنا بتقسيم المجموعة $\mathbb{R}$ إلى مجموعتين جزئيتين A_1 و A_2 بحيث يكون من أجل كل $a_1 \in A_1$ ومن أجل كل $a_2 \in A_2$ لدينا $a_1 < a_2$، فعندئذٍ يوجد عدد a وحيد يولّد هذا التقسيم.

الفقرة الأخيرة من الكتاب بعنوان *Analyse infinitésimal*، مما يشير بوضوح إلى أن ديدكيند، بعد بناء نظريته في الأعداد الحقيقية، سيستخدمها لتأسيس أسس التحليل. في هذه الفقرة الأخيرة، يهدف ديدكيند إلى تسليط الضوء على العلاقة التي تربط بين الاعتبارات السابقة وبعض المبرهنات الأساسية للتحليل المتناهي الصغر. يبدأ أولًا بتقديم تعريف للنهاية، ويلاحظ أن المبرهنة التي تنص على أن "كل متتالية متزايدة ومحدودة من الأعلى (أو متتالية متناقصة ومحدودة من الأدنى) لها نهاية مكافئة لـ "مبدأ الاستمرارية"، الذي تم ذكره سابقًا.

ومع ذلك، فقد قدّم ديدكيند في مخطوط عام 1882 البرهان -باستخدام المقاطع- على مبرهنة أن كل مجموعة محدودة من الأعداد الحقيقية لها حد أعلى وحد أدنى. تؤدي هذه المبرهنة مباشرة إلى المبرهنة السابقة حول المتتاليات الرتيبة. سبق لنا أن لاحظنا أن هذه المبرهنة حول المتتاليات الرتيبة هي نتيجة لمعيار كوشي. ينتج عن ذلك، بالأخص، أن نظرية ديدكيند للأعداد الحقيقية مكافئة لنظرية ميراي-هاين-كانتور.

مراسلة ديدكيند مع ليبشيتز حول نظريته في الأعداد الصماء في عام 1876 مهمة، لأن ديدكيند يركز كثيرًا على مفهوم الإتمام. يلخص ديدكيند نظريته حول الأعداد الحقيقية في رسالته المؤرخة 10 يونيو 1876 على النحو التالي:

بافتراض أن مجموعة الأعداد الناطقة قد تم إنشاؤها، يمكننا دون إدخال أي عناصر غريبة، إتمامها بفضل مفهوم المقطع. تمتلك المجموعة $\mathbb{R}$ الناتجة خاصية كونها مستمرة.

ردًا على اعتراضات ليبشيتز، أنه يمكن العثور بالفعل في كتاب الأصول لأقليدس على نظرية جيدة للأعداد الصماء، يؤكد ديدكيند أنه في الكتاب الخامس من الأصول -الذي يستشهد به ليبشيتز- لا يوجد شيء يسمح باستنتاج أن هناك مجالًا من الكميات أكثر إتمامًا من المجال المقابل للكميات الناطقة. ثم يشير ديدكيند إلى الكتاب العاشر من الأصول، حيث تتم دراسة الكميات غير القابلة للقياس، يقدّم حينها الاعتراض الأساسي على نظرية يودكسوس -المعروضة في الكتاب العاشر- وكذلك على تلك الخاصة بخلفائه: وهو أنه في إتمام مجموعة الأعداد الناطقة لا يذكرون أبدًا إغلاق هذا الإتمام، أي مفهوم مجال من الكميات المستمرة بحيث إذا تم تقسيم مجموعة هذه الكميات إلى مجموعتين بحيث تكون كل كمية من المجموعة الأولى أصغر من كل كمية من المجموعة الثانية، فإن هناك إما في المجموعة الأولى كمية هي الأكبر، أو في المجموعة الثانية كمية هي الأصغر. إذا لم يتم تضمين هذه الخاصية بشكل صريح في مفهوم مجال الكميات، فإنه يظل غير مكتمل، ومن المستحيل تعريف، في مثل هذا المجال، جميع العمليات الحسابية.



أوغستان-لويس كوشي Cauchy (1789 – 1857)

الرياضيات وإسهاماتها في تطوّر الحضارة عبر التاريخ (2)

جمال حيمان
مخبر الحسابيات والترميز والتوافقيات، كلية الرياضيات، جامعة العلوم والتكنولوجيا هواري بومدين
djamel17himane@gmail.com

1. الحضارة العربية الإسلامية

اهتم الإسلام منذ ظهوره بالعلم بمختلف فروعه، وبصفة خاصة بالرياضيات؛ فقد كان للحساب أهمية خاصة لارتباطه بالمعاملات التجارية وتقسيم المواريث. وتُنسب إلى الخليفة الرابع وابن عم رسول الله ﷺ، علي بن أبي طالب، بعض المسائل الحسابية، مثل مسألة الجِمال السبعة عشر (النصف والثلث والتسع)، التي تُبرز براعة في معالجة مسائل القسمة. وقد أسهمت هذه التطبيقات العملية للحساب في تهيئة المناخ العلمي الذي شهد لاحقًا نشأة علم الجبر على يد الخوارزمي [13]. ولايزال العالم يتذكر إسهامات بعض العلماء المسلمين في العصور الوسطى، على غرار ابن الهيثم وعمر الخيام وشرف الدّين الطُوسي وثابت بن قُرة وأبو جعفر الخازن وأبو الوفاء البوزجاني [1]، [2]. وهو ما يدل على عمق اهتمام الحضارة الإسلامية بالرياضيات وإسهامها في التمهيد لتطورها الحديث.

بالعودة إلى الحديث عن العالم المسلم ذي الأصول الفارسية محمد بن موسى الخوارزمي، الذي كان من العلماء المرتبطين ببيت الحكمة في بغداد خلال عهد الخليفة العباسي المأمون، وهي فترة شهدت ازدهارًا علميًا كبيرًا في الحضارة العربية الإسلامية في مجالات الرياضيات والطب والفلك والجغرافيا وغيرها من العلوم. كان الخوارزمي من أبرز أعلامها، إذ أسّس علم الجبر عبر كتابه الشهير "المختصر في حساب الجبر والمقابلة" [10]، الذي غيّر مسار دراسة الرياضيات، خاصة في حل المعادلات الجبرية، ولا سيما من الدرجة الثانية بمجهول واحد. ومن اسمه اشتُق مصطلح الخوارزميات (Algorithms) التي تُعد اللبنة الأساسية لعلوم الحاسوب والتطور التكنولوجي المعاصر. ساهم الخوارزمي أيضًا في إدخال كلمات ومفاهيم رياضية جديدة إلى اللغات العالمية، مثل كلمة "الجبر" (Algebra)، و"الخوارزمية" (Algorithm)، وكذلك الرقم "صفر" (Zephirum).



الصورة 1. غلاف مخطوط لكتاب المختصر في حساب الجبر والمقابلة للخوارزمي.



الصورة 2. صورة تخيلية لليوناردو فيبوناتشي (صاحب الصورة فنان غير معروف).

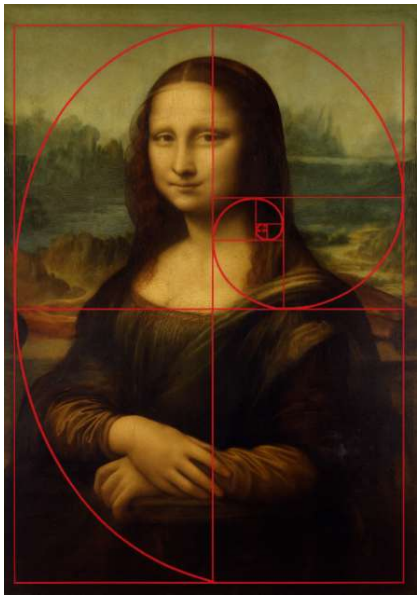
كما أسهم الخوارزمي في نشر النظام العشري ذي الأصل الهندي في العالم الإسلامي، وعرّف بطرائق الحساب المرتبطة به من خلال مؤلفاته. وقد انتقلت الأرقام العربية إلى أوروبا عبر قنوات متعددة، كان من أبرزها جهود العالم الإيطالي ليوناردو فيبوناتشي [9]، الذي تعرّف إلى أساليب الحساب العربية أثناء إقامته في مدينة بجاية بالجزائر. وفي كتابه Liber Abaci عرّف الأوروبيين بهذه الأرقام وبمزاياها العملية، مما أسهم في انتشارها تدريجيًا وحلولها محل الأرقام الرومانية في كثير من التطبيقات الحسابية.

ويُعرف فيبوناتشي بمتتاليته الشهيرة التي ظهرت في سياق مسألة افتراضية حول تكاثر الأرانب وفق شروط معينة. وتُعرَّف هذه المتتالية بالعلاقة التراجعية: $F_{n+2} = F_{n+1} + F_n$ لكل عدد طبيعي n، ولها صيغة صريحة تُعرف بصيغة بِينه (Binet's formula):

$F_n = \frac{\alpha^n - \beta^n}{\sqrt{5}}$، حيث $\alpha = \frac{1+\sqrt{5}}{2}$ و$\beta = \frac{1-\sqrt{5}}{2}$. ويُمثّل α العدد الذهبي، في حين أن β هو مرافقه الجبري والحل الآخر للمعادلة $x^2 - x - 1 = 0$.



الصورة 3. صفحة من مخطوط كتاب Liber Abaci، المحفوظ في المكتبة الوطنية المركزية بفلورنسا. يظهر في الإطار الجانبي إلى اليمين عرضٌ لمتتالية فيبوناتشي.



الصورة 5. لوحة الموناليزا (Mona Lisa) للفنان ليوناردو دا فينشي (1503–1506)، والمعروضة في متحف اللوفر بباريس. يرى بعض النقّاد أنّ تناسق أبعاد الوجه في هذه اللوحة يرتبط بما يُعرف بالنسبة الذهبية (Golden Ratio)، التي اعتُبرت رمزًا للجمال والتوازن في الفن الكلاسيكي.

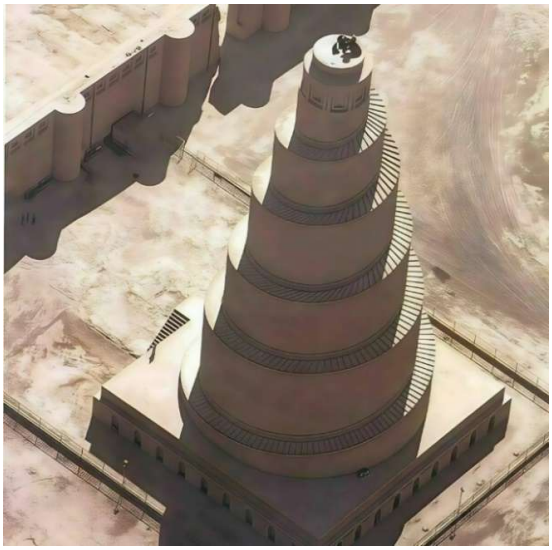
لم تكن خصائص النسبة الذهبية مجهولة في العصور القديمة [8]؛ فقد رأى بعض الباحثين أن هذه النسبة تظهر في بعض الأعمال المعمارية والفنية القديمة، مثل البارثينون الإغريقي وبعض الأهرامات المصرية، غير أن مدى تعمد استخدامها في هذه المنشآت ما يزال محل نقاش بين المؤرخين. كما ترتبط النسبة الذهبية ارتباطًا وثيقًا بمتتالية فيبوناتشي. وتظهر أعداد فيبوناتشي في عدد من الأنماط الطبيعية، مثل ترتيب الأوراق والبذور في بعض النباتات، مما جعلها من أكثر المتتاليات الرياضية حضورًا في الدراسات التي تربط بين الرياضيات وأشكال التنظيم في الطبيعة.

ويبرز هنا تساؤل تاريخي مهم: إلى أي مدى كانت بعض الخصائص المرتبطة بمتتالية فيبوناتشي أو بالنسبة الذهبية معروفة قبل أن تُصاغ في صورتها الرياضية الحديثة؟ ومن المعروف أن علماء الحضارة الإسلامية ومعماريها امتلكوا معرفة متقدمة بالهندسة والنسب الرياضية، وهو ما يتجلى في العديد من الإنجازات المعمارية والفنية.



الصورة 5. تشكيلات طبيعية وكونية تُظهر النمط الحلزوني المعروف بـ حلزونية فيبوناتشي، من أبرز تجليات النسبة الذهبية في الطبيعة.

من الأمثلة اللافتة المئذنة الملوية في سامراء، التي شُيّدت في القرن التاسع الميلادي، أي في الفترة نفسها تقريبًا التي عاش فيها الخوارزمي. وقد دفع تصميمها الحلزوني المميز بعض الباحثين إلى دراسة احتمال وجود علاقات هندسية خاصة في بنائها، بل واقترح بعضهم ارتباطها بالنسبة الذهبية. غير أن هذه الفرضيات ما تزال محل نقاش، ولا توجد أدلة تاريخية قاطعة تثبت أن النسبة الذهبية استُخدمت فيها عمدًا من قبل مصمميها.



الصورة 6. المئذنة الملوية في سامراء (العراق).
بُنيت الملوية بشكلٍ مستقلٍ عن الجامع، على قاعدة مربّعة.



الصورة 7. المئذنة الملوية لمسجد أبي دلف في سامراء (العراق). وتُعدّ المئذنة الملوية لمسجد أبي دلف مثالًا مميزًا على توظيف الحلزونيات في العمارة الإسلامية العباسية.

تشير معظم المصادر [3] إلى أن المئذنة الملوية في سامراء شُيّدت في عهد الخليفة العباسي المتوكل على الله (848–851م). وتنسب بعض المصادر المتأخرة تصميمها إلى المهندس دليل بن يعقوب[1]، غير أن ذلك لا تؤيده وثائق تاريخية قاطعة. ويثير التقارب الزمني بين تشييد الملوية وعصر الخوارزمي اهتمام الباحثين بتاريخ العلوم والعمارة، خاصة أن القرن التاسع الميلادي شهد نشاطًا علميًا مكثفًا في الرياضيات والفلك والهندسة داخل المراكز العلمية العباسية، وفي مقدمتها بيت الحكمة في بغداد. ومن ثمّ لا يُستبعد أن تكون المعارف الرياضية والهندسية المتداولة آنذاك قد أسهمت، بصورة مباشرة أو غير مباشرة، في تشكيل بعض الخصائص المعمارية المميزة لهذه المنشآت.

ويُعدّ التصميم الحلزوني الفريد للملوية من أبرز سماتها المعمارية، وقد دفع بعض الباحثين إلى دراسة العلاقات الهندسية الكامنة في بنائها وإلى البحث في مدى ارتباطها ببعض النسب الرياضية المعروفة. غير أن مثل هذه الفرضيات ما تزال محل نقاش، ولا توجد أدلة تاريخية قاطعة تثبت استخدام النسبة الذهبية أو غيرها من النسب الخاصة بصورة مقصودة في تصميم المئذنة. وتظهر خصائص مشابهة في ملوية مسجد أبي دلف، التي شُيّدت في الفترة نفسها تقريبًا، مما يعكس حضور هذا النمط المعماري المميز في عمارة سامراء العباسية [4].

2. خطوط نازكا (Nazca lines)

توجد آثار شهيرة تعرف بـ خطوط نازكا، وهي سلسلة من النقوش الصخرية القديمة (الجيُوغليفات) التي تنتشر في صحراء نازكا بجنوب بيرو. وقد أدرجتها منظمة اليونسكو ضمن قائمة التراث العالمي في عام 1994 لما تمثله من قيمة تاريخية استثنائية. وتتخذ هذه الخطوط أشكالًا متنوعة، تشمل حيوانات وأشكال هندسية. ويُعتقد أنها تعود إلى حضارة نازكا التي ازدهرت بين عامي 400 و650 ميلادية.



الصورة 8. رسم تخطيطي لطائر الطنان (النحلة الطنانة) من خطوط نازكا في البيرو.

[1] تنسب بعض المصادر الشيعية تصميم المئذنة إليه، غير أنّه لا توجد وثائق رسمية تؤكّد ذلك. من بين هذه المصادر مقال منسوب إلى الدكتور علي ثويني بعنوان *"ملوية سامراء ومتحف غوغنهايم... واستلهام التراث في الحداثة المعمارية"*.

ومن اللافت أن أكبر هذه النقوش يمتد لمسافة 200 متر تقريبًا، ويعتقد العلماء أن الهدف من نحتها كان دينيًا، ربما يرتبط بطقوس الزراعة أو عبادة الآلهة. ولعل المناخ الجاف في المنطقة ساهم في حفظ هذه النقوش على مدى القرون، لتظل شاهدة على عبقرية حضارة نازكا وإبداعها الفني والفكري [5]. ورغم الغموض الذي يكتنف خطوط نازكا، فقد حاول العلماء دراسة هذه النقوش القديمة لفهم طبيعتها وهدفها.

تؤكد الدراسات الأثرية[2] أصالة خطوط نازكا وارتباطها بحضارة نازكا القديمة، كما تشير إلى أنها أُنشئت عبر إزالة الطبقة السطحية من الحصى الداكن لكشف التربة الأفتح لونًا تحتها، مما أتاح رسم أشكال ضخمة بدقة لافتة على امتداد الصحراء. وتمثل هذه الرسومات حيوانات ونباتات وأشكالًا هندسية متنوعة، ولا يزال الغرض الدقيق من بعضها موضع نقاش بين الباحثين [14]. ومن أبرز التفسيرات المطروحة أنها ارتبطت بطقوس دينية أو شعائر متعلقة بالمياه والخصوبة والزراعة، وهي عناصر كانت ذات أهمية كبيرة في البيئة الصحراوية التي عاش فيها شعب نازكا. كما اقترح بعض الباحثين وجود دلالات فلكية لبعض الخطوط، إلا أن هذه الفرضية لم تحظَ بإجماع علمي. أما النظريات التي تنسب هذه الرسومات إلى كائنات فضائية أو حضارات خارج الأرض فلا تستند إلى أدلة أثرية مقبولة. وتبقى خطوط نازكا واحدة من أكثر المواقع الأثرية إثارة للاهتمام، لما تجمعه من عناصر فنية ودينية وتاريخية ما تزال تستقطب اهتمام الباحثين إلى اليوم [12].

3. حضارة شعب المايا

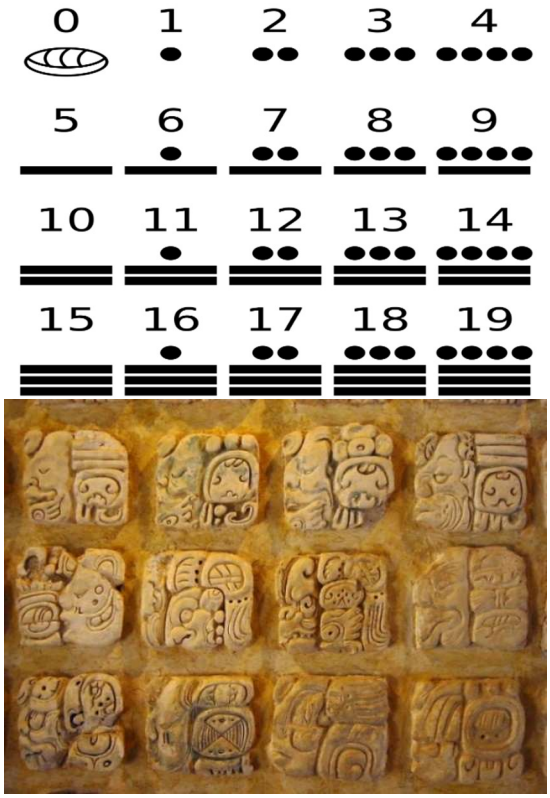


الصورة 9. موقع تيكال (Tikal) الأثري في غواتيمالا.
صورة تُظهر مدينة تيكال، إحدى أكبر مدن حضارة المايا،
المعروفة بمعمارها الهرمي الضخم ودقّة تخطيطها الفلكي.

خلّفت حضارة المايا آثارًا ضخمة تعكس تقدّمها الهندسي والمعماري، مثل آثار مدينة تيكال بغواتيمالا التي تضم معابد شاهقة وسط الغابات، ومدينة كوبان بهندوراس التي اشتهرت بنقوشها البارزة، وتشيتشن إيتزا في المكسيك التي تحتوي على معبد كوكولكان الشهير (هرم مدرج صُمم بدقة ليعكس حركة الشمس خلال الاعتدالين). كما اشتهرت بالميادين المخصصة للعبة الكرة الطقسية التي كانت تحمل أبعادًا دينية واجتماعية. أما في الجانب العلمي، فقد أبدعت حضارة المايا

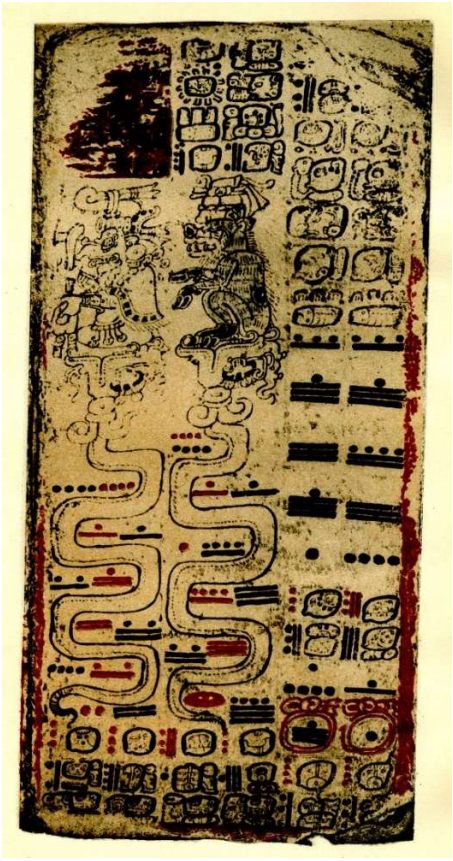
[2] للاطلاع، انظر: Dario Radley, "AI uncovers 303 new Nazca geoglyphs, including knife-wielding orca and alien figures in Peru," *Archaeology Magazine*, September 25, 2024.

في الفلك، حيث رُصدت حركات الشمس والقمر والكواكب بدقة مذهلة، وتمّ التنبؤ بالكسوف والخسوف. كما وُضع تقويمان: تقويم طقوسي من 260 يومًا، وآخر شمسي من 365 يومًا، ودُمجا في نظام معقد يُعرف بـ"التقويم الطويل" الذي كان يستخدم لتأريخ الأحداث الكبرى[3].



الصورة 10. نظام العدّ العشريني الرأسي عند حضارة المايا.

يعتمد نظام العدّ عند المايا على الأساس العشرين، ويُكتب ترتيب القيم رأسيًا، بحيث تمثّل النقاط الوحدات والخطوط العدد خمسة، بينما ترمز الأصداف إلى الصفر.



الصورة 11. نظام العدّ العشريني عند حضارة المايا. رسم توضيحي يحتوي نقوشًا من حضارة المايا، يُظهر طريقة تمثيل الأعداد في نظامٍ خماسيٍّ عشريٍّ (أساس 20)، الصورة ضمن الملكية العامة.

في مجال الرياضيات، ابتكر المايا نظامًا عدديًا عشريًا وخُماسيًا-عشرينيًا (أساس 20)، استخدموا فيه النقاط والخطوط لتمثيل الأعداد. ومن أبرز إنجازاتهم الرياضية استخدام رمز مستقل للصفر، وهو ما جعلهم من أوائل الشعوب التي طورت هذا المفهوم بصورة واضحة. وقد مكّنهم ذلك من إجراء حسابات دقيقة ارتبطت بالتقاويم والرصد الفلكي وتسجيل التواريخ. وإلى جانب ذلك، ابتكر المايا نظام كتابة متقدمًا يتكون من رموز تصويرية وعلامات صوتية، استُخدم في تدوين النصوص الدينية والتاريخية والفلكية على النصب الحجرية والمخطوطات والفخار. وقد ساعد هذا النظام الباحثين المعاصرين على فهم الكثير من تفاصيل حياتهم السياسية والدينية [7].

[3] Kettunen, H., & Helmke, C. (2024). *Workshop handbook* (19th ed.). Wayeb. Retrieved from: https://www.wayeb.org/resources-links/wayeb-resources/workshop-handbook/

4. هندسة بناء جامعة باب الزوار (USTHB)

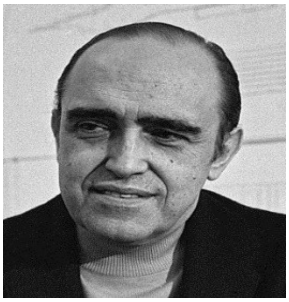
تم إنشاء جامعة الجزائر للعلوم والتكنولوجيا[4] سنة 1974 لتضم تخصصات العلوم الدقيقة، والعلوم الطبيعية، وعلوم الأرض، باعتبارها امتدادًا لجامعة الجزائر 1. وقد شُيّدت على هيئة مدينة جامعية مصغّرة ببلدية باب الزوار، مما جعلها تُعدّ أكبر جامعة في الجزائر. وفي سنة 1980 أُطلق عليها اسم جامعة هواري بومدين للعلوم والتكنولوجيا، لتتحوّل إلى قطب وطني للتكوين والبحث العلمي في مجالي العلوم والتكنولوجيا.



الصورة 12. صورة من داخل الحرم الجامعي لباب الزوار (جامعة العلوم والتكنولوجيا هواري بومدين)، تُظهر إبداع المصمّم في تناسق بديع.



الصورة 13. الرئيس الجزائري هواري بومدين، الذي تحمل الجامعة اسمه.



الصورة 14. المهندس المعماري البرازيلي أوسكار نيماير، أحد أبرز روّاد العمارة الحديثة في القرن العشرين، ومصمّم جامعة العلوم والتكنولوجيا هواري بومدين بالجزائر العاصمة (باب الزوار).

صمّم الجامعة المعماري البرازيلي أوسكار نيماير (1907–2012)، أحد أبرز معماريي القرن العشرين، المولود في ريو دي جانيرو. وقد عُرف باستخدامه المبتكر للخرسانة المسلحة واستغلاله إمكاناتها الجمالية، مع اعتماد الأشكال المنحنية والرمزية بدل الزوايا المستقيمة والخطوط الصارمة، وهو ما يظهر بوضوح في مختلف الهياكل المعمارية للجامعة.

[4] أمر رقم 74-50 المؤرخ في 25 أبريل سنة 1974، المتضمن إحداث جامعة الجزائر للعلوم والتكنولوجيا.

ويُعدّ هذا المجمع الجامعي نموذجًا رائدًا للهندسة المعمارية الحديثة في الجزائر، حيث يجسّد رؤية نيماير التي جمعت بين الإبداع الهندسي والرمزية في تشكيل فضاء أكاديمي فريد.

من الناحية الإنشائية، تتّسم الأبنية الأصلية للمجمع بتناسق هندسي وتناظر دقيق في توزيع الكتل، مع حضور الخرسانة المسلحة كعنصر أساسي في البناء. ويُعدّ مبنى القاعة الكبرى (Auditorium) من أبرز عناصر المشروع حيث شُيّد على شكل مضلّع شبه هرمي تحيط به بحيرة صغيرة ومساحة خضراء من أشجار الصنوبر، ما يخلق توازنًا بصريًا بين الكتلة الخرسانية والعنصر الطبيعي. ويقابل هذه القاعة مبنى رئاسة الجامعة، وهو بناء زجاجيّ من طابقين يتّسم بالشفافية والانفتاح على الفضاء الخارجي، مما يتيح رؤية بانورامية للموقع الجامعي المتميّز بالأقواس والمنحنيات، في انسجام مع عدد من السمات التي تميز أسلوب نيماير.

وتشير دراسة التصميم الأصلي للموقع إلى أن العناصر المعمارية تتكرّر وفق منطق هندسي متوازن حيث تتوزع المباني المستطيلة الضخمة المتصلة بأروقة إسمنتية مسقوفة، والهياكل المسطّحة القائمة على أعمدة فراغية، والقبب والمنحنيات التي تُضفي على المشهد حركية ديناميكية مميزة. كما يبرز مبنى دائريّ مخصّص لتعليم اللغات، إلى جانب خزان ماء أسطوانيّ من الخرسانة المسلحة، في استمرارية واضحة للمفردات الشكلية ذاتها.



الصورة 15. صورة مبنى القاعة الكبرى، بجانبه بحيرة صناعية تسبح فيها طيور مائية.

تثير الخصائص المعمارية للمجمع الجامعي بباب الزوار تساؤلات حول المرجعيات الجمالية والثقافية التي قد تكون ألهمت مصممه أوسكار نيماير. فالملاحظة البصرية للموقع من الطوابق العليا لبعض المباني تكشف عن حضور قوي للمساحات الخضراء وتداخلها مع الكتل الخرسانية، بما يمنح المشهد العام طابعًا يذكّر بالطبيعة الاستوائية التي ارتبطت بأعمال نيماير في عدد من مشاريعه.

ومن هذا المنطلق، يمكن النظر إلى تصميم الجامعة بوصفه تعبيرًا عن رؤية معمارية تتجاوز الاعتبارات الوظيفية البحتة، إذ توظف الأشكال المنحنية والكتل الهندسية والعلاقات البصرية بين المباني والفضاءات المفتوحة لإنتاج هوية عمرانية مميزة. وقد يرى بعض الباحثين أو المراقبين في بعض عناصر هذا التصميم أصداءً بعيدة للتراث العمراني لأمريكا اللاتينية، أو تشابهًا شكليًا مع بعض المنشآت التاريخية الكبرى التي اعتمدت على تنظيم هندسي لافت للمجال العمراني.



الصورة 16 .منظر جانبي لبعض المدرّجات وحجرات التدريس، يُبرز التدرج الهندسي للمدرّجات والانحناءات والتموّجات في عدد من البنايات.



الصورة 17. منظر علوي يوضح تخطيط وتصميم الكليات. يُظهر التصوير الجوي مخطط تصميم الكليات بشكل مميز.

الخاتمة

يكشف هذا المقال أنّ تاريخ الرياضيات يرتبط ارتباطًا وثيقًا بتطوّر الوسائط التي نُقلت عبرها المعرفة الإنسانية، إذ أسهمت هذه الوسائط في حفظ الأفكار الرياضية وتداولها وتطويرها عبر العصور. وقد أظهرت المقاربة التاريخية المعتمدة أن الألواح الطينية والبرديات والمخطوطات وغيرها من وسائل التدوين لم تكن مجرد أدوات لحفظ المعرفة، بل لعبت دورًا مهمًا في تشكيل طرائق التعبير الرياضي وتنظيم المفاهيم ونقلها بين الأجيال والحضارات.

ومن خلال تتبع تطور هذه الوسائط من حضارات الشرق القديم إلى الحضارة الإغريقية، ثم إلى الحضارة العربية الإسلامية، يتبين أن انتقال المعارف كان عملية تفاعل ثقافي ومعرفي معقدة، شاركت فيها الترجمة والتأويل والتطوير والإبداع. وفي هذا السياق، أسهم علماء الحضارة العربية الإسلامية، مثل الخوارزمي والبيروني والكرخي، في تطوير المعارف الرياضية وإعادة صياغتها ضمن أطر منهجية جديدة، وكان لأعمالهم أثر مهم في تطور الرياضيات في الحضارات اللاحقة.

كما تكشف العمارة التاريخية عن الصلة الوثيقة بين الرياضيات والفنون البنائية، إذ تُظهر العديد من المعالم الكبرى حضورًا واضحًا للمفاهيم الهندسية والتنظيم الرياضي في تصميم الفضاءات والأشكال المعمارية. ومن ثمّ، يمكن النظر إلى العمارة بوصفها أحد الميادين التي تجسدت فيها المعرفة الرياضية في صورة مادية، بما يعكس التفاعل المستمر بين الفكر العلمي والإبداع الفني عبر التاريخ.

رابط الجزء الأول من المقال https://www.ens-kouba.dz/magazine/pdf/n18/article18-3.pdf

المراجع

[1] العزاوي، ع.، علماء الرياضيات والفلك في العراق في عهد آل بويه، مجلة سومر العراقية، 24، 1968، 139-170.

[2] العزاوي، ع.، علماء الرياضيات والفلك في العراق، مجلة سومر العراقية، 28، 1972، 201-232.

[3] القيسي، ر.، الملوية – منارة المسجد الجامع في سمراء، مجلة سومر العراقية، 26، 1970، 277-284.

[4] مظفر، د. ط.، عمارة سامراء العباسية في عهد المتوكل، مجلة سومر العراقية، 32، 1976، 191-235.

[5] Aveni, A. F. (Ed.), *The Lines of Nazca*, American Philosophical Society, 1990.

[6] Bruins, E. M., *On the system of Babylonian geometry*, Sumer, 11(2), 1955, 44–49.

[7] Cauty, A., & Hoppan, J. M., *Les écritures mayas du nombre*, 2007.
https://shs.hal.science/file/index/docid/713305/filename/FDL_CultureMath_proPDF_version_CELIA_bis.pdf

[8] Debnath, L., *A short history of the Fibonacci and golden numbers with their applications*, International Journal of Mathematical Education in Science and Technology, 42(3), 2011, 337–367.

[9] Devlin, K. J., *The Man of Numbers: Fibonacci's Arithmetic Revolution*, Walker & Company, 2011.

[10] Esposito, J. L. (Ed.), *The Oxford History of Islam*, Oxford University Press, 1999.

[11] Fibonacci, L. (n.d.). Liber abaci [A page showing the Fibonacci sequence]. Biblioteca Nazionale di Firenze.

[12] Foerster, B. D. *Nazca: Decoding the Riddle of the Lines*, CreateSpace Independent Publishing Platform, 2013.

[13] King, D. A. *A medieval Arabic report on algebra before al-Khwārizmī*, Al-Masāq, Studia Arabo-Islamica Mediterranea, 1(1), 1988, 25–32.

[14] Sakai, M., Sakurai, A., Lu, S., Olano, J., Albrecht, C. M., Hamann, H. F., & Freitag, M., *AI-accelerated Nazca survey nearly doubles the number of known figurative geoglyphs and sheds light on their purpose*, Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 121(40), 2024, e2407652121.



الأحياء والكون

أسباب وأعراض نقص فيتامين د عند الإنسان

عبد الكريم كاملي
أستاذ بقسم العلوم الطبيعية، المدرسة العليا للأساتذة، القبة
abdelkrim.kameli@g.ens-kouba.dz

مقدمة

تُعدّ الفيتامينات من المركّبات الضرورية التي يحتاجها جسم الإنسان بكميات ضئيلة لضمان سير وظائفه الحيوية، ويُشكّل الغذاء المصدر الرئيسي لها؛ نظرًا إلى عجز الجسم عن تصنيع معظمها. للفيتامينات دور في مختلف الوظائف الحيوية، من تحسين المناعة والنمو إلى تنظيم الأيض وحفظ التوازن الداخلي.

ورغم هذا الدور الحيوي، فإن نقص الفيتامينات بات من المشكلات الصحية العالمية المعاصرة، مما يثير تساؤلات حول العلاقة بين التغذية غير المتوازنة وانتشار حالات العوز الفيتاميني بين الأفراد.

من بين جميع الفيتامينات، يبرز فيتامين د (D) بخصوصيته الفريدة، كونه فيتامينًا وهُرمونًا في آن واحد، إذ يصنعه الجسم ذاتيًا عند تعرّض الجلد للأشعة فوق البنفسجية من الشمس. ورغم هذه القدرة الذاتية، يلاحظ انتشار ظاهرة نقص الفيتامين د في العديد من مناطق العالم، ما يُثير تساؤلات حول الأسباب الكامنة وراء هذا النقص.

يكتسب نقص فيتامين د أهمية خاصة، خصوصًا في الجزائر التي تُعدّ من البلدان المشمسة معظم أيام السنة، ونظرًا إلى الأهمية البالغة التي تحتلها الفيتامينات عمومًا، وفيتامين د خصوصًا، في الحفاظ على صحة الإنسان ودعم وظائفه الحيوية، جاءت فكرة إنجاز مذكرة تخرج خلال السنة الجامعية 2025/2024، ثم نشر أهم ما ورد فيها في شكل مقالين لمحاولة الإجابة عن الأسئلة التالية:

- ما هي الأسباب الحقيقية وراء نقص فيتامين د في مناطق كثيرة في العالم وفي الجزائر رغم وفرة أشعة الشمس؟
- ما هي العوامل الغذائية والسلوكية التي تؤثر على مستويات فيتامين د؟
- ما أعراض ونتائج نقص فيتامين د على صحة الإنسان؟
- وما السبل المثلى للوقاية والعلاج من هذا النقص؟

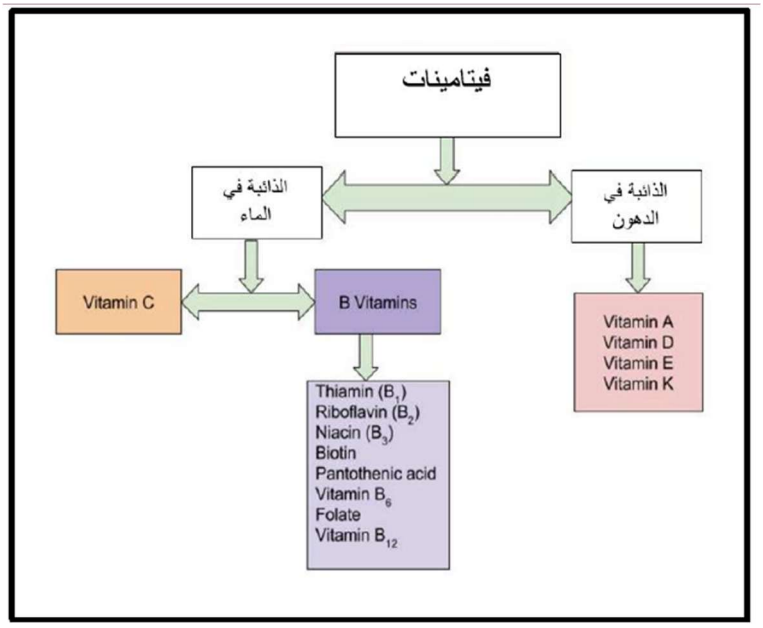
تسعى هذه الدراسة إلى الإجابة عن هذه التساؤلات عبر التعرف على الفيتامينات بصورة عامة، وفيتامين د بصورة خاصة، وأنواعه ومصادره الغذائية وطريقة تخزينه في المقال الأول؛ وتحليل أسباب وأعراض نقص فيتامين د وعلاقته بالغذاء، مع التركيز على الوضع في الجزائر واستكشاف مدى خطورة هذا النقص على الصحة العامة، بالإضافة إلى تقديم الحلول الممكنة والتوصيات للحد من انتشاره في المقال الثاني.

اعتمدت الدراسة على المنهج الوصفي التحليلي حيث تم تقديم عرض شامل للمفاهيم العلمية المتعلقة بالفيتامينات عامة، وبفيتامين د خاصة، من خلال مراجعة المصادر والدراسات الحديثة. أما في الجانب التطبيقي، فتم استخدام دراسة إحصائية مبنية على بيانات جاهزة مستخلصة من أحد مخابر التحاليل الطبية، وذلك لتحليل معدلات نقص فيتامين د في الجزائر، وتفسير أسبابه، واستنباط التوصيات المناسبة لمعالجته.

1. تصنيف الفيتامينات

هناك 13 نوعًا من الفيتامينات لكل منها أدوار ووظائف متعددة في الجسم. يشير التصنيف الأبجدي للفيتامينات إلى التسلسل الزمني لاكتشافها. ومع ذلك، فإن الملاحظة اللاحقة بأن مجموعة الفيتامين ب (B) تتكون من مركبات متعددة، أدّت إلى ظهور تسمية أبجدية رقمية (ب1، ب2، ...). ترجع الفجوات في الترقيم إلى إزالة العديد من المواد التي وُصفت في البداية بأنها فيتامينات، أو لكونها مكتشفة ومسماة مسبقًا. استُخدمت فيما بعد أسماء تعتمد على التركيب الكيميائي للفيتامين أو مصدره الغذائي أو دوره، مع الاحتفاظ بالأحرف اللاتينية الشائعة [1]، [5].

يتم تصنيف الفيتامينات على أساس خاصية الذوبان إلى مجموعتين: فيتامينات قابلة للذوبان في الماء، وفيتامينات قابلة للذوبان في الدهون، كما يوضحه الشكل 1 [9].



الشكل 1. مخطط تصنيف الفيتامينات [9]

2. تعريف الفيتامين د

الفيتامين د هو أحد الفيتامينات الأربعة الذائبة في الدهون، ينتمي إلى مجموعة Seco-steroide (جزيء ستيرويد ذو حلقة واحدة مفتوحة). وهو جزيء قليل الحساسية للأكسدة والحموضة والحرارة إلى غاية 38°م، وحساس للضوء والرطوبة، وحتى التعرض المستمر للأشعة فوق البنفسجية التي قد تؤدي إلى تحلله [3]، [15].

مصطلح فيتامين الذي يعني "أمين حيوي" بالعربية، هو في الحقيقة مصطلح غير مناسب إلى حد كبير للفيتامين د، حيث يمكن للجلد انطلاقًا من الكولسترول، تصنيع الفيتامين د تحت تأثير الأشعة فوق البنفسجية(UVB) ، وهو المصدر الطبيعي الرئيسي لهذا الفيتامين. ولذلك يسمى فيتامين د أحيانًا "فيتامين أشعة الشمس".

وقد كشفت الأبحاث المنشورة في النصف الثاني من القرن العشرين أن فيتامين د هو في حقيقة الأمر هرمون أولي (Prohormone) وليس فقط فيتامينًا، كون خصائصه تتوافق كذلك مع خصائص الهرمونات [4].

3. أنواع الفيتامين

يتواجد فيتامين د في عدة صور (من د1 إلى د5)، نختصر أهمها في شكلين رئيسيين هما:

- كوليكالسيفيرول (vitamin D3) cholecalciferol،

- وإرغوكالسيفيرول (ergocalciferol (vitamin D2.

لكلا النوعين من فيتامين د بنية ستيرويدية أساسية، مما يعني أنهما يشتركان في نواة واحدة، ويختلفان فقط في نوع الستيرول المشتق منه [12].

فيتامين كوليكالسيفيرول (د3) المشتق من الستيرول الحيواني كوليستيرول (Cholesterol)، يُعدّ فريدًا من نوعه لأنه يمكن توفيره انطلاقًا من الجلد من خلال التعرض لأشعة الشمس. عادة ما يكون إنتاج الجلد هو المصدر الرئيسي للفيتامين د3 في الجسم. ومع ذلك، في البلدان التي لا تتلقى تعرضًا كافيًا لأشعة الشمس، يعتمد الناس على المنتجات الغذائية الحيوانية كمصدر غذائي أساسي للفيتامين د3 الطبيعي. يضمن هذا المصدر المزدوج الحفاظ على مستويات كافية من فيتامين د3 في الجسم [1]، [6].

فيتامين إرغوكالسيفيرول (د2) مشتق من الستيرول النباتي الإرغوستيرول (ergosterol)، وهو صورة مأخوذة من المصادر النباتية، حيث تصنعه الفطريات والخمائر [1]. من حيث النشاط البيولوجي، فإن فيتامين د2 يساوي ثلث قوة فيتامين د3، أي إنه أقل فعالية من الناحية الطبية، مما يجعل فيتامين د3 هو العامل المفضل للاستخدام الطبي للجسم كدواء أو كمكمّل غذائي [4].

4. امتصاص الفيتامينات

أ- امتصاص الفيتامينات الذائبة في الماء

يتم امتصاص الفيتامينات القابلة للذوبان في الماء مباشرة من الأمعاء الدقيقة إلى مجرى الدم وبشكل مستقل عن الدهون الغذائية كما يظهر هذا في الشكل 2. تتراوح نسبة امتصاص الفيتامينات الذائبة في الماء عادة من 90 % إلى 100% [7]، [9].

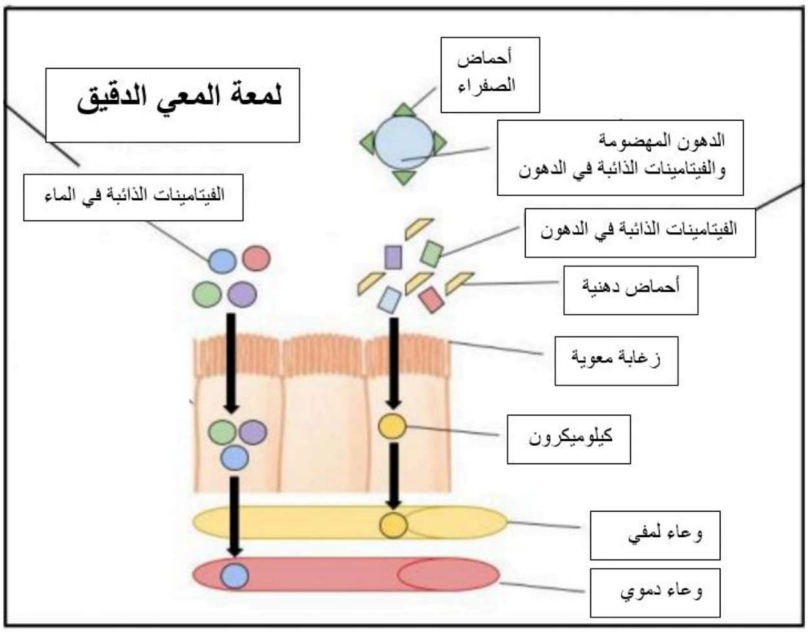
ب- امتصاص الفيتامينات الذائبة في الدهون

يتم امتصاص الفيتامينات القابلة للذوبان في الدهون من الأمعاء الدقيقة جنبًا إلى جنب مع الأحماض الدهنية ويتم نقلها في شكل كيلوميكرون عبر الجهاز اللمفاوي إلى مجرى الدم ثم إلى الكبد، كما يظهر في الشكل 2.

يعتمد التوفر البيولوجي (أي الكمية التي يتم امتصاصها) من هذه الفيتامينات على مكونات الغذاء في النظام الغذائي. نظرًا إلى أن الفيتامينات القابلة للذوبان في الدهون يتم امتصاصها مع الدهون الغذائية. قد يضعف امتصاص الفيتامينات القابلة للذوبان في الدهون إذا كانت الوجبة منخفضة جدًا في الدهون [9].

إن الامتصاص الكافي للفيتامينات القابلة للذوبان في الدهون يعتمد على الاستخدام الفعّال لأملاح الصفراء والليباز البنكرياسي في الأمعاء الدقيقة لهضم الدهون الغذائية، وكذلك القدرة الاستيعابية الكافية للغشاء المخاطي في الأمعاء. وفي ظل الظروف المثلى، يتم امتصاص هذه الفيتامينات من 40% إلى 90% [7].

بعض الفيتامينات، مثل الفيتامين ك (K) والفيتامين ب12 (B12)، يمكن تصنيعها من قِبل بكتيريا الأمعاء، والتي يمكن امتصاصها كذلك، مما قد يعوّض بعض النقص فيها من الغذاء [7].



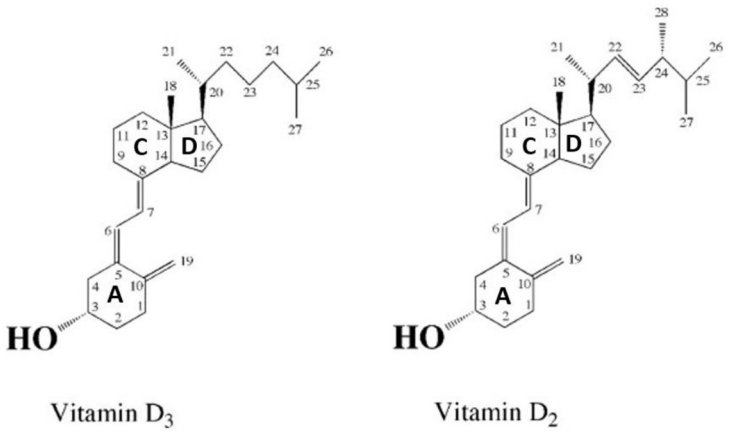
الشكل 2. امتصاص الفيتامينات الذائبة في الماء والذائبة في الدهون [9]

5. البنية الكيميائية للفيتامين د

فيتامين د هو عبارة عن سيكوستيرويد بنيوي من نوع cyclopentano-perhydrop henanthrene، مع رابطة كربون-كربون بين الذرتين 9 و10 مكسورة في الحلقة B من نواة الستيرول. ويتم الإشارة إلى ذلك من خلال إضافة المقطع "9,10-seco" في التسمية العلمية [4]، [20]، [21].

يتكون الهيكل البنيوي للفيتامين د من ثلاث حلقات يُرمز لها بالأحرف A وC وD (الشكل 3)، مرتبطة بسلسلة أليفاتية غير مشبعة. الترتيب المحدد للذرات داخل هذه الحلقات، وخاصةً مجموعة الهيدروكسيل (OH)، يعطي للفيتامين د شكله المميز. تضم البنية الكيميائية سلسلة جانبية أليفاتية مرتبطة بالحلقة D، والتي تختلف في الطول والبنية، حيث يبلغ طولها تسع ذرات كربون في الفيتامين د2 أو ثماني ذرات كربون في الفيتامين د3.

يختلف النوعان في وجود مجموعة ميثيل إضافية عند C24، ورابطة مزدوجة بين C22 وC23 في فيتامين د2. ولا تؤثر هذه الاختلافات البنيوية بين النوعين على عملية التمثيل الغذائي (الميتابوليزم) أو عملية التنشيط، ويعمل كلا الشكلين كهرمونات أولية Prohormones [23].



الشكل 3. البنية الجزيئية للفيتامين د2 و د3 [23]

6. مصادر فيتامين د

أ- المصادر الخارجية (الغذاء)

يتواجد الفيتامين D في شكله الطبيعي في عدد قليل من الأغذية، وبكميات قليلة مقارنة بالاحتياج اليومي للجسم، بينما يتم تصنيع معظم هذا الفيتامين عن طريق التعرض لأشعة الشمس [8]. المصادر الغذائية نوعان:

- فيتامين د2 (إرغوكالسيفيرول) الموجود في المصادر الغذائية النباتية،
- وفيتامين د3 (كوليكالسيفيرول) الموجود في المصادر الغذائية الحيوانية [8].

تتركز المصادر الغذائية للفيتامين د بشكل رئيسي في الأسماك الزيتية، وخاصة كبد سمك القد الذي كان يستخدم سابقًا كدواء لعلاج الكساح، كما يمكن العثور على الفيتامين بكميات أقل في كبد الحيوانات وصفار البيض والجبن والفطر. يحتوي 100 غرام من سمك السلمون المطبوخ على حوالي 348 وحدة دولية (UI) من فيتامين د [8].

الجدول 1: القيم التقديرية لمحتوى فيتامين د في بعض الأطعمة بالاعتماد على بيانات CIQUAL [14]

الطعام	نسبة الفيتامين د (وحدة دولية/100غ)
زيت كبد سمك القد	10000
كبد سمك القد مغلي، مصفى	2172
سمك السلمون المرقط المشوي	440
سمك السلمون المطهو على البخار	348
سردين معلب في الزيت، مصفى	285
تونة معلبة بشكل طبيعي، مصفاة	194
سمك السلمون المدخن	119
كبد الدجاج أو البط المسمن	110
كبد العجل المطبوخ	101
جبن إمنتال	72
بيض نيئ	60

ب- المصادر الداخلية

يتم تصنيع معظم فيتامين د3 من خلال سلسلة من التفاعلات التي تحدث عند تعرّض الجلد للأشعة فوق البنفسجية (ب) UVB، لكن خلال فصلي الخريف والشتاء تقلّ كفاءة خلايا الجلد في إنتاج فيتامين د بسبب نقص الأشعة فوق البنفسجية (ب) [16]. يُعدّ التعرض لأشعة الشمس المصدر الرئيسي للتركيب الحيوي للفيتامين د، حيث يمكن أن يوفر التعرض المباشر لأشعة الشمس لمدة تتراوح بين 5 إلى 10 دقائق على الذراعين والساقين حوالي 3000 وحدة دولية (UI) من الفيتامين د3. في غالب الأحيان، يكون إنتاج الفيتامين د أعلى خلال أشهر الصيف (جوان، جويلية، أوت)، بينما ينخفض بشكل ملحوظ بين نوفمبر ومارس وذلك بسبب نقص الأشعة فوق البنفسجية في فصل الشتاء نتيجة للغيوم المتراكمة.

7. العوامل المؤثرة في التركيب الحيوي لفيتامين د

توجد العديد من العوامل التي تؤثر في عملية التركيب الحيوي لفيتامين د، نذكر من بينها:

- ارتداء الملابس،
- استعمال المراهم والمواد الواقية من أشعة الشمس،
- العمر،
- لون البشرة،
- الحمل والرضاعة الطبيعية،
- التلوث الجوي،
- الموسم،
- خط العرض،
- الوقت من اليوم.

8. نقل فيتامين د

يختلف التوافر البيولوجي (bioavailability) ونقل فيتامين د إلى مجرى الدم حسب مصدره الداخلي أو الخارجي.

أ- المصدر الخارجي

يتم امتصاص الفيتامينين د2 ود3 خارجيّ المصدر الموجودين في الأغذية أو في المكملات الغذائية، في الأمعاء الدقيقة جنبًا إلى جنب مع القطرات الدهنية نتيجة لطبيعتهما الستيرويدية، ثم يتم دمجهما في الكيلوميكرون والبروتينات الدهنية منخفضة الكثافة جدًا (VLDLs) التي تنقلهما عبر الجهاز اللمفاوي إلى مجرى الدم [15].

كان يُعتقد لفترة طويلة أن الامتصاص يتم بشكل غير فعّال، ولكن أشارت الأبحاث الحديثة إلى وجود ناقلات للكوليسترول تشارك في العملية، مثل CD36، NPC1L1، SR-B1، مما أثبت وجود النقل الفعّال.

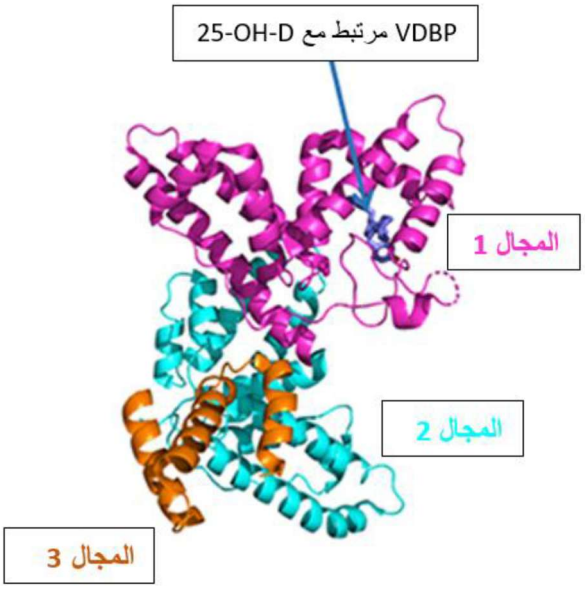
يُعتقد حاليًا أن كلا المسارين (الفعّال وغير الفعّال) يلعبان دورًا في الامتصاص، حيث يزداد النقل غير الفعّال مع الجرعات العالية، بينما يكون النقل الفعّال أكثر أهمية عند المستويات المنخفضة [2]، [18].

ب- المصدر الداخلي

يتم عند الإنسان نقل فيتامين د3 المركب في الجلد، ذو الطبيعة الكارهة للماء، في البلازما مثل بقية الستيرولات، مرتبطًا مع البروتينات، وبشكل أساسي عن طريق البروتين الرابط للفيتامين د والمعروف بـ VDBP أو (vitamin D binding protein)، والمسمى أحيانًا باسم ترانسكالسيفيرين (Transcalciferin) أو Gc-globulin، حيث يتميز هذا البروتين الناقل بألفة عالية للارتباط بالفيتامين بنسبة تقارب 85%، في حين أن الفيتامين يرتبط بدرجة أقل مع البروتينات الدهنية والألبومين التي لها ألفة منخفضة للارتباط بنسبة لا تتجاوز 15% [10]، [11].

9. بنية البروتين الرابط للفيتامين د

يتم تصنيع VDBP بواسطة الكبد، وله دور ربط ونقل فيتامين د ومستقلباته إلى الأعضاء المستهدفة. تنتمي مورثة VDBP إلى نفس عائلة المورثات المشفرة للألبومين والبروتين الجنيني (α-fetoprotein) والأفامين (afamin). وهو عبارة عن غلوبيولين α سكري (غليكوبروتين) غني بالسيستيين مكون من 458 حمضًا أمينيًا، بوزن جزيئي يتراوح بين 55 و58 كيلو دالتون. يحتوي على ثلاثة مجالات حلزونية α متجانسة (الشكل 4)، ومتوفر بعدة صور بسبب الاختلافات في كل من التركيب الأساسي للبروتين (بما في ذلك وجود أو غياب حمض N-acetylneuraminic على الثريونين في الموضع 420) والجزء السكري الذي يضاف بعد الترجمة [11].



الشكل 4. البنية الفراغية للبروتين الرابط لفيتامين د

10.تخزين الفيتامين د

فيتامين د هو أحد الفيتامينات الأربعة القابلة للذوبان في الدهون، ويختلف في طريقة تخزينه عن الفيتامينات الأخرى بأنه لا يتم تخزينه بشكل رئيسي في الكبد، بل يُخزَّن أساسًا في الأنسجة الدهنية على شكل كوليكالسيفيرول (vitamin D3)، وفي العضلات والأنسجة الأخرى على شكل25-OH-D.

يمثل كوليكالسيفيرول (vitamin D3) حوالي 65% من إجمالي فيتامين د في الجسم، حيث يُخزَّن 75%منه في الأنسجة الدهنية. بينما يمثل 25-OH-D حوالي 35% من إجمالي الفيتامين، ويتوزع بشكل أوسع في عدة أنسجة (20% في العضلات، و30% في المصل، و35% في الأنسجة الدهنية، و15% في الأنسجة الأخرى).

يُعدّ قياس مستوى 25-OH-D مهمًا لتقدير حالة الجسم من الفيتامين د، حيث يعكس مخزونه. تجدر الإشارة إلى أن تناول جرعات كبيرة من الفيتامين د، خاصةً في صورته الاصطناعية، قد يؤدي إلى استبدال الفيتامين الطبيعي ومنع امتصاصه بشكل فعّال. لذا فإن فهم كيفية توزيع وتخزين الفيتامين د أمر أساسي لضمان الحصول على الكمية المناسبة منه، خاصة خلال فترات انخفاض التعرض لأشعة الشمس، مثل فصل الشتاء [17].

11.سمّية الفيتامين د

وفقًا للأكاديمية الوطنية الأمريكية للطب، فإن التسمم بفيتامين د في صورة (25-OH-D) يكون بتراكيز أعلى من 250 نانومول/لتر (100 نانوغرام/لتر). وللإشارة، فإن هناك نقصًا في الدراسات السريرية حول التحمّل طويل المدى (عدة أشهر أو سنوات) للتراكيز العالية [20].

تؤدي التركيز العالية جدًا من فيتامين د في الجسم إلى فرط كالسيوم الدم (hypercalcemia) الذي يمكن أن يتميز بشكل خاص بظهور عدة أعراض، من بينها: فقدان الشهية والغثيان، والبوال، والإمساك، والتعب، وفقدان الوزن، والصداع، والاكتئاب، والتكلس الكلوي والدموي، وارتفاع ضغط الدم، وفقر الدم. أثناء التسمم الشديد، يمكن أن يؤدي فرط كالسيوم الدم إلى فشل كلوي لا رجعة فيه، وفشل القلب الذي يمكن أن يؤدي إلى الغيبوبة والموت [19]، [20].

12. وظائف الفيتامين د

يُعدّ الفيتامين د عنصرًا غذائيًا أساسيًا له دور ثابت تاريخيًا في عملية تمعدن العظام والحفاظ على التوازن الفوسفوكالسيمي في الجسم. يؤثر الكالسيتريول (1,25-(OH)2-D) على الأمعاء والكلى والغدد الجار درقية، بالإضافة إلى تأثيره المباشر على العظام [13].

أ- على مستوى الأمعاء

يساهم 1,25-(OH)2-D في زيادة امتصاص الأمعاء للكالسيوم الغذائي بشكل رئيسي، والفسفور بشكل ثانوي [16]، بحيث تم تحديد موقعين للعمل:

- على الحدود الفرشية للخلايا المعوية (brush border): يزيد هذا الهرمون من تركيب ناقل الكالسيوم المعروف بـ(CaT1)، وهي الطريقة الرئيسية لامتصاص الكالسيوم في الأمعاء [22].
- على مستوى خلايا الأمعاء: يزيد من تصنيع بروتين الكالبيندين (Calbindin)، الذي يعزز نقل الكالسيوم عكس تدرج التركيز بين الخلايا المعوية والبلازما، مما يؤدي إلى الانتشار السلبي لأيونات الفوسفات [22].

ب- على مستوى الغدد الجار درقية

تعمل الغدد الجار درقية على مراقبة مستويات الكالسيوم في الدم، فعند انخفاض مستويات الكالسيوم يزداد إفراز هرمون PTH لتعويض هذا النقص. ومن جهة أخرى، يعمل الكالسيتريول (الشكل النشط للفيتامين د) دورًا هامًا في تنظيم هذه العملية حيث يساهم في تقليل إنتاج هرمون PTH ويمنع نمو خلايا الغدد الجار درقية، كما يعمل على تنظيم عدد مستقبلات الفيتامين د (VDR) في هذه الخلايا، مما يزيد من استجابتها لتغيرات الكالسيوم[13].

ج- على مستوى العظام

يساهم الشكل النشط للفيتامين د (1,25-(OH)2-D) في الحفاظ على صحة العظام من خلال تحفيز تمايز الخلايا البانية للعظم Osteoblastes، وإنتاج العديد من بروتينات الوسط خارج خلوي، بما في ذلك النوع الأول من الكولاجين (type I collagen)، وأوستيوبونتين (osteopontin)، وأوستيوكالسين (osteocalcin)، وهي ضرورية لتكوين العظام والحفاظ على قوتها. كذلك تنظيم عملية ارتشاف العظم من خلال تحفيز نشاط الخلايا الهادمة للعظم (osteoclastes)، وذلك بهدف تحرير الكالسيوم والفوسفات وإعادة امتصاصها عند الحاجة لضمان توازن المعادن [14]، [16].

د- على مستوى الكلى

يزيد الفيتامين د من إعادة الامتصاص الأنبوبي للكالسيوم عن طريق العمل المباشر على قناة الكالسيوم الظهارية (Epithelial Calcium Channel -ECaC-). كما أن تأثيره المحفز على إعادة امتصاص الفوسفات الأنبوبي هو تأثير ثانوي لتثبيط إفراز هرمون الغدة الدرقية الناتج عن فرط كالسيوم الدم المرتبط بالإعطاء المفرط للفيتامين د [13].

هـ- على مستوى المناعة

استُخدم الفيتامين د لعلاج العدوى، مثل العدوى بالبكتيريا المسببة لمرض السل، قبل ظهور المضادات الحيوية الفعّالة، حيث اكتُشفت قدرة الفيتامين د على تحفيز التعبير الجيني لبروتينات قاتلة للبكتيريا، مثل بروتين الكاتيليسيدين (Cathelicidin) وبيتا ديفونسين 4 (β-defensin 4).

يعمل فيتامين د على تحسين وظيفة الجهاز المناعي من خلال تحفيز تمايز الخلايا وحيدة النواة إلى خلايا بلعمية، وتحريض عملية البلعمة وإنتاج الإنزيمات الليزوزومية، بالإضافة إلى تأثيره على الاستجابة الالتهابية من خلال التقليل من تكاثر الخلايا التائية وتحويل النمط الالتهابي Th1 إلى النمط المضاد الالتهاب Th2. ويقلل كذلك من الخلايا Th17 المرتبطة بالاستجابات الالتهابية، في حين يعزز من إنتاج الخلايا التائية المنظمة (Treg) التي تساهم في

التوازن المناعي ومنع فرط النشاط. علاوة على ذلك، يقلل الفيتامين د من إنتاج السيتوكينات الالتهابية مثل IL-17 و IL-21وTNFα، ويزيد من إنتاج IL-10 المضاد للالتهاب.

المراجع

[1] كاملي، أساسيات الكيمياء الحيوية: الكيمياء الحيوية التركيبية، دار هومة، الجزائر، 2016.

[2] وزارة الداخلية والجماعات المحلية والتهيئة العمرانية، السكان والتشغيل: ولاية الشلف، 2021.

[3] Al-Baitai, A. Y., Abdul-Hussein, M. J., & Alwan, S. H. The effect of temperature and storage time on the concentration of vitamin D in human serum. *Systematic Review Pharmacy*, 11(4), 2020, 142–146.

[4] Azizova, U. H., Baghirova, S. A., Rahimova, R. R., & Dashdamirova, G. S. Vitamin D: Structure and mechanism of action. *World Journal of Biology Pharmacy and Health Sciences*, 9(3), 2022, 36–41.

[5] Bender, D. A. *Nutritional Biochemistry of the Vitamins*. Cambridge University Press, 2003.

[6] Bendik, I., Bürgi, W., Dörig, R., & Weber, P. Vitamin D: A critical and essential micronutrient for human health. *Frontiers in Physiology*, 5, Article 248, 2014, 1–2.

[7] Byrd-Bredbenner, C., Beshgetoor, D., Moe, G. & Berning, J. *Wardlaw's Perspectives in Nutrition*. McGraw-Hill Companies, 2009.

[8] Cadeau, C. *Prise de complément en vitamine D ou C et risque de cancer du sein dans la cohorte E3N*. Thèse de doctorat, spécialité santé publique-épidémiologie, Université Paris-Saclay, 2016.

[9] Callahan, A., Leonard, H., & Powell, T. *Nutrition: Science and Everyday Application*. Open Oregon Educational Resources, 2020.

[10] Catherine, H. *La vitamine D vue à travers le prisme du Marmandais*. Thèse de doctorat, Université de Bordeaux, 2016. https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01452274v1

[11] Combs, G. F., Jr. *The vitamins: Fundamental aspects in nutrition and health*. Academic Press-Elsevier, 2012.

[12] García-Domínguez, M., Gutiérrez-del-Río, I., Villar, C. J., & Lombó, F. *Structural diversification of vitamin D using microbial biotransformations*. Applied Microbiology and Biotechnology, 108, 2024, 409.

[13] Lahalle, P. *Évolution des recommandations concernant la supplémentation et le statut en vitamine D de la population : état des lieux et étude des prescriptions dans une officine de Meurthe-et-Moselle.* Doctoral dissertation, Université de Lorraine, 2016.

[14] Li, Y., Zhao, P., Jiang, B., et al. Modulation of the vitamin D/vitamin D receptor system in osteoporosis pathogenesis: Insights and therapeutic approaches. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*, 18, 860, 2023.

[15] Mallet, E. Vitamine D. *Journal de pédiatrie et de puériculture*, 27, 2014, 29–38.

[16] Monany, D. *L'emploi des vitamines au quotidien*. Doctoral dissertation, Université de Limoges, 1999.

[17] Murry, E. *Actualités sur la vitamine D et nouvelles perspectives thérapeutiques.* Thèse de doctorat, Sciences pharmaceutiques, Faculté de pharmacie de Grenoble, Université Joseph Fourier, 2011.

[18] Pigarova, E. A., Dzeranova, L. K. & Yatsenko, D. A. Absorption and metabolism of vitamin D in health and in gastrointestinal tract diseases. *Obesity and Metabolism*, 19(1), 2022, 123–133.

[19] Rosen, C. J. Clinical practice. Vitamin D insufficiency. *New England Journal of Medicine*, 364(3), 2011, 248–254.

[20] Ross, A. C., Manson, J. E., Abrams, S. A., Aloia, J. F., Brannon, P. M., Clinton, S. K., Durazo-Arvizu, R. A., Gallagher, J. C., Gallo, R. L., Jones, G., Kovacs, C. S., Mayne, S. T., Rosen, C. J., & Shapses, S. A. The 2011 report on dietary reference intakes for calcium and vitamin D from the Institute of Medicine: What clinicians need to know. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 96(1), 2011, 53–58.

[21] Solomons, N. W., & Kurpad, A. *Vitamin D*. In B. Caballero, P. M. Finglas, & F. Toldrá (Eds.), Encyclopedia of human nutrition (Vol. 2). Elsevier, 2023.

[22] Tissandié, E., Gueguen, Y., Lobaccaro, J.-M., Aigueperse, J., & Souidi, M. Vitamin D: Metabolism, regulation and associated diseases. *Médecine/Sciences*, 22(12), 2006, 1095–1100.

[23] Thomas, L. (2023, January 17). *Vitamin D biochemistry*. News-Medical. Retrieved December 3, 2024, from https://www.news-medical.net/health/Vitamin-D-Biochemistry.aspx



البلازما

إبراهيم سعد الله
أستاذ متقاعد، قسم الفيزياء، المدرسة العليا للأساتذة، القبة
brsadallah@gmail.com

1. ما البلازما؟

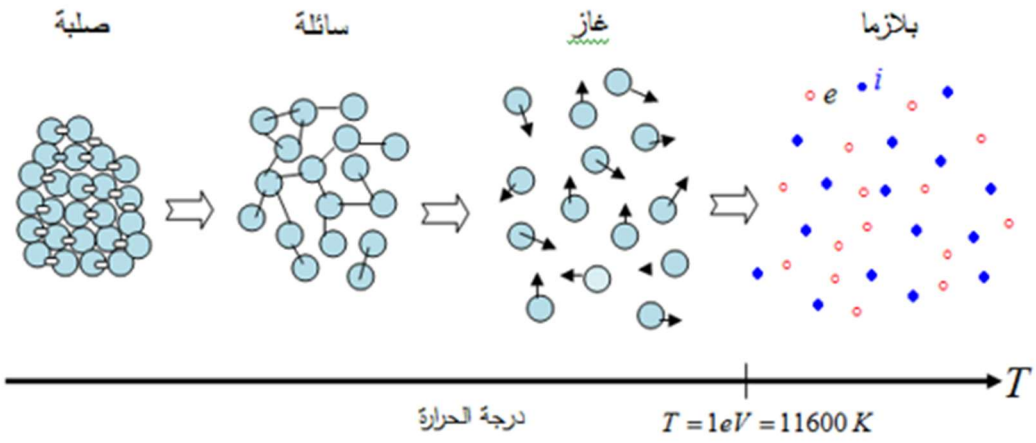
شاهد مِخبريٌ ذات يوم من عام 1922 توهّج مادة في أنبوب يشبه توهّج المادة في البرق واللِّحام وأنابيب النيون. كان مشهدًا لم يألفه الناس. وبعد أن درس العلماء المادة المتوهجة، وجدوها نتيجة حركة الشحنات في حقول كهربائية ومغناطيسية عنيفة، فشبّهوها بحركة الكُرَياتِ البيضاء والحمراء في الدم، المعروفة ببلازما الدم. فأطلقوا على المادة المتوهجة " ظاهرة البلازما"، وذلك سنة 1929. سنحاول هنا عرضها.

غاية هذا المقال هي تقريبُ ظاهرة البلازما للقارئ، بل محاولة إقحامه في معمعتها بقدر الإمكان، لِمَا لها من تواجد حولنا، بل إن الحياة تتوقف عليها. قال العالم السويدي هانس ألفين Hannes Alfvén (1908-1995)، الحاصل على جائزة نوبل في الفيزياء عام 1970، ما معناه: "إن الفيزيائي غير الملّم بعلم البلازما هو فيزيائي جاهل".

2. إنشاء البلازما في المخابر

يبيّن الشكل 1 تخطيطًا تتغير فيه حالة المادة بفعل درجة الحرارة، فلمّا تُرفع درجة حرارة جسم صلب ما، مادة نحاس مثلًا، إلى درجة كافية، تتحول الحالة الصلبة إلى الحالة السائلة. ولمّا ترفع درجة حرارة السائل بما فيه الكفاية تتحول حالة السائل إلى حالة الغاز. ولمّا تُرفع درجة حرارة الغاز بما فيه الكفاية (أكثر من $1MeV = 11600K \approx$)، تنفصل إلكترونات الذرة عن نواتها، فتصبح الإلكترونات، ومثلها الأيونات، تتحرك بحرية وبلا قيد في حقول كهربائية ومغناطيسية فائقة الشدة، وعدد أجسامها هائل.

فتصبح حالة المادة مكونة من غازين: غاز إلكتروني مطيّة للشحنات السالبة، (كثافته $n_e \approx 1710$ في المتر المكعب)، وغاز أيوني مطيّة للشحنات الموجبة (كثافته Zn_i مثل كثافة الغاز الإلكتروني $n_e = Zn_i$). عندئذ يقال إن حالة المادة صارت بلازما، كما في الشكل 1. لهذا السبب يقال إن البلازما عبارة عن غاز مشحون/متأيّن مكوّن من عدد هائل من الإلكترونات والأيونات تتحرك في حقول كهربائية ومغناطيسية شديدة.



الشكل 1. يبين تغيّر حالة المادة بفعل درجة الحرارة.

وبناءً عليه، نستخلص ما يلي: البلازما هي حالة رابعة للمادة؛ بها حقول وأنشطة، تختلف اختلافًا جذريًا عن الحالات الثلاث.

3. تواجد البلازما في الكون

تبيّن أنّ المواد التي درجة حرارتها تفوق درجة التأيّن (وهي $T \approx 1MeV = 11600K$)، حالتها بلازما. لقد شاهد سكان كوكب الأرض، على مر السنين، البراكين وهي تقذف حممها وألسنة لهب ومواد متوهجة، إلخ؛ ذلك دليل على أن حالة المادة في جوف الأرض شديدة الحرارة، فهي حالة بلازما. وقد بيّنت القياسات وجود براكين في كواكب أخرى، وهذا الوضع ينطبق على كافة الكواكب في الكون. ولذلك يمكننا استنتاج أن حالة المادة في جوف الكواكب في الكون هي بلازما.

ومن خلال المشاهدة والقياسات تبيّن أن درجة حرارة باطن الشمس تبلغ $T = 10^7K$ ، ودرجة حرارة جوها هي $T = 1.510^6K$. يقودنا هذا الوصف إلى الاعتقاد الراسخ أن حالة المادة في الشمس وحولها هي حالة بلازما. وهذه حالة الشموس والنجوم المضيئة بذاتها في الكون.

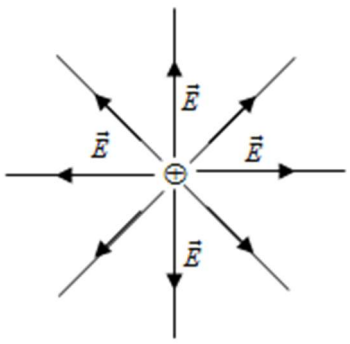
أما الفضاء ما بين الكواكب والمجرات فهو خلاء تسبح فيه جسيمات مشحونة وأخرى غير مشحونة وإشعاعات كهرومغناطيسية صدرت من الشموس والنجوم، نتجت عن تفاعلات بها. نذكر من هذه الجسيمات إلكترونات وبروتونات وجسيمات ألفا (نواة الهيليوم) والنيترونات، إلخ. فحالة المادة في الفضاء بين الكواكب والمجرات هي بلازما أيضًا. هذه البلازما تُعرف بالرياح الكونية (أو الرياح الشمسية).

وبناءً عليه، استخلص العلماء ما يلي: أن 99.9% من حالة المادة في الكون هي بلازما. هذه حالة الكون الذي نعيش فيه، فتحس ابصارنا به، وتتفاعل أجسادنا معه.

4. تعريف البلازما

غالبًا ما تُعرَّف البلازما على أنها "الحالة الرابعة للمادة " أو "الغاز المشحون". وهما تعبيران يكتنفهما غموض، إذ ليست أي جملة من الشحنات تشكل بلازما. كما أنهما لا يحملان أيًّا من خصائصها الفيزيائية الأساسية. في الواقع، تبدي البلازما تصرفات لا تظهر في الحالات الثلاث الشائعة، تُسمّى سمات أو ظواهر البلازما. يعود ذلك لتفاعل شحنات البلازما مع الحقول الكهربائية والمغناطيسية. وعليه ينبغي أن يحمل تعريف البلازما سماتها. لذا يمكن تعريف البلازما على النحو التالي: "البلازما هي غاز من جسيمات مشحونة، عددها هائل، شبه متعادلة، تبدي الفعل الجماعي". هذا التعريف أدق من التعريفين السابقين، لكنه يتضمن مصطلحي "شبه متعادلة" و"الفعل الجماعي". وهما مصطلحان ينبغي توضيحهما.

يُردّد أهل العلم المقولة: لا تستتب الجمل الفيزيائية حتى تقضي على حقولها! دعنا نوضح معنى هذه المقولة. "الفعل الجماعي" و" شبه التعادل".

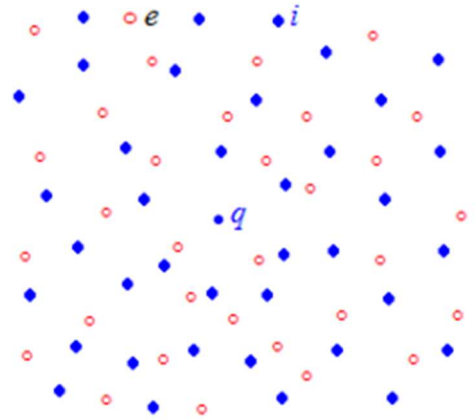


الشكل 2. يبيّن الشحنة الموجبة وحقولها.

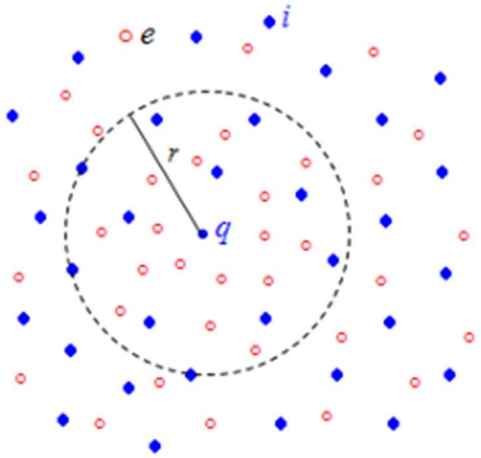
قبل محاولة فهم المصطلحين، دعنا نذكّر بقاعدة مهمة تقول: تُولّد الشحنة الموجبة حقولًا كهربائية في كل نقطة من الفضاء، تخرج منها، وتوازي خطوطًا مستقيمة تتقاطع في الشحنة، شدتها تتناقص مثل$\frac{1}{r^2}$، كلما زادتr ، وهي البعد عن الشحنة، كما يوضح الشكل 2.

فإذا وقعت شحنة سالبة في حقولها تجذبها، وإذا وقعت شحنة موجبة في حقولها تدفعها وتبعدها.

بناءً عليه، هَلُمَّ نقتفي أفعال شحنة من شحنات البلازما، ولتكن أيونًا شحنتهq ، كما يوضح الشكل 3. فاعتمادًا على القاعدة، يجذب الأيونq إلكترونات البلازما القريبة والبعيدة ويدفع أيوناتها القريبة والبعيدة؛ فتتحرك شحنات البلازما حركة جماعية موحدة ومنظمة وفي وقت واحد، محدثة تغييرًا في توزيع أجسام البلازما. ومن ثمّ يصير المشهد كما في الشكل 4، ويتشكل حول الأيونqغَيْمٌ إلكتروني، وتقلّ حوله الأيونات؛ ولا تزال الإلكترونات تتدفق عبر السطح المنقط داخلةً والأيونات تتدفق خارجةً حتى تتعادل الشحنة الكهربائية في الكرة(q, r_D). عندئذ يتوقف التدفق عبر السطح المنقط فتصبح الشحنة الموجبة،$Q_i = Zn_i eV$ ، تساوي الشحنة السالبة،$Q_e = n_e eV$ في الكرة(q, r_D)، أي$Q_i =$ Q_eأو$Zn_i = n_e$. وفي تلك اللحظة يصبح المراقب خارج الكرة(q, r_D) لا يحس بوجود شحنة في الكرة، ولذلك لا يحس بحقل الأيونq. وبعبارة أخرى، فقد عُدِم حقل الأيون خارج الكرة(q, r_D). نشير إلى أنه يمكن الوصول إلى النتيجة ذاتها رياضيًا باستخدام نظرية تدفق الحقل الكهربائي المعروفة.



الشكل 3. يبيّن إلكترونات (○) وأيونات (◆) وأيون اختبارq ، تتحرك في الحقول بحرية وبلا قيد.



الشكل 4. يبيّن أيون اختبارq ، جلب إلكترونات ودفع أيونات بحقله، فشكل حوله غيم من إلكترونات.

يمكننا تلخيص ما تقدّم فيما يلي: لمّا وقعت شحنات البلازما في حقول الأيونq تحركت جماعيًا بحركة موحّدة ومنظمة في وقت واحد. وإثر ذلك أحاطَ الغيمُ بالأيون، لدرجة جعلت الشحنة في الكرة(q, r_D)تتعادل. فيصير مراقب خارجها لا يحس بشحناتها ولا بحقولها. فيقال: "الغيمُ حجب حقل الأيون" على بعدr_D. ها هي نتائج قد تجلّت: إن الحركة الجماعية لشحنات البلازما تسببت في تكوين غيم أحاط بالأيونq ، والغيم تسبب في تعادل الشحنة في الكرة(q, r_D)؛ وتعادل الشحنة في الكرة تسبب في حجب حقل الأيون. لذا فتكوين الغيم، والتعادل (شبه التعادل)، والحجب هي نتائج الفعل الجماعي. تسمى الكرة(q, r_D) كرة ديباي (Debye) للأيّون.

5. تعميم

- ما قام به الأيون q تقوم به كافة أيونات البلازما على قدم المساواة، بل يقوم به كلّ إلكترون من البلازما أيضًا.
- يصبح المشهد العيني للبلازما جملة من غاز متأيّن كثافته عالية، متعادل كهربائيًا، خاليًا من الحقول، جملة مستقرة تبدي الفعل الجماعي. هذا تعريف جيد للبلازما.
- يبيّن الحساب أن نصف قطر كرة ديباي لأيون هو $r_{Di} = \sqrt{\frac{\varepsilon_0 k_B T_i}{Z n_i q_i^2}}$، وللإلكترون هو $r_{De} = \sqrt{\frac{\varepsilon_0 k_B T_e}{n_e e^2}}$.
- تأمّل كيف أبادت جملة الشحنات حقولها، واستقرت. لقد صدق العلماء!

6. ملاحظات

- إن ما يحدث داخل كرة ديباي أمر صعب التخيل؛ ففي كرة ديباي تخيّم حقول كهربائية ومغناطيسية فائقة الشدة. هناك تتفاعل شحنات البلازما مع الحقول وتتصادم (e,e) و (i,e) و (i,i)، كما تتصادم ذرة معتدلة مع (e) و (i)، وتتسارع الشحنات فتصدر من كرة ديباي جميع أنواع الأمواج الكهرومغناطيسية وغيرها. ومن ثمّ ندرك أن كرة ديباي مرتع لظواهر فيزيائية جمّة يصعب حصرها.
- ينبغي التنويه بأن الشحنات في كرة ديباي التي تساهم في حجب حقل الأيون بعضها يعود إلى الحركة الحرارية لأجسام البلازما ولا تعود إلى الحقول الكهربائية (الفعل الجماعي).
- كما نشير إلى أن الإلكترونات القريبة من الأيون q تساهم في تشكيل الغيم بصفة أقل بكثير من مساهمة الإلكترونات البعيدة عن الأيون. ندرك هذه الظاهرة بسهولة عندما نقارن عدد الإلكترونات القريبة من مركز كرة ديباي بعدد الإلكترونات القريبة من محيط كرة ديباي. لذا يُقال إن عملية حجب حقل الأيون يعود أساسًا إلى الإلكترونات البعيدة.

7. استخدامات البلازما

تُستخدم البلازما في عديد التطبيقات الصناعية والتكنولوجية والعلمية نظرًا لخصائصها الفريدة من حيث التوصيل الكهربائي والتفاعل والطاقة العالية. وتنقسم استخداماتها بصفة عامة إلى فئتين: البلازما الحرارية (لها درجة حرارة عالية)، والبلازما الباردة.

على سبيل المثال، تصيب الرياح الشمسية (بلازما) الغلاف الخارجي لجوّ الأرض فيتسبب ذلك في أضرار تطال نظامها المغناطيسي، مما يؤدي أحيانًا إلى تشويهه. ومن ثمّ تتضرّر الاتصالات على وجه الأرض. كما تتعرض جزيئات الهواء في الغلاف الخارجي لجو الأرض (80% منه من غاز النيتروجين N_2) للإشعاع فوق البنفسجي، فيؤدي ذلك إلى تأيُّن غاز الطبقة العليا محدثًا ما يُسمى بـ "البلازما الأرضية"، وهي بلازما باردة، توجد تحتها "طبقة أيونية"، فتحدث انتقالات في طيف النتروجين في البلازما. ونتيجة لذلك يُرسل إشعاع لونه أزرق، وهو اللون المميز لطيف النتروجين. ذلك اللون هو الذي نتمتع به أثناء النهار عندما نرى السماء زرقاء. أما الطبقة الأيونية فتُستغل في الاتصالات اللاسلكية، استغلالًا يصعب حصره، ويؤثر على نظام التموضع العالمي (GPS).

كما تعدّ النواقل بلازمات باردة. فمثلًا هناك ذرة من كل ثلاث ذرات من النحاس فاقدة لإلكترون (فهي بلازما باردة) وذلك هو سبب سريان التيار الكهربائي في الأسلاك، إلخ.

8. استخدام البلازما الحارة

من بين استخدامات البلازما الحارة الكثيرة أنه يُعتمد عليها لإنتاج طاقة الشمس؛ لذا نجيب عن السؤال: ما الشمس؟

تتكون الشمس من الهيدروجين والهيليوم:75% من كتلتها هيدروجين و25% من كتلتها هيليوم، وجزء تافه0.13% من مزيج من الأكسجين والكربون والنتروجين. ويتألف جسم الشمس من طبقات مختلفة الخواص تحيط بباطنها الأحمر، كما في الشكل 5. فالشمس عبارة عن كرة ضخمة من الغاز شديد الحرارة، جميع طبقاتها متوهّجة. وتبلغ درجة الحرارة في باطنها1.510^7K ، وكثافتها150 مرة كثافة الماء، وضغطها أكثر من 200 مليون مرة الضغط الجوي على الأرض. وهكذا نرى أن الشمس بمثابة بلازما بأتم معنى الكلمة. نشير إلى أن في قلب الشمس الكثيف الشديد الحرارة تُنتَج طاقة الشمس من خلال تفاعل اندماجي نووي حراري (فالشمس عبارة عن مفاعل نووي اندماجي متسق ذاتيًا). أما الجو المحيط بها فهو بمثابة بلازما اسمها "هالة" (أو "كورونا")، درجة حرارتها1.510^6K تمدّ الكون بالحرارة والأضواء.



الشكل 5. يبين الشمس والطبقات المكونة لها، الهالة هي البلازما المحيطة بالشمس وتزود بالضوء والحرارة.

9. ما هو المفاعل النووي الحراري الاندماجي الهيدروجيني؟

المفاعل النووي الحراري هو جهاز مصمّم لتوليد الطاقة عن طريق دمج نوى ذرات الهيدروجين في درجات حرارة عالية فائقة؛ وذلك لإنتاج الكهرباء. فقلب الشمس ومحيطه هو مفاعل نووي حراري اندماجي، ذلك أن درجة حرارة قلب الشمس شديدة1.510^7K ، تتحرك فيه نوى الهيدروجين ونظائره حركة حرارية فائقة السرعة، بالطاقةk_BT_i فتتصادم بعنف، رغم تنافرها، ومن ثمّ تندمج إثر ذلك، فيتشكل الهيليوم، وتنساب طاقة هائلة قدرها$17.6MeV$، من خلال التفاعل:

$$^2_1H+^3_1H \rightarrow ^4_2\ H_e+^1_0n + 17.6MeV$$

أو

$$^2_1H(\text{الديوتريوم}) + \ ^3_1H(\text{التريتيوم}) \rightarrow \ ^4_2H_e(\text{هيليوم}) + \ ^1_0n(\text{نيوترون}) + 17.6\ \text{MeV}\ (\text{طاقة منسابة من الاندماج})$$

اطلع الإنسان على هذا التفاعل منذ الأربعينيات من القرن الماضي، وتمكّن من استخدامه سلاحًا نوويًا هيدروجينيًا. ومنذ ذلك الحين وهو يحاول إحداث محاكاة شمسية على الأرض (أي إنشاء مفاعل نووي اندماجي حراري هيدروجيني متحكّم في الطاقة المنسابة)، ففشل لأن الطاقة المنسابة فائقة وتتلف جدران الحاوية فورًا. ولا يزال الأمل يحدو بالباحثين، ويأملون بلوغ ذلك خلال العقود الخمسة المقبلة.

الطاقة المنسابة من هذا التفاعل نظيفة، ووقوده رخيص، ومتوفر، وهو سهل التخزين والنقل، ولا يترتب على هذا التفاعل تلوث إشعاعي (طاقة نظيفة). كما لا يحتاج إلى تخصيب. والوقود موجود في البحر.

لقد استخدمت البلازما الحارة في حرب السنة الجارية بالشرق الأوسط لتعمية الرادارات، إذ ترفع سرعة الصاروخ إلى 15 مرة سرعة الصوت. فلمّا يغُوصُ الصاروخ في الهواء نحو الأرض يسخن ويتوهّج ويصير جسمه بلازما. ومن سمات البلازما إرسال وامتصاص الأمواج، فلمّا تصادف أمواج الرادارات جسمَ الصاروخ تمتزج بأمواج البلازما ولن تعود إلى الرادار.

****



الفيزيائي والكيميائي الهولندي الحائز على جائزة نوبل في الكيمياء عام 1936
بيتر ديباي Peter Debye (1884-1966) صاحب "كرة ديباي".

عالم السُّدم: محركات التطور المجرّي والتركيب الكيميائي

جمال ميموني
مركز البحث في الإعلام العلمي والتقني (CERIST) وجامعة قسنطينة 1
الرئيس السابق للجمعية الفلكية الأفريقية (AfAS)
jamal.mimouni@gmail.com

لنستكشف في هذا المقال السُّدُم؛ تلك السُّحب الكونية الغريبة والجميلة، والتي تُعدّ ضرورية لخيمياء المجرات، بل هي في الواقع محرّكاتها الكونية. إنها قصة كيف تتنفس المجرة، وتموت، ثم تُولد من جديد لتكوّن التربة التي نقف عليها . فهي ليست مجرد عجائب بعيدة، بل هي أسلافنا القدامى.

1. سطائر الكون الملوّن

إن النظر إلى سديم عبر التلسكوب يشبه إلقاء نظرة خاطفة على أروع تحفة فنية في الكون. لقرونٍ مضت، كانت هذه الأجرام تُرى كمجرد "لطخات" ضوئية (Nebulae)، سحبٌ أثيريةٌ ملونةٌ يبدو أنها تنجرف في سكونٍ أبديٍ وهادئٍ. ولكن مع تطور الفيزياء الفلكية، تطور فهمنا أيضًا. فبعيدًا عن كونها سحبًا ساكنة، تُعدّ السُّدُم أكثر المختبرات ديناميكية وعنفًا في الكون. إنها الجسور الرابطة بين موت الشموس (النجوم) القديمة وولادة عوالم جديدة، وتعمل كمراكز أساسية لإعادة التدوير الكيميائي للكون.



الشكل 1. "أعمدة الخلق" (Pillars of Creation) (M16): محراب كوني من الغاز والغبار، حيث تقف الأعمدة الشاهقة كنُصُب صامتة لدورة ميلاد النجوم وإعادة تدويرها المستمرة . تظهر الصورة على اليسار بعدسة تلسكوب هابل (2014)، وعلى اليمين بعدسة تلسكوب جيمس ويب (JWST) الذي مكّننا من اختراق المزيد من الغبار في منطقة تشكل النجوم هذه بفضل قدرته في نطاق الأشعة تحت الحمراء.

داخل مجرتنا درب التبانة، تُعدّ سحب الغاز والغبار هذه هي المكوّنات الخام للوجود. فكل ذرة في أجسادنا كانت يومًا ما محتضنة داخل هذه الستائر المتوهجة. واليوم، ومن خلال عيون التلسكوبين الفضائيين هابل وجيمس ويب،

اكتشفنا أن هذه الهياكل ليست مجرد صور جميلة؛ بل هي المحركات عالية الطاقة التي تدفع تطور مجرتنا بأكملها. إنها تُمثل "الوسط بين النجمي" (ISM) في حالته الأكثر وضوحًا وحيوية، وهي بمثابة "الخميرة" الكونية التي ترفع الجيل القادم من النجوم.

2. تصنيف الضوء والظلال

يُصنِّف الفلكيون هذه السحب بناءً على كيفية تفاعلها مع الضوء، مما يكشف عن الحالة الفيزيائية الخفية للفضاء بين النجوم:

- **السُّدم الانبعاثية**: هي نجوم العرض، تتوهج بتألق يشبه أضواء النيون حيث تكتسب طاقتها من الإشعاع العنيف للنجوم حديثة الولادة القريبة.
- **السُّدم الانعكاسية**: تُقدّم جمالًا أكثر نعومة، وتظهر كوشاح من اللون الأزرق الياقوتي حيث ينعكس ضوء النجوم على حبيبات الغبار المجهرية، تمامًا مثل انعكاس ضوء الشمس على ضباب الصباح.
- **السُّدم المظلمة**: هي الأجزاء "الأبرد" والأكثر غموضًا في المجرة. وهي عبارة عن ظلال كثيفة معتمة تحجب النجوم التي خلفها. ورغم أنها تبدو كفراغات، إلا أنها في الواقع أكثر أماكن الكون خصوبة؛ ففي أعماق هذه الشرانق المظلمة، تسحب الجاذبية الغاز معًا حتى يشتعل، مولّدًا شمسًا جديدة.

أخيراً، لدينا "إعادة الضخ":

- **السُّدم الكوكبية** (Planetary nebulae) وبقايا المستعرات العظمى (SNR)، وهي الزفير الأخير والمذهل للنجوم المحتضرة التي تنثر عناصر الحياة مرة أخرى في الفراغ.



الشكل 2. سديم رأس الحصان (Horsehead Nebula B33) على اليمين، حيث يرتفع ظل فارس سماوي مظلم ضد ستارة متوهجة غنية باللون الأحمر القرمزي، كاشفًا عن الطبقات الخفية للفراغ بين النجمي. ويظهر سديم الشعلة (Flame Nebula) على اليسار.

3. فك رموز اللوحة الكونية

ألوان السديم ليست للعرض فقط، بل هي البصمة الكيميائية للكون. فمن خلال قراءة هذه الألوان، يمكننا معرفة مكونات السحابة بالضبط:

- **التوهج القرمزي (الأحمر الداكن)**: هو نبض المجرة، وهو بصمة الهيدروجين، العنصر الأكثر وفرة والوقود الأساسي للنجوم.
- **الأخضر الزمردي**: عندما تراه، فأنت تنظر إلى الأكسجين. في فراغ الفضاء الرقيق، يبعث الأكسجين ضوءًا "محظورًا" محددًا نادرًا ما نراه على الأرض، وهو ما يميز الأجزاء الأكثر سخونة وحيوية في السحابة.
- **اللون الأزرق**: يشير عادةً إلى "الغبار" الذي يشتت ضوء النجوم، تمامًا مثل العملية التي تجعل سماءنا تبدو زرقاء.
- **البرتقالي الداكن والبنفسجي**: غالبًا ما يشيران إلى وجود الكبريت أو النيتروجين.

تخلق هذه الألوان معًا خارطة لدرجة الحرارة الداخلية للسديم وثروته الكيميائية.



الشكل 3. سديم الجبار (Orion Nebula M42)، أشهر مشتل في مجرتنا وتحفة من الألوان: الأحمر البنفسجي للهيدروجين، والوهج الزمردي (emerald) للأكسجين.

4. مشتل النجوم

تُعدّ السُّدُم المنظم الرئيسي لدورة حياة المجرة. داخل السُّحب الجزيئية العملاقة، تنتصر الجاذبية في النهاية على الضغط الداخلي، وتولد النجوم. لكن العملية عبارة عن رقصة دقيقة بين الخلق والدمار. فبمجرد اشتعال النجم، تبدأ رياحه القوية وإشعاعاته في دفع السحابة التي خلقته بعيدًا.

هذا "التفاعل العكسي" ضروري؛ فلو كانت العملية فعّالة للغاية، لاستهلكت المجرة غازها في لمح البصر. وبدلًا من ذلك، يعمل السديم كبوابة، حيث يبطئ معدل ميلاد النجوم ويضمن استمرار مجرة درب التبانة في إنتاج أجيال جديدة من النجوم لمليارات السنين. فالسديم هو مهد الحياة ومنظم استقرار المجرة على المدى الطويل.

5. ما وراء المشاتل النجمية: مسرح الأعماق الصاخب

خلف مشاتل النجوم المألوفة، يمتلئ الكون بمسرح صاخب من الضوء والظلال، بدءًا من الأنقاض المذهلة لبقايا **المستعرات** العظمى. وهي الحطام المتناثر لنجوم ضخمة أنهت حياتها في انفجارات هائلة، مرسلةً خيوطًا غازية ممزقة

وفوضوية، مثل تلك التي نراها في سديم السرطان الشهير، تتسابق في الفراغ لتنثر العناصر الثقيلة اللازمة لعوالم المستقبل.

في المقابل، نجد السُّدُم الكوكبية، وهي "الزفرات النهائية" الرقيقة والمتوهجة لنجوم تشبه شمسنا. ورغم اسمها، لا علاقة لها بالكواكب؛ بل هي أصداف غازية متوهجة تشبه الجواهر، تنفثها النجوم المسّنة لتضيء الظلام كفقاعة كونية شفافة قبل أن تتلاشى في الليل بين النجمي. وتنضم إليها السُّدم المظلمة، تلك الظلال الباردة والصامتة التي تعمل كمستودعات غامضة للمواد الخام في المجرة.

ومن بين هذه العجائب النادرة أيضًا: سديم وولف-رايت (Wolf-Rayet stars)، وهي "فقاعات عملاقة" تنفثها الرياح العاتية للنجوم شديدة الحرارة، وأجرام هاربغ-هارو (Herbig-Haro objects)، التي تعمل كمنافث لولادة النجوم. وتكتمل المجموعة بـ "**السُّدُم الكوكبية الأولية**" العابرة، وهي مرحلة شرنقة قصيرة لموت النجوم، و"**السُّدم المتغيرة**"، وهي تلك الحرباء الكونية التي تغير ظلالها خلال أسابيع أو أشهر فقط.



الشكل 4. جرم "هاربغ-هارو 24" (HH 24) يبدو كأنه سيف ليزر مزدوج من ملحمة خيال علمي، ويظهر القوة العاتية لنجم في مهده، حيث ينفث النجم الوليد نفاثات ضيقة من الغاز تصطدم بالفراغ المحيط.

6. لغز "الفقاعة المزدوجة"

يتعلق بالسُّدُم الكوكبية، وهي أصداف متوهجة تقذفها النجوم الشبيهة بشمسنا في نهاية حياتها. لعقود من الزمن، اعتقدنا أن هذه النجوم تموت عبر نفاث غازية مستديرة وبسيطة، لكننا كنا ننظر إليها من "منظور خاطئ".

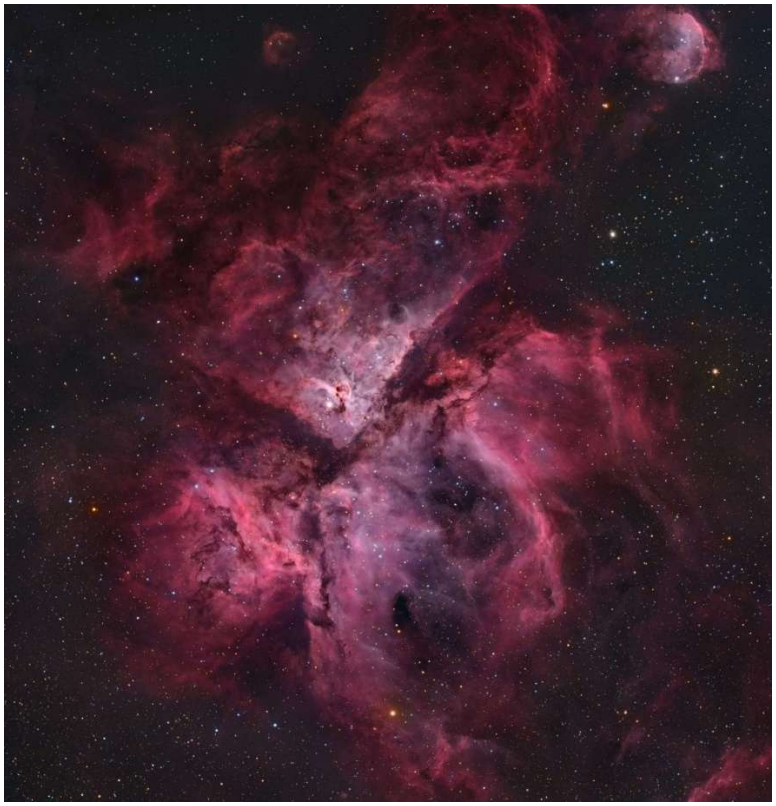
لقد كشفت الملاحظات الحديثة أن غالبية هذه السُّدُم ليست كروية على الإطلاق، بل هي أنظمة حلقات متداخلة ومعقدة وأشكال تشبه الساعة الرملية أو "الفقاعة المزدوجة". والسر وراء هذا "السحر" هو الرفقة؛ فمعظم هذه النجوم المحتضرة ليست وحيدة، بل لديها "شريك خفي"، نجم مرافق أصغر أو حتى كوكب ضخم يدور حولها. تعمل جاذبية هذا الشريك مثل عجلة الفخار الكوني، حيث تدور الغازات المطرودة في قرص مسطح وتجبر الرياح النجمية على الانطلاق من الأقطاب. إن أجسامًا أيقونية مثل سديم الحلقة الجنوبية هي نتيجة لهذه الرقصة المدارية العنيفة والجميلة، مما يثبت أن الموت المذهل غالبًا ما يتطلب شريكًا لتشكيل العرض النهائي.



الشكل 5. سديم الحلقة الجنوبية (NGC 3132). يظهر هنا بواسطة تلسكوب جيمس ويب نجمان يرقصان في قلب هذه "الفقاعة المزدوجة"، ينحتان طبقاتهما المطرودة في جوهرة متألقة ومتعددة الأوجه. في حين أن الصورة البصرية تكاد تخطئ النجم الثاني.

7. مصانع الكيمياء: صياغة جزيئات الحياة

ربما يكون أعمق إدراك في العقد الماضي هو أن السُّدم هي "مصانع كيميائية" نشطة. كنا نعتقد سابقًا أن الكيمياء المعقدة مستحيلة في البيئة القاسية والمليئة بالإشعاع لنجم محتضر، لكننا كنا مخطئين.



الشكل 6. سديم القاعدة (NGC 3372)، هو السديم العظيم الذي يهيمن على سماء جنوب إفريقيا، وهو حيز ناري هائل غير مرئي في الشمال.

لقد رصدت التلسكوبات الآن جزيئات عضوية معقدة، وهي السلائف المكونة لوحدات بناء الحياة، تتشكل حاليًا داخل هذه السحب العنيفة. حتى في البيئات "الغنية بالأكسجين"، وجدنا سلاسل كربونية معقدة ومكونات أساسية للحياة، تقوم هذه السحب فعليًا بـ"طهي" الجزيئات ونثرها في جميع أنحاء المجرة. وعندما تتشكل كواكب جديدة من بقايا هذه السُّدُم، تكون مشبعة بالفعل بالكيمياء الأساسية اللازمة لبدء الحياة. إن الزفير الناري الأخير للنجم لا ينثر الغبار فحسب، بل يوفر البذور لسيمفونية بيولوجية مستقبلية.

8. الخاتمة: نحن رفات النجوم

قصة السديم هي في النهاية قصتنا نحن. فهذه السُّحب ليست مجرد أجرام جميلة وبعيدة، بل هي المراكز النشطة لإعادة التدوير الكوني. فكل ذرة كربون في حمضنا النووي وكل نَفَس أكسجين في رئتينا صُهر يومًا ما في فرن نجمي وحُمِل إلى الفراغ بواسطة هذه السحب الملونة والعنيفة.



الشكل 7. مجمع سحابة الجبار الجزيئية: يمكنك رؤية النجوم الثلاثة المميزة لحزام الجبار، والعديد من النجوم والسُّدُم المعروفة، بما في ذلك "حلقة برنارد" المذهلة (Barnard's Loop)، وهي قوس ضخم متوسع من الغاز نحتته بقايا انفجارات مستعرات عظمى قديمة. هي في الواقع صورة مركبة، لكن مكونها الأساسي يعتمد على طول موجة هيدروجين-ألفا.

بينما ننظر إلى "اللطخة" في الجبار أو "فقاعات" الحلقة الجنوبية، فإننا ننظر إلى أصلنا. تُذكّرنا السُّدُم بأن الموت في الكون ليس نهاية أبدًا، بل هو تحوّل "الخميرة" التي تزرع المستقبل. نحن حقًا "غبار نجوم"، المنتجات الحية لأكثر تحوّلات الكون دراماتيكية وجمالًا.



تكنولوجيات وصناعة

من الفحم إلى الهواتف الذكية: رحلة الكربون والنيوديميوم

مسعود خيــط
أستاذ متقاعد، قسم العلوم الفيزيائية، المدرسة العليا للأساتذة، القبة
messaoud.kheit@g.ens-kouba.dz

نعيش عصرًا تتسارع فيه الاكتشافات وتتداخل فيه المعارف في مشهدٍ علميّ مُبهِر، غير أنّ تعليم الكيمياء على ما له من مكانةٍ مركزية في فهم المادة وأسرارها لا يزال، في بعض السياقات، أسيرَ مقارباتٍ تقليدية تُعلي من شأن الحفظ على حساب الفهم، وتُضيّق آفاق التجريب والاكتشاف. فتتشكّل بذلك علاقةٌ فاترة مع هذا العلم، حيث تُختزل القوانين في صيغٍ جامدة، وتُختصر المعادلات في رموزٍ صامتة، بدل أن تكون مفاتيح لقراءة العالم وتحليل ظواهره.

ورغم ما بشّرت به الإصلاحات التربوية من إمكاناتٍ للتجديد، يظلّ أثر هذا الإرث قائمًا، متجلّيًا في تهميشٍ نسبي للكيمياء، لا ينسجم مع دورها الجوهري في تفسير بنية المادة وتحولاتها، ولا مع إسهامها العميق في مجالات الحياة المعاصرة. ومن منظورٍ أرحب، لا تُختزل الكيمياء في بعدها التطبيقي فحسب، بل ترتقي إلى أن تكون مدخلًا لفهمٍ أكثر تركيبًا للعالم، حيث تتكامل دقّة التجربة مع عمق التأمل، ويتأسّس الوعي العلمي على التساؤل الرصين والمعرفة المتجددة.

ومن بين عناصر الجدول الدوري، يتجلّى الكربون في صورةٍ لافتة بوصفه نموذجًا مثاليًا يكشف هذا الثراء؛ إذ يجمع في بساطة تركيبه قدرةً استثنائية على التنوع البنيوي، تجعله مدخلًا سلسًا لفهم عالمٍ واسع من الظواهر والتطبيقات.

1. الكربون: عنصر الوحدة والتنوّع البنيوي

يُعدّ الكربون (C، العدد الذري=6) من أكثر العناصر قدرةً على تشكيل تراكيب متنوعة بفضل قابليته لتكوين روابط تساهمية متعددة، مما يجعله أساسًا للكيمياء العضوية وللبنى الجزيئية المعقدة.

1.1 الفحم (الكربون غير المتبلور)



الصورة 1. الفحم

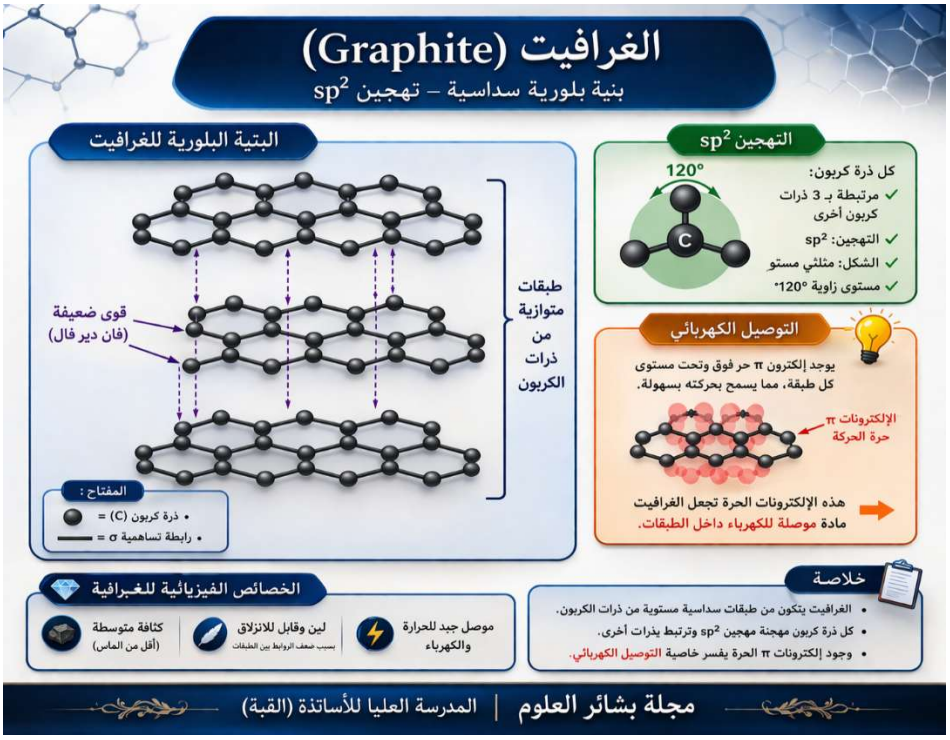
يُمثّل الفحم شكلًا غير بلوري للكربون، تتخلله شوائب وبنية ذرية غير منتظمة. يختلف تركيب الفحم تبعًا لظروف التكوّن وطرق المعالجة، ويشمل الفحم النباتي المستخدم في الطهي وإنتاج الطاقة، والفحم الحجري المتكوّن عبر العصور الجيولوجية والمستعمل في إنتاج الطاقة والصناعات المختلفة، إلى الفحم النشط عالي المسامية المستخدم في عمليات التنقية. تعكس هذه البنية غير المنتظمة خصائص فيزيائية مميزة، مثل الهشاشة وضعف التوصيل الكهربائي.

بينما يظل الفحم ذا أهمية تطبيقية كبيرة في مجالات الطاقة والصناعات الكيميائية، مما يبرز العلاقة الجوهرية بين البنية الدقيقة ووظائف المادة.

2.1 الغرافيت (Graphite): بنية طبقية وخواص فيزيائية مميّزة

يُعدّ الغرافيت أحد الأشكال المتآصلة للكربون، ويتميّز ببنية بلورية فريدة تقوم على ترتيب طبقي سداسي، حيث تنتظم ذرات الكربون في صفائح مستوية وفق تهجين sp^2. في كل طبقة، ترتبط كل ذرة كربون بثلاث ذرات أخرى بروابط تساهمية قوية، مشكلة شبكة سداسية منتظمة، بينما تبقى إلكترونات π حرة الحركة داخل الطبقة، وهو ما يمنحه خصائص كهربائية مميزة.

تتراص هذه الطبقات فوق بعضها البعض بروابط ضعيفة من نوع قوى فان دير فال، مما يسمح بانزلاقها بسهولة، وهو ما يفسّر الطبيعة اللينة للغرافيت مقارنةً بالماس.



الصورة 2. الغرافيت

أ. الخصائص البلورية والبنيوية للغرافيت

- **النظام البلوري**: سداسي (Hexagonal).

$a = b = 2.46$ Å, $c = 6.70$ Å, $\gamma = 120°$.

- **طول الرابطة C–C داخل الطبقة**: حوالي 1.42 Å.
- **المسافة بين الطبقات**: نحو 3.35 Å، التهجين sp^2.
- **عدد الذرات في الخلية البلورية**: 4 ذرات.

ب. الخواص الفيزيائية

- **الصلابة**: ضعيفة نسبيًا من 1 إلى 2 على سلم موهس (Mohs).
- **الكثافة**: حوالي 2.26 g/cm³ أقل من الماس.

- **الناقلية الحرارية**: مرتفعة خصوصًا على مستوى الطبقات.
- **الناقلية الكهربائية**: موصل جيّد داخل الطبقات بسبب الإلكترونات الحرة.
- **الانفصام**: سهل جدًا على طول المستويات الطبقية.

ج. الأهمية العلمية والتطبيقية

تعكس بنية الغرافيت مبدأً أساسيًا في الكيمياء الصلبة، حيث تؤدي الروابط القوية داخل الطبقات، والضعيفة بينها، إلى تباين واضح في الخواص الميكانيكية والكهربائية. فهذه البنية تمنحه مزيجًا فريدًا من الليونة والتوصيل، مما يجعله مادة أساسية في مجالات متعددة، مثل الأقطاب الكهربائية، ومواد التشحيم، وأقلام الرصاص، إلخ.

وهكذا، يبرز الغرافيت كنقيضٍ بنيوي للماس، رغم كونهما مكوّنين من العنصر نفسه وهو الكربون، مما يؤكد مرة أخرى أن اختلاف بنية المادة يؤدي إلى اختلاف جذري في الخصائص الفيزيائية.

3.1 الماس (Diamond): بنية بلورية فائقة وخواص استثنائية

يُعدّ الماس أحد أروع تجليات الكربون من حيث التنظيم البنيوي والدقة البلورية، إذ يتبلور في نظام بلوري مكعّب متمركز الوجوه (C.F.C)، مع ترتيب ذري مميّز يُعرف ببنية الماس (Diamond cubic structure).

في هذه البنية، ترتبط كل ذرة كربون بأربع ذرات أخرى بروابط تساهمية قوية وفق تهجين sp^3، مكوّنة شبكة ثلاثية الأبعاد من رباعيات الوجوه، حيث تبلغ زاوية الروابط حوالي $109°28'$، وهي الزاوية المثالية لتهجين sp^3، مما يضمن أقصى درجات الاستقرار البنيوي.



الصورة 3. الماس

أ. الخصائص البلورية والفيزيائية الأساسية

- **ثابت الشبكة (طول ضلع الخلية)**: حوالي $a = 3.57$ Å.

- **طول الرابطة C–C**: يقارب 1.54 Å **والكثافة**: نحو $3.51\ g/cm^3$.
- **عدد الذرات في الخلية البلورية**: 8 ذرات كربون.
- **البنية**: شبكة ثلاثية الأبعاد متراصة وقوية جدًا.

ب. الخواص الفيزيائية المميّزة للماس

- **الناقلية الكهربائية**: عازل كهربائي بسبب غياب الإلكترونات الحرة.
- **الناقلية الحرارية**: مرتفعة جدًا، تُعد من الأعلى بين المواد الصلبة.
- **درجة الانصهار**: مرتفعة جدًا أكثر من $3500\ C^\circ$ تحت ضغط عالٍ.
- **الشفافية**: شفاف بصريًا مع قدرة عالية على كسر الضوء، ما يمنحه بريقًا استثنائيًا.
- **الصلابة**: يُعدّ أصلب مادة طبيعية معروفة، حيث يحتل المرتبة 10 على سلم موهس (Mohs).

ج. البعد الجمالي والعلمي

ما يجعل الماس فريدًا ليس فقط صلابته، بل أيضًا ذلك التناسق الهندسي الدقيق الذي يحكم بنيته، حيث تتحول ذرات الكربون البسيطة إلى شبكة بلورية تُجسّد أقصى درجات الانتظام والقوة. ومن هذا التنظيم تنبثق خصائصه الاستثنائية، في مثال بليغ على القاعدة الذهبية في الكيمياء: "البنية تحدّد الخاصية".

وهكذا، لا يكون الماس مجرد حجر كريم، بل شاهدًا علميًا على قدرة الطبيعة على تحويل عنصر بسيط إلى مادة تُجسّد الكمال البنيوي والتفوّق الفيزيائي.

2. الأشكال النانوية المتقدمة للكربون

1.2 الجرافين (Graphene): بنية بلورة ثنائية الأبعاد وخواص استثنائية



الصورة 4. الجرافين

يُعدّ الغرافين أحد أكثر أشكال الكربون تميّزًا من الناحية البنيوية والفيزيائية، إذ يتكوّن من طبقة واحدة فقط من ذرات الكربون، مرتبة في شبكة سداسية ثنائية الأبعاد، وفق تهجين sp^2. تمثّل هذه البنية أبسط شكل ممكن للغرافيت، لكنها في الوقت ذاته أصلٌ لعدد كبير من البنى النانوية المتقدمة.

في هذه الشبكة، ترتبط كل ذرة كربون بثلاث ذرات مجاورة بروابط تساهمية قوية داخل المستوى، بينما تُسهم إلكترونات π الحرة في تكوين نظام إلكتروني ممتد، يمنح الغرافين خصائص كهربائية فريدة.

أ. الخصائص البلورية (Paramètres cristallins)

- **النظام البلوري**: سداسي ثنائي الأبعاد (2 D Hexagonal lattice).
- **ثابت الشبكة (a)**: حوالي 2.46 Å.
- **طول الرابطة C–C**: نحو 1.42 Å.
- **عدد الذرات في الخلية الأولية**: 2 ذرتان.
- **التهجين**: sp^2.
- **البنية**: شبكة مستوية ذات تناظر عالٍ.

ب. الخواص الفيزيائية المميّزة

- **السُّمك**: طبقة ذرية واحدة ≈ 3.4 A° أرق مادة معروفة.
- **الكثافة السطحية**: منخفضة جدًا.
- **الصلابة**: قوية جدًا (معامل يونغ ≈ 1.TPa = 10 ^{12} Pascals).
- **المتانة**: تفوق الفولاذ بمئات المرات بالنسبة للوزن.
- **الناقلية الكهربائية**: عالية جدًا (إلكترونات ذات حركة شبه حرة).
- **الناقلية الحرارية**: مرتفعة للغاية قد تتجاوز $3000 W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$.
- **الشفافية**: يمتص فقط ~2.3% من الضوء لأنه شبه شفاف.
- **المرونة**: قابل للانحناء دون فقدان خصائصه.



الصورة 5. الأنبوب النووي و C60

ج. البعد العلمي

تكمن فرادة الغرافين في كونه نظامًا ثنائي الأبعاد حقيقيًا، حيث تتحرك الإلكترونات داخله كما لو كانت جسيمات عديمة الكتلة (Dirac fermions)، ما يفتح آفاقًا في فيزياء الحالة الصلبة والإلكترونيات الكمّية.

يمثّل الغرافين انتقالًا نوعيًا في فهم المادة، حيث تتحول طبقة ذرية واحدة إلى نظام فيزيائي متكامل بخصائص غير مسبوقة. ومن خلاله يتأكد مرة أخرى أن: التحكم في البنية على المستوى الذري هو مفتاح ابتكار مواد المستقبل.

3. الأنابيب النانوية الكربونية (Carbon Nanotubes)

هي تراكيب أسطوانية ناتجة عن لفّ صفائح الجرافين. تتميز بنسبة قوة إلى وزن عالية جدًا، وخصائص كهربائية فريدة، مما يجعلها مثالية في تطبيقات النانو والتقنيات المتقدمة.

1.3 الفوليرين (C_{60})

الفوليرين هو جزيء كروي مكوّن من 60 ذرة كربون، يتألف من:

- 12 حلقة خماسية (كل حلقة تضم 5 ذرات كربون).
- 20 حلقة سداسية (كل حلقة تضم 6 ذرات كربون).

تمنحه هذه البنية المغلقة استقرارًا عاليًا وخصائص مميزة، مع تطبيقات واعدة في الطب وعلوم المواد.

بعد هذا الاستعراض لثراء الكربون وتنوّع صوره البنيوية (فحم، غرافيت، ماس، غرافين، إلخ)، يتجلّى كيف يمكن لعنصر واحد أن يفتح آفاقًا واسعة ومتعدّدة للفهم. غير أنّ مسار المعرفة لا يتوقّف عند حدود الوصف والتحليل، بل يتدرّج بهدوء نحو مجالات تتجسّد فيها هذه الخصائص في تطبيقات تكنولوجية ملموسة. ومن هذا الامتداد الطبيعي، نصل إلى عنصر النيوديميوم، حيث تكتسب المعرفة بُعدًا عمليًا، وتتحوّل إلى قوة فاعلة في صميم تقنيات العصر.

وفي هذا السياق، يتّسع الأفق ليشمل الأثر الاستراتيجي للعناصر في تشكيل ملامح العالم الحديث، حيث تتجاوز تطبيقاتها حدود الصناعة إلى مجالات تعكس عمق القوة العلمية والتكنولوجية.

2.3 النيوديميوم: سرّ القوة الخفية، عنصرٌ صغير... و أثرٌ تكنولوجيٌّ واسع.

يُعدّ النيوديميوم (Nd، العدد الذري 60) أحد عناصر اللانثانيدات، ويتميّز بخصائص فيزيائية ومغناطيسية لافتة جعلته يحتلّ مكانةً محورية في التكنولوجيا الحديثة. فرغم بساطة مظهره كفلزٍّ فضيٍّ لين، تتجلّى قيمته الحقيقية في قدرته على تكوين مغناطيسات فائقة القوّة عند اتحاده مع الحديد والبورون (Nd–Fe–B)، وهي من أقوى المغناطيسات المعروفة اليوم.

وقد أتاح هذا التميّز حضورًا واسعًا للنيوديميوم في تطبيقات متعدّدة؛ إذ يدخل في صناعة المحركات الكهربائية عالية الكفاءة، وتوربينات الرياح، والهواتف الذكية، وسماعات الأذن، والأقراص الصلبة، فضلًا عن بعض التقنيات الطبية والليزر. وبذلك يغدو هذا العنصر مثالًا حيًّا على كيف يمكن لمكوّن دقيق أن يكون في صلب التحوّلات التكنولوجية الكبرى.

ومن الناحية الكيميائية، ينتمي النيوديميوم إلى العناصر الأرضية النادرة التي تتشابه في خصائصها وتتواجد غالبًا معًا في الطبيعة، مما يجعل فصلها واستخلاصها عملية دقيقة ومكلفة. ومع تزايد الطلب العالمي عليه، تبرز قضايا مرتبطة بالموارد والاستدامة، فتتجاوز أهميته حدود المختبر إلى أبعاد اقتصادية واستراتيجية.

وهكذا، يقدّم النيوديميوم صورةً واضحة لقدرة الكيمياء على وصل المعرفة بالتطبيق، حيث تتحوّل خصائص المادة إلى أدواتٍ للابتكار، ويصبح الفهم العلمي أساسًا لصناعة المستقبل. غير أنّ هذا الحضور الحيوي لا ينعكس دائمًا في بعض مؤسسات التعليم العالي، حيث تُهمَّش الكيمياء أحيانًا بفعل تصوّراتٍ تختزل أهميتها مقارنةً بغيرها، وهو ما لا ينسجم مع مكانتها الحقيقية ودورها الجوهري في بناء المعرفة العلمية وتكاملها.

أ. الخصائص الفيزيائية

- **اللون**: فلز فضي لامع، **الكثافة**: نحو 7.01 غ/سم³ و**درجة الانصهار**: حوالي 1024 درجة مئوية.
- **البنية البلورية**: سداسية مضغوطة (HCP).
- طول الضلعين الأفقيين متساوي، يختلف عن طول العمود الرأسي.
- **الزوايا البلورية**: 90 و120 درجة و**نسبة c/a المثالية**: حوالي 1.633.
- **طول الرابطة**: أقرب مسافة بين الذرات تساوي تقريبًا طول الضلع الأفقي، مما يضمن انتظامًا ذريًا واستقرارًا وصلابة نسبية.
- **الخواص الكهربائية**: ناقلية جيدة بوصفه فلزًا.

ب. الخصائص المغناطيسية

أهميته الحقيقية تكمن عند دخوله في السبائك مع الحديد والبورون (Nd–Fe–B).

- المغانط الدائمة Nd–Fe–B، التي تحتوي على النيوديميوم، تُستخدم في المحركات الكهربائية عالية الأداء وفي أنظمة التوجيه والتحكم في الصواريخ والطائرات المسيرة، وتساعد على تقليل الحجم مع الحفاظ على القوة والكفاءة.

ج. التطبيقات التكنولوجية

- المحركات الكهربائية، خاصة السيارات الكهربائية وتوربينات الرياح.
- الأجهزة الإلكترونية الدقيقة وتقنيات الطاقة المتجددة.



الصورة 6. النيوديميوم

د. الأهمية الاستراتيجية

- النيوديميوم عنصر استراتيجي عالميًا بسبب ارتباطه بسلاسل إمداد معقّدة.
- يلعب دورًا رئيسيًا في التوازنات الصناعية والتكنولوجية الحديثة.

4. نحو رؤية متكاملة للكيمياء

المقارنة بين الكربون والنيوديميوم تكشف عن بعدين متكاملين في الكيمياء الحديثة:

- الكربون: نموذج للتنوع البنيوي وثراء الخصائص.
- النيوديميوم: تجسيد للتطبيق التكنولوجي والتأثير الصناعي.

الكيمياء هنا تتجلّى كعلم جامع يربط بين الفهم النظري والتوظيف العملي، واستكشاف بنية المادة وصياغة آفاق المستقبل.

خاتمة

إن إعادة الاعتبار للكيمياء بوصفها علمًا حيًّا لا تتحقق بالتلقين، بل بالفهم العميق الذي يحوّل المفاهيم إلى أدوات تحليل، والمعرفة إلى منطلق للإبداع. فعندما يدرك المتعلّم أن الكربون يختزل قصة التنوّع في المادة، وأن عناصر مثل النيوديميوم تجسّد حضور الكيمياء في قلب التكنولوجيا الحديثة (من الإلكترونيات إلى الطاقات المتجددة)، تغدو الكيمياء تجربة فكرية وتطبيقية متكاملة، تمتد من قاعة الدرس إلى واقع الحياة اليومية وآفاق الابتكار.

وخلاصة القول، فإن ما تعيشه الكيمياء في بعض المؤسسات يعكس أحيانًا اختلافًا في الرؤى التربوية، قد نتج عنه تقليص مضامينها دون مبرر بيداغوجي كافٍ. غير أن ذلك لا يغيّر من حقيقتها: فالكيمياء ليست علمًا هامشيًا، بل ركيزة أساسية لفهم العالم المادي وتطويره. إنها علم للحياة، يتجلى أثره في الطب والصناعة والبيئة، ويكشف أسرار المادة، ويفتح آفاق المستقبل أمام عقل ناقد ومبدع.

المراجع

[1] خيط، مسعود، محاضرات علم البلورات (2001-2022) الماس والغرافيت، قسم الكيمياء سابقا المدرسة العليا للأساتذة، القبة.

[2] Aoki, Hideo and Dresselhaus, Mildred S. (Ed.), *Physics of Graphene*, Springer, 2014.

[3] Greenwood, N.N. and Earnshaw, A. (Ed.), *Chemistry of the Elements*, Butterworth-Heinemann, 1997.

[4] Gschneidner, Karl A. Jr. and Eyring, LeRoy (Ed.), *Handbook on the Physics and Chemistry of Rare Earths*, North-Holland Publishing Company, 1978.

[5] Torres, Luis E. F. Foa, *Introduction to Graphene-Based Nanomaterials : From Electronic Structure to Quantum Transport*, Cambridge University Press, 2014.

[6] Warner, Jamie H., *Graphene : Fundamentals and emergent applications*, 2013.

[7] Rare Earth Elements : A New Approach to the Nexus of Supply, Demand and Use, Ernest J. Hoffman, 2016.

النظام الوطني للابتكار في الجزائر – الجزء الثاني:
إعادة تعريف أدوار الأكاديمية (AAST) والمجلس الوطني للبحث (CNRST) في ضوء النماذج العالمية والنظام الوطني الجزائري للابتكار(ANIS)

يوسف زيدان
باحث دائم بمركز البحث في الاقتصاد التطبيقي من أجل التنمية (CREAD)
zidaneyoucefjt@gmail.com

تتناول هذه المقالة البحثية الإطار المؤسسي اللازم لدفع عجلة الابتكار في الجزائر، من خلال تحليل نقدي للتكامل الوظيفي المطلوب بين الأكاديمية الجزائرية للعلوم والتكنولوجيا (AAST) والمجلس الوطني للبحث العلمي والتكنولوجيات (CNRST). تنطلق المقالة من استقراء النماذج العالمية الرائدة التي تقوم على ثنائية "الصوت" (الجمعيات العلمية المستقلة) و"المحرك" (وكالات التمويل والسياسات)، وتطبق هذا الإطار التحليلي على السياق الجزائري في ظل رؤية النظام الوطني للابتكار (ANIS).

تهدف المقالة إلى تقديم نموذج مقترح للتفاعل المؤسسي يضمن تحويل المشورة العلمية الرصينة إلى سياسات ممولة وبرامج تنفيذية فعالة، مستفيدة من المنصة الرقمية المتكاملة التي يقترحها نظام ANIS. وتخلص المقالة إلى أن التقدم في مؤشرات الابتكار العالمية يتطلب أكثر من مجرد وجود المؤسسات، بل يحتاج إلى هندسة دقيقة لعلاقات التكامل بينها، مع تقديم خارطة طريق عملية لتحقيق هذه الغاية.

1. المقدمة: التحدي المؤسسي في مواجهة فجوة الابتكار

تشير بيانات مؤشر الابتكار العالمي (GII) لعامي 2024 و2025 إلى أن الجزائر لا تزال تحتل مراتب متأخرة (المرتبة 115 عالميًا)، متخلفة عن جيرانها الإقليميين مثل المغرب (57) وتونس (76). هذا الواقع يعكس فجوة عميقة بين الإمكانات البشرية والعلمية الهائلة للبلاد، وبين القدرة على تحويل هذه الإمكانات إلى مخرجات ابتكارية واقتصادية ملموسة. يُعزى هذا التعثر، جزئيًا، إلى تشتت المنظومة البحثية وعدم وضوح آليات التنسيق بين مكوناتها الأساسية.

في هذا السياق، يبرز مشروع النظام الوطني للابتكار (Algeria's National Innovation System - ANIS) كرؤية طموحة لإعادة هيكلة المشهد الابتكاري من خلال هيكل حوكمي هرمي ومنصة رقمية شاملة. إلا أن نجاح هذا النظام المعقد يرتهن بوضوح وتكامل أدوار أركانه الأساسية. تمتلك الجزائر نواتين مؤسسيتين رئيسيتين هما: الأكاديمية الجزائرية للعلوم والتكنولوجيا، كهيئة مستقلة تمثل النخبة العلمية، والمجلس الوطني للبحث العلمي والتكنولوجيا، كهيئة دستورية استشارية لتحديد السياسات. السؤال الجوهري هو: كيف يمكن لهاتين المؤسستين أن تتفاعلا ضمن إطار ANIS لخلق تأثير تراكمي يفوق مجرد مجموع أدائهما المنفصل؟

للإجابة عن هذا السؤال، يجب الانتقال من التحليل المحلي إلى استقراء الدروس العالمية. تقدّم التجارب الدولية نماذج ناجحة لتوزيع الأدوار بين هيئة علمية مستقلة ("الصوت") وهيئة تمويل وتنفيذ ("المحرك"). تهدف هذه المقالة إلى استخلاص المبادئ العامة من هذه النماذج، وتحليل وضع المؤسستين الجزائريتين الحالي، وتقديم إطار تكاملي مفصل لعملهما المشترك داخل هرم حوكمة ANIS، مما يساهم في رسم مسار عملي للارتقاء بالنظام الابتكاري الوطني.

2. النماذج العالمية لرعاية العلم: الثنائية المؤسسية كمسار للنجاح

من منظور مقارن، يظهر أن معظم الدول الرائدة في مجال البحث والتطوير تعتمد على نموذج ثنائي واضح. يُمثل هذا النموذج تعاونًا تآزريًا بين:

1- **كيان مستقل (الصوت):** غالبًا ما يكون أكاديمية علوم أو جمعية علمية، تتمثل مهمته الأساسية في حماية هيبة العلم، وتقديم المشورة المستقلة والنزيهة، وتحديد الأولويات طويلة المدى، والاضطلاع بالدبلوماسية العلمية.

2- **كيان تنفيذي (المحرك):** هيئة حكومية أو عامة، تتمثل مهمتها الأساسية في تمويل البحث التنافسي، وصياغة السياسات التنفيذية، وإدارة البنى التحتية البحثية، وتقييم الأداء.

يوضح الجدول التالي المواصفات التفصيلية لهذين النموذجين العالميين:

البُعد	النموذج العالمي الجمعية العلمية / الأكاديمية المستقلة	النموذج العالمي وكالة التمويل والسياسة البحثية الوطنية
الهوية والغرض	**حارس هيبة العلم والصوت المستقل:** كيان يُجسِّد الضمير الجمعي للمجتمع العلمي. دوره تجاوز السياسات قصيرة الأمد، ومناصرة العلوم الأساسية، ووضع المعايير الأخلاقية.	**منفذ الاستراتيجية الوطنية والوكيل الأمين للصالح العام:** هيئة تحوّل الاستثمار العام إلى تقدّم علمي وقدرة ابتكارية. دورها تعزيز التنافسية وضمان الجودة والملاءمة.
الأساس القانوني والمالي	جمعية خاصة أو مستقلة، قائمة على العضوية. تموّل من الهبات والنشر والعقود. **الاستقلال المالي** هو حجر الزاوية لمصداقيتها.	هيئة عامة أو شبه حكومية. تمول أساسًا من الميزانية الوطنية. **المساءلة العامة والشفافية** سمتاها الرئيسيتان.
الحوكمة	حوكمة علمية من الأسفل إلى الأعلى (بواسطة الأقران). يُنتخب الأعضاء الجدد من بين العلماء الأكثر تميزًا.	حوكمة إدارية مهنية. يُعيَّن مجلس الإدارة من قِبل الحكومة ليعكس المصالح الأكاديمية والصناعية والعامة.
الوظائف الأساسية	1. **منح التقدير الأعلى** مثل جوائز 2. **الدبلوماسية العلمية والمناصرة** 3. **إنتاج تقارير سياسات مستقلة** 4. **المشاركة العامة وحفظ الإرث العلمي**	1. **التمويل التنافسي للمشاريع البحثية** 2. **تخطيط وتنفيذ استراتيجية البنى التحتية البحثية** 3. **تحديد الأولويات الاستراتيجية الوطنية** 4. **تقييم البحث وتقديم المشورة السياسية**
مصدر القوة والتأثير	**القوة الناعمة:** تستمد من الهيبة التاريخية، ووزن أعضائها، ورمزية جوائزها، وموضوعيتها المُدرَكة.	**القوة الهيكلية:** تستمد من التحكم في تدفقات التمويل، والولاية القانونية، والقدرة على تشكيل المسارات المهنية.
الدور في النظام	**"محدد الأجندة والضمير"** يحدد التحديات الكبرى ويوفر البوصلة الأخلاقية طويلة الأمد.	**"المنفذ وباني القدرات"** يحول الرؤية إلى برامج عمل ملموسة وموارد مستدامة.

3. التوليف والدروس الدولية: آليات التكامل في الممارسة

يكمن سر نجاح النموذج الثنائي العالمي ليس فقط في وجود المؤسستين، بل في تصميم آليات التنسيق الرسمية والفعالة بينهما. يُقدّم الجدول التالي مقارنة مفصّلة لآليات التفاعل في دول مختارة، مع استخلاص الدروس العملية للجزائر.

الدولة/الإقليم	النموذج السائد	آليات التنسيق والتفاعل الرئيسية	الدروس المستفادة للجزائر
السويد	الفصل الواضح بين "الصوت" (الأكاديمية) و"المحرك" (المجلس).	1. **تشاور إلزامي** بموجب القانون 2. **تمثيل متبادل** في المجالس (رئيس المجلس في لجان الأكاديمية والعكس) 3. **برامج مشتركة** لإدارة الجوائز والمبادرات الدولية	ضرورة **إضفاء الطابع الرسمي** على العلاقة عبر نصوص قانونية تضمن التشاور المنتظم والتمثيل المتبادل.
الولايات المتحدة	نظام مزدوج متخصص: NASEM للاستشارة، NSF/NIH للتمويل	1. **التكامل في صنع السياسة:** طلب تقارير من NASEM كأساس لبرامج تمويل جديدة. 2. **الاعتماد على الأقران:** استخدام العلماء (بمن فيهم أعضاء الأكاديميات) في تقييم كل المقترحات.	قيمة **فصل** عملية إنتاج المعرفة الاستشارية عن عملية صرف الأموال، مع **ربطهما** بواسطة أدوات مثل طلبات التقارير الرسمية.
الاتحاد الأوروبي	نموذج فوق وطني EASAC للأكاديميات، المفوضية الأوروبية للتمويل	1. **التأثير المباشر:** تشكّل تقارير EASAC أولويات برنامج "هورايزون أوروبا." 2. **الصوت الموحد:** تجميع المشورة من أكاديميات الدول الأعضاء لمناصرة موحدة.	أهمية أن يكون للصوت العلمي الوطني (AAST) **قناة منظمة** للتأثير على أجندة التمويل الدولية التي قد تشارك فيها الجزائر.
سنغافورة	نموذج مدمج واستراتيجي للغاية.	1. **التخطيط المشترك:** مشاركة الأكاديمية (SNAS) في اللجان الاستشارية لوكالة التمويل(NRF) . 2. **برامج مستهدفة:** تصميم NRF لبرامج بناءً على مدخلات SNAS مثل برامج استعادة الكفاءات .	فعالية **إشراك الأكاديمية في قلب عملية التخطيط الاستراتيجي** لوكالة التمويل، وليس فقط في مرحلة الاستشارة اللاحقة.

الاستنتاج الرئيسي من المقارنة الدولية: العلاقة الفعالة لا تحدث عفوًا، بل تُصمم وتُهندس عبر آليات محددة. الآليات الأكثر شيوعًا وفعالية تشمل:

أ- التفويض القانوني بالتشاور،

ب- التمثيل المتبادل في الهياكل الحاكمة،

ج- إدارة برامج ومبادرات مشتركة،

د- قنوات اتصال مؤسسية منتظمة.

4. تحليل الوضع الجزائري والفرصة المتاحة

تمتلك الجزائر بالفعل النواة المؤسسية لهذا النموذج العالمي:

- **الأكاديمية الجزائرية للعلوم والتكنولوجيا:** مؤسسة مستقلة ذات عضوية نخبوية، أنشئت عام 2015. تتمتع بإمكانات كبيرة كـ "صوت" من خلال عضويتها في الشبكات الدولية مثل IAP، وولاية تقديم المشورة.
- **المجلس الوطني للبحث العلمي والتكنولوجيات:** هيئة دستورية تحت سلطة رئيس الجمهورية، مهمته الأساسية "تحديد التوجهات الكبرى للسياسة الوطنية ومتابعة تنفيذها وتقييمها".

التحدي الحالي يكمن في أن التفاعل بينهما غير مُحدد بوضوح، مما قد يؤدي إلى ازدواجية الجهود أو فجوة بين التوجيه الاستراتيجي والتنفيذ. ولاية المجلس الوطني للبحث العلمي والتكنولوجيات تركز على "التحديد" و"المتابعة"، ولكنها لا تنص صراحة على دور التمويل التنافسي الذي يُمثّل القلب النابض لأي "محرك" بحثي فعّال على النمط العالمي.

الفرصة السانحة: يأتي مشروع النظام الوطني للابتكار كإطار شمولي يمكنه استيعاب وتنظيم هذا التكامل. يُقدّم ANISهيكلًا هرميًا للحوكمة كما هو موضح في الصورة 1 من مجلس الابتكار الجزائري ICA في القمة إلى مؤسسات التنفيذ في القاعدة ومنصة رقمية مركزية. هذا يوفر البنية التحتية التنظيمية والتقنية المثالية لدمج أدوار الأكاديمية والمجلس.



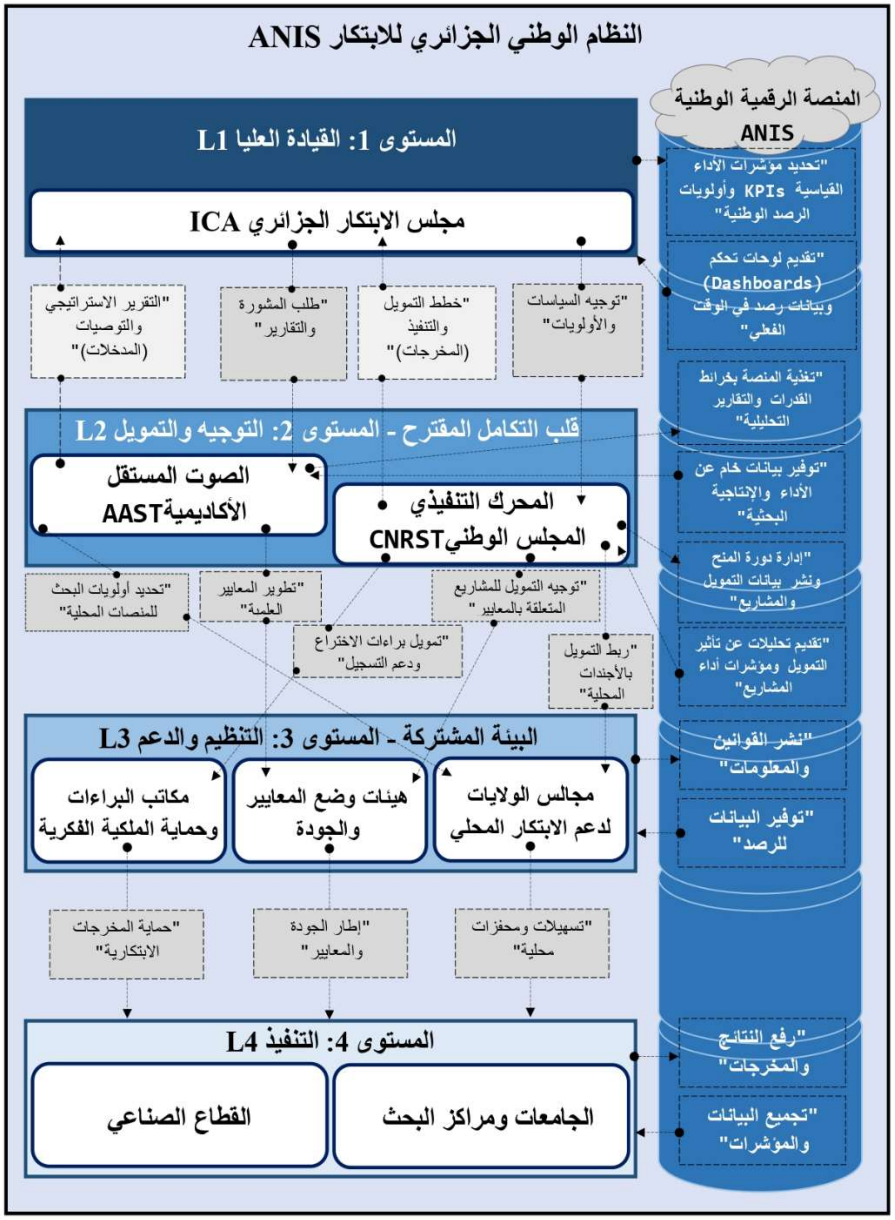
صورة 1. رسم بياني للنظام الوطني للابتكار في الجزائر ANIS من القاعدة إلى القمة

5. نموذج مقترح للتكامل داخل إطار ANIS

بناءً على التحليل العالمي وواقع المؤسستين الجزائريتين، يقترح هذا البحث النموذج التكاملي التالي داخل هرم حوكمة ANIS.

مستوى حوكمة ANIS	الدور المقترح للأكاديمية AAST "الصوت"	الدور المقترح للمجلس CNRST "المحرك"	آلية التكامل المقترحة
المستوى 1: القيادة (ICA)	**الموجه الاستراتيجي المستقل:** تزويد مجلس ICA بتقارير سنوية مستقلة عن حالة العلوم، وتوقعات تكنولوجية، وتحديد الأولويات البحثية طويلة الأمد (كالأمن المائي، الطاقات المتجددة).	**الممول والمنفذ الاستراتيجي:** ترجمة التوصيات الواردة من تقارير AAST إلى **خطط عمل وطنية وميزانيات برامجية** مقدمة لمجلس ICA للمصادقة.	تقديم AAST تقريرها الاستراتيجي السنوي مباشرة إلى مجلس ICA. يقوم CNRST بعدها بعرض خطة التنفيذ والتمويل المقترحة لنفس الأولويات.
المستوى 2: التمويل والتنسيق	**المراجع العلمي:** تطوير وإدارة **معايير التميز العلمي** وآليات **مراجعة الأقران** الوطنية المستخدمة في تقييم مقترحات المشاريع.	**مدير الصندوق الوطني للبحث:** إنشاء وإدارة **صندوق تمويل تنافسي** قائم على الجدارة، وإطلاق نداءات للمشاريع وفق الأولويات المصادق عليها.	تستخدم لجان التقييم في CNRST المعايير وآليات المراجعة التي تطورها AAST يمكن أن يرأس فرق المراجعة علماء من أعضاء AAST.
المستوى 3 و4: التنفيذ (الجامعات، المراكز)	**حاضن التميز والمجتمع:** تنظيم المحافل العلمية، ومنح الجوائز التقديرية، وقيادة حوار العلم والمجتمع.	**مقيم الأداء:** تطوير مؤشرات تقييم الأداء للمؤسسات البحثية، ومتابعة تنفيذ المشاريع، وقياس العائد على الاستثمار.	ترفع المؤسسات التنفيذية نتائجها إلى منصة ANIS الرقمية. تستخدم AAST البيانات للتعريف بالتميز، بينما يستخدمها CNRST للتقييم المالي ووضع السياسات.
المنصة الرقمية ANIS	**مصدر موثوق للمعرفة:** تزويد المنصة بـ"خرائط القدرات" **العلمية** وبيانات الخبراء المعتمدين، والإسهام في محتوى علمي موثوق.	**منصة العمليات:** استخدام المنصة لإدارة دورة حياة المنح (من الطلب حتى التسليم)، وإتاحة البيانات المفتوحة، ورصد المؤشرات.	**تكامل البيانات:** تصبح "خرائط القدرات" من AAST أداة مطابقة داخل المنصة لربط الباحثين بالفرص التمويلية من CNRST واحتياجات القطاع الصناعي.

تفسير الشكل البياني في الصورة 2 لعلاقة التكامل المؤسسي في النظام الوطني للابتكار (ANIS): يُجسِّد الشكل البياني النموذج المقترح للتكامل الوظيفي بين الأكاديمية الجزائرية للعلوم والتكنولوجيا والمجلس الوطني للبحث العلمي والتكنولوجيات داخل الهيكل الهرمي للنظام الوطني للابتكار. يوضح الشكل كيف تتفاعل المؤسستان عبر أربعة مستويات حوكمية متدرجة، مع اعتبار المنصة الرقمية ANIS الناظم المركزي لهذا التفاعل.



صورة 2. تمثيل شمولي وديناميكي لدورة الحوكمة الكاملة داخل النظام الوطني للابتكار(ANIS)

أولًا: المستويات الحوكمية ودوركل منها

1- **المستوى الأول - (L1) القيادة العليا:** يُمثله مجلس الابتكار الجزائري (ICA) وهو القمة الاستراتيجية التي تتلقى المدخلات العلمية من الأسفل، التقارير من (AAST)، وتمد المؤسسات التنفيذية، مثل (CNRST)، بالتوجيه السياسي والمصادقة على الأولويات.

2- **المستوى الثاني - (L2) قلب التكامل:** يحتوي على AAST كـ "الصوت" والموجه العلمي المستقل و CNRST كـ "المحرك" والممول التنفيذي. هذا المستوى هو لب النموذج، حيث تحدث العلاقة التكاملية المباشرة بين المشورة والتمويل. تقدم AAST توصياتها المستقلة إلى ICA، ويترجم CNRST هذه التوصيات إلى خطط عمل وموازنات يعرضها على ICA للمصادقة.

3- **المستوى الثالث - (L3) البيئة التنظيمية والداعمة:** يضم الهيئات التي تخلق البيئة التشغيلية المناسبة مثل مكاتب البراءات، وهيئات وضع المعايير، ومجالس الولايات. لا يتفاعل هذا المستوى بشكل مباشر مع القمة

(L1)، بل يتأثر بتوجيهات وقرارات المستوى الثاني (L2)، فهو يُنَفِّذ سياسات حماية الملكية الفكرية، ويضع أطر الجودة، ويوفر الدعم المحلي، مما يُمكّن المؤسسات التنفيذية في المستوى الرابع من العمل.

4- **المستوى الرابع - (L4) التنفيذ على الأرض:** يُمثّل الوحدات المنفذة الفعلية مثل الجامعات، ومراكز البحث، والقطاع الصناعي، والشركات الناشئة. هذا هو مستوى الإنتاج الحقيقي للمعرفة والابتكارات.

ثانيًا: طبيعة التفاعلات والتدفقات

يُظهر الشكل أن التفاعلات ليست هرمية صارمة (من أعلى إلى أسفل فقط) بل هي شبكية وتكاملية:

- **تدفق المشورة (من الأسفل إلى الأعلى):** تصعد التقارير العلمية المستقلة من AAST إلى ICA .
- **تدفق السياسات والتمويل (من الأعلى إلى الأسفل):** تصدر التوجيهات والأولوية المصادق عليها من ICA إلى CNRST، الذي بدوره يوجه التمويل وينشط البرامج.
- **التفاعل التكاملي الأفقي:** العلاقة بين AAST وCNRST هي علاقة تبادلية. تقدّم AAST المعايير العلمية والمشورة التي توجه سياسات وبرامج CNRST، بينما تزود CNRST الـ AAST ببيانات الأداء والمخرجات التي تغذي تحليلاتها وتقاريرها المستقبلية.
- **دور المستوى الثالث (L3):** يعمل كحلقة وصل وخدمة مشتركة. فهو يستقبل التوجيه غير المباشر من خلال برامج CNRST وتوصيات AAST، ويوفر بدوره الخدمات التنظيمية (براءات اختراع، معايير) والمساحة المحفزة للابتكار للمستوى الرابع (L4).

ثالثًا: المنصة الرقمية ANIS كعامل تمكين مركزي

تقع المنصة الرقمية ANIS في مركز الشكل، مما يرمز إلى دورها كـ"القلب النابض" و"الجسر التقني" للنظام بأكمله. وظائفها الرئيسية هي:

1- **تجميع البيانات:** تجمع المنصة البيانات من جميع المستويات: المخرجات البحثية من L4، والمؤشرات من L3، وتقارير الأداء من CNRST، وخرائط القدرات من AAST.

2- **تمكين التكامل:** تعمل كأداة مطابقة ذكية تربط بين "خرائط القدرات" العلمية التي توفرها AAST و"فرص التمويل والشراكة " التي يديرها CNRST، لتوجيه الموارد للباحثين والشركات المناسبة في L4.

3- **دعم الحوكمة القائمة على الأدلة:** تزود المنصة صناع القرار في ICA والمديرين في CNRST وواضعي السياسات في AAST بلوحات تحكم وبيانات في الوقت الفعلي لاتخاذ قرارات مستنيرة.

يصور الشكل البياني نظامًا ابتكاريًا لا تعمل فيه المؤسسات بمعزل، بل في شبكة متكاملة ذات أدوار واضحة ومكملة. تحدد" AAST لماذا" وما هو المهم علميًا، وينفذ" CNRST كيف" وماذا يُموَّل، بينما يوفر L3 البيئة التشغيلية "الملائمة"، وتمكن المنصة ANIS هذا التكامل كله عبر البيانات. يضمن هذا النموذج أن تتحول المشورة العلمية المستقلة إلى استثمارات وطنية فعالة، مما يدفع عجلة الابتكار في الجزائر.

6. الانتقال من التصميم المؤسسي إلى العنصر البشري – كفاءات التميز

بعد تحديد الإطار المؤسسي والأدوار التكاملية المثلى لكل من AAST وCNRST داخل هيكل ANIS، يبرز سؤال جوهري: ما هي الموارد البشرية القادرة على تفعيل هذا التصميم الطموح وتحويله من نظرية إلى واقع عملي؟ إن نجاح أي نموذج تنظيمي، مهما بلغت دقته، يرتهن في النهاية بقدرات ومهارات الأفراد الذين يشغلون أدواره. لذلك، فإن وضع ملفات

كفاءة دقيقة للكوادر الأساسية في كل مؤسسة ليس خطوة إدارية روتينية، بل هو استكمال حيوي للهندسة المؤسسية. يجب أن تعكس هذه الملفات بوضوح الازدواجية الوظيفية المطلوبة: التخصص الفني العميق من جهة، والقدرة على التعاون والتكامل عبر الحدود المؤسسية من جهة أخرى. الفقرات التالية تُقدّم تصورًا لهذه الكفاءات، مستمدة من الأدوار المحددة سابقًا، لضمان أن تكون "عجلات القيادة" في كل مؤسسة مناسبة تمامًا لـ "طريق" التكامل المرسوم.

أ- ملف الكوادر الأساسية للأكاديمية الجزائرية للعلوم والتكنولوجيا

الدور: "الصوت" المستقل، الموجه الاستراتيجي، حارس الجودة العلمية.

فئة الكادر/ المنصب	الملف والمهارات الأساسية	الخبرات السابقة والتكوين	الدور في التكامل مع النظام (ANIS/CNRST)
القيادة العليا الرئيس، نائب الرئيس	• **هيبة علمية:** عالم رفيع المستوى مع إنتاج بحثي معترف به دوليًا • **رؤية استراتيجية:** قدرة على استشراف المستقبل العلمي • **حوكمة دبلوماسية:** قيادة هيئة مستقلة والحوار مع صناع القرار	• أستاذ متميز أو باحث رئيسي • خبرة في قيادة مشاريع بحثية كبرى. • تجربة في اللجان الوطنية/ الدولية للسياسات العلمية	• التمثيل في **مجلس الابتكار الجزائري (ICA)** • قيادة الحوار مع CNRST لوضع الأجندة الوطنية • التوقيع على التقارير الاستراتيجية الموجهة للدولة
الأمناء الدائمين / المديرين التنفيذيين	• **معرفة عميقة بالتخصص مع** فهم حدوده الأمامية • **مهارات التوليف والتواصل:** تحليل المعلومات وإنتاج تقارير واضحة • **إدارة البرامج**	• باحث نشط أو أستاذ جامعي. • خبرة في تحرير المجلات أو تنظيم مؤتمرات دولية • خبرة استشارية	• تنسيق فرق العمل المشتركة مع CNRST • إدارة إصدار التقارير السنوية المستقلة • ربط الشبكات الدولية بالاحتياجات المحلية
مسؤولي السياسات العلمية والاتصال	• **الكتابة التحليلية** (Policy Briefs) • **معرفة بالمنظومة الوطنية** للتحديات المحلية . • **الاتصال العلمي والإعلامي**	• دكتوراه في العلوم أو دراسات العلوم/التكنولوجيا والمجتمع • خبرة في الصحافة العلمية أو التواصل المؤسساتي	• صياغة توصيات السياسات الموجهة لـ CNRST والوزارات • إدارة المحتوى العلمي على منصة ANIS • بناء جسور التفاهم بين العلماء وصناع القرار
أمين المكتبة وقاعدة البيانات العلمية	• **علم المكتبات والمعلومات المتقدم** • **تحليل البيانات العلمية** أدوات ببليومترية	• ماجستير/دكتوراه في علم المعلومات والمكتبات • خبرة في مكتبة بحثية جامعية	• تزويد منصة ANIS ببيانات "خرائط القدرات" الموثوقة • دعم أعضاء الأكاديمية وفرق CNRST بالبيانات اللازمة

ب- ملف الكوادر الأساسية للمجلس الوطني للبحث العلمي والتكنولوجيات

الدور: "المحرك" التنفيذي، الممول، مدير النظام، مقيم الأداء.

فئة الكادر/ المنصب	الملف والمهارات الأساسية	الخبرات السابقة والتكوين	الدور في التكامل مع النظام (ANIS/AAST)
القيادة العليا الرئيس، نائب الرئيس	• كفاءة إدارية واستراتيجية • فهم الاقتصاد السياسي للبحث • مهارات تفاوض وتمويل	• شهادة عليا في الإدارة العامة (MBA, MPA) وهندسة مع خبرة إدارية • خبرة في مناصب قيادية في مؤسسات عمومية أو هيئات تمويل	• ترجمة توصيات AAST إلى خطط عمل وميزانيات • تمثيل CNRST في مجلس الابتكار الجزائري(ICA) • ضمان التمويل السلس للمشاريع ذات الأولوية
مديري البرامج والصناديق	• إدارة المنح والبرامج • معرفة قطاعية • تحليل المخاطر والقيمة	• شهادة هندسية/علمية مع شهادة في إدارة المشاريع • خبرة في إدارة البحث والتطوير في القطاع الصناعي أو وكالة تمويل	• تصميم نداءات المشاريع بناءً على أولويات AAST • تنسيق مراجعة الأقران مع علماء AAST • ربط المشاريع الممولة باحتياجات القطاع الاقتصادي
محللي السياسات والتقييم	• اقتصاديات الابتكار والقياس • تقييم الأثر متعدد الأبعاد • مهارات إحصائية متقدمة	• دكتوراه/ماجستير في اقتصاديات الابتكار أو الإحصاء • خبرة في مراكز الدراسات أو هيئات التقييم	• قياس فعالية السياسات المبنية على مشورة AAST • توفير البيانات التحليلية عن الأداء لـ AAST • إدارة لوحة المؤشرات على منصة ANIS.
مديري البنى التحتية والمنصة الرقمية (ANIS)	• هندسة الأنظمة ومنصات البيانات الضخمة • حوكمة البيانات والأمن السيبراني • تصميم تجربة المستخدم (UX/UI)	• شهادة في هندسة المعلوماتية أو علم البيانات • خبرة في قيادة مشاريع تحول رقمي في القطاع العام	• بناء وتشغيل منصة ANIS كجسر تقني بين AAST وCNRST • ضمان التكامل الفني السلس بين قواعد بيانات المؤسستين

ج- المهارات المشتركة الحاسمة للتكامل

لكي يعمل هذا النموذج الثنائي بسلاسة، يجب أن تتقاسم الإطارات في المؤسستين مهارات مشتركة:

1- فهم منظومة الابتكار الوطني (ANIS).
2- اللغة والمفاهيم المشتركة: علمية، وإدارية، ومالية.
3- مهارات التعاون والعمل الجماعي عبر المؤسسات.
4- النزاهة والموضوعية والالتزام بالمصلحة الوطنية والعلمية.

7. التوصيات وخارطة الطريق

لتحقيق هذا النموذج التكاملي، تقترح الورقة الخارطة التنفيذية التالية:

1- مراجعة الأطر القانونية (المدى القصير: 0-12 شهرًا)

- مراجعة المراسيم التنظيمية لكل من AAST وCNRST لإدراج نصوص توجب التشاور والتعاون بينهما.
- منح CNRST ولاية صريحة قانونيًا لإدارة صندوق وطني للتمويل التنافسي للبحوث.

2- تصميم وتطوير آليات التكامل (المدى المتوسط: 1-3 سنوات)

- إنشاء لجنة تنسيق مشتركة دائمة بين الهيئتين.
- تطوير النظام المشترك لمراجعة الأقران وإدارة الجوائز العلمية الوطنية.
- إطلاق النسخة التجريبية لمنصة ANIS الرقمية مع وحدات مطابقة تربط بين خرائط قدرات AAST وفرص تمويل CNRST.

3- التنفيذ الكامل والمراجعة (المدى الطويل: 3-5 سنوات)

- تفعيل دورة التخطيط والتمويل السنوية الكاملة بناءً على تقارير AAST الاستراتيجية.
- تقييم تأثير التكامل على مؤشرات الأداء الوطنية (براءات الاختراع، النشر العلمي، الشركات الناشئة التقنية).
- التوسع في استخدام المنصة الرقمية ANIS كأداة رئيسية لحوكمة النظام الابتكاري الوطني بأكمله.

8. الخاتمة

إن بناء نظام ابتكاري وطني فاعل مهمة معقدة تتطلب أكثر من مجرد استحداث هياكل أو منصات تقنية. كما تُظهر التجارب العالمية، فإن القلب النابض لهذا النظام غالبًا ما يكون العلاقة التكاملية المُصممة بعناية بين الصوت المستقل للعلم والمحرك التنفيذي للدولة. تمتلك الجزائر، من خلال مؤسستي AAST وCNRST وإطار عمل ANISالطموح، كل المكونات الأساسية لتحقيق هذه الشراكة الاستراتيجية.

الفرصة التاريخية الآن هي تحويل هذا الإمكان إلى واقع، من خلال هندسة علاقة مؤسسية واضحة تحترم استقلالية المعرفة وتضمن فعالية الإنفاق العام. بهذه الطريقة، يمكن للجزائر أن تبدأ في سد الفجوة بين ترتيبها في مؤشرات الابتكار وإمكاناتها البشرية الحقيقية، مسلحةً بنموذج تكاملي يجعل من العلم مشيرًا استراتيجيًا، ومن السياسة منفذًا كفؤًا، وفي النهاية، يجعل من الابتكار محركًا حقيقيًا للتنمية المستدامة.

رابط الجزء الأول من المقال https://www.ens-kouba.dz/magazine/pdf/n18/article18-11.pdf

المراجع

[1] Balázs, K. *Is there any future for the Academies of Sciences?* In Dyker, D.A. (Ed.) The Technology of Transition: Science and Technology Policies for Transition Countries, Central European University Press, 1997.

[2] Benner, M., & Sandström, U. *Institutionalizing the triple helix: research funding and norms in the academic system*, Research policy, 29(2), (2000), 291-301.

[3] Braun, D. *The role of funding agencies in the cognitive development of science*, Research policy, 27(8), (1998), 807-821.

[4] Dutta, S., Lanvin, B., León, L. R., & Wunsch-Vincent, S. (Eds.). *Global innovation index 2024: Unlocking the promise of social entrepreneurship*, WIPO, 2024.

[5] Galán-Muros, V., Blancas, A., & Liu, B. L. *Higher education contribution to national technological development*, Unesco Publishing, 2023

[6] Gee, J. P. *Critical issues: Reading and the new literacy studies: Reframing the national academy of sciences report on reading*, Journal of literacy research, *31*(3), (1999), 355-374.

[7] Guston, D. H. Between politics and science: Assuring the integrity and productivity of research, 2000.

[8] InterAcademy Partnership (IAP). (2016). ANNUAL REPORT

https://www.interacademies.org/sites/default/files/publication/iap_annual_report_2016_web.pdf.

[9] Kuznetsov, Y. (Ed.) *Diaspora networks and the international migration of skills: How countries can draw on their talent abroad*. World Bank Publications, 2006.

[10] Lewis, J., Schneegans, S., & Straza, T. *UNESCO Science Report: The race against time for smarter development*, Unesco Publishing, 2021.

https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000377250_ara

[11] Lundvall, B. Å. (Ed.) *National systems of innovation: Toward a theory of innovation and interactive learning* (Vol. 1), Anthem Press, 2010.

[12] National Academies of Sciences, Medicine, Committee on the Value of Social, & Economic Sciences to National Priorities, *The value of social, behavioral, and economic sciences to national priorities: A report for the National Science Foundation,* National Academies Press, 2017.

[13] OECD, *Addressing societal challenges using transdisciplinary research*, OECD Science, Technology and Industry Policy Papers, No. 88, OECD Publishing, Paris, 2020.

[14] Rogers, E. M. *Diffusion of Innovations*, Free Press, 2003.

[15] Seitz, F. *The National Academy of Sciences: Profile of an institution*, Journal of the Washington Academy of Sciences, *57*(2), 1967, 38-41.

[16] WIPO. *Global Innovation Index 2024 results*; Country profile: Algeria, Morocco, and Tunisia. World Intellectual Property Organization, 2024. https://www.wipo.int/web-publications/global-innovation-index-2024/en/gii-2024-results.html

[17] Wong, P. K., & Singh, A. *From technology adopter to innovator: Singapore*, Small Country Innovation Systems: Globalization, Change and Policy in Asia and Europe, Edward Elgar Publishing, 2008, 71-112.

[18] Zapata-Sierra, A., Cascajares, M., Alcayde, A., & Manzano-Agugliaro, F. *Worldwide research trends on desalination*, Desalination, *519*, 2021, 115305.

[19] Zidane, Y. J-T. *Algeria's Vision 2030–2040–2050: Building Algeria's National Innovation System (ANIS) for Sustainable Development*, In: A National Forum: Algeria's Economic Policy Towards 2030 – Vision 2030. University of Algiers 3, 2025.

[20] Zidane, Y. J-T. *ANIS Project – Algeria's National innovation System*, 2025.

[21] Zidane, Y. J-T. *ANIS: Dynamic National Platform for Academic Profiling and "Quadruple Helix" Collaboration in Algeria*, In: eighth International Conference on Entrepreneurship for Sustainability & Impact (ESI), Qatar University, 2025.

[22] Zidane, Y. J-T. *Algeria's National Innovation System – Part 1*, Preprint, 2026.

أساسيات التدريب في مجال الصناعة

العالية بلقاسم
باحثة في قسم الميكانيك بجامعة محمد بوقرة، بومرداس
مهندسة ومدربة في مجمع سوناطراك (البترول)
l.belkacem@univ-boumerdes.dz

مقدمة

في عصر يتسم بالتغيرات المتسارعة والتطور التكنولوجي الهائل، لم يعد التميز المهني والمؤسسي رفاهيةً، بل ضرورةً ملحةً للبقاء والمنافسة. ويأتي التدريب كركيزة أساسية لتحقيق هذا التميز، حيث يُعدّ الجسر الذي يعبر بالأفراد والمؤسسات من حالة المهارات التقليدية إلى آفاق الإبداع والكفاءة المتقدمة. في هذا المقال، نستعرض الأسس والمبادئ التي يقوم عليها التدريب الفعال، مستلهمين الرؤية الثرية من محاضرة "أساسيات التدريب: رحلة نحو التميز"، والتي تشكل دليلًا شاملًا لكل مدرّب يسعى إلى صقل مهاراته، ولكل متدرّب يطمح إلى تطوير ذاته.

1. جذور التدريب: من الحرف اليدوية إلى الثورة الرقمية

لم تظهر الحاجة إلى التدريب بشكلها المنظم إلا مع تعقّد المهام وازدياد الحاجة إلى التخصص. ففي العصور القديمة، كان نقل المهارات يتم بطريقة غير منظمة عبر التدريب العملي المباشر، حيث كان الحرفيون يعلّمون المتدربين لديهم أسرار البناء والصناعات اليدوية من خلال الملاحظة والممارسة. لكن مع بزوغ عصر الثورة الصناعية في القرنين الثامن عشر والتاسع عشر، ونمو الصناعات الثقيلة مثل النفط والغاز، برزت الحاجة الماسّة إلى تدريب منظم.

بدأت شركات كبرى في تطوير برامج للتدريب أثناء العمل (On-the-Job Training) لتأهيل العمال على تشغيل الآلات المعقدة، وهو ما مهّد الطريق لأولى أشكال برامج "تدريب المدرّبين" (TOT). شهدت الفترة بين عامي 1980 و2000 طفرة حقيقية في هذا المجال، حيث بدأ التخصص يتعمق، وأصبح المدرّبون يُدرَّبون على تصميم مناهج متسلسلة ومنطقية، وتطوير مهارات التواصل الفعال، وإدارة ديناميكيات المجموعات المتنوعة.

أما اليوم، فنحن نعيش ثورة العصر الرقمي، حيث أحدثت التكنولوجيا نقلة نوعية في برامج تدريب المدرّبين: استخدام الذكاء الاصطناعي، والتعلّم الآلي، وتقنيات الواقع الافتراضي (Virtual Reality -VR) والواقع المعزّز (Augmented Reality - AR)، ومنصات التعلّم عن بُعد. كلها أدوات أسهمت في خفض التكاليف وتقليل الوقت غير المنتج، وفتحت آفاقًا جديدة للتعلم التفاعلي والمحاكاة الدقيقة .

2. مفهوم التدريب وأهميته: بناء الكفاءات وتغيير السلوك

قبل الخوض في التفاصيل، من الضروري التمييز بين مفهوم التدريب ومفاهيم أخرى قد تختلط به، مثل التعليم أو التوجيه (الكوتشينغ). فالتعليم هو عملية تقديم المعرفة النظرية والمفاهيم العامة في إطار منظم، ويهدف إلى بناء الفهم الأساسي. أما التدريب، فهو عملية هيكلية تهدف إلى تطوير مهارات محددة وزيادة المعرفة في مجال معين، ويرتبط عادةً بأهداف عملية واضحة. يتميز التدريب بكونه عمليًا وتطبيقيًا، ويركز على التكرار والممارسة المباشرة من خلال ورش العمل والتمارين والمحاكاة. وغالبًا ما يكون تفاعليًا بين المدرّب والمتدرّب، ويهدف إلى تحسين الأداء وزيادة الكفاءة في الحاضر والمستقبل.

الاختلافات الأساسية بين التدريب والتعليم والكوتشينغ

العنصر	التدريب (Training)	التعليم (Learning)	التوجيه (Coaching)
التعريف	عملية تهدف إلى نقل المهارات والمعرفة مع تطوير السلوك	عملية تقديم المعرفة وبناء الفهم النظري	عملية تفاعلية تشاركية بين الكوتش والمستفيد
الهدف	تحسين الأداء واكتساب مهارات محددة	اكتساب المعرفة النظرية والمفاهيم الأساسية	تحقيق الأهداف الشخصية والمهنية
التركيز	الحاضر والمهارات التطبيقية	المعرفة العامة والفهم النظري	الحاضر والمستقبل وتنمية الوعي الذاتي
المنهجية	تطبيق عملي، تمارين، ورش عمل، محاكاة	محاضرات، كتب، مناهج دراسية، اختبارات	حوار، أسئلة، تغذية راجعة، تمكين الشخص
طبيعة العلاقة	مدرّب ↔ متدرّب	معلّم ↔ متعلّم	كوتش ↔ مستفيد (شراكة)
النتائج	تطوير مهارات عملية قابلة للتطبيق	بناء قاعدة معرفية وفكرية	تغيير ذاتي وتحقيق الأهداف

تتجاوز أهمية التدريب مجرد اكتساب المهارات؛ فهو يعزز التحسين المستمر، ويرفع من كفاءة الأفراد والمؤسسات، ويوفر بيئة تعلّم ديناميكية تساهم في التكيف مع التغيرات. يتوقف نجاح أيّ تدريب على توافر أربعة عناصر أساسية: المعرفة، والمهارة، والرغبة، والقدوة. لا يكفي أن يعرف المتدرّب المعلومة أو يتقن المهارة، بل لا بدّ أن تتوفر لديه الرغبة الجادة في التطبيق، وأن يجد في مدرّبه القدوة الحسنة التي تلهمه وتوجهه.

3. مبادئ التدريب ومستوياته: من التأسيس إلى الاحتراف

لكي يكون التدريب فعالًا، لا بدّ أن يقوم على مجموعة من المبادئ الأساسية: الوضوح في طرح الأهداف والمعلومات، والتكرار لتثبيت المهارات، والتفاعل بين المدرّب والمتدرّبين، والتطبيق العملي الذي يحول النظرية إلى واقع، وأخيرًا التحفيز الذي يدفع المتدرب لبذل أقصى جهده.

تتنوع مستويات التدريب لتتناسب مع احتياجات الأفراد ومراحل تطورهم المهني، ويمكن تلخيصها كالتالي:

1- **التدريب التأسيسي:** يقدّم المفاهيم الأساسية والمهارات الأولية.
2- **التدريب المتوسط:** يعمق الفهم ويطور المهارات المتوسطة.
3- **التدريب المتقدم:** يعزز الخبرات والمهارات المتخصصة.
4- **التدريب التخصصي:** يركز على مجال دقيق ومحدد داخل التخصص.
5- **التدريب القيادي:** يطور مهارات القيادة والإدارة العليا.
6- **التدريب التطويري:** يهتم بالتطوير المستمر للمهارات الشخصية والمهنية.
7- **التدريب التأهيلي:** يؤهل الأفراد للحصول على شهادات أو مؤهلات معينة.
8- **التدريب الافتراضي والتفاعلي:** يستخدم الأدوات الرقمية لتعزيز التعلم عن بُعد والمشاركة النشطة.

4. عجلة التدريب الخماسية (ADDE): منهجية العمل المتكاملة

عجلة التدريب الخماسية (Five-Step Training Cycle) هي نموذج يُستخدم في تصميم وتنفيذ البرامج التدريبية بشكل منهجي وفعّال. تشير الخطوات الخمس إلى مراحل متتابعة ومترابطة تضمن تحقيق أهداف التدريب بشكل مُحكم، والتي تشمل خمس مراحل متتابعة ومترابطة:

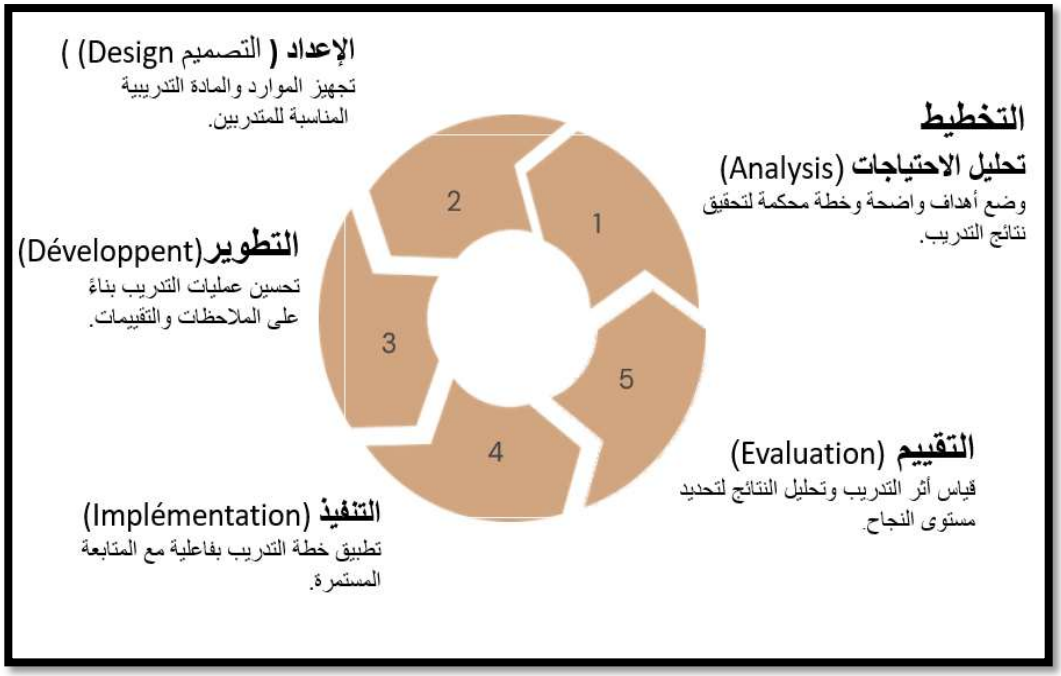
أ- **تحليل الاحتياجات (Analysis):** هي نقطة البداية، حيث يتم تحديد الفجوة بين الأداء الحالي والأداء المطلوب، وتحليل خصائص المتدربين والمنشأة.

ب- **التصميم (Design):** يتم هنا وضع أهداف واضحة وقابلة للقياس، ووضع خطة محكمة لتحقيق نتائج التدريب، واختيار المحتوى والأساليب المناسبة.

ج- **التطوير (Development):** تشمل هذه المرحلة إعداد وتجهيز جميع المواد والوسائل التدريبية اللازمة، مثل الحقائب التدريبية، والعروض التقديمية، وتمارين التطبيق.

د- **التنفيذ (Implementation):** هو تطبيق خطة التدريب على أرض الواقع بفعالية، مع إدارة ديناميكيات المجموعة والمتابعة المستمرة لضمان سير العملية.

هـ- **التقييم (Evaluation):** هي مرحلة قياس أثر التدريب وتحليل النتائج لتحديد مستوى النجاح، وجمع التغذية الراجعة لتحسين العمليات المستقبلية.



نموذج عجلة التدريب الخماسية (ADDIE)

5. الهرم التعليمي الفعال ونظرية بلوم

هرم بلوم هو إطار تربوي وضعه بنيامين بلوم (Benjamin Boloom) في خمسينيات القرن الماضي لتصنيف الأهداف التعليمية وتنظيم المهارات المعرفية. يُستخدم هذا التصنيف لتعزيز التفكير النقدي وتنمية خبرات التعلّم عند الطلاب، ويُعتبر أداة مهمة للمعلّمين حول العالم.

تُعدّ نظرية بلوم من أهم النظريات التربوية التي تهتم بتصنيف الأهداف التعليمية، وتحديد مستويات التفكير المختلفة التي يمكن أن يستهدفها التدريب. تُقسّم نظرية بلوم الأهداف التعليمية إلى ثلاثة مجالات رئيسية:

أولًا: المجال المعرفي (Cognitive Domain): ويتدرج في ستة مستويات:

- **التذكر:** استرجاع الحقائق والمعلومات.
- **الفهم:** استيعاب المعلومات وشرحها بأسلوب المتدرّب.
- **التطبيق:** استخدام المعرفة في مواقف عملية وحل المشكلات.
- **التحليل:** تفكيك المعلومات وفحص العلاقات بين أجزائها.
- **التقييم:** إصدار أحكام مستنيرة بناءً على معايير محددة.
- **الابتكار (الإبداع):** إنتاج أفكار أو حلول جديدة ومبتكرة .

ثانيًا: المجال الوجداني (Affective Domain) المشاعروالقيم: ويشمل التلقي، والاستجابة، وإيلاء التقدير، وتنظيم القيم، واستيعابها لتصبح جزءًا من هوية الفرد.

ثالثًا: المجال المهاري الحركي (المهارات الجسدية Affective Domain): القدرة على أداء المهارات العملية بدقة وإتقان.

إن تحقيق توازن بين هذه المجالات الثلاثة هو ما يُعبّر عنه بـ"الهرم التعليمي الفعال" حيث يضمن للمتدرب فهمًا عميقًا وقدرة على التطبيق المتكامل.

6. ركائز المادة التدريبية ومعادلة النجاح

تعتمد جودة أي برنامج تدريبي على ركائز أساسية هي:

- **وضوح الأهداف:** بحيث تكون محددة وقابلة للقياس.
- **تنظيم المحتوى:** بشكل منطقي يتدرج من الأساسيات إلى المعقد.
  - اختيار المعلومات ذات الصلة والمناسبة للمجموعة المستهدفة.
  - تنظيم المحتوى بشكل منطقي (مثل الانتقال من المعلومات الأساسية إلى المعقدة).
- **تنوع الأساليب:** لمراعاة أنماط التعلّم المختلفة (بصري، سمعي، حركي).
  - استخدام أساليب متنوعة مثل المحاضرات، والنقاشات، والتمارين العملية، أو التدريب التفاعلي.
  - مراعاة أنماط التعلّم المختلفة للمتدربين (بصري، سمعي، حركي).
- **الوسائل والتقنيات:** استخدام أدوات مساعدة مبتكرة.
  - استخدام أدوات مساعدة مثل العروض التقديمية، ومقاطع الفيديو، والبرامج التفاعلية.
  - اختيار الوسائل التي تدعم الأهداف وتناسب المتدربين.
- **تقييم مستمر:** لقياس مدى تحقيق الأهداف.
  - وضع أدوات تقييم لقياس تحقيق الأهداف (اختبارات، مشاريع، تقييم عملي).
  - التقييم المستمر والنهائي لضمان تطور المتدربين.
- **المتدربون واحتياجاتهم:**
  - مراعاة خصائص المتدربين (العمر، المستوى التعليمي، الاحتياجات الخاصة).
  - ربط المادة باحتياجاتهم الفعلية، وهنا يمكن الاستفادة من هرم ماسلو لفهم دوافعهم، مثل الحاجة إلى التقدير أو تحقيق الذات.

أما معادلة النجاح في مجال التدريب، فتتوقف على ثلاث ركائز مترابطة: امتلاك المعرفة القوية والمهارات العملية المتقنة، مقترنة بـ التحفيز الداخلي والخارجي والتواصل الفعال، وأخيرًا الالتزام بالتقييم المستمر والتحسين الدائم للأداء.

7. العلاقة بين ركائز المادة التدريبية ونظرية بلوم

يمكن الاستفادة من نظرية بلوم في تحديد الأهداف التعليمية للمادة التدريبية، واختيار الأساليب التدريبية المناسبة لكل مستوى من مستويات التفكير. على سبيل المثال، يمكن استخدام المحاضرات لشرح المفاهيم الأساسية (مستوى الفهم)، ويمكن استخدام ورش العمل لتدريب المتدربين على تطبيق هذه المفاهيم في مواقف عملية (مستوى التطبيق).

بالإضافة إلى ذلك، يمكن استخدام نظرية بلوم في تصميم أنشطة التقييم حيث تقيس هذه الأنشطة مستويات التفكير المختلفة لدى المتدربين، وتوفر معلومات حول مدى تحقيق أهداف التعلّم.

خاتمة

في الختام، التدريب هو أكثر من مجرد نقل للمعلومات؛ إنه رحلة تحول حقيقية نحو التميز. من خلال فهم الأساسيات التي استعرضناها – من تاريخ تطور التدريب، إلى مبادئه ومستوياته، مرورًا بالنماذج المنهجية مثل عجلة ADDIE والنظريات التربوية الراسخة مثل هرم بلوم – يمكن لأي مدرّب أن يحول قاعة التدريب إلى بيئة خصبة للإبداع والنمو. إن الاستثمار في تطوير برامج تدريب المدرّبين (TOT) هو استثمار في مستقبل الأفراد والمؤسسات على حد سواء، وهو الطريق الأمثل لبناء مجتمعات قادرة على مواكبة التحديات وصناعة الغد الواعد.

المراجع

[1] الموقع الرسمي د. محمد العامري التدريب الفعّال وتطوير أداء العاملين
https://www.mohammedaameri.com

[2] بريلي، نيكولاس، التدريب من أجل الأداء: مبادئ وممارسة التدريب والقيادة، الاتحاد الدولي للمدربين (ICF).

[3] منظمة الأمم المتحدة للتربية والعلم والثقافة (اليونسكو).

[4] Knowles, M. S., Holton, E. F. & Swanson, R. A., The Adult Learner. The Definitive Classic in Adult Education and Human Resource Development, Routledge, Oxon, 2015.



شخصية العدد

الأستاذ محمد هشام قارة

رئيس الأكاديمية الجزائرية للعلوم والتكنولوجيات



ولد محمد هشام قارة في 25 ديسمبر من عام 1967 بمدينة عنابة. وتلقى تكوينًا أكاديميًا وعلميًا متدرّجًا ومتخصصًا في مجال البيولوجيا والعلوم البحرية، بدأه بجامعة عنابة حيث نال سنة 1988 دبلوم الدراسات العليا في البيولوجيا البحرية، قبل أن يواصل مساره العلمي بالحصول سنة 1992 على شهادة الماجستير في التخصص نفسه. وقد عُزّز هذا التكوين بتجربة دولية نوعية سنة 1993 حين تابع تكوينًا متقدمًا في تقنيات تربية الأسماك بمخبر تربية المائيات التابع للجامعة الكاثوليكية بلوفان (Louvain) البلجيكية، وهو ما أتاح له الانفتاح على المناهج الحديثة في علوم البحار والموارد المائية الحيّة. ثم تُوّج هذا المسار بالحصول على شهادة الدكتوراه سنة 1998 من جامعة العلوم والتكنولوجيا هواري بومدين بالجزائر العاصمة في علوم المحيطات البيولوجية، علما أن الأبحاث في إطار إعداد هذه الأطروحة قد أُنجز جزء منها في جامعة مونبلييه Montpellier الفرنسية.



تتركز أنشطة الأستاذ قارة التدريسية والبحثية على الهيدروبيولوجيا البحرية والقارية، مع اهتمام خاص بالتنوع البيولوجي، والصيد البحري، وتربية المائيات، وتفاعلاتها مع الأنشطة البشرية (التلوث، الأنواع الغازية والتغيّر المناخي). وفي عام 2003، أسّس مخبر أبحاث "الموارد الحيوية البحرية" بجامعة عنابة. كما استفاد سنة 2005 من إقامة علمية رفيعة المستوى احتضنتها المدرسة التطبيقية للدراسات العليا (EPHE) العريقة -التي أسست بباريس عام 1868- وهذا ما مكّنه من توسيع خبراته البحثية وتعزيز حضوره في فضاءات البحث العلمي الدولية.



وعلى الصعيد المهني والعلمي، تدرّج الأستاذ قارة في مختلف المسؤوليات الأكاديمية والبحثية بجامعة عنابة حيث عمل كأستاذ مساعد بين سنتي 1992 و 1998، ثم أستاذا محاضرًا في علم المحيطات إلى غاية سنة 2002، قبل أن يُرقّى إلى رتبة أستاذ التعليم العالي والبحث العلمي سنة 2003، ثم أستاذا مميزا في ربيع عام 2025. وقد اضطلع بعدة مهام علمية وإدارية، من بينها رئاسة قسم العلوم البحرية بين 1999 و2001، ونيابة عمادة كلية العلوم المكلفة بالبيداغوجيا بين 2004 و 2006، ثم رئاسة المجلس العلمي لكلية العلوم بعنابة من 2011 إلى 2017، فضلًا عن عضويته المستمرة في المجلس العلمي للكلية منذ سنة 1999.



شارك الأستاذ محمد هشام قارة مع فريقه البحثي في 15 برنامجاً دولياً، وتولى رئاسة 11 منها. كما نشر أكثر من 100 مقال علمي في مجلات متخصصة، بالإضافة إلى مساهمات في فصول كتب علمية. وقد خُصص مؤلفه الصادر عام 2019 في أربعة مجلدات لدراسة البحيرات الشاطئية ومصبّات الأنهار في حوض البحر الأبيض المتوسط ومجموعاتها السمكية.

وفضلا عن مسؤولياته العلمية والإدارية، سيما كرئيس الأكاديمية الجزائرية للعلوم والتكنولوجيات، يشغل الأستاذ قارة عضوية العديد من المجالس العلمية الوطنية، وعمل -ولا يزال- كخبير لدى مؤسسات دولية مرموقة مثل: منظمة الأغذية والزراعة (FAO)، وبرنامج الأمم المتحدة للبيئة (PNUE/MAP)، والاتحاد الدولي لحفظ الطبيعة (UICN)، والاتحاد الأوروبي. كما ساهم في إنشاء عدة شبكات علمية موضوعاتية على المستويات الوطنية والمغاربية والدولية.

وعلى صعيد الهيئات الأكاديمية، انضم إلى الأكاديمية الجزائرية للعلوم والتكنولوجيات كعضو مؤسس في عام 2015، وشغل منصب نائب رئيس الأكاديمية من 2015 إلى 2023، ليُنتخب رئيسا لها في نوفمبر 2023. ومن جهة أخرى، يشغل الأستاذ قارة منصب الرئيس المشارك للجنة الموارد الحيّة والنظم البيئية البحرية في اللجنة الدولية للاستكشاف العلمي للبحر الأبيض المتوسط (CIESM). كما انضم إلى المجلس الأفريقي للبحث العلمي كعضو مؤسس في عام 2021، وانتُخب في عام 2022 عضوا دائما في الأكاديمية الأفريقية للعلوم في فرع العلوم البيولوجية.



يمثل الأستاذ محمد هشام قارة نموذجًا مشرّفًا للباحث العلمي الجزائري الذي جمع بين التميز الأكاديمي، والريادة البحثية، والحضور المؤثر في الهيئات العلمية الوطنية والدولية. فقد استطاع، عبر مسيرة علمية حافلة، أن يسهم بفعالية في تطوير علوم البحار والموارد المائية، وأن يبرز مكانة البحث العلمي الجزائري في المحافل الدولية. كما تعكس مسؤولياته المتعددة ثقة المؤسسات العلمية في كفاءته وخبرته ورؤيته الاستراتيجية. وإلى جانب عطائه العلمي الغزير، يبقى دوره -ودور المؤسسة التي يشرف عليها- العمل على تكوين الأجيال الجديدة من الباحثين وتعزيز ثقافة البحث والتعاون العلمي. ومن ثمّ، فلا شكّ أن مسيرته العلمية تمثّل مصدر إلهام حقيقي للباحثين الشباب، وصورة مشرقة للكفاءة الجزائرية في خدمة العلم والوطن.



10 أسئلة يجيب عنها الأستاذ محمد هشام قارة

رئيس الأكاديمية الجزائرية للعلوم والتكنولوجيات

السؤال 1: أنتم مختصون في علم الأحياء البحرية. وأنشأتم قبل 23 سنة مخبر الموارد الحيوية البحرية في الجامعة. وقدلاحظنا أن جامعة عنابة مهتمة كثيرا بالعلوم البحرية، ودليل ذلك أن بها قسما يُعني بهذه العلوم، وكنتم على رأسه قبل ربع قرن. فما الذي جعل جامعة عنابة تهتم بهذا العلم. وهل هناك إنجازات في هذا الميدان؟

الجواب



بالفعل، كانت العلوم البحرية في جامعة عنابة تُدرَّس منذ بداية ثمانينيات القرن الماضي، وذلك مع إنشاء قسم علوم البحر في معهد علوم الطبيعة. وعلى المستوى الوطني، كان هذا التخصص مقتصرًا فقط على الجزائر العاصمة (جامعة هواري بومدين للعلوم والتكنولوجيا، والمعهد الوطني لعلوم البحروتهيئة الساحل).

وقد بررت عدة أسباب لاختيار مدينة عنابة لاحتضان هذا التخصص، منها: وجود ميناء نشط خاص بالصيد البحري، وتعرض ساحل المنطقة لضغوط قوية ناجمة من النشاط البشري، لاسيما التلوث الصناعي (مركب الحجار للحديد والصلب ومركب الأسمدة الفوسفاتية)، بالإضافة إلى غنى الجهة الشرقية للبلاد بالمناطق الرطبة ذات الأهمية الدولية (مثل بحيرات منطقة القالة).



لقد كانت فترة رئاستي لهذا القسم بين عامي 1999 و 2000 فرصة سانحة لتنويع عروض التكوين وتعزيز التأطير في تخصص "البيولوجيا البحرية" عبر إرساء برامج للدراسات العليا (ماجستير ودكتوراه). وفي عام 2003، أنشأتُ مخبر "الموارد الحيوية البحرية" بهدف تجميع الكفاءات المتاحة آنذاك.

وخلال قرابة عشرين عامًا، بلغ هذا المخبر مستوى أداءٍ متميزًا. وتتجلى ثمار ذلك في المشاريع البحثية الوطنية والدولية العديدة، وكذا المنشورات العلمية عالية المستوى، فضلًا عن نقل نتائج الأبحاث وتطبيقها إلى القطاع الاجتماعي والاقتصادي.

السؤال 2: دائما في نفس السياق، شاركتم في عديد المشاريع العلمية مع الخارج في مجال اختصاصكم خلال مسيرتكم الأكاديمية. كيف تقيمون نتائج هذا التعاون.

الجواب

بفضل تنوع المجالات التي يتناولها مخبرنا ومرئيته على المستوى الدولي، شاركنا في عدة مشاريع بحثية ثنائية ومتعددة الأطراف حيث كان باحثونا هم المبادرون بإطلاق أغلبها. وتتطرق هذه المشاريع إلى مواضيع متنوعة للغاية؛ وهي تكتسي أهمية استراتيجية بالنسبة للتنمية الوطنية.



ومن بين الأهداف التي تم تحقيقها من خلال هذه المشاريع نذكر:

- تحصيل معارف أفضل حول التنوع البيولوجي البحري الوطني عبر استخدام أحدث تقنيات البيولوجيا الجزيئية.
- المساهمة في تحقيق السيادة الغذائية الوطنية من خلال دراسات تدعم تثمين الموارد الصيدية واستغلالها العقلاني.
- تشخيص حالة جودة المياه البحرية الساحلية بغرض الحفاظ على سلامة المنتجات البحرية والصحة العامة.

السؤال 3: تشغلون الآن منصب رئيس الأكاديمية الجزائرية للعلوم والتكنولوجيات. هل يمكن تلخيص المحطات التي مرت بها الأكاديمية منذ نشأتها، علما أنها عرفت بدايات عسيرة؟ هل أنتم راضون الآن عن أدائها ونتائجها؟

الجواب

تأسست الأكاديمية الجزائرية للعلوم والتكنولوجيات في مارس 2015، وتم في العام نفسه تنصيب أعضائها المؤسسين البالغ عددهم 46 عضواً. وفي الواقع، كانت بداياتها صعبة للغاية حيث تعين الانتظار حتى عام 2023 لتشهد انطلاقة فعلية بصدور نصوصها التنظيمية في الجريدة الرسمية. وقبل هذا التاريخ، ورغم غياب الوسائل، تم إنجاز بعض الأنشطة. وقد تنوّعت هذه الأنشطة خلال العامين الماضيين، وتكثفت وصارت وتيرتها ثابتة ومنتظمة.

فبالإضافة إلى الندوات العلمية الوطنية والدولية رفيعة المستوى، تلقت الأكاديمية إحالات خارجية (أي طلبات إبداء رأي استشارية). كما بادرت بدراسة عدة قضايا تتعلق بالانشغالات الوطنية الراهنة في المجالات العلمية والتكنولوجية. واستثمرت الأكاديمية في تكريس ثقافة التميز وتشجيع المواهب عبر منح جوائز وأوسمة تقديرية.



إن أكاديميتنا فتيةٌ مقارنة بنظيراتها عبر العالم. ومع أنها لا تزال في خطواتها الأولى، فقد أخذ صيتها بذيع، وصارت تُعرف من خلال إنجازاتها العديدة والمفيدة للمجتمع. إن أعضاء الأكاديمية ملزمون على إرساء دعائم صرح علمي حقيقي يساهم في توجيه القرارات الكبرى في مجالات العلوم والتكنولوجيا في البلاد.

السؤال 4: ما المشاريع التي وضعتها الأكاديمية من أجل تنفيذها مستقبلا؟

الجواب

تعمل الأكاديمية على عدة جبهات من خلال تحديد أولويات واضحة حيث بدأت بإرساء القواعد اللازمة لسير عملها بشكل جيد عبر التنصيب التدريجي للتأطير الإداري والتقني الضروري لتنفيذ مشاريع أعضائها. وستسمح الدعوة الأولى للترشح لعضوية الأعضاء الدائمين والمشاركين التي أُطلقت عام 2024، وكذا الدعوات المبرمجة مستقبلاً، بتعزيز الكفاءات وتنويع الخبرات الحالية.



وبالموازاة مع ذلك، تم إطلاق مشاريع ذات أبعاد وطنية وقارية، نذكر منها:

- المشروع الإفريقي لمصدر ضوء "السنكروترون" (Synchrotron)،
- مشروع المتحف الوطني للتاريخ الطبيعي،
- مشروع تهيئة وتعمير محور "عين صالح – تمنراست" الذي يُنفذ بالتعاون مع المعهد الوطني للدراسات الاستراتيجية الشاملة (INESG) ويُجند خبراء من الطرفين.

وعلاوة على ما سبق، تم إبرام اتفاقيات ومذكرات تعاون مع مؤسسات وطنية، وأكاديميات، وشبكات أكاديمية أجنبية.

السؤال 5: هل من لمحة عن كيفية اختيار أعضاء الأكاديمية وعددهم الأقصى؟ وكيف تتم الموازنة بين عدد الأعضاء العاملين داخل البلاد وخارجها؟ وماذا عن الأعضاء المراسلين الجزائريين والأجانب؟

الجواب



تَنص النصوص التأسيسية للأكاديمية الجزائرية للعلوم والتكنولوجيات على أن تشمل 200 عضو دائم من الجنسية الجزائرية، مقيمين في الجزائر أو في الخارج، و 50 عضواً مشاركاً من جنسيات أجنبية.وقد خُصصت دعوة الترشح التي أطلقناها في جويلية 2024 لإضافة 25 عضواً جديداً موزعين على عدة تخصصات علمية وتكنولوجية، بالإضافة إلى تعيين 6 أعضاء أجانب عن طريق تزكية أعضاء الأكاديمية.

وستُعلن نتائج هذه العملية قريباً. كما يجري التحضير لدعوة ثانية تتضمن فتح 35 منصباً جديداً.ويتم اختيار الأعضاء الجدد بناءً على شبكة تقييم تُعلي من شأن التميز العلمي استناداً إلى معايير نوعية معترف بها عالمياً.

السؤال 6: الكتب المدرسية العلمية تشكو من عديد الثغرات ذات الطابع العلمي، وكذا الثغرات في المناهج، ولم نلاحظ أن الأكاديمية اهتمت علنًا بهذا الموضوع. أليس بوسع الأكاديمية التعاون مع وزارة التربية لسد هذه الفجوات؟ كمثال على الثغرات العلمية، عدم التوازن في المناهج بين مادتي الفيزياء والكيمياء: فرغم الأهمية البالغة للكيمياء اليوم، نجدها شبه غائبة في مناهجنا. أليس كذلك؟

الجواب

تتمثل إحدى المهام القانونية للأكاديمية في إعداد تقرير كل سنتين حول وضعية التكوين، والتربية، والتعليم العالي، والبحث العلمي والتكنولوجي، والابتكار على المستوى الوطني.



وفي هذا السياق، تم إنشاء لجنة مختصة داخل الأكاديمية تعمل بالتنسيق مع خبراء من القطاعات الوزارية المعنية (التكوين والتعليم المهنيين، والتربية الوطنية، والتعليم العالي والبحث العلمي). ومن المتوقع أن يكون التقرير الأول جاهزاً قبل نهاية السنة الجارية حيث ستتم بالتأكيد معالجة الأسئلة التي تطرحونها ضمن محاور هذا التقرير.

السؤال 7: من المعلوم أن اللغة العربية هي اللغة الأكثر انتشارا في البلاد لمتابعة المحاضرات التي تُعنى بنشر الثقافة العلمية. والأكاديمية تبذل في المدة الأخيرة جهودا تُشكر عليها لنشر هذا النوع من الثقافة وسط الجماهير، لكنها تستعمل في الغالب اللغة الفرنسية في هذا النشاط التي لا تتقنها الأغلبية. لماذا؟

الجواب



كثيرًا ما يُطرح هذا السؤال؛ والسبب يعود إلى عدم التمكن الكافي من اللغة العربية لدى العديد من أعضاء أكاديميتنا الذين تلقوا تعليمهم، في غالبيتهم، بلغات أجنبية. ومع ذلك، يَبذل الأكاديميون جهودًا كبيرة لنقل معارفهم بلغة مفهومة، لا سيما خلال المحاضرات المفتوحة للجمهور. وعلاوة على ذلك، تولي الأكاديمية اهتمامًا بالغًا لهذا النوع من المحاضرات التي تُنشر من خلالها المعارف العلمية في أوساط المجتمع حيث يُعد هذا النشاط أحد المهام الرئيسية المنوطة بأكاديميتنا.

السؤال 8: كثيرا ما تحدث المسؤولون في التعليم العالي عن إمكانية إعادة النظر في نظام "ل م د" في الجامعة، وربما الرجوع إلى نظام يشبه نظام "دبلوم الدراسات العليا" إذ يعتقد الكثير بأنه أنسب لوضع البلاد لأن نظام "ل م د" كان قد وضع في أوروبا في نهاية القرن العشرين لتلبية حاجياتهم التي هي ليست بالضرورة مطابقة لحاجياتنا. نلمّح هنا بوجه خاص إلى وضع الماستر والليسانس المهنيين. هل ترى الأكاديمية ضرورة لهذا الإصلاح؟

الجواب

نظرًا للاحتياجات الوطنية الراهنة في مختلف قطاعات الحياة الاقتصادية، وكذا تشبع فرص العمل في المسارات الأكاديمية التقليدية، فإن التوجه نحو عروض التكوين في "الليسانس" و"الماستر" المهنيين يعد خياراً مثالياً لطلبتنا. فمن شأن هذه الشهادات المهنية أن تتيح لحاملها وصولاً أسهل إلى مصادر التمويل عندما يكونون أصحاب مشاريع اقتصادية أو ابتكارات.



وبالموازاة مع ذلك، يبرز تطوير التكوين في "المهن الجديدة" كضرورة ملحة بالنظر إلى تسارع وتيرة التطورات التكنولوجية.أما بخصوص نظام "ل.م.د" (LMD)، فمن الصعب إبداء رأي نهائي بهذا الشأن في ظل غياب تحليل معمق لنتائج هذا النظام وظروف تنفيذه. ينبغي أن يكون الرأي مبنيا على تحليل يستند إلى مؤشرات أداء دقيقة، ويتجنب الاستنتاجات السطحية والأحكام المتسرّعة أو الاستباقية.



السؤال 9: بخصوص علمائنا المنتشرين في الجامعات الأجنبية، هل للأكاديمية التي ترأسونها رؤية أو خطة لجعل البلاد تستفيد من خبرة هؤلاء الأساتذة والباحثين، وأيضا ممن أحيلوا على المعاش في البلدان التي يقيمون بها؟

الجواب

تفتح الأكاديمية الجزائرية للعلوم والتكنولوجيات أبوابها لجميع الكفاءات الوطنية، سواء كانت مقيمة داخل الجزائر أو في الخارج، وسواء كانت في حالة نشاط أو في وضعية تقاعد. وبالإضافة إلى إمكانية الانضمام كعضو دائم في الأكاديمية، تتاح عدة صيغ للمساهمة؛ مثل المشاركة في مجموعات العمل أو اللجان المتخصصة، والمساهمة بتقديم مذكرات أو تقارير حول مواضيع ذات مصلحة وطنية، وهذا فضلًا عن تنظيم مؤتمرات موضوعاتية أو القيام بمهام ميدانية.



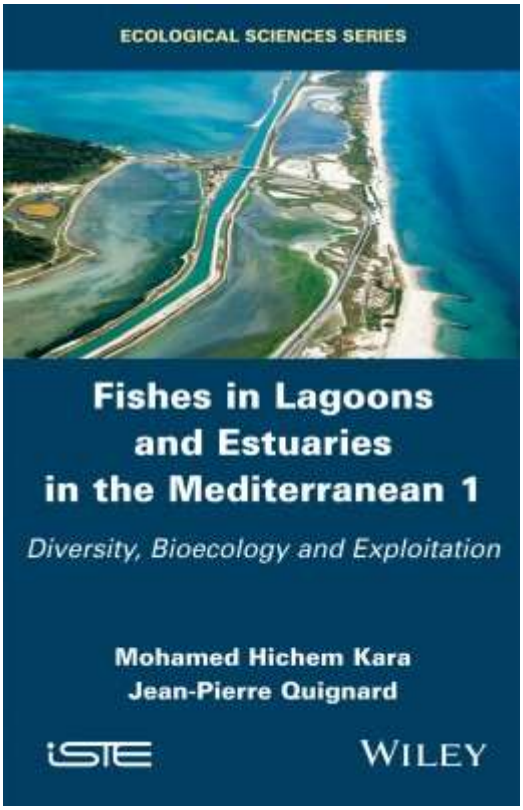
وفي هذا الصدد، يجري حالياً تنفيذ برنامج لإحصاء الكفاءات وشبكات النخب الجزائرية في الخارج، بهدف إشراكها في مشاريع الأكاديمية والاستفادة من خبراتها.

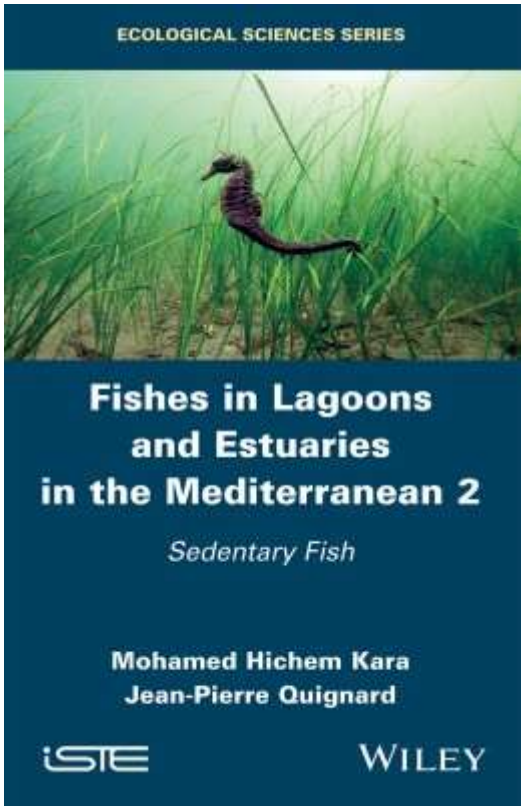
السؤال 10: الكلمة الأخيرة لكم، لعلكم تريدون تبليغ رسالة لقراء بشائر العلوم.

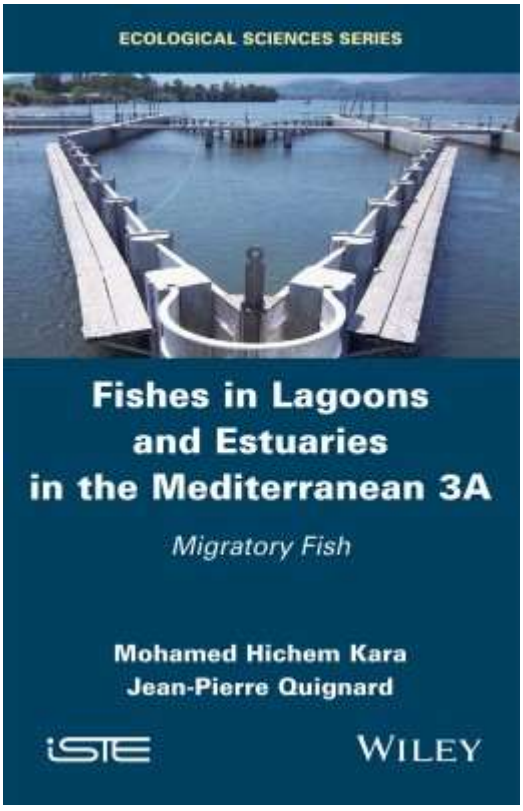
الجواب

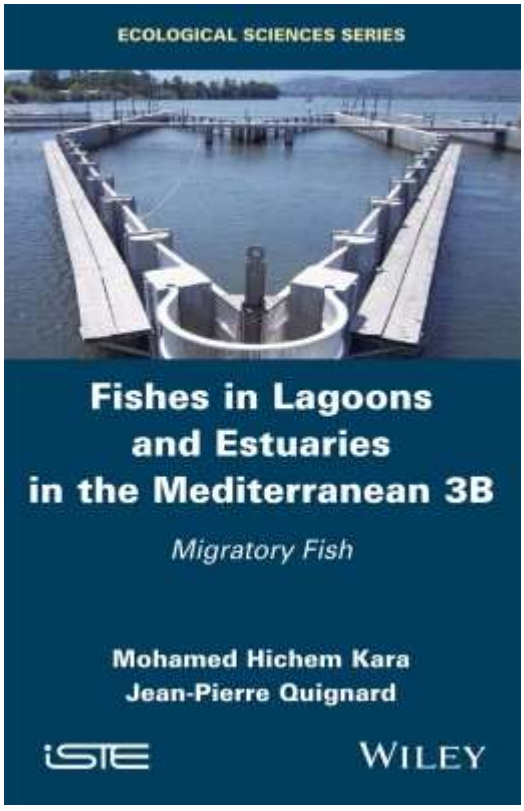
تعدّ العلوم والتكنولوجيا والابتكار الركائز الأساسية لتحقيق التنمية وسيادة أي أمة. ومن هذا المنطلق فإن الأكاديمية الجزائرية للعلوم والتكنولوجيات التي تضطلع بمهمة ترقية العلوم والتكنولوجيا وتعزيز أثرهما في المجتمع، تشجع العلماء قاطبةً والمجتمع على متابعة أنشطتها والمساهمة في النقاشات التي تنظمها، وذلك في سبيل بناء مجتمع معرفةٍ قادرٍ على رفع التحديات المعاصرة وصون وطننا الغالي، الجزائر.




ECOLOGICAL SCIENCES SERIES
Fishes in Lagoons and Estuaries in the Mediterranean 1
Diversity, Bioecology and Exploitation
Mohamed Hichem Kara
Jean-Pierre Quignard
ISTE
WILEY


ECOLOGICAL SCIENCES SERIES
Fishes in Lagoons and Estuaries in the Mediterranean 2
Sedentary Fish
Mohamed Hichem Kara
Jean-Pierre Quignard
ISTE
WILEY


ECOLOGICAL SCIENCES SERIES
Fishes in Lagoons and Estuaries in the Mediterranean 3A
Migratory Fish
Mohamed Hichem Kara
Jean-Pierre Quignard
ISTE
WILEY


ECOLOGICAL SCIENCES SERIES
Fishes in Lagoons and Estuaries in the Mediterranean 3B
Migratory Fish
Mohamed Hichem Kara
Jean-Pierre Quignard
ISTE
WILEY

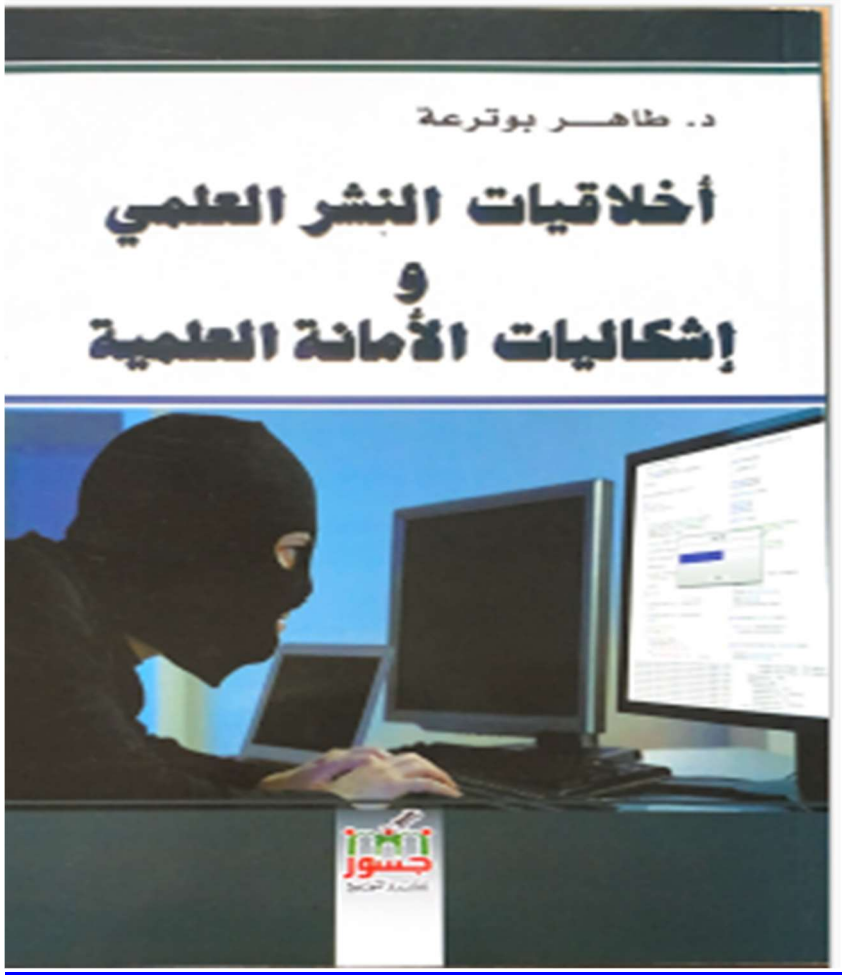
عرض الكتاب

عرض كتاب

أخلاقيات النشر العلمي وإشكاليات الأمانة العلمية

تأليف: طاهر بوترعة

عرض: هيئة التحرير



- دار النشر: جسور للنشر والتوزيع، المحمّدية، الجزائر العاصمة.
- الطبعة 1: 2018.
- عدد الصفحات: 384.

الأستاذ طاهر بوترعة مستشار أكاديمي، من خريجي جامعة الجزائر العاصمة في علم النبات، ونال شهادة الدكتوراه من جامعة ليدز (Leeds) البريطانية. عمل محاضرا في كل من جامعة الجزائر وجامعة ليدز، ثم في كلية العلوم بجامعة طيبة في المدينة المنورة. وإلى جانب اهتماماته التدريسية في علم النبات نشر عديد البحوث في مجال تخصصه. ومن بين نشاطاته الأخرى الكتابة في شأن أخلاقيات البحث العلمي. وفي هذا السياق، وضع كتاب "دليل الكتابة العلمية للطلاب والباحثين"، ثم هذا الكتاب الذي اختار له العنوان " أخلاقيات النشر العلمي وإشكاليات الأمانة العلمية".

يتناول الكتاب الأسس الأخلاقية في النشر العلمي، ويعطي أمثلة عن حالات التجاوزات الأخلاقية البارزة في هذا المجال. كما يركز على مظاهر الفساد الأكاديمي في النشر العلمي والتي تتخذ صورا عديدة، ومن أبرزها الانتحال بأنواعه المختلفة؛ ومنها السرقة العلمية، والكسل العلمي، والانتحال التقني والانتحال الذاتي. ويتناول كذلك التزوير، والتلفيق، وتبديد الأموال المسخرة للبحث العلمي، واستغلال النفوذ في عملية النشر العلمي. وتطرّق الكتاب إلى الجرائم الصغرى في النشر العلمي؛ ومن أمثلتها: التحليل المضلل للبيانات، وإخفاء المعلومات، وخرق السرية، وتعارض المصالح، وغيرها كثير.

وتم تناول أسباب الفساد الأكاديمي؛ ومنها الضغط الوظيفي، وسهولة التزوير. كما تناول بالتحليل عواقب التجاوزات في العمل الأكاديمي؛ ومن أمثلتها: التشهير، وسحب الأعمال العلمية المنشورة.

1. هدف الكتاب

يهدف الكتاب إلى تصحيح ممارسات النشر العلمي في العالم العربي بوجه خاص، وتجاوز النظرة الضيقة التي تجعل الكتابة مجرد وسيلة لنيل شهادة أو ترقية أو وظيفة. ويدعو إلى ترسيخ ثقافة بحثية أصيلة تقوم على المسؤولية العلمية حيث يصبح النشر فعلا معرفيا جادا لا أداة لتحقيق مكاسب مادية أو مهنية. كما يطمح هذا الكتاب إلى الإسهام في النهوض بالنشر العلمي في العالم العربي، وذلك من أجل استعادة مكانته التاريخية حين كان ركيزةً مضيئةً استنارت بها الحضارة الغربية الحديثة. ويسعى هذا المؤلَّف إلى أن يكون إسهامًا متواضعًا للحاق بركب الحضارة المعاصرة التي لا تقوم إلا على العلم ومنهجه الصارم، إذ لا سبيل إلى التقدم خارج هذا المسار. وعلى هذا النهج سارت أممٌ عديدة، فحققت نهضتها، ورسّخت حضورها العلمي، وأسهمت بفاعلية في إنتاج المعرفة وتوجيه مساراتها عالميًا.

2. خير مثال.. الصين

وخير مثال على ذلك في العصر الحديث الصين التي بادرت إلى تصحيح مسار النشر العلمي بوصفه المدخل الطبيعي لإصلاح منظومة البحث العلمي برمتها. فقد اتخذت قرارات حاسمة على أعلى مستويات السلطة لمكافحة الفساد الأكاديمي، فأعادت توجيه الجهود نحو الجودة والابتكار بدل الكم والشكلية. وأثمرت هذه السياسات نتائج ملموسة تجلت في الطفرة الكبيرة التي شهدتها المنتجات الصينية في مختلف المجالات التقنية والصناعية والعلمية. ولم يكن ذلك إلا حصيلة طبيعية لمنظومة بحثية سليمة، تقوم على النزاهة والانضباط وتكافؤ الفرص، وتُعلي من قيمة المعرفة الحقيقية بوصفها أساس التقدم والتنمية المستدامة.

يتناول الباب الأول من الكتاب الأسس الأخلاقية للبحث العلمي وسوء السلوك العلمي حيث تقوم أخلاقيات البحث على مبادئ جوهرية، من أبرزها الصدق في جمع البيانات وتحليلها، واحترام حقوق المشاركين، وتجنّب التضليل أو التلاعب بالنتائج. ويُقصد بسوء السلوك العلمي كل ممارسة تنتهك هذه القواعد، مثل التلفيق (اختلاق بيانات غير موجودة)، والتزوير (تحريف البيانات الحقيقية)، والانتحال (نسبة أعمال الآخرين إلى النفس). وقد شهد تاريخ النشر العلمي الحديث حالات بارزة كشفت خطورة هذه الانحرافات، منها قضية الطبيب الأمريكي ويليام سمرلين (William Summerlin) الذي زوّر نتائج تجارب زرع الأنسجة، وقضية الباحث الأمريكي جون دارسي (John Darsee) الذي اختلق بيانات في أبحاث طبية. كما ظهرت فضائح أخرى في أوروبا وآسيا، مثل قضية الفيزيائي الألماني يان هندريك شون (Jan Hendrik Schön)، وقضية الباحثة اليابانية هاروكو أوبوكاتا (Haruko Obokata) في أبحاث الخلايا الجذعية. وتؤكد هذه النماذج أن سوء السلوك العلمي ظاهرة عالمية لا ترتبط بثقافة أو بلد بعينه، بل تتطلب يقظة دائمة وآليات رقابية صارمة.

3. التأليف، والانتحال، والتزوير

أما الباب الثاني فيعالج قضايا محورية في أخلاقيات النشر، وهي: التأليف العلمي، والانتحال، والنشر المزوّر، بوصفها من أبرز مظاهر الانحراف في الممارسة البحثية المعاصرة.

1. التأليف العلمي: من المفترض أن يعكس اسم المؤلف إسهامًا علميًا حقيقيًا في تصميم البحث أو تنفيذه أو تحليل نتائجه وتفسيرها. غير أنّ الواقع يكشف عن ممارسات منحرفة، مثل "التأليف الهدية" الذي تُمنح فيه صفة المؤلف لمن لم يسهم فعليًا، و"التأليف الشبح" حيث يُستبعد باحثون قدّموا إسهامات معتبرة. وتزداد هذه الإشكاليات تعقيدًا في

سياق أبحاث طلبة الدكتوراه ومشاريع التعاون بين الطلبة والمشرفين حين يُساء استغلال تفاوت المكانة الأكاديمية. كما تبرز خلافات حول ترتيب أسماء المؤلفين، بما يعكس الحاجة إلى قواعد واضحة تضبط التعاون العلمي، وآليات عادلة وشفافة لفضّ النزاعات.

2. الانتحال: وهو من أخطر صور سوء السلوك العلمي، لما ينطوي عليه من اعتداء على الملكية الفكرية وتشويه لقيم الأمانة العلمية. إنه يتخذ أشكالًا متعددة، منها السرقة الفكرية المباشرة، والكسل الفكري القائم على النسخ دون إبداع، والانتحال الذاتي بإعادة نشر العمل نفسه، والانتحال التقني عبر التحايل على أدوات الكشف؛ بل وقد يصل إلى نسخ أعمال كاملة أو أجزاء جوهرية منها. وضرره لا يقتصر على سمعة الباحث بل يهدد مصداقية البحث العلمي برمّته. ذلك ما يجعل التوعية بأساليب التوثيق السليم واستخدام أدوات الكشف ضرورة ملحّة.

3. النشر المزوّر: إنه يشمل ممارسات مثل النشر المتكرر، والنشر المتداخل، وتجزئة البحث الواحد إلى عدة مقالات بغرض تضخيم الإنتاج العلمي. كما يندرج ضمنه ما يُعرف "بالجرائم الصغرى"، كإخفاء نتائج غير ملائمة، أو تضخيم المعطيات، أو الإخلال بالسرية، أو تضارب المصالح، أو إساءة استخدام التمويل. لعل هذه الممارسات تبدو بسيطة أو هامشية، إلا أنها تُعدّ من أخطر العوامل التي تُقوّض نزاهة البحث العلمي وتُضعف مصداقيته على المدى البعيد. فهي لا تؤثر في جودة الإنتاج العلمي فحسب بل تمتد آثارها إلى تفريغ النشر الأكاديمي من رسالته الأساسية القائمة على إنتاج المعرفة الصادقة والمساهمة في تطور العلم.

4. السلوكيات العلمية الخاطئة

خصص الكاتب الباب الثالث من هذا العمل لتحليل أسباب السلوكيات العلمية الخاطئة وآثارها، حيث تتعدد العوامل المؤدية إلى سوء الممارسة البحثية. وتأتي في مقدمتها الضغوط المهنية المتزايدة والسعي المحموم نحو النشر العلمي بوصفه معيارًا في التقييم والترقية الوظيفية. كما يبرز هنا ضعف آليات الرقابة الأكاديمية، فضلا عن سهولة التلاعب بالبيانات في بعض التخصصات. وهي عوامل تساهم في تفشي هذه الممارسات. ولا يمكن إغفال دور الثقافة المؤسساتية المتساهلة التي قد تتسامح ضمنيًا مع تجاوزات بحثية، الأمر الذي يكرّس استمرارها بدل الحدّ منها.

أما آثار سوء السلوك العلمي فهي خطيرة ومتعددة الأبعاد إذ تطال الباحث أولًا عبر التشهير به، وسحب أعماله المنشورة. وقد تنتهي إلى فقدانه لمنصبه الأكاديمي أو تعطيل مساره المهني. وفي حالات أشد، قد تنعكس هذه الضغوط سلبًا على الصحة النفسية للباحث، لتصل أحيانًا إلى الانهيار النفسي أو حتى الانتحار. ولا تقتصر هذه التداعيات على الأفراد بل تمتد لتشمل المؤسسات الأكاديمية التي تتضرر سمعتها ومصداقيتها، كما تنعكس آثارها على المجتمع العلمي ككل، من خلال تقويض الثقة في المعرفة المنتجة.

وقد ركّز الباب الرابع والأخير من هذا الكتاب على معالجة البعد الجغرافي والأطر الدولية لهذه الظاهرة حيث تكشف الدراسات وجود تفاوت واضح في انتشار السلوكيات العلمية غير السليمة، ولا سيما الانتحال، مع تسجيل نسب أعلى في البلدان ذات الدخل المنخفض أو المتوسط، نتيجة ضعف البنية المؤسساتية وقلة التكوين في أخلاقيات البحث والكتابة الأكاديمية. كما تواجه بعض الدول العربية تحديات إضافية في هذا السياق، مما يستدعي سياسات إصلاحية وتعزيزًا للحوكمة العلمية.

5. مبادرات دولية

من المفيد أن نشير إلى بروز مبادرات دولية مهمة تسعى إلى مواجهة هذه الظواهر. من بين هذه المبادرات يذكر الكتاب "بيان سنغافورة بشأن نزاهة البحث العلمي" (Singapore Statement on Research Integrity)، الذي وضعت بموجبه مجموعة من المبادئ العامة لترسيخ النزاهة في البحث العلمي. وقد أسهم هذا الإطار في تنظيم لقاء دوري

يُعرَف بـ"المؤتمر الدولي لنزاهة البحث العلمي" (World Conference on Research Integrity) الذي يهدف إلى تعزيز السلوك المسؤول وتبادل الخبرات بين الباحثين. والآن بلغ هذا المؤتمر دورته التاسعة حيث عُقد هذا العام في شهر ماي بمدينة فانكوفر الكندية تحت عنوان: أنماط الحياة الأصلية، والذكاء الاصطناعي، وأمن البحث: تشكيل مستقبل نزاهة البحث.

كما تشكلت هيئات وطنية ودولية متعددة، خصوصا في الدول الغربية، مثل "لجنة أخلاقيات النشر العلمي" (Committee on Publication Ethics) في بريطانيا التي تقدم إرشادات للباحثين والمجلات العلمية وتعالج قضايا أخلاقيات النشر. وفي الولايات المتحدة، ظهر "مكتب نزاهة البحث" (Office of Research Integrity)، المختص في مراقبة الانتهاكات العلمية والتحقيق فيها.

وتتجلى أهمية هذه الجهود أيضا في قصص كاشفي الفساد العلمي، مثل طبيب القلب البريطاني بيتر ويلمشورست (Peter Wilmshurst) الذي واجه ضغوطا كبيرة دفاعا عن الحقيقة العلمية. وكذلك قصة الباحثة الأمريكية هيلين هيل (Helene Hill) التي وثّقت تجربتها في كتابها "البيانات الخفية: العين العمياء للعلم" (Hidden Data: The Blind Eye of Science) الصادر عام 2016، وكتابها الثاني "التستر: التواطؤ في الدوائر الأكاديمية" (Cover-Up: Collusion in Academic Circles) الصادر عام 2015. تكشف الكاتبة في هذا العمل عن آليات الاحتيال العلمي وجهود تصحيح الوضع.

يشير الكاتب إلى أن هذه المبادرات تؤكد على أن نزاهة البحث العلمي لم تعد قضية أخلاقية فحسب، بل أصبحت شرطا أساسيا لاستدامة المعرفة وثقة المجتمع في المؤسسات الأكاديمية. كما تعكس الحاجة المتزايدة إلى تعزيز التكوين الأخلاقي للباحثين، وتطوير آليات صارمة للمراقبة، وتكريس ثقافة علمية تقوم على الشفافية والمسؤولية والمساءلة في مختلف البيئات البحثية على المستوى الدولي والمحلي بشكل مستمر وفاعل وممنهج علميا.

في الأخير، لا يسعنا إلا أن نوصي القارئ بالاطلاع على كتاب "أخلاقيات النشر العلمي وإشكاليات الأمانة العلمية" والاستفادة منه.

المؤلف طاهر بوترعة



