الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

المدرسة العليا للأساتذة - الشيخ محمد البشير الإبراهيمي

القبة – الجزائر

مجلة بشائر العلوم

فصلية، ثقافية، علمية، تعميمية

تصدرها المدرسة العليا للأساتذة، الشيخ محمد البشير الإبراهيمي

القبة – الجزائر

العدد 2 : أبريل 2022

فهرس العدد 2

تربية وتعليم وثقافة	
رسالة إلى الزملاء الأساتذة	صادق بوروبي
أطر التفكير ونظرياته (1)	نوارة بادي
قضايا تتعلق بالتكوين الأولي للمدرّسين (1)	محمود شنتي
الستوماخيون : قصّة أحجية قديمة	ليلى زيتوني
رياضيات	
في رحاب التعبير الرياضيّاتيّ	محمّد حازي
الأعداد القابلة للإنشاء (1)	حمزة خليف
البحث عن حل مسألة	عبد الله رحماني
الحساب الذهني داخل وخارج السّياق المدرسي	محمد بوضياف
فيزياء	
الموائع الذكية للتحكم في تقنيات حديثة	نجيب لوام
التجربة ودورها في درس الفيزياء وفق منهاج مرحلة التعليم المتوسط ـ الجزائر	مهدي بن بتقة ومحمد خضراوي
من مبرهنة الاستحالة لفان نيومان إلى التشابك الكمومي (1) مفارقة "آب ر" (EPR) والمتغيرات الخفية	جمال ضو
علوم طبيعية	
الإنزيم المُصنّع للـ "أي تي بي : ATP "المحرك الجزيئي	عبد الكريم كاملي
الميكروبيوم البشري: كيف يمكن أن تكون الميكروبات في أجسامنا مفتاحًا لصحتنا	خولة بوزنادة
شخصية العدد	
جمال ميموني أستاذ الفيزياء	حاوره : أو بكر خالد سعد الله
عرض كتاب	
مهارات التدريس (رؤية في تنفيذ التدريس) تأليف حسن حسين زيتون	عبد الرحمن بن بريكة

كلمة العدد الثاني

يسعدنا أن نقدم لقرائنا الكرام العدد الثاني من مجلة بشائر العلوم الذي يطلّ علينا بمجموعة من المقالات، جلّها بأقلام زملاء من هيئة التدريس في مؤسستنا. وهذا ما يبشّر بالمزيد من الإسهامات الهادفة سيضعها أساتذتنا عبر هذه القناة في متناول الطلبة وأساتذة التعليم الثانوي والمتوسط، وكذا سلك المفتشين وكافة العاملين في الميدان التربوي، وهذا دعمًا لزادهم العلمي والتربوي، ونشرًا للثقافة العلمية في البلاد.

وهكذا نجد أربع مقالات في محور التربية والتعليم والثقافة العلمية، قَدمت أُولاها تنبيهات تربوية لسلك المدرّسين سجّلها أحد قدماء الأساتذة. ثم تناولت مقالة أخرى الجزء الأول من موضوع أطر التفكير ونظرياته، على أن يصدر الجزء الثاني من هذه الدراسة في العدد القادم. وفي مجال التعليمية، استعرضت المقالة الثالثة قضايا متعلقة بالتكوين الأولي للمدرسين، وهي أيضا تمثل الجزء الأول من دراسة أطول سيستكملها صاحبها في العدد الموالي. وينتهي هذا المحور بقصة أحجية ممتعة في المجال العلمي

وفي المحور الثاني المخصص للرياضيات، نجول بالقارئ في رحاب التعبير الرياضياتي. كما نفتح الباب للراغبين في التعرّف على ما يسمّى بالأعداد القابلة للإنشاء، للاطلاع على هذا النوع من الأعداد، علما أن الكاتب سيواصل الخوض فيها ضمن العدد القادم. أما المقالة الثالثة في هذا المحور فتهمّ الطلبة والتلاميذ، المشاركين خاصة في المنافسات، إذ يوضح هذا الموضوع أسلوب البحث عن حل مسألة في الرياضيات. ونختم

هذا المحور بالتطرق إلى الحساب الذهني الذي يشغل بال الكثير من المربين والمدرسين لأنه أخذ منحى غريب مليء بالتجاوزات خارج السياق المدرسي.

وفي محور الفيزياء، تناولت المقالة الأولى الموائع الذكية حيث غاص بنا صاحبها في أكثر من تقنية حديثة. وقد حظيت تعليمية الفيزياء بدراسة حول التجربة ودورها في هذه المادة خلال مرحلة التعليم المتوسط. وفي ميكانيكا الكمّ، هناك ما يعرف بـ"مفارقة آينشتاين وبودولسكي وروزن" ظهرت عام 1935، نستعرض هنا جزءا منها على أن ينهي صاحب المقالة البقية في العدد الثالث من المجلة.

وفي المحور الأخير المخصص للبيولوجيا، اكتفينا بمقالتين، إحداهما تحدثنا عن أحد الإنزيمات، والثانية توضح لنا كيف أن الميكروبات المتواجدة في أجسامنا يمكن أن تكون أساس سلامتنا الصحية.

وفي ركن "شخصية العدد" اخترنا التعريف بأحد قدماء أساتذة الفيزياء في جامعة قسنطينة، وهو السيد جمال ميموني، الذي له نشاط واسع داخل البلاد وخارجها في علم الفلك. وفي الأخير يستعرض ركن "عرض كتاب" كتابا في التعليمية يُعنى بإبراز مهارات التدريس المختلفة وفق رؤية المؤلف.

سنواصل السعي إلى تحسين محتوى المجلة شكلا ومضمونا. وأملنا أن تكون المواضيع المختارة مفيدة لمختلف شرائح القراء، وأن يفيدنا هؤلاء بملاحظاتهم وبكل ما من

شأنه أن يرْقَى بمجلة بشائر العلوم إلى مستويات أعلى في مجال نشر الثقافة العلمية. وبالله التوفيق.

هيئة التحرير

طاقم المجلة

- **المشرف العام**

مديرة المدرسة : رزيقة مهداوي

- **هيئة التحرير**

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

مديرة التحرير: الأستاذة ليلى زيتوني (قسم الرياضيات)

- **الإشراف التقني :**

الأستاذ علي نصبة (قسم الإعلام الآلي)

المهندسة إيمان براهيمي

تربية وتعليم وثقافة

رسالة إلى الزملاء الأساتذة

صادق بوروبي
أستاذ بكلية الرياضيات، جامعة هواري بومدين للعلوم والتكنولوجيا

مقدمة

إنّ الاهتمام الذي نوليه كأساتذة للمادة التي ندرّسها يجعلنا في كثير من الأحيان نتعجّب كيف يمكن لطلبتنا أن لا يستمتعوا بها: ماذا فعلتُ أو ماذا لم أفعل، يمكن أن يكون تفسيرا لهذا السلوك؟

من المعلوم أنّ الطلبة لا يصِلون إلى القسم بنفس الروح المعنوية والذهنية، فإذا كان البعض منهم يتمتّع بالرغبة في طلب العلم، فإنّ الباقي يصِلون إلى القسم دون أدنى حافز. من أجل ذلك كانت صعوبة مهمّة الأستاذ تتمثّل بالدرجة الأولى في استقطاب اهتمام الطالب بالمادة التي يُدرِّسها، مع البحث المستمر عن الكيفية التي يمكن أن تفجِّر لديه الرغبة في طلب العلم واكتساب المعارف بشكل عام.

1. أهمية التحفيز في تحريك الهمم عند الطلبة

إنّ جعل الدرس ممتعا لدى المتلقّي هو في حقيقة الأمر مسألة تفكير عميق، وحسّ مرهف، وخيال واسع، بالإضافة إلى شخصية قوية وحماسة مشعّة لا تفتر من جانب الأستاذ. هذا الأخير الذي يواجه صعوبات متنوعة، أكبرَها، أن يتمكّن من تحفيز أولئك الطلبة الذين تخلّوا عن كلّ مشروع يحقّق نجاحهم في المادة، وأن يحافظ في ذات الوقت على اهتمام أولئك الطلبة الذين يقدّمون أداء حسنا ويبدون رغبة كبيرة في النجاح.

من هنا كان التحفيز أحدَ أهمّ الدوافع إلى التحرّك والتفاعل والمشاركة. فإذا تعوّد الأستاذ على توزيع التعليقات السلبية في اتجاه الطالب، فإنّه لا محالة، يعكس له صورةً عن نفسه في غاية الإحباط، وهو بهذه الطريقة سيقع في فخّ البحث عن السهولة، تدفع به، في كلّ مرة، إلى التواصل مع طالب بعينه، لا لشيء سوى أنّه وجد هذا الأخير أكثر اهتماما بالمادة من غيره. من هنا يدخل الأستاذ في حلقة من الحوار الحصري، يجعل من باقي الطلبة يشعرون، تدريجيا، بأنهم مُقصُون منه وغير معنيين به، ممّا يدفع بهم، شيئا فشيئا، إلى فقدان كلّ حافز. في مثل هذا الجو من العمل، لا غرابة أن يشعر الجميع بأنّ الدرس لم يؤت ثماره. لذلك كان لزاما على الأستاذ أن يشجّع طلبته، فهذه هي أولى الخطوات نحو النجاح.

2. محورية التحليل الذاتي بعد نهاية كلّ درس

يميل الأستاذ في مواجهته لقسم لا يتفاعل معه، إلى إلقاء اللوم على طلبته، ويبدي استغرابه أمامهم، كيف أنّهم غيرُ متحمّسين؟ ولكن، هلاّ سأل الأستاذ نفسه عن طريقته في الأداء، هل كانت في المستوى المطلوب؟ فالحقّ، أنّه من الصعب عليه أن يعترف بأنّ أسلوبه في تقديم الدرس لم يكن مثيرًا للاهتمام، ولكن، ماذا لو كان الأمر كذلك؟ فالأفضل له ولطلبته أن يعترف بتقصيره، بدل أن يُوجِّه لهم أصابع الاتهام بنقص الحماسة لديهم وهو قبل ذلك منقوص منها. من هنا ندرك، كم هي كبيرة مسؤولية الأستاذ، فهو من خلال طريقة أدائه، وجاذبيته وشخصيته، يمكن أن يحمل طلبته على حبّ المادة التي يُدرِّسها. من أجل ذلك كلّه كان لزاما عليه وهو أمام قسم غير مهتم وغير مستقر، أن يسأل نفسه بين الفينة والأخرى: ماذا فعلتُ أو ماذا لم أفعل يمكن أن يفسِّر هذا السلوك عند طلبتي؟

بالفعل، فإنّ المسؤولية الكبرى تبقى في عنق ومرمى الأستاذ، الذي يتوجّبُ عليه أن يُخضع نفسه لتحليل ذاتي بعد نهاية كلّ درس، إذا رغب بالطبع، في إيجاد الوسائل المحفّزة، مع العلم أنّ هذا الأمر صعب المنال.

3. مشكلة صياغة السؤال ووتيرة الدرس

كثيرا ما يُوجّه الأستاذ سؤالاً لا يجد مجيبا عنه، ولا يسأل نفسه فيما إذا كان هذا السؤال مفهوما من قبل الطلبة أم لا؟ في هذه الحالة يُستحسنُ إعادة صياغة السؤال، لأنّ طرحه بنفس الصيغة لا يُقدّم ولا يُؤخّر. ولعلّ الطريقةَ الناجعةَ للخروج من هذه المعضلة، حسب تجربتي المتواضعة، تتمثّل في جعل الطلبة يعيدون صياغة السؤال بأنفسهم، وبالعبارات التي يرونها مناسبة، بأن يتوجّه مثلا، إلى أحد طلبته بالسؤال: ما الذي فهمتَه؟ أو هل يمكنك إعادة صياغة السؤال بأسلوبك الخاص؟ وفي هذه الحالة بالذات، يُستحسنُ تجنُّبُ القول بأنّ الجواب سهل، لأنّه من الطبيعي أن يُصاب من لم يتوصّل إليه بالإحباط، ومن توصّل إليه لا ينتشي بإنجازه ما دام السؤال بسيطا. تجدُرُ الإشارةُ أيضا، إلى أنّ وتيرةَ الدرس وقوّةَ الدافع تسيران جنباً إلى جنب، لذلك يجب على الأستاذ أن يحرصَ على عدم الإسراع في إلقاء الدرس، بأن يُعطيَ للطالب الوقتَ الكافيَ لاستيعاب وإدراك المفهوم الذي تلقّاه قبل الانتقال إلى مفهومٍ آخر، وإلاّ فإنّ معظم الطلبة سيتيهون، ويبقى الأستاذ يصولُ ويجولُ وحده، وفي نفسِ السياق، فإنّ البطء والتكرار يقضيان على التحفيز عند الطلبة.

4. نحو مواجهة ظاهرة الملل عند الطلبة

ما يلاحظ أثناء حصّة الأعمال الموجّهة أنّ الطلبة المتفوّقين هم في الغالب أوّلُ من يشعرُ بالملل، فيضطربون عاتبين على زملائهم الذين، حسبَ زعمِهم، أبطؤوا مسيرتهم. أمام هذه الحالة، يمكنُنا مثلاً، أن نعرضَ على هذا الصنف من الطلبة تقديم يدِ المساعدة إلى زملائهم، فيشعرون حينئذٍ بأنّهم مفيدون وبأنّهم قد حقّقوا قيمةً مضافةً داخل القسم، فالأستاذ الجيّدُ ليس من يبذُلُ جهدا كبيرا بالمقامِ الأوّل، وإنّما هو من يدفع طلبته إلى بذل قُصارى جُهدِهم. إنّ الطلبةَ يتمتّعون بقدَر كبير من الخيال، وعلى الأستاذ أن يستغِلّه.

أثناء إلقاء الدرس، يمرُّ الأستاذ من مفهوم إلى آخر، ومن نتيجة إلى أخرى، ما يحتّم عليه تغيير وتحوير نبرة صوته، لأنّه في حالة ما إذا تسرّبَ الملَلُ والرتابة إلى نفوس الطلبة، فبمجرد تغيير النبرة في الصوت يخرجون من هذه الحالة. إن الاعتماد على نبرة الصوت، يُمكن أن يكون وسيلة ناجعة لتنشيط الطلبة وتهدئتهم. فلا ينبغي التردّد في رفع حدّة النبرة أو خفضها بغرض كسر الإيقاع، ومفاجأة الطلبة، واسترعاء انتباههم، وإبقائِهم يَقِظِين بشحذ همّتهم باستمرار. تلك هي إحدى الوسائل لتجنُّبِ إصابة الطالب بالملل، الذي هو عامل مُثيرٌ للخمول والإثارة. إذا التزمنا بتغيير الإيقاع والصوت، تمكنّا من زيادة اهتمام الطلبة بشكل تلقائي.

5. العوامل الإنسانية و أثرها على مردود الطالب والأستاذ

في بعض الأيام، ينتابنا شعور بالإحباط والتعب والمضايقة من ضُغوُطِ الحياةِ اليومية، سيتهامَسُ الطلبةُ فيما بينهم بأنّ مِزاجَ الأستاذِ متعكّر في هذا اليوم. ولكن، هل نحن واعون جيدًا، وهل تبادرَ إلى أذهاننا لحظةً، أنّ للطلبةِ أيضاً مشاكلَهم ونَصيبَهم من عَنَتِ الحياةِ ونَصَبِها؟ وهو ما يُفسّرُ في بعضِ الأحيان عُزُوفَهم وعدَمَ تحفُّزِهم، علما بأنّه لا يوجدُ طالبٌ مُتحفّزٌ على مدارِ السنة كاملة. فبغضّ النظرِ عن كونِ الأستاذِ هو صاحبُ المبادرة في تحفيز طلبتِه أو تثبيطِهم، فإنّ التحفيزَ يتوقّفُ أيضاً على ما يَحدُثُ في الفصولِ الدراسية، وكذا في حياة الطالب، من ظروف

صحية، إلى اضطراباتٍ عاطفيةٍ ونفسيةٍ، إلى مشكلاتٍ شخصيةٍ وصعوباتٍ ماليةٍ إلخ. لكلّ طالبٍ، مثلما لكلّ أستاذٍ، تقلّباتٌ تُلقي بظِلالها على يومياتهما فترفعُ أحيانا وتخفضُ أحيانا أخرى من همّة كلّ واحد منهما.

فالأستاذ، من خلال شخصيته وسلوكه الإنساني، بإمكانه أن يُثيرَ اهتمامَ طلبتِه أو على العكس من ذلك يُنفِّرهم من المادّة التي يُدرّسها. إذا أسقطَ الأستاذُ الكُلفةَ والرسميات البروتوكولية بينه وبين طلبته، وشجّعهُم، وأمدّهُم بفيضٍ من الحيويةِ، ووُفّقَ في خلقِ جوٍّ من الثقة في فصلِه الدراسي، تُفضِي إلى تهنئته من قِبَلِ طلبته، فإنّه يزيدُ من فُرَصِه في التواجُدِ أمام فصلٍ دراسيّ حيويّ، متحفّزٍ ومستعدٍّ للتلقّي. على الأستاذ أن يتصرّفَ في قِسمِه أو في مُدرّجِه كأنّه مُمثّل، يُسَلّي جُمهُورَه ويُرَغّبُه في العودة. ولتحقيق ذلك، يُمكنُه اللّجوء بين الفَينة والأخرى إلى الفُكاهَة، فهي وسيلةٌ تستميل الطلبةَ دائمًا، فالفكاهة ورقةٌ رابحة، تريح الأنفس، والطلبة يأتون للفصل في جوّ، أقلُّ ما يقال عنه، إنّه لطيف. كما يمكنه أيضا أن يدرج قصّة قصيرة هادفة تحمل مفهوما فلسفيا يجعلها فاصلا بين درسين وقعا في نفس الحصّة.

6. أثر نظرة الأستاذ إلى طلبته

كلّ إنسانٍ تحذوه حاجةٌ طبيعيةٌ للاعتراف بشخصه من قِبل من يحيطون به، والطالبُ لا يَشذّ عن هذه القاعدة، فهو بحاجةٍ مُلِحّةٍ لنظرة الآخر إليه، واعتراف الآخر به. فلكي يتمكّن الطالبُ من الاهتمام بموضوعٍ مّا، ينبغي أوّلاً أن يحظى بالاعترافِ به كشخص، ومن هنا تبرُزُ الأهمية التي يوليها الطالبُ لنظرة أستاذه إليه. أن تنظُرَ إلى شَخصٍ مّا، فمعنى ذلك أنّك تُلاحِظُ وُجُودَه. فإذا نظرَ الأستاذُ إلى أحد طلاّبه، فإنّ هذا الأخيرَ سيشعرُ بأنّ أستاذه يولي اهتماما به. لأجل ذلك، يتوجّبُ على الأستاذِ أن يَغمُرَ قسمَه كلَّه بنظرةٍ شاملة لا تستثني أحدا من طلبته، بحيثُ يشعرُ كلُّ واحد منهم بالتواصل والتواجد الفعلي داخل الفصل. ولهذا، وجب على الأستاذ أن يتجنّب تخصيصَه بالمعاملة لطالب بعينه، بل يجب أن يتذكرّ أنه يتعاملُ مع الفصل بكامله، فلا يتردّد، على سبيل المثال، في التقرّبِ من طلبته من حين لآخر، خاصة عندما لا يتوقّع الطلبة ذلك.

بالإضافة إلى ذلك، يجبُ على الأستاذِ أن يتجنّبَ مقابلةَ الطّلبةِ بظهرِه والإشاحَةَ عنهم بوجهِه، لأنّ ذلك يُشكّلُ حاجزًا معنويا، يُعِيقُ الحَركةَ السَّلِسَةَ لعمليّة التواصل، ألا ترى معي أنّه عندما لا ينظرُ الشخصُ إليك، فإنّك غالباً ما تشعرُ بأنّه لا يستمعُ إليك. ولذلك تجدُ الطّلبةَ في حالةٍ من الترقُّبِ والانتظار حتى نستديرَ نحوهم ليواصلوا الحديث. كما تجدر الإشارة إلى أهميةِ تجنُّبِ تربيعِ اليدين أو وضعهما خلف الظهر أو وضعهما في الجيب، لأنّ ذلك يعطي انطباعًا بعدم الرغبة في التواصل مع مُستمعيك.

7. حاجة الطلبة إلى علامات التشجيع

أسوأ موقفٍ يمكنُك أن تُواجِهَ به الطالبَ هو اللاّمُبالاة أو التّجَاهُل. فإذا أنت لم تُثنِ على الطالب يومًا، تقديرًا لجُهدٍ بَذلَه، فسوف يسعى بكل الوسائل إلى جذبِ انتباهِك. من أجل تجنُّب ذلك، يُستحسن تشجيعُ الطّلبةِ بانتظام، وتهنئتُهم، إمّا شفويا، عندما يقدّمُون إجابة مُثيرة للاهتمام، أو كتابيًا، على أوراق الاختبارات. إنّ الحاجةَ إلى علامات التشجيع مُهِمّةٌ في حياة البشر قاطبة، من أجل تغذيةِ الجهود وشحذِ العزائم، فبالتشجيع تَتِمُّ مكافأة الإنسان على العمل الذي يُقدّمه : عندما يشرعُ الطالبُ في الحديث، يُمكنُ للأستاذ مثلًا أن يَهُزَّ رَأسَه لإظهارِ اهتمامِه بما يقولُ، فهذا أقلُّ ما يمكنُه فعلُه. والطّلبةُ ذوُو المستوى الضّعيف هم أكثرُ الناس حاجةً إلى مثل هذا التشجيع الشفهي والكتابي، لأنّ نتائجهم في التخصّص غالبا ما تكون مُحبِطَة. ومن الأهمّية بمكان أن نتفهَّم هؤلاء الطلبة المحبَطين بشكل خاص، فشعورُ الطالب بالتفهّمِ والقبول من الآخر يُساعِدُه على التغيُّر.

ومِن بين ما يعنيه تشجيعُ الطالب، إظهارُ توقُّعاتٍ إيجابيةٍ وتحمُّلُ أخطائه بالصّبر والأناة. فحين يسترسلُ الطالب في طرحٍ معيَّنٍ، لا ينبغي قطعُ حبل أفكارِه باستمرار، بدافع تصحيح أخطائه، فإنّ ذلك قد يؤدي إلى ثنيِه عن المشاركة مرّةً أخرى. حَرِّر الطالبَ من أيّ تعليق، دعه يختِمُ تدخّله، ثم فكِّر، على سبيل المثال، في إشراك القسمِ كلّه في لعبةِ البحثِ عن الأخطاء. فبهذه الطريقة نتمكّنُ من اكتشاف الأخطاء المتكرّرة لدى الطلبة ونعملُ على تصحيحها بمعيّتِهم، فعلى الأستاذ ألا ينسى بأن الطالب إنما هو في القسم ليتعلّم، فمن الطبيعي تماما أن يخطئ.

8. مفعول حيوية الأستاذ ومناخ الثقة داخل القسم

يجبُ أن يكون الأستاذ حيويًا كلّما دخل قسمَه، بأن يُظهر تحفُّزًا كبيرًا في بداية كل درس، يجعل الطلبة يَشعرون بأنّ أُستاذَهم سعيدٌ بلقياهم ومُتحمّسٌ لبدء الدرس معهم. إذا أبانَ الأستاذ عن شيء من الحيوية، فسيحذو الطلبةُ حَذوه تبعا له.

أن تكون حيويًا لا يعني بالضّرورة مواصلة الحديث أو الحركة باستمرار، فعلى سبيل المثال، إذا لاحظ الأستاذُ بأنّ طلبته قد فَتَرَ تركيزُهُم، فربّما يكون الحلّ هو التوقُّفُ عن الكلام والتحرُّكُ لإعادة جلبِ الانتباه إليه، فالصّمتُ لا يتناقضُ بالضرورة مع الحيوية.

الأستاذ مُلزمٌ بخلقِ مُناخٍ من الثقة. فعندما يدخلُ الطالبُ إلى الفصل الدّراسي، يَحتاجُ إلى الشّعور بأنّ أستاذَه هو سيّدُ المكان، وأنّ كلّ ما يحدثُ داخله هو تحت إشرافه وسيطرته؛ في هذه الحالة، يُمكنُه الدخول إلى القسم، وكلُّه ثقة. يجب أن تكون علاقةُ الأستاذِ بالطالبِ علاقةَ ثقةٍ أو سلطةٍ قائمةٍ على قواعدَ أو معاييرَ معينةٍ، وبدونها لا يشعرُ الطالبُ بالأمان. فلا عجب أن تتدهور علاقته بأستاذه. كما يجب أن يشعر الطالب أيضًا، بأنّ أستاذَه مُرتاحٌ معه. لأجل ذلك، يمكن للأستاذ من حين لآخرَ أن يُلطِّفَ الجوّ، كأن يحجزَ لنفسه مكانًا بين طلبته كما لو أنه زميلٌ لهم في الصفّ. فبِمُجرّدِ استعادتهم للثّقة، ترى جميع الطلبة على أتمّ الاستعداد للمشاركة في النّشاط. إذا لم يَعُدِ الخَوفُ يَمنعُ الطّلبةَ من التوجُّه إلى الأستاذ في آخر الحصّة لاستِفسَارِه وطرحِ أسئِلتِهم عليه، فمعنى ذلك أنّ علاقةً من الثّقة قد نُسِجَت بين الأستاذ وطلبتِه. إذا لم يكونوا على عَجَلَةٍ من أمرِهم للخروج من القسم، فمعنى ذلك أنّهم يستمتعون بالحصّة لأنّ جوّ العمل مُمتع.

9. غريزة المُحاكاة و أثرها على العملية التعليمية

وأخيرًا، يجبُ ألاّ تغيبَ عن بالِنا لحظةً، حقيقةُ وجودِ رغبةٍ في المُحاكاة لدى الطالب، كما هو الحالُ لدى كل فرد. فالإنسانُ بطبعه مُنجذِبٌ إلى كلّ الذين يحبُّهم ويميلُ إليهم، فهو يريد أن يكون مثلهم : إذا أحبَّ الطالبُ أستاذَه، فإنّ ذلك سيدفعه إلى فعل كلّ ما بوسعِه من أجل الحصولِ على نتائجَ جيّدةٍ في المادّة، لكي يحظى بتقدير أستاذه. والطالب الذي هذا هو حاله، يكونُ مُستعدّا دائما لإرضاء أستاذه، بل إنّه يكونُ فخورًا بذلك، وهذا سلوكٌ مطمئِنٌ للأستاذ، وباعثٌ للنشوة في نفسه. إنه لا يمكنُنا نكران هذا البُعدَ العاطفي، فمن منّا لم يقُل يوما وهو طالب: "أنا أحبُّ هذا الأستاذ" أو "أنا أكرهُ هذا الأستاذ "؟

شئنا ذلك أم أبينا، قبِلناه أم رَفَضناه، لا يمكننا التنكّرُ لهذه الحقيقة. فنادرا ما يظلّ الطالب حياديا، فهو إمّا يحبُّك وإمّا يَكرَهُك. فلا تَختَلِطَنْ علينا الأمور، نحن لسنا أصدقاءَ مع طلبتِنا، ولا إخوةٌ كبارٌ لهم، ولا أولياءَ أوصياءَ عليهم : لا ينبغي أن ندَعَهُم يُصدِّقون غيرَ ذلك، فنكونَ قد كذبنا عليهم.

10. الخاتمة

في الختام، يُمكنني أن أقولَ إنّ النّجاحَ الحقيقي، والأصعبَ مَنالا، هو شعورُك وأنتَ ترى غالبيةَ طلبتِك يُبدُون رغبةً جامحة ويُظهِرُون مُتعة في حضورِ درسِك، لا لشيء سوى أنّهم يجلسون إلى شخص مكّنَهُم من تذوُّقِ المادّة، وقَبْلَ ذلك، سلّطَ، على وجهِ الخصوص، الضّوءَ على خيالِهم الواسع وعلى إبداعهم وذكائهم، باختصار، شخصٍ نفخ فيهم حبّ العلم وأولاهم بأهميّة خاصّة.

على أنّه إذا كان جلبُ اهتمامِ الطالب خلالَ حِصّةٍ واحدةٍ يبدو أمراً مُمكنًا، فإنّ الحِفاظَ على هذا المكسب وشدِّ اهتمامه بنفسِ الوتيرة من بداية السنة إلى نهايتها يُعتَبَرُ إعجَازًا. أعتقد بأنّ تحقيق مثل هذه النتيجة، يتطلّبُ عِدّة سنوات من التعليم والممارسة، لأنّه من خلال التجربةِ يتسنّى للأستاذ التوصّلُ إلى طريقةِ العملِ الملائمةِ لكلّ طالب، والتي تُمكّنُ هذا الأخيرَ من الاستمتاعِ بحضور الدّرسِ.

لا يفوتني، في الأخير، أن أذكّر زملائي الأساتذة بأنه إذا كان العلم شحنًا للأذهان بألوان لا حصر لها من المعارف والعلوم فإنّ التربية والأخلاق تعهّد للأرواح بألوان من المعاني والقيم، ترسم أمام الطالب وجهته نحو السلوك المنشود. فالأستاذ وهو يقوم بواجبه يكون كما قال الشيخ الغزالي، رحمه الله تعالى، أشبه بالزارع الذي يتولّى البذر والحرث والحماية والانتقاء حتى تنضج الثمرة وتؤتي أكلها كل حين بإذن ربها. والطالب الذي يمرّ بهذه الأدوار ويشعر بصدق وأمانة أستاذه يُربَّى على الصدق والأمانة فيصعب عليه حينئذ التخريف وينزعج من العوج والغدر، مصداقا لقول الشاعر:

تعوّد بسط الكفّ حتى لو أنه **** ثناها لبخل لم تطعه أنامله

أخيراً، أُنهي رسالتي بهذه الخلاصة :

"الأستاذُ الذي يصْدُقك هو الأستاذُ الذي يقودُك إلى النجاح".

أطر التفكير ونظرياته

نوّارة بادي
أستاذة بقسم علوم التربية، المدرسة العليا للأساتذة، القبة

مقدمة

التفكير قضية معقدة من حيث ماهيتها، ومنهجيتها، وما يؤثر بها من الدوافع النفسية الذاتية والعوامل البيئية الخارجية. إن التفكير في حقيقة الأمر ليس مجرد منهجية جوفاء تهذر بها الألسنة، وتؤلف بها الكتب، وتنمق بها الدراسات، بل هو ما يسترشد به الفكر، وما يضيء به العقل، وما تنجذب إليه النفس من خطوات ذهنية، يحوطها انفعال صادق يروم العطاء والبذل، وتزحمها رؤى متناثرة، استجلبها تعلّم فطن وتأمل حاذق.

وثمة أسئلة كثيرة تعوزها إجابات دقيقة، من خلالها يمكن تصحيح طرائق التفكير واسترداد "العافية الذهنية" الكاملة، ومن ثم ترقية الأهداف ورفع الأداء. كما أنها، بدرجة ثانية، تجسّد ما يحيط بعملية التفكير من تعقيد وإشكالية، ويعدّ التفكير من أكثر الموضوعات دراسة وبحثا في مجالات علم النفس وخاصة علم النفس المعرفي وعلم النفس التربوي. وموضوع التفكير ليس من اهتمام الاتجاه المعرفي فقط بل عينت به جميع المدارس الفلسفية والفكرية والتربوية، لمساعدة الفرد كي يصبح أكثر قدرة على مواجهة الصعوبات والمشكلات التي تعترض طريقه في جميع مناحي الحياة المختلفة سواء كانت اجتماعية أم اقتصادية أم تربوية أم أخلاقية.

1. مفهوم التفكير

يُعدّ التفكير بوصفه عملية معرفية عنصرًا أساسيًا في البناء العقلي-المعرفي الذي يمتلكه الإنسان ويتميَّز بطابعه الاجتماعي، حيث إنَه يُؤثِّر ويتأثَّر ببقيَّة العمليات المعرفية الأخرى كالإدراك والتصور والذاكرة وبجوانب الشخصية العاطفية والانفعالية والاجتماعية، وهو أرقى العمليات النفسية والعقلية إذ يُمثل إحدى العمليات العقلية العليا التي يشتمل عليها التنظيم العقلي والمعرفي.

وقد رأى حلمي المِليجي أنَّ التَفْكِير اصطلاح يشمل كل أنواع النشاط الرمزي كالاستدلال والتخيُّل وتكوين المعاني الكليَّة والابتكار ويُستخدم التفكير بدائل للأشياء الحقيقية والمواقف الواقعية، أي أنَّه يَستخدم رموزًا تقوم مقام الأشياء أو الظروف، والرمز هو أي شيء سواء كان فكرة أو معنى أو صورة يقوم مقام شيء آخر، فيستجيب له الإنسان بالأسلوب نفسه الذي يستجيب به للشيء عينه.

ونجد تعريف كل من رافع النصير الزغلول وعماد عبد الرحيم الزغلول يقول بأنَّ التفكير هو: "عملية معرفية يُستدلُّ عليها من خلال السلوك، أي أنَّها تحدث داخل الفرد، أي داخل النظام المعرفي، ويتمّ الاستدلال عليها على نحو غير مباشر كذلك". ويَعتبران التفكير أيضًا "عملية تتضمَّن سلسلة من المعالجات على المعلومات داخل النظام المعرفي، أو هو عملية موجهة هدفيًا، إذْ أنَّ السلوك الذي ينتج عنها يُستخدم لحل مشكلة ما أو ابتكار شيء جديد أو تقييم موقف أو وصف شيء ما".

لقد تباينت وجهات نظر العلماء والباحثين التربويين حول التعريف العام للتفكير إذ قدموا تعريفات مختلفة استنادا إلى أسس واتجاهات نظرية متعددة، وليس من شك أن لكل فرد أسلوبه الخاص للتفكير، والذي قد يتأثر بنمط تنشئته، ودافعيته، وقدراته، وخلفيته الثقافية وغيرها مما يميّزه عن الآخرين، الأمر الذي قاد إلى غياب الرؤية الموحدة عند العلماء بخصوص تعريف التفكير، وخصائصه، وأشكاله، وأساليبه.

2. تصنيفات التفكير

يصنف نيومان (Newmann) مهارات التفكير في فئتين رئيسيتين هما (انظر المرجع 8):

أ. **مهارات التفكير الدنيا**: وتعني الأعمال اليومية الروتينية التي يقوم بها الفرد، ويستخدم فيها العمليات العقلية بشكل محدود كاكتساب المعرفة (وتذكّرها) والملاحظة، والمقارنة، والتصنيف، وبعض المهارات الدنيا في تصنيف بلوم (Blum)، مثل المعرفة والاستيعاب والتطبيق. وهي مهارات من الضروري تعلمها قبل الانتقال إلى مستويات التفكير العليا.

ب. **مهارات التفكير العليا**: تتطلب الاستخدام الواسع والمعقد للعمليات العقلية. يحدث هذا عندما يقوم الفرد بتفسير وتحليل المعلومات ومعالجتها للإجابة عن سؤال، أو حل مشكلة، والتي لا يمكن حلها من خلال الاستخدام العادي لمهارات التفكير الدنيا، فالإجابة عن ذلك السؤال أو حل تلك المشكلة يتطلب إصدار أحكام أو إعطاء رأي، واستخدام معايير أو محاكاة للوصول إلى النتيجة. وتشمل المهارات التفكير الناقد والإبداعي، وما وراء المعرفي والاستدلالي وغيرها.

3. مستويات التفكير

يمكن تلخيص مستويات التفكير فيما يلي:

- **المستوى الحسي**: يتعذر التفكير أو يستحيل أحيانا إن لم يعتمد على موضوعات وأشياء ماثلة أمام حواس الفرد ومؤثرة فيها كما هي الحال عند الأطفال الصغار والحيوانات. والتفكير في المستوى الحسي يدور حول أشياء ومعان حسية أكثر منه على الصفات والمعاني المجردة، فهو تفكير بوجهة الإدراك الحسي.
- **المستوى التصوري**: وفيه يستعين التفكير بالصور الحسية المختلفة. والتفكير بالصور أكثر شيوعا عند الأطفال منه عند الكبار من حيث مقداره ووضوح الصور حتى يمكن القول إن تفكير الأطفال يكاد يقع كله في هذا المستوى.
- **التفكير المجرد**: وهو التفكير الذي يعتمد على معاني الأشياء وما يقابلها من ألفاظ وأرقام لا على ذواتها المادية المجسمة أو صورها الذهنية. وهو تفكير يرتفع عن مستوى الجزيئات العينية الملموسة والأشياء الخاصة إلى مستوى المعاني والقواعد والمبادئ العامة كالتفكير الرياضي أو الفلسفي.

4. خصائص التفكير

إن الصفة الأساسية للتفكير هي وجوده ضمن دائرة تحكمنا، بمعنى أننا نملك الحرية أو القدرات على استحضار صور خيالية للعالم الواقعي الذي نعيش فيه، أو حتى للعالم غير الواقعي (الخيالي). ومن ثمة نجرب سبلا مختلفة للعمل بها أو نبحث عن إيجاد حلول دون الحاجة إلى تنفيذها عمليا. ومن أبرز خصائص التفكير نذكر :

- التفكير سلوك هادف على وجه العموم لا يحدث من فراغ، وبلا هدف.
- التفكير محور لكل نشاط عقلي يقوم به الإنسان.
- يستند التفكير إلى أفضل المعلومات الممكن توافرها، ويسترشد بالأساليب والاستراتيجيات الصحيحة، وهو غاية يمكن بلوغها بالتدريب والمران.
- للتفكير مستويات عديدة، فقد يتحقق في مستوى الأفعال العلمية أو في مستوى التصورات أو الكلمات، ويتصدى لمعالجة المعلومات بطرائق متنوعة كذلك، مثل: التركيب، والتحليل، والتصنيف، والمقارنة، والتجريد، والتعميم. وهو يحدث بأشكال مختلفة (لفظية، رمزية، كمية، مكانية، شكلية) لكل منها خصوصية.

- التفكير لا ينفصل عن طبيعة الشخص، بمعنى أن التفكير ليس عملية مستقلة، وإنما هو عنصر هام من مكونات الشخصية يعمل في إطار منظوماتها الديناميكية، ولا وجود له خارج هذا الإطار، وهو سلوك تطوري يزداد تعقيدا مع نمو الفرد وتراكم خبراته.
- ينطلق التفكير من الخبرة الحسية، و لكنه لا ينحصر فيها ولا يقتصر عليها.
- يتشكل التفكير من تداخل عناصر المحيط التي تضم الزمان (فترة التفكير، الموقف، والمناسبة والموضوع الذي يجري حوله التفكير. (انظر المرجع 2).

5. أهمية التفكير

تكمن أهمية التفكير فيما يلي:

أ. التجاوب مع المستجدات: ترتبط عملية التفكير بقدرة الإنسان على التجاوب مع كافة المستجدات التي تطرأ عليه في حياته، وتجعله يتكيف مع الوضعيات الجديدة التي تحدث معه في بيئة العمل أو البيئة الأكاديمية، من خلال تحديد أسلوب التعامل الذي يتناسب مع المستجدات، واستغال الفرص المتاحة والتعامل معها بذكاء.

ب. تطوير الذات: إن مجمل المعرفة الإنسانية التي يتحصل عليها الإنسان في حياته تتم بواسطة تلقيه للعلوم المختلفة من خلال عمليات التفكير المرتبطة بالتعلم، فمسألة تلقي المعلومات العلميةّ، وربطها بالمعرفة السابقة، وتذكرها في الوقت المناسب، وتوظيفها في تحصيل المعرفة الجديدة تتم من خلال عمليات التفكير في العقل البشري. ومن هنا تبرز أهمية التفكير في حياة الإنسان .

ج. إيجاد الحلول: تظهر أهمية التفكير في حياة الإنسان من خلال زيادة قدرة الإنسان على إيجاد الحلول التي تمكّنه من الخروج من المآزق التي تواجهه في حياته اليومية. وهذا يقوّي شخصية الإنسان، ويجعله قادرا على التصرف بحكمة في المواقف الحرجة، وفي الحالات الطارئة.

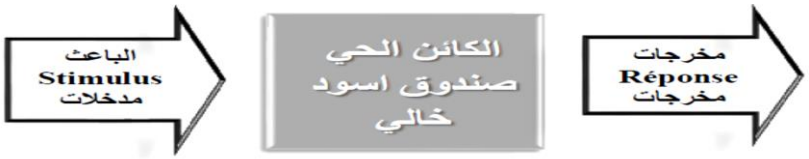
د. تحقيق الأهداف: تبنى عملية تحقيق الأهداف الإنسانية على عملية التفكير بشكل أساسي، فلا يمكن للإنسان أن يسير بخطى واضحة نحو الهدف الذي يرغب في تحقيقه دون التفكير المعمق الذي من خلاله يستغل قدراته العقلية والجسمانية على النحو الأفضل من أجل الوصول إلى كل ما يتمناه في هذه الحياة.

6. نظريات التفكير

هناك عدّة نظريّات مختلفة ومتعدِّدة حاولت تفسير التفكير على مختلف مشاربها وتوجهاتها أعطت مفهومات عديدة للتفكير باعتباره من أعقد العمليّات العقليَّة حيث نجد من بين هذه النظريّات ما يلي:

6. 1. النظرية السلوكيَّة

لقد اتَّخذت المدرسة السلوكية في البداية موقفا في نظرتها للتفكير على اعتباره سلوكا كباقي السلوكات الأخرى، وليس عملية تصدر عن الأفراد، وهو سلوك داخلي ويمكن تطويره من خلال مبادئ التعلُّم الرئيسية مثل التعزيز ويمكن وصف التفكير ودراسته. وترتبط هذه النظرية بالمثير والاستجابة (م.ر)، ومن أبرز روادها جون واطسون، وهو الذي أبدع مصطلح السلوكية في السنوات الأولى من القرن الماضي، وذلك في هجومه على الطرق الاستبطانية لفحص محتويات عقل الإنسان واستبدل بهذا دفاعه عن المقاييس الموضوعية للمثير أو المدخلات (input) لأحد الكائنات واستجابة هذا الكائن لذلك، أي المخرجات (output). أدّى هذا إلى اعتبار الكائن الحي- حيوانًا كان أم إنسانا - كصندوق خال أسود (Box Black Empty)،(انظر المرجع 2).



الشكل 1. يوضح نموذج واطسون للمثيروالاستجابة لدى الكائن الحيّ.

وحسب رأي هيل فهو رأى بأنَّه إذا زاد عدد الارتباطات بين المثير-المدخلات- والاستجابة -المخرجات- في الصندوق الأسود فإنَّه لا بد أن يكون هناك نوع من الآلية الداخلية تسمح للحيوان باختيار استجابة أخرى، وهذه أيضًا الآلية الداخلية التي تصبح مرتبطة بما يسميه هيل تدرج الاستجابة البديلة. وعوضًا عن وجود ارتباط واحد مباشر بين مثير واحد واضح واستجابة واحدة واضحة فإنَّ الحيوان يُطوِر مخزونًا من الاستجابات المُمكنة (انظر المرجع 2).

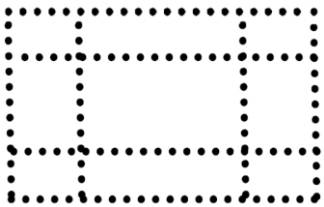
ولقد كانت فكرة هيل حول إمكانية وجود نظام آلي يُناظر دور عمليات التفكير البشري في حل المسائل، وتلك تكون قاعدة المفهوم الأساسي لنظرية التفكير الوسيط الحديثة وحلّ المسائل. وحسب وجهة النظر السلوكية فإنّ اختيار الاستجابة وتنفيذها يتمّ وفق ترتيب هرمي تبعًا لمدى قوتها ومناسبتها للموقف المثير الذي يتعرَّض إليه الفرد. فالأفراد يمتلكون الحصيلة السلوكية والقدرة على تنويع الاستجابات (انظر المرجع 3). ومن ثمّ فإنّ الصندوق الأسود يبدأ عمله بآلية وسيطة تتوقف على أن تكون هي النتيجة المباشرة للمتغيّرات الملحوظة.

كما لا تعتمد على التأملات الفسيولوجية، وإنَّما هي أبْنِيَة افتراضية عند الآليات الداخلية الضرورية لإيضاح حقيقة أنّ نفس المثير لا يُنتج دائمًا نفس الاستجابة، ولكن مجموعة متنوعة من الاستجابات. (انظر المرجع 2).

الشكل 2. يوضح نموذج هيل للمثيروالاستجابة لدى الكائن الحي.

6. 2. نظرية الجشطلت

خلال العشرينات والثلاثينات من القرن الماضي هاجم كوفكا وكهلر أتباع نظرية الجشطلت مفهوم الباعث أو المثير والاستجابة على أساس أنَّ الإدراك والتفكير لا يُمكن إخضاعه لتراكمات الأحاسيس أو الارتباطات الفردية، لكنَّه بدلاً من ذلك يتحدّد على التركيب الكلِّي لما يسمِّيه كوفكا المَجَال أو الحقل، فعندما نرى مجموعة من النقاط فإنَّنا لا نرى فقط النقاط الفردية. لكن نرى نموذجًا شاملاً من الأسطر ويكون من الاستحالة النظر إليها بأي طريقة أخرى (انظر المرجع 2).



الشكل 3. يوضح مفهوم كوفكا لما يسميه الحقل أو المجال.

وقد عَزَى علماء النفس الجشطلت هذه الخبرة الإدراكية إلى كونها قوى ديناميكية تعمل في المجال الإدراكي بهدف تحقيق توازن النماذج الجشطلتية. ووفقًا لمبدأ تماثل الشكل (Isomorphism) فإنّ الإدراكات التي نُمارسها هي انعكاس مباشر لقوى تنظيمية توجد في المجال النفسي للمخ، وذلك كاستجابة للمجال الخارجي البيئي، وباستخدام تَمَاثُل نفس المجال. وتصف نظرية الجشطلت للتفكير المشكلة على أنَّها تكوين حالة من عدم التوافق في المجال الإدراكي، يجب أن تُحَل بإعادة تشكيل المجال في صورة توازن جديد أو جشطلت جيِّد، (انظر المرجع 2).

6. 3. النظرية الإدراكية

رأى ميلر وجالنتر وبريبرام في كتابهم "الخطط وبناء السلوك" أنَّه يُمكن تحقيق رؤية أعمق للسلوك البشري عبر الخطَّة العامَّة لهذا السلوك، وذلك لأنَّ أبسط التحليلات هو ما تتمُّ في إطار مجموعة من القواعد يتولَّد عنها هذا السلوك. وثمَّة تناظر واضح بين هذا وبين برنامج الحاسوب الذي يهدف إلى إنجاز عمليات حسابية. وهذا التناظر كان له بالغ الأثر على تطور نظريات الإدراك. ونتيجة لذلك يمكن اعتبار الصندوق الخالي الأسود وكأنَّه حاسوب له تسهيلات للمدخلات والمخرجات وبرنامج تعليمات لإنجاز العمليات بناءً على البيانات المختزنة في بنوك ذاكرته، (انظر المرجع 2).

الشكل 4. يوضح نموذج ميلروجالترنوبريبرام للمثيروالاستجابة لدى الكائن الحي.

ويتبنَّى أصحاب نظرية الإدراك ميلر وجالنتر وبريبرام وجهة النظر القائلة -بعيدًا عن الانغماس في المحاولة والخطأ العشوائية الذي تضعه قطط ثورندايك وفئران سكينر- بأن الناس يكونون فروضًا محدَّدة عن طريق حل المسائل، وهناك سِمة أساسية لهذا النموذج وهي أنَّ القائم على حل المسألة يتلقَّى تغذية مُرْتَجَعَة من البيئة تُمكِّنه من اكتشاف صحَّة أو بطلان افتراضه. ويلخص نيول وسيمون (1972) من خلال تطوّر برامج الحاسوب الذي وضعه نيول شو تحت اسم "الأسلوب العام لحل المسائل" وهدفه في حله عدم وجود روتين أو عد عُشْرِي، فإنّ البرنامج يلجأ إلى ما يسميه نيول استراتيجية بحث المساعدة تتضمَّن اختبار الطرق المختلفة لتناول المسألة، (انظر المرجع 2).

7. العمليات العقلية في التفكير

التفكير عند الانسان عبارة عن عملية عقلية مركبة، تتألف من مجموعة من العمليات العقلية التي يتم من خلالها نشاط التفكير، وهذه العمليات هي:

1. المقارنة: وتعرف بالمقابلة أو الموازنة، وتتمثل في العلاقات والارتباطات بين الظواهر أو الأشياء أو الأحداث، واستخلاص هذه الظواهر أو الأشياء أو الأحداث في الإدراك وفي التصور عند الإنسان.
2. التصنيف: وهو العملية التي يتم فيها تجميع الأشياء أو الظواهر وفقا لما يميزها من معالم عامة مشتركة، وحيث يوضع لها تجميع أو تصنيف بحيث تضم مفاهيم للظواهر أو الأشياء.
3. التنظيم: وهو العملية التي يتم بها ترتيب أو تنسيق فئات الأشياء أو الظواهر في نظام معينّ، وفقا لما يوجد بين هذه الفئات من علاقات متبادلة.

4. **التجريد**: حتى يتحقق التفكير، فإنه يتم وفق تمييز الخصائص المستقلة للأشياء، كما يتم بطريقة متجردة عن الأشياء ذاتها.
5. **التعميم**: يرتبط التجريد بالتعميم، على أساس أنه عند التوصل إلى تحديد الخصائص المتجردة للأشياء، فإن هذا يعني أن التفكير اتخذ شكل التعميم.
6. **الارتباط** بالمحسوسات: يتطلب التجريد عملية عقلية عكسية، وهي الانتقال من التجريد والتعميم إلى الواقع الحسي الذي يعد شرطا مهما للفهم الصحيح للواقع.
7. **التحليل**: وهو العملية العقلية التي يتم بها فك ظاهرة كلية مركبة إلى عناصرها المكونة لها، أي إلى مكوناتها الجزئية.
8. **التركيب**: عكس عملية التحليل، إذ أن التركيب كعملية عقلية يتم بإعادة توحيد الظاهرة المركبة من عناصرها التي تم تحديدها في عملية التحليل.
9. **الاستدلال**: يقوم الاستدلال العقلي على استنتاج صحة حكم معين من صحة أحكام أخرى، ويؤدي الاستدلال الصحيح إلى تحقيق الثقة في ضرورة وحتمية النتائج التي يتوصل إليها. والاستدلال نوعان:

- الاستنباط: وهو العملية الاستدلالية التي بها نستنتج أن ما يصرف على الكل يصرف أيضا على الجزء.

- الاستقراء: وهو العملية الاستدلالية، التي بها يتم التوصل إلى نتيجة عامة من ملاحظات حالات جزئية معينة، (انظر المرجع 8).

8. أشكال و أنماط التفكير

تتعدد أشكال التفكير، ويمكن أن نذكر منها:

1. **التفكير الحسي**: أبسط أنواع التفكير حيث يتعرف الفرد على المعلومات من خلال الحواس، وهي أول بوادر التفكير عند الانسان ولا يستطيع أن يتذكر الأشياء ويفهم مدلولها دون أن تكون أمامه. وهذا هو التفكير الذي يتصف به الطفل في أول عام من العمر، ويسمى التفكير الحسي لارتباطه بالجانب الحسي الحركي عند الانسان والمحيط الخارجي، وما يحتويه من مثيرات تؤدي إلى انعكاسات أو ردود أفعال تمثل بداية التفكير عند الطفل.
2. **التفكير الاستكشافي**: يتصف هذا النوع من التفكير برغبة الفرد الشديدة في كشف ما يدور حوله وإيجاد تفسير مناسب له. ويتضح ذلك بطرح العديد من الأسئلة محاولة من الفرد أو الطفل لاستيضاح كل ما يريد فهمه، ويسمى ذلك بحب الاستطلاع.
3. **التفكير المجرد**: يمثل التفكير المجرد أعلى أشكال التفكير من منظور نظرية بياجيه ويصل له الفرد ببلوغ 11 سنة من العمر تقريبا. ويتصف بقدرة الفرد على التعامل مع المجردات، وتزداد القدرة على التخيل والتصور بعد أن كان في السابق معتمدا على المحسوسات. وفي تلك المرحلة يستطيع الفرد أن يفكر بشكل منطقي أو بطريقة عملية باتباع طرق عملية منظمة تبدأ بتحديد المشكلة وجمع المعلومات منها وتحليلها ثم وضع الفرضيات، ثم الوصول إلى النتائج واختبار صحتها قبل تعميمها.
4. **التفكير الحر**: هو نوع من التفكير لا يرتبط بموضوع محدد، بل يرتبط بعدة موضوعات تكون مهمة للفرد في وقت ما، وهذا النوع من التفكير يحتاج إلى العديد من العمليات العقلية مثل الإدراك، الانتباه، التذكر، الاستبصار.

5. **التفكير الإبداعي**: هو إيجاد حل جديد وأصيل لمشكلة علمية أو عملية أو فنية أو اجتماعية. ويُقصد بالحل الاصيل الحل الذي لم يسبق أن توصل إليه أحد. ويعتمد هذا التفكير على الخبرة السابقة للفرد، وعلى قدرة الفرد في عدم التقيد بحدود قواعد المنطق، أو ما هو بديهي ومتوقع من الناس، (انظر المرجع 8).

الخاتمة

في الختام، نكون قد وضحنا النقاط الرئيسية المهمة التي تتعلق بالتفكير وأنواعه والمهارات التي تساعد الإنسان على تنمية قدراته على التفكير بشكل فاعل له تأثير ذو فائدة. وقبل إنهاء هذا البحث لا بد من الإحاطة بأهم أهداف تنمية التفكير ودراسته بكل أنواعه ومن جميع جوانبه، وهي كما يأتي:

- أن يكون الشخص على دراية ببعض المخاطر الشائعة في التفكير البشري ليتطبع أن يواجهها.
- أن يكون قادرًا على فحص المطالبات بشكل منهجي من وجهات نظر متعددة.
- أن يكون قادرًا على تحديث معتقدات الآخرين بشكل منهجي بناءً على الأدلة.
- أن يتعلم كيفية التحليل النقدي لنقاط القوة والقيود في المنهجية العلمية.
- أن يدرك الآثار المترتبة على تطوير مهارات التفكير لزيادة الخبرة البشرية.

المراجع

1. التكريتي محمد، (1994)، آفاق بلا حدود، بحث في هندسة النفس البشرية، دار ابن خلدون، الإسكندرية، مصر.
2. جرين جوديت، (1992)، التفكير واللغة، ترجمة: عبد الرحيم جبر، الهيئة المصرية العامة للكتابة.
3. الزغلول رافع النصير والزغلول عماد عبد الرحيم، (2008)، علم النفس المعرفي، دار الشروق، عمان، الأردن.
4. الزغول عماد عبد الرحيم، (2009)، مبادئ علم النفس التربوي، دار المسيرة للنشر والتوزيع والطباعة، عمان، الأردن.
5. غانم محمد حسن، (2010)، مقدمة في سيكولوجية التفكير، دار إيتراك، مصر.
6. فارس على، (2018)، المرجع في علم النفس التربوي: مبادئ، نظريات، تطبيقات، دار الارشاد للنشر والتوزيع، الجزائر.
7. قطامي يوسف ومحمد عمور أميمة، (2005)، عادات العقل والتفكير النظرية والتطبيق، دار الفكر، عمان، الأردن.
8. كنعان خضر وفاء، (2020)، علم النفس المعرفي، دار أسامة للنشر والتوزيع، الأردن، عمان.
9. المليجي حلمي، (2004)، علم النفس المعرفي، دار النهضة العربية، بيروت، لبنان.

قضايا تتعلق بالتكوين الأولي للمدرّسين

محمود شنتي

أستاذ بقسم الرياضيات، المدرسة العليا للأساتذة، القبة

يعتبر دور المعلم من أبرز مدخلات العملية التعليمية حيث تقاس جودة أي نظام تعليمي بمستوى كفاءة معلّميه كما أشار إلى ذلك تقرير منّظمة اليونسكو لعام 2014: هناك إجماع عالمي على أن المعلم هو الرّكيزة الأساسية في تحقيق أهداف أي نظام تعليمي، فهو –بصفته أحد عناصر المثلث التعليمي- حلقة رئيسية في تنفيذ البرامج التعليمية، والمشرف عليها والقادر على إنجاحها. لقد أكد تقرير مؤسسة بيرسون Pearson للخدمات التعليمية على أهمية المعلمين ذوي الكفاءة العالية والحاجة لإيجاد طرق لتعيين أفضلهم. قد يكون ذلك مرتبطا بوضعية المعلم والاحترام الوظيفي الذي يحظى به، إضافة إلى مستوى الدخل الذي يحصل عليه.

أخذ مجلس الاتحاد الأوروبي سنة 2014 "جودة التعليم والتكوين" كهدف استراتيجي لسنة 2020، وأكّد أنه "من الضروري تقديم تكوين كاف وفعال للمعلمين لضمان توفير تعليم عالي الجودة، وتوفير تطوير مهني مستمر لهم وللمكونين حتى تكون مهنة التدريس ذات أولوية في الاختيار كإحدى المهن الجذابة" (Commission Européenne). إن مستوى كفاءة المعلمين هو في الأخير، حسب وزارة التربية الوطنية والتعليم العالي والبحث الفرنسية، من يحدّد نوعية النظام التعليمي. نلاحظ أن جودة المعلم أصبحت قضية عالمية، فقد أطلقت المنطقة الأوربية المشتركة للتعليم العالي (EHEA) في عام 2010 مشروعا لضمان المزيد من أنظمة التعليم العالي القابلة للمقارنة والمنسجمة والمحكّمة في أوروبا". وكنتيجة لهذه المبادرة، التزم 47 بلداً بإصلاح نظام المؤهلات للتعليم العالي.

ولقد أكد وايت White "أن برامج إعداد المعلمين تحتاج دوما إلى تجديد لتتوافق مع تلك التّحديات والتّوجهات المتجدّدة باستمرار، فبعض مؤسسات تكوين المعلمين مهتمّة بإعدادهم لمدارس لم تعد قائمة في الوقت الراهن". وفي نفس التوجه، أشار الباحثان كروز ورينولدز Cruz & Reynold إلى أنه من الضروري أن تغير مؤسسات تكوين المعلمين من برامجها حتى تتمكّن من القيام بدورها في إمداد المدارس بمعلمين يمتلكون مهارات ومعارف تتفق مع متطلبات العصر.

أما بالنسبة لموضوع تكوين المدرسين في الجزائر، فقد انطلقت الاصلاحات الجارية والمتعلقة بالمنظومة التربوية في الجزائر بتنصيب اللّجنة الوطنية لإصلاح المنظومة التربوية سنة 2000، وتوقيع بروتكول اتفاق بين منظمة اليونسكو ووزارة التربية الوطنية سنة 2001، والذي كان من بين محاوره: كفاءة وحركية الأساتذة من خلال التكوين. لكن هذا الاصلاح في شقّه المتعلق بتكوين المعلمين تأخر لأكثر من ثلاثة عقود (تاريخ آخر اصلاح 1999). وانطلاقا من هذا، ألا يمكننا طرح التساؤل التالي: هل يمكن نجاح أي اصلاح للمنظومة التربوية دون تطوير عملية تكوين المعلمين؟ ألا يؤدي ذلك إلى فشل الاصلاحات التربوية الاخيرة؟

في هذا الخصوص، أكد وزير التعليم العالي والبحث العلمي، خلال فيفري 2019، على ضرورة حرص وزارته على إعطاء الأهمية اللازمة لعمليه تكوين المكونين من حيث المتابعة المستمرة قصد التكفل بمتطلبات المدارس العليا

للأساتذة وتمكينها من أداء دورها على أحسن وجه في إعداد معلمين لمختلف الاطوار التعليمية. وأضاف أنه وحرصا من الوزارة على تحقيق هذا الهدف، تم انشاء اللجنة البيداغوجية الوطنية للمدارس العليا للأساتذة، التي تكفلت بمعاينة وتشخيص الوضعية الحالية للمدارس العليا للأساتذة ودراسة مدى ملائمه البرامج المدرسّة وامكانيه تحيينها. وقد لاحظت هذه اللجنة في تقريرها أن المدارس العليا للأساتذة تتوفر على مرافق بيداغوجية وامكانات هائلة وكفاءات علمية، وخلصت إلى أنه لرفع مستوى المتخرجين الى ما يلبي طموحات التربية والتعليم العالي في تكوين المكونين فإنه يجب مراعاة الآتي:

- إعادة النظر في عدد الطلبة المتوجهين للمدارس العليا للأساتذة، وكذا طريق انتقائهم للالتحاق بها، فالإقبال الهائل من حاملي شهادة البكالوريا على المدارس العليا للأساتذة بمعدلات مرتفعة يمكن من اختيار الجيد للمنتسبين لها، وهذا لتحقيق تكوين نوعي. هناك عدم الرغبة في عملية التدريس من بعض منتسبي المدارس العليا للأساتذة قد يؤثر سلبا على تكوين النشء؛
- دعم هيئة التدريس بالمدارس العليا للأساتذة الحديثة بالكفاءات والخبرات الموجودة على مستوى المدارس العليا العتيقة والجامعات قصد ضمان تأطير نوعي لطلبتها؛
- القيام بتحيين البرامج المدرسّة وإعادة النظر في البرامج مرة على الأقل في كل فتره لا تتجاوز خمس سنوات من الزمن، وذلك تماشيا مع التغيرات الجارية عبر مختلف الجامعات؛
- تنظيم ندوات ودورات خاصه بإشراف أساتذة من المدارس العليا للأساتذة ومفتشين من وزاره التربية الوطنية لتدارك النقائص في البرامج الحالية في انتظار تحيين البرامج كلها على أن يتم تحيين البرامج في هذه المرحلة للطلبة الذين سيلتحقون بالمدارس العليا للأساتذة، حيث تبّين بعد الاطلاع على البرامج المُدرسّة حاليا في المدارس العليا للأساتذة أنها شبه موحدة ومتقاربة جدا فيما بينها من حيث المحتوى المقّدم، إلا انها لم تجدد منذ مدة الأمر الذي يستوجب تحيينها وتكييفها على مرحلتين:
  - ✓ تحيينها لتتماشى واستراتيجية وزارة التعليم العالي والبحث العلمي لمسايرتها للمستوى العلمي العالمي.
  - ✓ تكييفها مع البرامج الجديدة لوزارة التربية الوطنية ولتتوافق واستراتيجيتها.

فموضوع تكوين المعلمين بالمدارس العليا للأساتذة بالجزائر، تعترضه اشكاليات عديدة (موضوع التربية العملية، محتويات وبرامج التكوين، كثافة معدل الحجم الساعي الدراسي الأسبوعي،...)، وهذا بناء على التقارير والدراسات المتعلقة بتكوين المعلمين. كما أن هناك إشكالا آخر، يمكن أن يعزى أحد أسبابه الى دور المعلم، يتعلق بعزوف وتراجع التلاميذ والطلاب عن دراسة الرياضيات، وهذا ما أشار اليه وزير التعليم العالي في ديسمبر من عام 2020، وأكّدته الدراسات الوطنية والدولية على غرار الدراسات التقييمية التي تجرى على مستوى مصالح التفتيش والتكوين ومكاتب التقويم والتوجيه على مستوى مديريات التربية عبر التراب الوطني؛ وتقرير اليونسكو 2017؛ وكذلك نتائج المسوح الدولية على غرار الاولمبياد الدولية في الرياضيات؛ ومسح "اختبارات برنامج التقويم الدولي للتلاميذ" (PISA, 2015) التي شاركت فيها الجزائر في مادة الرياضيات وبتلاميذ في عمر 15 سنة.

هذا المسح يضع الجزائر في المرتبة 70 من بين 71 دولة مشاركة. وقد حصلت الجزائر في هذا المسابقة على 376 نقطة، وهي قيمة بعيدة عن متوسط المعدل والمقدر بـ: 493 نقطة. في أعلى القائمة، جاءت دول شرق آسيا (شنغهاي وسنغافورة وهونغ كونغ وكوريا والصين وتايوان واليابان) وفنلندا. أما مؤشر بيرسون (PEARSON) للمهارات المعرفية والتحصيل العلمي، وهو أحد أكبر المؤسسات المعنية بتقييم درجات التعليم لدي الدول بناء على الاختبارات والامتحانات الدولية. فقد جاءت الجزائر وجميع الدول العربية خارج قائمة أفضل 40 دولة عالميا، في حين احتل المركز الأول والثاني كل من كوريا الجنوبية وفنلندا.

نذكر هنا بعض القضايا والمناقشات المتعلقة بالتكوين الأولي للمدرسين بصفة عامة: اختيار مكوني المكونين؛ المقاربة بالكفاءات؛ المعرفة الأكاديمية والمهننة؛ التكوين بالبحث؛ التوأمة في التكوين (أو المواد المتأخّية)؛ مسؤولية الدولة في تكوين المدرسين؛ إعطاء دور أكبر للجامعة؛ التقييم وضمان الجودة؛ إشكالية التوظيف؛ جاذبية المهنة. نخص القضايا الخمس الاولى منها بالتقديم في هذا العدد لمجلة بشائر العلوم، ونرجئ الخمس الباقية للعدد القادم.

1. اختيار مكوني المكونين

في معظم البلدان، تتنّوع المعايير التي تحدّد نوع المؤهل المطلوب من مكوني المعلمين. فعادة ما تكون المؤهلات المطلوبة في مؤسسات التكوين هي نفسها التي تتطلبها أي هيئة تدريس جامعية أخرى (درجة الماجستير أو الدكتوراه). في العديد من البلدان الأوربية يتمتع مسؤولو مؤسسات التكوين باستقلالية واسعة في تحديد نوع المؤهلات لمكوني المعلمين حيث يُتوقع من مكوني المعلمين الحصول على تكوين وخبرة محدّدة. في هولندا مثلا، أنشأت الرابطة الهولندية لمكوني المعلمين (VELON) سجلاً ومعايير مهنية لمكوني المعلمين.

توصي البحوث اعتمادا على النتائج التي حققتها البلدان المتقدمة في اختبارات "بيزا" إلى أنه يجب توسيع إصلاحات التكوين الأولي للمعلمين لتشمل التعليم العالي، وهذا ما تعمل به الدول المتقدمة على غرار فنلندا واليابان وكوريا وسنغافورة من خلال التأكيد على ضرورة التكوين النوعي لمكوني المعلمين، وإعطاء اهتمام أكبر في اختيارهم. وتدعو التوصية المتعلقة بتكوين المعلمين التي وضعتها منظمة اليونسكو إلى حصول جميع المعلمين على تكوين ذي مستوى عال من قبل مكونين لديهم أيضا تكوين نوعي متميز.

2. المقاربة بالكفاءات

وفق المقاربات الجديدة في التكوين، فإن كفاءة تكوين المدرسين لن تكون فقط وفقا للمعرفة التي سيتم تدّريسها (النهج النظامي)، بل ستكون وفقا للدراية أو الاتقان المتوقع من المدّرسين مستقبلا، أو ما يسمى "نهج الكفاءات". نذكر هنا أن الكفاءة "تنطوي على القدرة في الاستجابة للمطالب المعقدة من خلال تعبئة الموارد وتوظيفها في سياق معيّن كما لو قام بها محترف في نفس الظروف" (Lepage & Karsenti).

تذكر عدة دراسات الإجراءات المعتمدة في إصلاحات الحقبة الأخيرة التي تبنت "نهج الكفاءات" كمقاربة معتمدة في التكوين، فمثلا يصف لينوار Lenoir المرجعية التي أقيمت في مقاطعة كبيك الكندية في إصلاح عام 2001، يمكن أن تمتد حتى إلى البعد الأخلاقي في ممارسة مهنة التدريس. الشيء نفسه بالنسبة لفرنسا. وبالنسبة للولايات

المتحدة، فإن معرفة الكفاءات المتوقعة من قبل المدّرس في المستقبل هو أكثر من ضرورة. أما بالنسبة للمملكة المتّحدة، فيرتبط ذلك بإجراءات التقييم التي تسعى إلى تقييم كفاءة العمليات المنفّذة في مشكلة ما، على غرار تحديد كفاءات الحوار مع مؤشرات الأداء، وهي جزء من ثقافة متجذرة.

3. المعرفة الأكاديمية والمهننة

المشكل الأول الذي يواجه جميع نظم التكوين عبر العالم، حسب منظمة التعاون والتنمية الاقتصادية (OCED, 2005)، هو التعارض بين التّخصص المدّرس (أو المعرفة النظرية) وبين المهننة، وهو ما يؤثر كذلك على الأدوار الموكلة إلى كليات "التخصص" وكليات "التربية" حسب (MENLSRF, 2013, P.2). لقد أخذت العديد من الدول التوازن بين المعرفة والمهننة بعين الاعتبار ، على سبيل المثال:

- في مقاطعة كبيك الكندية، بدأ الانتقال إلى توجهات أكثر مهنية في تكوين المدرسين منذ التسعينيات القرن الماضي، فالإصلاحات المتعاقبة تركّز على المتطلبات المهنية من خلال وضع مبدأ "مرجع الكفاءات المهنية" كمحور للعملية التكوينية.
- أما في الأرجنتين، فتحاول آخر الإصلاحات فيها الجمع بين التكوين العام والتكوين المتخصص لمستوى تعليمي معين والتكوين من خلال الممارسة المهنية.
- في السويد والولايات المتحدة، هناك حديث ملّح على ضرورة تأمين التوازن المناسب بين الدراسة النظرية والممارسة المهنية.
- الإصلاح الجاري حاليا في فرنسا ويؤكّد على البعد المهني في التكوين من خلال التركيز على الممارسة الميدانية (التربص) والشراكات مع المؤسسات التربوية التي تتيح التكوين في جو مهني.

4. التكوين بالبحث

توثّق البحوث والدراسات فيما يخص البعد "البحثي" في برامج التكوين كمسألة مثيرة للجدل تتطلّب من المختصين معالجتها. كما يجب إعادة النظر في الطرق التي يتم بها دمج البعد البحثي في برامج التكوين، ودوره في المناهج والمقاربات الجديدة لربط النظرية بالممارسة. ويهدف إدراج هذا البعد حسب سهلبرغ Sahlberg وميكولا Mikkola إلى تطوير المعلمين المستقبليين ليكونوا بمثابة ممارسين مهنيين نقديين مستقلين وذاتيين. إن فحص خطط المناهج الدراسية لمؤسسات التكوين دوليا يوضّح تنوعا في الطرق لإدراج البحوث في برامج تكوين المعلمين، فضلا عن طرق لدمجها في الممارسة والعمل. في حالات أخرى، يتم تضمين وحدة دراسية صريحة حول طرق البحث وكذلك ربطها بمكوّن التدريب الميداني.

هناك اختلافات واضحة بين برامج التكوين على المستوى الدولي من حيث البعد البحثي وصلته (أو عدمه) مع النظرية والممارسة. كذلك الطرق المختلفة لفهم موضوع "البحث" ودمجه في برامج التكوين. تقدم وجهات النظر

هذه، مقاربات مختلفة للنظر في البعد البحثي في برامج التكوين وإمكانيات إعادة التفكير في المناهج الدراسية لتكوين المعلمين. هناك حاجة إلى ارتباط أكثر وضوحًا وترابطًا بين الممارسة والنظرية والأبحاث في برامج تكوين المعلمين.

5. التوأمة في التكوين (أو المواد المتآخية)

منذ منتصف تسعينيات القرن الماضي، توسعت المطالب بضرورة تكوين المعلمين في موضوعين متجاورين (ما يسمى بالمواد المتآخية) على غرار "الرياضيات والفيزياء" أو "الرياضيات والاعلام الآلي"، إلخ. يرجع ذلك إلى حاجة وزارة التربية والتعليم إلى زيادة قوة اليد العاملة في التدريس. في مجال الرياضيات مثلا، فبالإضافة إلى أنه تم تعيين أعداد كبيرة من المعلمين ذوي التخصصات غير الرياضيات لتدريس مادة الرياضيات على غرار المهندسين والمقتصدين والمحاسبين وغيرهم، فإن هذه المقاربة أثبتت فشلها. على سبيل المثال، تطبق سنغافورة هذه المقاربة حيث نجد جميع مدرسي الرياضيات في المدارس العامة من خريجي مؤسسات تكوين المعلمين، وبالتالي تلقوا تكوينا في الجوانب التربوية المتعلقة بمواضيعهم التعليمية. ومع ذلك اعترف العديد منهم بأن تكوينهم الجامعي لم يُعدّهم بشكل كافٍ لمهنة التدريس.

إن السياسة المتمثلة في تكوين معلمي المرحلة الثانوية لتدريس موضوعين سيكونون بالضرورة أقل تخصصا مما لو تكوّنوا في موضوع واحد. كما أن معرفة الموضوع ومعرفة المحتوى التربوي-التعليمي تتأثر حتما لديهم. لذلك فإن الدول العالية الأداء في الرياضيات على غرار كوريا الجنوبية تأخذ فقط موضوع الرياضيات كتخصص أكاديمي في مؤسسات التكوين وأيضا في التدريس. وعليه، فالتكوين المتعلق بالمواد المتآخية أثبت فشله حسب الخبراء. وبالتالي ماذا يمكن القول حول توظيف أساتذة خارج تخصص الرياضيات، كحالة الجزائر، لتدريسها؟

في الاخير يمكن القول بأن فهم مدى تعقيد عملية التكوين الأولي للمعلمين والتحديات التي تواجهها تحتاج إلى تظافر جهود الجميع، وأن الإخلال في أحد المكونات يؤثر بلا شك في عملية التكوين ككل. فالهدف هو الوصول لتكوين معلمين قادرين على التكيّف مع تحديات المجتمع المتغير ومع المهام المتزايدة التعقيد. وعليه، فهناك ضرورة إلى إعداد وتكوين وتدريب وتأهيل الطلبة-المعلمين بمواصفات خاصة، يحوزون على معرفة نظرية أكاديمية بشكل كاف ويتمتعون بكفايات وظيفية جيدة في التعليم والتدريس ويملكون مهارات تربوية عالية.

لقد اعتبرت العديد من الدول -حتى تلك التي يحصل تلاميذها باستمرار على درجات عالية في التقييمات الدولية (TIMSS, PISA, PIRLS...)- تكوين المعلمين شأنا رئيسيا يخضع باستمرار لإصلاحات وتعديلات.. وبالتالي، فإن الدراسات الخاصة ببعض النظم التكوينية عبر المسح التحليلي (انطلاقا من التباين في الممارسات التربوية)، تجعل من الممكن تحديد بعض المشاكل المشتركة -والتي يمكن أن تكون قاعدة للبحث والنقاش- مما يعطي بعض الأفكار حول ما يجب مراعاته عند تصميم وتطوير برامج التكوين في المستقبل.

مراجع

1. الحربي محمد بن صنب؛ المعثم خالد بن عبد الله (2013) : مشكلات معلمي الرياضيات المبتدئين في المملكة العربية السعودية من وجهة نظرهم ومشرفيهم التربويين، مجلة العلوم التربوية، جامعة الملك سعود، المملكة العربية السعودية، المجلد 25 (2)، 263-301.
2. المفرج، وآخرون (2007/2006): الاتجاهات المعاصرة في إعداد المعلمين وتنميتهم مهنيا. قطاع البحوث التربوية والمناهج، جامعة الكويت.
3. Commission Européenne. (2015): La Profession Enseignante en Europe: Pratiques, Perceptions et Politiques, Rapport Eurydice. Eurydice: http://www.eurydice.org
4. Lepage, M. & Karsenti, T. (2007): Le système d'éducation et la formation des enseignants au Québec. Dans T. Karsenti, R-P. Garry, J. Bechoux, & S. Tchameni Ngamo (dir.), La formation des enseignants dans la francophonie : diversités, défis et stratégies d'action, Montréal.
5. Ministère Education National de l'enseignement supérieur et de la recherche de France (2013): Formation des enseignants: éléments de comparaison internationale. Concertation sur la refondation de l'école de la République de France.
6. Ministère l'Éducation, du Loisir et du Sport du Québec (2008): La formation à l'enseignement. Les orientations relatives à la formation en milieu de pratique. Québec: Gouvernement du Québec.
7. Unesco. (1981): La formation du personnel enseignant du premier et du second degré Étude comparative, Les Presses de l'Unesco.

الستوماخيون : قصّة أُحجية قديمة

ليلى زيتوني
أستاذة بقسم الرياضيات، المدرسة العليا للأساتذة، القبّة

في زمن بعيد، قام كاتب بنسخ مؤلَّفات عالم كبير على كتاب من الرَّق. وبعد مرور وقت طويل، يقع هذا المخطوط في يد شخص لا يعرف قيمة ما فيه، فيستعمله من أجل كتابة صلوات وأدعية دينية، بعد أن محا النصّ الأصلي. تبقى مؤلَّفات العالم الكبير المخطوطة على هذا الكتاب مخفية، ولا تُكتشف إلاّ صدفة، بعد مرور قرون عديدة. ثمّ يختفي المخطوط، ليظهر بعد عشرات السنين، فيباع في مزاد بثمن خياليّ لشخص لم يَكشف عن هويته. ويقرّر المالك الجديد الغامض منح المخطوط لمتحف. وهكذا يصبح ما فيه متاحا للجميع!

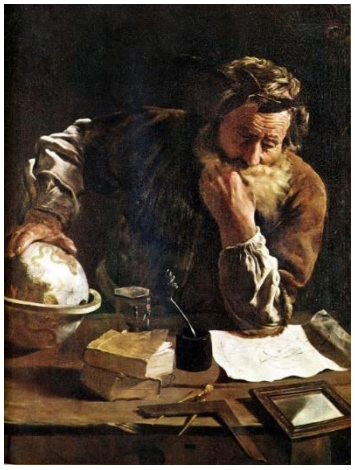
هذه ليست قصّة رواية من روايات دان براون Dan Brown، ولا هي أحداث فيلم إثارة هوليوديّ. إنّها وقائع حقيقيّة، إنها قصّة طِرْس أرخميدس The Archimedes Palimpsest. وممّا جاء في هذا الطِرْس أُحجية رياضياتية قد تكون الأقدم. دعنا نروي القصّة من البداية.

1. أرخميدس السرقوسي

قام الإغريق منذ القرن الثامن قبل الميلاد بتأسيس مدن عديدة. ولم تنحصر تلك المدن في الأراضي اليونانية الحالية، بل انتشرت في مناطق واسعة من البحر الأبيض المتوسّط، مثل الساحل الغربيّ للأناضول وجنوب إيطاليا. كانت سرقوسة Syracuse، الواقعة في جزيرة صقلية الإيطالية، إحدى تلك المدن. وعلى أرض هذه المدينة الساحلية الجميلة، ولد أرخميدس السرقوسي Archimedes of Syracuse، في سنة 287 قبل الميلاد.

ذكر أرخميدس في أحد مؤلّفاته أنّ والده، فيدياس Phidias، كان فلكيا. نحن لا نعرف الكثير عن حياة أرخميدس، لكن يبدو أنّه زار مصر في شبابه. وليس غريبا أن يتنقّل إلى مصر وفيها الإسكندرية. بعد وفاة مؤسّس الإسكندرية، الإسكندر المقدوني Alexander of Macedon في سنة 323 قبل الميلاد وبداية حكم البطالمة، أصبحت عاصمة مصر الجديدة أهمّ مدن العالم الهلنستيّ، خاصة بعد تأسيس الموسيّون the Museum ومكتبة الإسكندرية اللذين جعلا هذه المدينة منارة للعلوم يقصدها العلماء والمتعلّمون من كلّ فجّ وصوب. وممّا قد يدعم خبر زيارة أرخميدس لمصر مراسلاته العلمية، التي أشار إليها في مؤلفاته، مع الفلكيّ والرياضياتيّ قونون الساموسي Conon of Samos والرياضياتيّ إراتوستينيس القوريني Eratosthenes of Cyrene، وكلاهما كان مقيما في الإسكندرية.

بالاعتماد مرّة أخرى على مؤلّفات أرخميدس، نستنتج أنّه كان على علاقة جيّدة بملك سرقوسة هيرون الثاني Hiero II، فقد أهدى أحد مؤلفاته لابن هذا الملك. والملك هيرون الثاني هو الذي تُروى حوله قصّة إهدائه تاجا من الذهب، وطلبه من أرخميدس معرفة ما إذا كان التاج قد صُنع فعلا من الذهب الخالص؛ ثمّ اكتشاف أرخميدس لما أصبح يعرف بـ"مبدأ أرخميدس"، مطلقا عبارته الشهيرة "يوريكا" Eureka. هل وقعت هذه القصّة بالفعل؟ لم يذكر أرخميدس شيئا عنها في مؤلّفاته، لكنّ المؤكّد هو اكتشافه لهذا المبدأ.



الشكل 1. لوحة أرخميدس مفكّرا (1620) للرسام الإيطالي دومينيكو فتي Domenico Fetti.
(Wikimedia Commons)

ترك أرخميدس مؤلّفات عديدة. وبعض ما وصلنا منها:

- في الهندسة : "الكرة والأسطوانة" On the Sphere and Cylinder و"قياس الدائرة" Measurement of a Circle؛
- في الميكانيكا : "توازن المستويات" On the Equilibrium of Planes و"الأجسام الطافية" Floating Bodies.

ورغم أصالة أعمال أرخميدس العلمية التي تعكسها مؤلّفاته المذكورة، فإن شهرته في سرقوسة لم تكن بسبب إنجازاته في الرياضيات والميكانيكا، بل بسبب اختراعاته! لقد كان أرخميدس، حسبما ذكره بعض المؤرّخين، مخترعا عظيما. وبعض اختراعاته استخدِمت في حروب سرقوسة مع الرومان.

توفّي الملك هيرون الثاني في سنة 215 قبل الميلاد. فقام الرومان بقيادة ماركلوس Marcellus بالهجوم على سرقوسة. وبعد فترة حصار طويلة سقطت المدينة في أيدي الرومان في سنة 212 قبل الميلاد. وكان من بين ضحايا استيلاء الجيش الرومانيّ على سرقوسة عالمها ومخترعها أرخميدس. يُروى أنّ جنديّا رومانيا فاجأ أرخميدس، وهو منهمك في التفكير في حلّ إحدى المسائل العلمية، ولم يكن أرخميدس قد علم بشأن استيلاء الرومان على مدينته. حين طلب الجنديّ من أرخميدس أن يتبعه للقاء ماركلوس، رفض الاستجابة قبل أن يكمل حلّ مسألته، فقتله الجنديّ. هذه واحدة من روايات ثلاث ذكرها الفيلسوف والمؤرخ الإغريقي بلوتارخ Plutarch، حول مقتل أرخميدس بُعَيْد استيلاء الرومان على سرقوسة.

يعتبر الكثير من مؤرّخي العلوم أرخميدس أعظم رياضياتيّ في العصر القديم، وأحد أعظم الرياضياتيين في كلّ الأزمنة. وتقديرا لشأنه، اختير وجهُه ليُنقش على ميدالية فيلدز Fields Medal، وهي إحدى أهمّ الجوائز في الرياضيات، إن لم تكن أهمّها على الإطلاق. وعلى الوجه الآخر من الميدالية، نقش شكل الكرة والأسطوانة، الذي يروى أنّه كان مرسوما على قبر أرخميدس بناء على وصية منه.

2. طِرس أرخميدس: الكنز المدفون

إذا كانت معرفة مؤرّخي العلوم بمحتوى رياضيات بلاد ما بين النهرين أو مصر القديمة مبنية على مصادر أصلية تعود لأكثر من 3500 سنة، فإنّ الأمر مختلف بالنسبة للرياضيات الإغريقيّة. على سبيل المثال، فإن أقدم نسخة موجودة لكتاب "الأصول" The Elements تعود إلى القرن التاسع الميلادي، أي حوالي 1200 سنة بعد تحريره

من قِبل الرياضياتيّ أقليدس السكندري Euclid of Alexandria. أخذ الإغريق عن المصريين القدماء فكرة استخدام ورق البردي للكتابة، ثم استبدلوه بعد بضعة قرون بالرَّق parchment، وهو ورق رقيق يُصنع من جلود الحيوانات. في معظم الحالات، لم تكن تلك النسخ المخطوطة لتملك القدرة على الصمود طويلا أمام الزمن. لذلك كان من المألوف أن يقوم الكَتَبة بنسخ المؤلّفات مرارا وتكرارا.

وخلال الربع الأخير من القرن العاشر الميلادي، قام أحد الكَتَبة في مدينة القسطنطينية عاصمة الإمبراطورية البيزنطية، بنسخ مجموعة من مؤلفات أرخميدس على كتاب من الرّق. تجدر الإشارة إلى الإمبراطورية البيزنطية شهدت إبّان القرنين التاسع والعاشر الميلاديين نهضة ثقافية ورغبة في إحياء الموروث الإغريقي. فكانت مؤلّفات أرخميدس ضمن أعمال إغريقية أخرى كثيرة نسخت في تلك الفترة.

وفي القدس، وبالضبط سنة 1229، أراد رجل دين مسيحي كتابة مجموعة أدعية وصلوات. كانت أمامه مجموعة مخطوطات قديمة من الرّق فقرّر استعمالها للكتابة عليها. من أجل القيام بذلك، كان عليه أن يفتح المخطوط القديم ليتحصّل على صفحات مستقلة، ويستعمل سائلا حمضيا لمحو النص القديم، فتصبح بذلك أوراق الرّق جاهزة للاستعمال من جديد. يسمّى هذا النوع من المخطوطات، أي تلك التي يتمّ محو ما فيها ليُعاد الكتابة عليها من جديد، الطِّرس palimpsest.

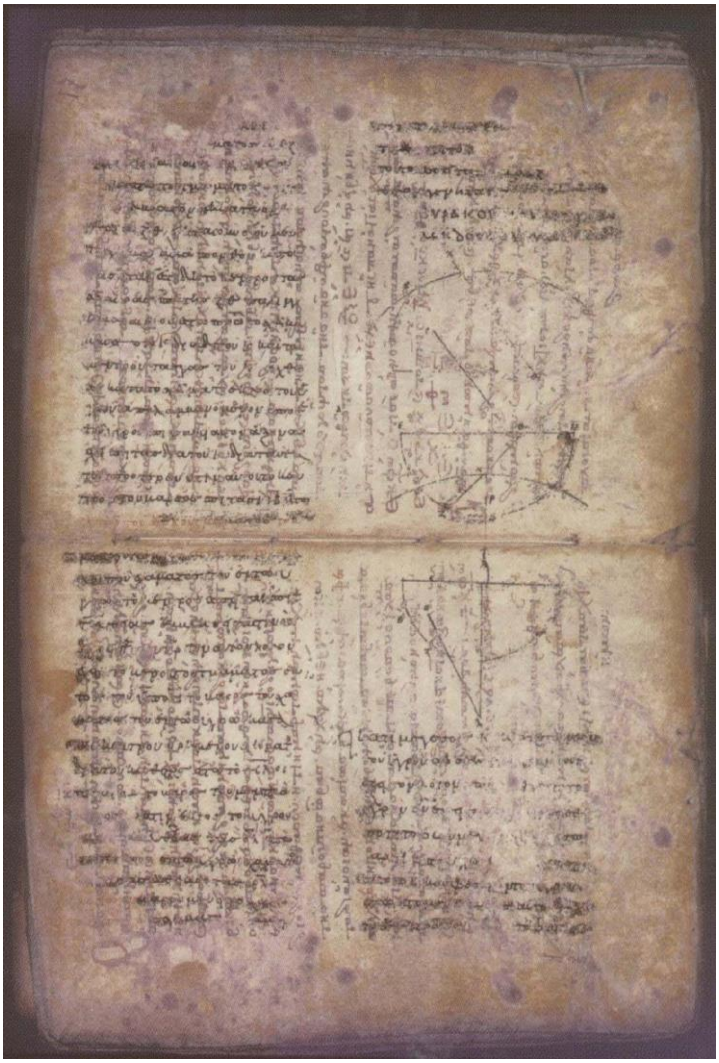
ولسوء الحظ أو لحسنه، كان أحد المخطوطات التي استعملت من أجل كتابة تلك الصلوات مخطوط أرخميدس. وبذلك دفنت مؤلّفات أرخميدس التي نسخها كاتب في القرن التاسع، تحت نصّ ديني، وظلت مدفونة قرونا عديدة! تنقّل مجلّد الصلوات المخطوط بين أدْيرة مختلفة ليحطّ رحاله أخيرا في مكتبة البطريركية القسطنطينية، خلال القرن التاسع عشر.

في سنة 1899، وأثناء القيام بجرد لفهرسة المخطوطات المتواجدة بمكتبة البطريركية القسطنطينية، انتبه المكلّف بهذه المهمة لوجود نصّ مختلف، يظهر خلف نصوص الأدعية والصلوات الدينية. وهكذا بلغ الخبر للعالم اللغوي والمؤرخ الدانماركي ج. ل. هايبرغ J. L. Heiberg، فانتقل أثناء صيف سنة 1906 إلى إسطنبول لمعاينة المخطوط بنفسه. وكانت المفاجأة مذهلة! لقد اكتشف هايبرغ كنز أرخميدس المدفون!

لم تكن المفاجأة في اكتشاف أقدم مخطوط موجود لأعمال أرخميدس بالإغريقية فحسب، بل إنّ من بين الأعمال التي احتواها هذا الطِّرس مؤلّفات لم تكن معروفة من قبل. إليك قائمة مؤلّفات أرخميدس الموجودة في طِرس أرخميدس: "أواخر توازن المستويات"، ثمّ "الأجسام الطافية"، و"الطريقة" The Method و"الحلزونات" Spiral Lines، و"الكرة والأسطوانة"، و"قياس الدائرة"، وأخيرا "الستوماخيون" Stomachion.

يعتبر كتاب "الأجسام الطافية" الموجود في طرس أرخميدس النسخة الإغريقية الوحيدة الباقية، إذ كلّ ما كان موجودا قبل اكتشاف هايبرغ هو ترجمات لاتينية وعربية لهذا الكتاب. أمّا كتاب "الطريقة" فقد كان مفقودا، وكانت هذه أول مرّة يكتشف فيها محتواه. أثار هذا الكتاب بالذات اهتمام مؤرخي الرياضيات، إذ أنّه فريد من نوعه. وقد ألّف أرخميدس كتاب "الطريقة" للرياضياتي إراتوستينيس، شارحا له فيه طريقته المعتمدة في إثبات بعض النتائج الهندسية. سنرجيء الحديث عن "الستوماخيون" للقسم الثالث من هذا المقال.

لم يتمكن هايبرغ من نقل طرس أرخميدس معه إلى الدانمرك، لكنّ الكنيسة الأرثوذكسية سمحت له بأخذ صور فوتوغرافية للمخطوط. واستطاع باستعمال عدسة مكبرة نقل جزء كبير من نصوص أرخميدس المخطوطة تحت النّص الديني. خصّ هايبرغ كتاب "الطريقة" بمقال نشره في سنة 1907. ثم قام بعد ذلك، خلال الفترة الممتدّة بين سنتي 1910 و1915، بإعادة نشر الأعمال الكاملة لأرخميدس مستفيدا من اكتشافاته الأخيرة.



الشكل 2. صفحة من طِرس أرخميدس ويظهر فيها النصّ الرياضياتيّ مكتوبا خلف النصّ الديني.
(mathshistory.st-andrews.ac.uk)

أثناء الاضطرابات السياسية التي عرفتها تركيا بعد الحرب العالمية الأولى، اختفى طرس أرخميدس في ظروف غامضة، ليظهر بعد حوالي نصف قرن في حوزة عائلة فرنسية ادّعت أنّها اشترته من بائع كتب في تركيا. وفي خريف سنة 1998 باعت هذه العائلة طرس أرخميدس في مزاد علني بمدينة نيويورك. حضرت المزاد أطراف ثلاثة راغبة في اقتناء هذا المخطوط: وزارة الثقافة اليونانية، والبطريركية الأرثوذكسية اليونانية في القدس، ومندوب عن ثريّ أمريكي مجهول يهوى اقتناء المخطوطات النادرة. كان المخطوط من نصيب هذا الأخير بعد أن دفع مقابله أكثر من مليوني دولار أمريكي.

قام المالك الجديد لطرس أرخميدس بمنح المخطوط لمتحف والترز للفنون The Walters Art Museum في مدينة بالتيمور بالولايات المتحدة. لقد كان الطّرس في حالة يرثى لها، إذ تآكله العفن خلال الفترة التي قضاها عند العائلة الفرنسية، ولم يكد يُرى شيء من نصوص أرخميدس.

وبتمويل من مالك المخطوط المجهول، قام أمين المخطوطات والكتب النادرة بمتحف والترز، ويليام نويل William Noel بالإشراف على مشروع من أجل إصلاح المخطوط ومحاولة كشف نصوص أرخميدس التي ما عادت تظهر لا بالعين المجردة ولا حتى باستخدام العدسة المكبرة مثلما كان الحال مع هايبرغ. وفي سبيل ذلك، استعان ويليام

نويل بفريق من الباحثين في تخصّصات مختلفة، وبالكثير من التقنيات الحديثة في التصوير بالأشعة، وبرمجيات أعدت خصّيصا من أجل الإرشاد في تخمين المفردات الإغريقية المخفية.

استمر العمل في المشروع بضع سنوات، ليتم الكشف في الأخير عن طِرس أرخميدس. في سنة 2007، قام ويليام نويل بمعيّة أستاذ الفلسفة والدراسات الكلاسيكية بجامعة ستانفورد الأمريكية، والباحث في تاريخ الرياضيات الإغريقية، ريفيل نيتز Reviel Netz، بإصدار كتاب مليء بالإثارة، يرويان فيه قصة طرس أرخميدس. وجاء الكتاب تحت عنوان

The Archimedes Codex: How a Medieval Prayer Book is Revealing the True Genius of Antiquity's Greatest Scientist.

الشكل 3. طرس أرخميدس الموجود حاليا في متحف والترز للفنون في بالتيمور
(archimedespalimpsest.org)

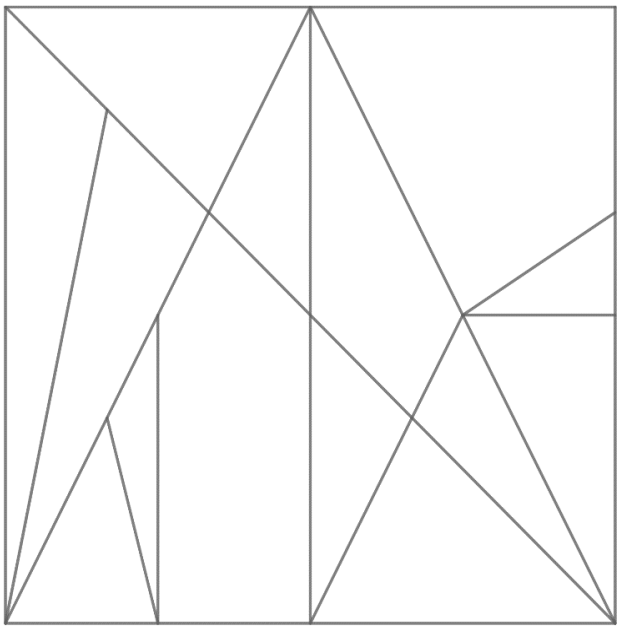
3. الستوماخيون: تفسير جديد لأُحجية قديمة

"الستوماخيون" The Stomachion، أحد أعمال أرخميدس المكتشفة في طرس أرخميدس، عبارة عن أُحجية. وإذا كان يبدو لك غريبا أن يكتب أرخميدس في الرياضيات المسلّية، فلتعلم أنّها ليست المرّة الوحيدة. هناك مسألة أخرى تنسب إلى أرخميدس تدعى "مسألة الماشية" The Cattle Problem. تندرج هذه المسألة، والتي عثر عليها في مخطوط إغريقي قديم سنة 1773 في ألمانيا، ضمن المعادلات الديوفانتية.

ورغم أنّ نصّ أرخميدس الستوماخيون، لم يكتشف سوى في بداية القرن العشرين إلاّ أنّ هذه الأحجية كانت قد ذكرت مرّات عديدة خلال القرون الأولى بعد الميلاد من قِبل بعض الكتّاب الرومان، مثل الشاعر الروماني أوسونيوس Ausonius. كان "الستوماخيون" أشبه بالأحجية الصينية المعروفة "تانغرام" tangram. فالمطلوب، أو على الأقلّ ما كان يعتقد أنّه المطلوب، هو تجميع 14 قطعة مضلّعة للحصول على أشكال مختلفة لحيوانات أو أشياء أخرى، بالإضافة إلى شكل المرّبع (الشكل الابتدائي). أُطلقت على "الستوماخيون" أسماء أخرى كثيرة مثل loculus Archimedius وتعني باللاتينية صندوق أرخميدس.

حين قرّر ويليام نويل الإشراف على مشروع إصلاح طرس أرخميدس وإعادة اكتشاف نصوصه المخفية، كان يأمل أن يقوده هذا المشروع إلى نتائج جديدة لم يسبق لهايبرغ الوصول إليها. ولدراسة النصوص الرياضياتية استعان بالأستاذ ريفيل نيتز، وهو أحد الباحثين في الرياضيات الإغريقية.

لم يكن سهلا على نيتز قراءة الورقة الأخيرة من الطّرس، والتي كانت تضمّ نصّ "الستوماخيون"، فقد كانت الأكثر تضرّرا في المخطوط كله. لذلك كان عليه أن يعود لأعمال أرخميدس التي نشرها هايبرغ. لكن حسب رأي نيتز، لم يلق "الستوماخيون" الاهتمام الكافي من هايبرغ، ولا من مؤرخ العلوم الهولندي إدوارد يان ديكسترهويس Eduard Jan Dijksterhuis، صاحب أهمّ كتاب حول حياة وأعمال أرخميدس. وقد يكون السبب الرئيسيّ في ذلك أنّ نص "الستوماخيون" الموجود غير كامل، فهو مجرد ورقة واحدة!



الشكل 4. "الستوماخيون" يتكوّن من 14 مضلّعا تشكل معًا مربّعا

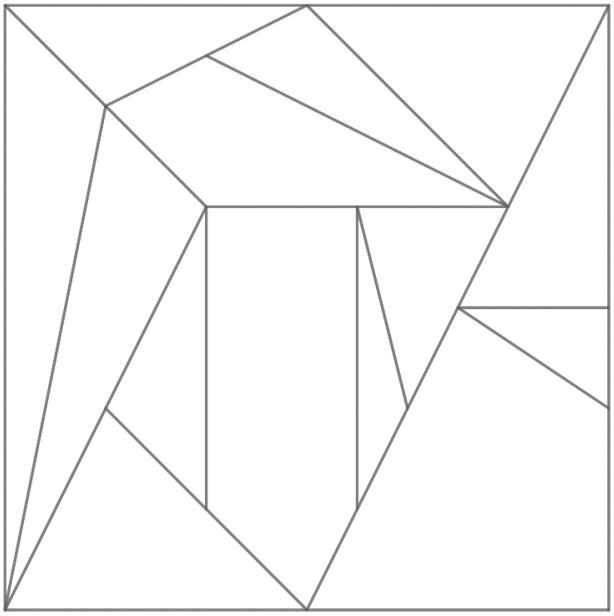
كان مؤرّخ العلوم السويسري والمختصّ في تاريخ الفلك والرياضيات العربية هاينريخ سوتر Heinrich Suter قد نشر سنة 1899 نصّا لترجمة عربية لجزء من "الستوماخيون"، تعود للقرن السابع عشر. كان النصّ العربي يعطي فكرة مختلفة عمّا كان متداولا حول مضمون هذه الأحجية. فالمطلوب في النسخة العربية هو قسمة المربع، إلى أربعة عشر شكلا بنسب معينة. وكانت مساحات هذه الأشكال تمثل النسب التالية من مساحة المربع الكليّ:

1/16, 1/48, 1/6, 1/24, 1/24, 1/12, 1/12, 1/24, 1/48, 1/24, (1/2)(1/6)+ (1/2)(1/8),1/12, 1/12, 1/12.

بالاستعانة بما جاء في النسخة العربية، وبالتعاون مع باحثين آخرين، توصل نيتز إلى نتيجة مفادها أنّ أرخميدس قد يكون في هذه الأحجية، يريد معرفة كلّ الوضعيات التي يمكن تشكيلها باستعمال المضلّعات الأربع عشرة من أجل الحصول على شكل المربّع. نشر نيتز نتائج بحثه في مقال مشترك مع باحثين آخرين سنة 2004. لكن هل هذا هو فعلا ما قام به أرخميدس؟ يصعب الجزم بذلك في ظلّ عدم العثور على نص "الستوماخيون" كاملا.

قبل نشر مقال نيتز حول تفسيره الجديد للستوماخيون، كان قد عرض على رياضياتيين وباحثين مهتمين بهذا الموضوع مسألة تحديد عدد كلّ الوضعيات الممكنة لتشكيل المربّع باستخدام الأربعة عشر مضلّعا. وفي نوفمبر

2003، توصّل بيل كاتلر Bill Cutler، باستخدام برنامج حاسوبي، إلى وجود 17152 وضعية ممكنة! أو 536 وضعية بإهمال الدورانات والانعكاسات.



الشكل 5. الوضعية رقم 17 لبيل كاتلر

يشبّه أحد أساتذة التاريخ عمل المؤرّخين في سبر تاريخ البشرية بما يقوم به علماء الفلك من اكتشاف للنجوم والمجرّات في السماء. وكما أنّ التكنولوجيا الحديثة وسّعت المُدرك من عالم الفضاء، كذلك جعلت من المخفي مرئيا في عالم المخطوطات. على أمل أن يكتشف نص "الستوماخيون" كاملا ننهي مقالنا هذا.

رياضيات

في رحاب التعبير الرياضيّاتيّ

محمد حازي
أستاذ متقاعد (المدرسة العليا للأساتذة، القبة، سابقا)

تصدير

إنّ التواصل من السمة الأساسيّة المميّزة لكثير من المخلوقات. فإن كان ذلك مسلّما به بين بني البشر، سواء الأسوياء منهم أو ذوي العاهات سمعا أو بصرا أو حركة، فإنّ الأمر يتعدّى ليشمل كافّة الكائنات الحيّة عموما، مثل الطيور بأصنافها وبقيّة الحيوانات بكلّ أنواعها. كلّ له أساليب وطرق التعبير والتواصل مع صنفه. فمواء القطط وهديل الحمام وسكسكة القرود وعواء الذئاب وزئير الأسود وخوار البقر بمختلف مخارجها الصوتيّة، غنّة ونبرة، جسور تخاطب موصلة ما بين كلّ جنس.

هناك بطبيعة الحال قنوات أخرى غير الصوتيّة اللسانيّة يلجأ إليها كلّ مخلوق حسب خلقته وخصوصيّات بنيته. فللوجه والأطراف وأعضاء أخرى غيرها أدوار في إصدار حركات وإيحاءات معبّرة. فالتبسّم مثلا يلازم الانبساط والترحيب في حين يدلّ الاكفهرار والتكشير على عدم الرضا والتنفير.

كانت ولا تزال روح الرياضيات وكنهها وأسرار جمالها وكذا غناها، الذي لا يعرف معينه نشفا ولا نضبا، للجاهلين لأصولها، بل ولكثير من أهلها ومرتاديها من الرياضياتيّين المحنّكين أنفسهم، غامضة خفيّة. لن يكون من المفاجئ إن قلنا إنّ نشاط الرياضياتيّين يكمن في محاولة حلّ مشكلات تجريديّة مجرّدة، بالمفهوم الذي يقول بأنّ هذه الأخيرة منبثقة ومستنبطة من تجارب إنسانيّة أو من ظواهر طبيعيّة أدّت إلى ميلادها، بل يتعدّاها إلى محاولة تفسيرها وفهمها.

أن تنشط في الرياضيات يعود إلى أن تقوم بملاحظة عالم آهل بكائنات رياضياتيّة والقيام بوصف سلوك هذه الكائنات وذلك بجمع أكبر قدر ممكن من المعلومات بشأنها. يتطلّب هذا النشاط خطابا رياضيّاتيا، يمكن أن يتّخذ أشكالا شتّى، كأن يكون شفاهيّا أو مكتوبا مثلا. لكن يبقى الخطاب المكتوب هو الأساس، وعليه يدور فحوى المقال الحاضر. نجده مستعملا في كتب الرياضيات سواء أكانت مدرسيّة أو جامعيّة أو عامّة، وكذا في المقالات البحثيّة والمراسلات التي يتبادلها الرياضياتيّون فيما بينهم، بل وفي النتاجات المكتوبة للتلاميذ والطلبة.

كثيرة هي مواطن صعوبة الفهم في الرياضيات مصدرها سوء الإحاطة بالتعبير والضعف في التحكّم فيه، إن عن جهل أو تجاهل أو تقصير ...

إنّ التعبير الرياضياتيّ في مختلف مراحل التعلّم أمر أساسيّ لا تحتاج أهميته إلى إثبات، غير أنّ استخدامه يمثّل مشكلة كبيرة لدى المعلّمين والمتعلّمين. يتجلّى ذلك في عدم إتقان ضوابط اللغة الطبيعيّة الواصفة، من نحو وصرف أو كليهما، وكذا القواعد التعبيريّة الرياضياتيّة من منطق ورموز، وعلامات وقف إلخ ..،

1. من وظائف التعبير

للتعبير وظائف مختلفة في حياة الإنسان. إنّه يسمح بإيصال الأفكار واضحة بعد إعادة صوغها؛ بالإضافة إلى ذلك يلعب أحيانا دورا خوارزميّا في ميادين معيّنة، لا سيّما العلميّة منها: الرياضيات والإعلاميات على وجه الأخصّ. يكون أساس استعمال التعابير بالاستعداد الذكيّ والقدرة على استبدال الرموز وتحويلها إلى أفكار وإخراجها إلى صورة واضحة. يمكن في هذا الصدد أن نشير إلى أنّ:

أ. كلّ لغة سواء أكانت عامية أو فصحى، عربيّة أو أعجمية، تعبير.

ب. نظام النوطة الموسيقيّة تعبير يرمز لأحاسيس الصوت باستخدام علامات مرئيّة يمكن تركيبها على الورق دونما لجوء إلى الإصغاء.

جـ. التواصل في لعبة الشطرنج كتابيّا من قبل أنظمة التدوين تعبير، حيث توصف الحركة بكلّ وضوح ودون التباس رغم غياب لوحة الشطرنج وقطعها، وليس بالضرورة معرفة اللعب جيّدا أم سيّئا من أجل إعادة الحركة الصحيحة لانتقال الجزء المعلن.

د. برامج استخدام لغات البرمجة المختلفة الحديثة لصياغة المهام التي يتعيّن القيام بها على جهاز الكمبيوتر؛ تعبير...

2. دوافع دراسة التعابير

يمكن النظر إلى هذه الدراسة من عدّة زوايا:

- علم البلاغة والدراسات الأدبيّة: يسلّط الضوء على الاستخدام الجيّد للغة،
- اللسانيات: كفرع من علم الاجتماع، يعالج لغات مستعملة في مجتمع معيّن.
- علم النفس وعلم الأحياء: بدراستهما للظواهر الفيزيولوجيّة التي تسمح بالتعبير.
- النحو: باهتمامه بالتركيب الشكليّ للغات، إذ يحدّد القواعد التي تسمح بتجميع العلامات للحصول على نصوص صحيحة. يمكن أن يكون التجميع صحيحا نحويّا، لكنّه يأخذ انتقادات من وجهة نظر علم الدلالة.
- المنطق: باهتمامه بتحليل اللغة، من حيث أنّ اللغة العادية غالبا ما تسبّب أخطاء في التفكير لعدم دقّتها.
- علم الدلالة وهو علم المعنى: يفحص الشروط المطلوبة التي تعطي المعنى للنصّ الصحيح نحويا.

3. الدور الخوارزميّ للتعبير

يعتبر استخدام الرموز ثورة حقيقيّة في الرياضيات. إنّها تمكّن من الاقتصاد في التعبير، نرى الآن كم من الصعب الاستغناء عنه.

ما للرمز في العموم سوى دور الاختصار والاختزال مع الوضوح. يلجأ إليه لمّا تضيق اللغة العادية.

عرف الترميز سيرورة بطيئة من ديوفنس (القرن 3) مرورا بـ فيات وديكارت (القرن 16). يأتي في مقدّمة الخوارزميّين والرياضيّاتيّين الذين مالوا بالخصوص إلى اختراع أنظمة خصبة للترميز العالم الألماني ليبنيز (1646-1716). لقد اهتمّ مبكّرا بتصميم منطق خاضع للقواعد الجبريّة، وأدخل المحدّدات وتصوّر آلة حاسبة تحقّق وتعطي نتائج الضرب. وما أعمال نيوتن (1650-1596) بأقلّ أهميّة. جاء جبر المنطق والحساب البوليّ من قبل جورج بول (1864.1815) ليوسّع حقل البحث ويفتح آفاقا أرحب للترميز.

4. نظرة عامة حول وصف التعابير

يتضمّن إنشاء تعبير مراحل شتى: وصف الإشارات، التجميعات، النحو وعلم الدلالة.

- الإشارات والرموز

من بين مميّزات التعبير الرياضياتيّ الكبرى حضور الرموز فيه. ينبغي التنبيه إلى أنّ هذا التميّز حديث الظهور نسبيّا في تاريخ الرياضيات. ليس له وجود فعليّ قبل القرن الخامس عشر. فلو أنّك تصفّحت كتبا في الرياضيات للأقدمين لدهشت لتسلسل صفحات عدّة باللغة الطبيعيّة العادية، لا يتضمّن
أيّ منها أدنى رمز باستثناء الأرقام والأشكال الهندسيّة. ليست قراءتها بالأمر الهيّن.

- التجميعات

إذا ما قمنا بكتابة جملة من الحروف (مع الترخيص بتكرار حرف) على خطّ أفقيّ من اليسار إلى اليمين أو من اليمين إلى اليسار، نقول عنها تجميعات. في الواقع، تتعرّض هذه الكتابة الخطّية للعديد من التناقضات. تفرض أبعاد الورقة علينا العودة إلى السطر، والانتقال إلى الصفحة الموالية. اللغات السامية تكتب من اليمين إلى اليسار وتكتب بعض اللغات الآسيوية عموديّا. الرياضيات تستخدم التجميعات غير الأفقية: الكسور، الأسس، المخطّطات السهميّة... الخ.

- النحو

إنّ التجميعات الخطّية المؤلّفة من قبل كاتب أمّي يرقن بعشوائيّة على الآلة الكاتبة، لا تشكّل بَعْدُ تعبيرا.
يكمن هدف النحو في تحديد معنى تجميع ما، يطلق عليه تجميعا صحيح التكوين؛ من أجل هذا يميّز بعض التجميعات ووظيفتها النحويّة وخضوعها لقواعد التكوين.

- الدلالة

النصّ الصحيح نحويّا لا يوصل معلومات إلاّ إذا كان المرسل يمنح معنى والمستقبل يفهمه أو يستعمله. يدرس علم الدلالة التلاؤم بين الدالّ والمدلول. فمثلا، في لغة الموزعات الآلية، الدالات هي الأوزان وأبعاد القطع النقديّة التي تدخل في الثغرات أو الثقوب، والمدلولات هي مختلف السلع التي على الأجهزة تسليمها.
يقود علم الدلالة إلى التمييز من بين التجميعات الصحيحة نحويّا، تلك التي يمكن منحها دلالة. إنّها التجميعات الدالّة (أو الصحيحة دلالاتيّا). نقول بهذا الصدد بشأن كائن رياضياتيّ إنّه معرّف أو له معنى. يتعلّق هذا المفهوم بالقدرات والمستوى التكوينيّ للمتخاطبين، وكذا بالاتفاقيات الدلالاتيّة الموضوعة سلفا.

5. تجاوزات في التعبير

من المحبّذ ألاّ يعتري التعبير الرياضياتيّ العاديّ كثير من التجاوزات التعبيريّة. فمثلا، نكتب $\sin^2 x$ بدل $(\sin x)^2$ اصطلاحا. كثير الحدود $1\times X^2+2\times X^1+3\times X^0$ يكتب اتّفاقا X^2+2X+3. لو طلبنا من تلميذ تعيين معامل X^2 (درجة $2X$ على التوالي)، فإنّ التلميذ ناقص الخبرة عندما يلاحظ غياب العامل العدديّ (الأسّ على التوالي) يعطي الجواب " 0 ". أيكون هذا داعيا للومه؟.
إنّ تبرير معظم التجاوزات التعبيريّة يكمن في اعتبارات خارجة عن الرياضيات. فطباعة الكتب العلميّة التي، تزخر بعلامات ورموز خاصة، مكلّفة جدّا. يعدّ الأمر أحد المؤثّرات في اللجوء إلى تجاوزات ويستدعي بدائل تكون اقتصاديّة.

6. في بعض إبهامات وإشكالات التعبير

أ. مفهوم الازدواجيّة اللغويّة

يعني مصطلح ازدواجيّة اللغة، وجود أكثر من مستويين للغة جنبا إلى جنب في مجتمع من المجتمعات؛ بحيث يستخدم كلّ مستوى من مستويات اللغة في أغراض معيّنة، ويسمّي هذا الوضع اللغويّ في هذه الحالة " الازدواجيّة اللغويّة ". يكون أحد هذه المستويات اللغويّة عادة أعلى مركزا، يسمّى اللّغة المعياريّة أو الفصحى، وتستعمل في الكتابات الرسميّة والتعليم والعبادة. أمّا المستوى الآخر فهو يعتبر عادة أقلّ رتبة، ويستعمله أفراد الأسرة في حياتهم اليوميّة ومعاملاتهم الاجتماعيّة وفي مواقف الحوار المختلفة، ويسمّى باللّغة الدارجة أو العامية.

لهذه اللغة العامية، رغم تحصّن واستئناس المتعلّم بها، دخل في كثير من الجوانب والحالات في إيصال مفهوم رياضياتيّ إلى المخاطب مبهما. والإشكال يزيد تعقيدا في بلد مثل الجزائر تسكنها "عاميات متعدّدة". إلى جانب إشكالية اللغة العامية، تأتي اللغة الفرنسيّة في العقدين الأخيرين، برموزها، بل ومصطلحاتها أحيانا، وطريقة كتابتها وتداخلها مع النصّ العربيّ، لتعقّد من الأمر وتخلق فوضى في النصّ كتابة ومعنى.

ب. في علامات الوقف والترقيم

علامات الوقف والترقيم رموز وعلامات تعدّ جزءا أساسيّا من فنّ الكتابة. فهي تساعد على بيان العلاقات المنطقيّة بين أجزاء الجملة من ناحية، وبين عدد من الجمل من ناحية أخرى، أي أنّها تقوم بدور المحطّات في قراءة النصّ، فتسهّل قراءته وفهمه من خلال دورها البارز في المساهمة في ترتيب الأفكار، ومنع اختلاطها وتزاحمها، وبالتالي سدّ الطريق أمام الفهم الخاطئ لها. أكاد أجزم أنّ هناك اتّفاقا على أنّ النصّ المكتوب من قبل كثير من طلبتنا أينما تواجدوا، في التدرّج أو في ما بعد التدرّج، مبهم لا يكاد يبين؛ فهو يشكو عجزا فادحا من حيث افتقاره إلى هذه العلامات الوقفيّة. الأدهى والأخطر أنّ البعض من هؤلاء الطلبة يستخفّ بها ويعدّها ثانوية غير ضروريّة.

فيما يلي سرد تذكيريّ لأهمّ هذه العلامات. لا يسمح الإطار بالتوقّف عند كلّ واحدة. فمن الميسور لكلّ قارئ مستزيد العثور على مساند إيضاحها.

النقطة	(.)
النقطتان الفوقيّتان	(:)
الفاصلة	(،)
الفاصلة المنقوطة	(؛)
علامة الاستفهام	(؟)
علامة التعجب	(!)
علامة الحذف	(...)
علامة التنصيص	(« »)
القوسان	()
القوسان المعقوفتان	[ ]
المطّة	(ـ)
الشرطة المائلة	(/)

خاتمة

إنّ للتعبير الدور البارز والمحرّك في العملية التعليميّة. لقد بات الآن حقيقة مؤكّدة لا يرقى إليها شكّ. إنّه الضامن الأساسيّ للنجاح لدى المعلّمين والمتعلّمين على حدّ سواء.

مراجع

1. G. Glaeser : Mathématiques pour l'élève-professeur, Hermann, 1971.
2. J. Picard : Comment faire pour que les élèves comprennent et utilisent le langage mathématique? Académie de Montpellier, 2007.
3. الازدواجيّة اللغويّة: مجلّة اللغة والاتّصال، جامعة وهران- الجزائر، العدد 02، أفريل 2006م.

الأعداد القابلة للإنشاء (1)

حمزة خليف
أستاذ الرياضيات (متقاعد)

مقدمة

بادئ ذي بدء، تجدر الإشارة إلى أن كل الإنشاءات الهندسية الواردة في كتب إقليدس الثلاثة عشر، "أصول إقليدس"، والتي تمثل مرآة تلك الحقبة اليونانية تمت بالمسطرة والبيكار (المِذْور). وحتى قبل إقليدس، اهتم الرياضياتيون اليونانيون بالمسطرة والبيكار، لكنهم سرعان ما اصطدموا بعقبات كبرى حين تبيّن لهم وجود مسائل لم يفلحوا في حلها بهاتين الأداتين. من بين هذه المسائل التي ذاع صيتها: تربيع الدائرة، وتضعيف المكعب وتثليث الزاوية، ثمّ انضمت إليها لاحقا مسألة إنشاء المضلعات المنتظمة.

كانت ثقة الرياضياتيين اليونانيين بالمسطرة والبيكار كبيرة إلى حد بعيد، حتى أنهم لم يفكروا البتة في استحالة مثل هذه الإنشاءات. لم تتم الإجابة الدقيقة عن هذه المسائل إلا في بداية الثلث الثاني من القرن التاسع عشر.

يبدو أن المبرر الأول لتفضيل اليونانيين للمسطرة والبيكار هو أن أبسط المنحنيات الهندسية هي المستقيم والدائرة وأن أبسط الأدوات لإنشائهما هي، دون ريب، المسطرة والبيكار.

لقد بيّن ديكارت (1637) إمكانية إنشاء القطع المستقيمة التي أطوالها

$$a+b\ ،\ |a-b|\ ،\ ab\ ،\ \frac{a}{b}\ ،\ \sqrt{a}$$

انطلاقا من قطعتين طولاهما a و b بالمسطرة والبيكار.

في 1837 نجح بِانتزل (Vantzel)، بعد استئناف أعمال ديكارت ومستعينا بلغة المعادلات الجبرية التي طوّرها آبل (Abel)، في تقديم برهان مُرضٍ لاستحالة حلّ مسألتي تضعيف المكعب وتثليث الزاوية. كما سمح عمله "أبحاث في وسائل معرفة ما إذا كانت مسألة هندسية قابلة للحل بالمسطرة والبيكار" بلستكمال عمل قاؤس (Gauss) حول المضلعات المنتظمة القابلة للإنشاء (بالمسطرة والبيكار). كما بيّن في ما يخص مسألة تربيع الدائرة أن قيمة العدد π ليست الأهم، بل طبيعة هذا العدد، أي هل هذا العدد جبري أم متسام؟ وقد أجاب عن هذا السؤال ليندمان (Lindemann) سنة 1882.

1. النقط والأعداد القابلة للإنشاء

هيّا بنا نُعرّف بدقة مفهوم نقطة قابلة للإنشاء بالمسطرة والبيكار.

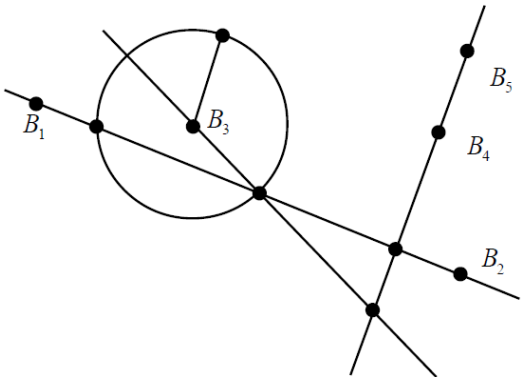
الفكرة هي الانطلاق من مجموعة منتهية من النقط الأساسية

$$\mathscr{B} = \{B_1, B_2, ..., B_n\}.$$

نستعمل نوعين من الإنشاء فقط (الشكل 1.1) :

- رسم المستقيم الذي يشمل نقطتين من $\mathscr{B}$ بالمسطرة.
- رسم الدائرة التي مركزها نقطة من $\mathscr{B}$ ونصف قطرها المسافة بين نقطتين من $\mathscr{B}$ بالبيكار.

نقط تلاقي المستقيمات والدوائر المرسومة بهذه الطريقة تعطي نقطا أخرى يمكن استعمالها لإنشاء مستقيمات ودوائر مثل نقط المجموعة $\mathscr{B}$ الأساسية.



الشكل 1.1

على سبيل المثال، المستقيمان (B_1B_2) و (B_4B_5) قابلان للإنشاء. وكذلك الحال بالنسبة إلى الدائرة التي مركزها B_3 ونصف قطرها B_4B_5.

نستخلص من ذلك أن تعريف نقطة قابلة للإنشاء، انطلاقا من المجموعة $\mathscr{B}$ ، يجب ألا يستعمل نقط $\mathscr{B}$ فقط، بل أيضا النقط المنشأة انطلاقا من $\mathscr{B}$.

يقودنا ذلك إلى التعريف الآتي:

1.1. تعريف

ليكن $\mathscr{P}$ مستويا إقليديا و $\mathscr{B}$ مجموعة منتهية من $\mathscr{P}$ تشمل نقطتين على الأقل.

▶ نقول إن النقطة M من $\mathscr{P}$ قابلة للإنشاء بالمسطرة والبيكار، انطلاقا من $\mathscr{B}$ ، إذا وُجدت متتالية M_1 ، M_2 ، ...، $M = M_n$ من $\mathscr{P}$ ، تنتهي في M بحيث، من أجل كل j محصور بين 1 و n ، تكون M_j نقطة تلاقي:

- إما مستقيمين؛
- وإما مستقيم ودائرة؛
- وإما دائرتين؛

بحيث تكون هذه المستقيمات والدوائر ناتجة من استعمال المجموعة $\mathscr{E}_j = \mathscr{B} \cup \{M_1, ..., M_{j-1}\}$ بالطريقة الآتية:

- كل مستقيم يشمل نقطتين مختلفتين من $\mathscr{E}_j$ ؛
- كل دائرة تكون ممركزة في نقطة من $\mathscr{E}_j$ ويكون نصف قطرها المسافة بين نقطتين من $\mathscr{E}_j$.

▶ كل مستقيم يشمل نقطتين قابلتين للإنشاء يدعى مستقيما قابلا للإنشاء.

▶ كل دائرة مركزها نقطة قابلة للإنشاء ونصف قطرها المسافة بين نقطتين قابلتين للإنشاء تدعى قابلة للإنشاء.

2.1. ملحوظة

كل نقطة من $\mathscr{B}$ ، تقبل الإنشاء بالمسطرة والبيكار انطلاقا من نقطة من $\mathscr{B}$. يمكن اعتبار ذلك مجرد اصطلاح مكمّل للتعريف السابق، كما يمكن الاستغناء عن هذا الاصطلاح لأنه إذا كانت A ، B نقطتين من $\mathscr{B}$ فإن B ، على سبيل المثال، نقطة تلاق للمستقيم (AB) مع الدائرة التي مركزها A ونصف قطرها AB.

نكتفي في هذا العرض بالحالة التي تكون فيها المجموعة $\mathscr{B}$ أبسط ما يمكن، أي مختصرة على نقطتين.

من أجل ذلك نُثبّت نقطتين O و I من المستوي $\mathscr{P}$، أي نختار $\mathscr{B}=\{O,I\}$ بحيث يكون $\overline{OI}=1$ (بعد اختيار وحدة طول ومنحى).

3.1. تعريف

نقول إن عددا حقيقيا يقبل الإنشاء إذا كان (هذا العدد) أحد إحداثيي نقطة قابلة للإنشاء في المعلم $(O;I,J)$.

4.1. أمثلة

الدائرة التي مركزها O ونصف قطرها OI تلتقي المستقيم (OI) في نقطة ثانية I' بحيث $\overline{OI'}=-1$.

الدائرة التي مركزها O ونصف قطرها II' تلتقي المستقيم (OI) في نقطتين I_2' و I_2 بحيث $\overline{OI_2}=-\overline{OI_2'}=2$.

نستطيع أن نستمر هكذا للحصول على كل نقطة فاصلتها $n\in\mathbf{Z}$، كتلاقي دائرة مركزها O ونصف قطرها عدد صحيح r، $n-1\geq r$، مع المستقيم (OI).

الدائرة التي مركزها I ونصف قطرها 2 تلتقي الدائرة التي مركزها I' ونصف قطرها 2 في نقطتين J و J' بحيث يتعامد المستقيم (JJ') مع المستقيم (OI) في O وبحيث يكون $\overline{OJ}=-\overline{OJ'}=1$.

يمكن الحصول على كل نقط المستقيم (JJ') التي تراتيبها في المعلم $(O;I,J)$ أعداد صحيحة كنقط تلاقي دوائر أنصاف أقطارها أعداد صحيحة (ش.1.4.1).

نستخلص من ذلك أن كل الأعداد الصحيحة قابلة للإنشاء.

يمكن الحصول على كل نقط المستوي التي إحداثياتها في المعلم $(O;I,J)$ أعداد صحيحة بهذه الطريقة، أي كنقط تلاقي مستقيمات ودوائر خاصة.

الدائرتان اللتان مركزاهما I و I' ونصف قطرهما $II'=2$ تلتقيان في نقطة G ترتيبها موجب. لدينا $\overline{OG}=\sqrt{3}$، ومنه فالعدد $\sqrt{3}$ قابل للإنشاء.

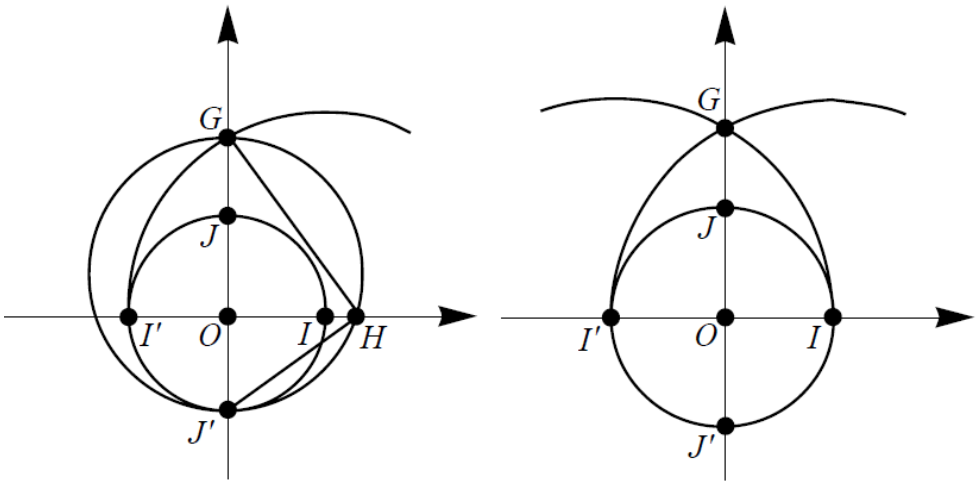
الدائرة التي قطرها $J'G$ تلتقي محور الفواصل في نقطة H فاصلتها موجبة تحقق العلاقة (الشكل 2.4.1)

$$OH^2=OG\times OJ'.$$

ومنه

$$\overline{OH}=\sqrt[4]{3}.$$

أي أن العدد الحقيقي $\sqrt[4]{3}$ قابل للإنشاء.



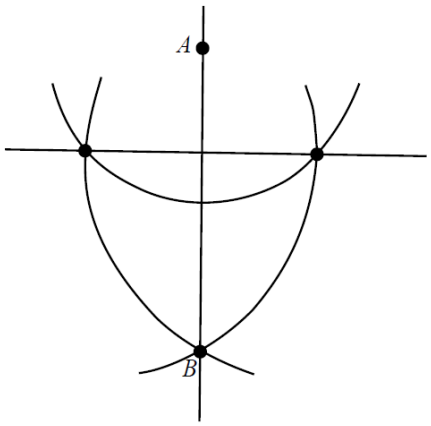
الشكل 1.4.1 الشكل 2.4.1

5.1. نتائج

لدينا النتائج الآتية:

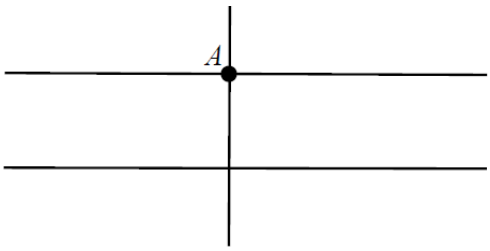
نتيجة 1- إذا كانت النقطة A قابلة للإنشاء فإن نظيرتها بالنسبة إلى O قابلة للإنشاء.

نتيجة 2- كل مستقيم يتعامد مع مستقيم قابل للإنشاء ويشمل نقطة قابلة للإنشاء هو مستقيم قابل للإنشاء (الشكل1.5.1).



الشكل 1.5.1

نتيجة 3- كل مستقيم يوازي مستقيما قابلا للإنشاء ويشمل نقطة قابلة للإنشاء هو مستقيم قابل للإنشاء (الشكل 2.5.1).

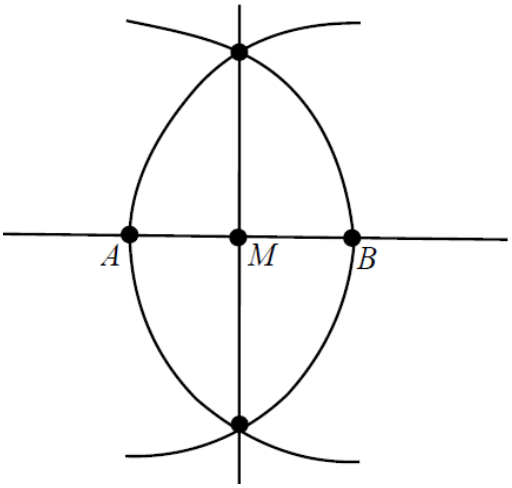


الشكل 2.5.1

نتيجة 4- نظيرة نقطة قابلة للإنشاء بالنسبة إلى مستقيم قابل للإنشاء نقطة قابلة للإنشاء.

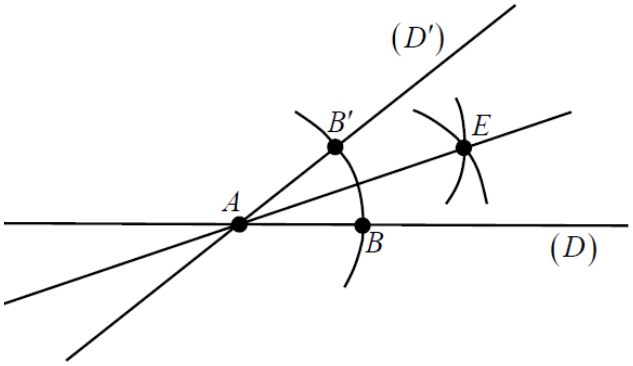
نتيجة 5- منتصف ثنائية نقطية "قابلة للإنشاء" قابل للإنشاء.

نتيجة 6- إذا كانت النقطتان A و B قابلتين للإنشاء فإن محور القطعة $[AB]$ قابل للإنشاء (الشكل 3.5.1).



الشكل 3.5.1

نتيجة 7- منصف زاوية مستقيمين قابلين للإنشاء قابل للإنشاء (الشكل 4.5.1).

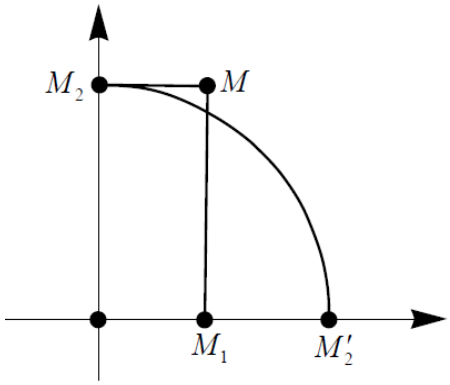


الشكل 4.5.1

نتيجة 8- يكون العدد r قابلا للإنشاء إذا وفقط إذا كانت نقطة محور الفواصل (التراتيب على التوالي) ذات الفاصلة (الترتيب على التوالي) r قابلة للإنشاء.

إذا كانت نقطة محور الفواصل ذات الفاصلة r قابلة للإنشاء فإن r قابل للإنشاء حسب التعريف.

إذا كان r قابلا للإنشاء فإنه أحد إحداثيي نقطة M قابلة للإنشاء. M_1 و M_2 قابلان للإنشاء. إذا كان r فاصلة لـ M فإنه فاصلة لـ M_1 وإذا كان ترتيبا لـ M فإنه ترتيب لـ M_2 وأيضا فاصلة لـ M_1'. ومنه النتيجة (الشكل 5.5.1).



الشكل 5.5.1

نتيجة 9- إذا كانت النقطة A قابلة للإنشاء وكان العدد الحقيقي r قابلا للإنشاء فإن الدائرة التي مركزها A ونصف قطرها $|r|$ قابلة للإنشاء.

6.1. تنبيه

نقط مستقيم قابل للإنشاء ليست كلها قابلة للإنشاء.

7.1. توطئة

إذا كان r عددا حقيقيا قابلا للإنشاء فإنه توجد نقطة A من المستقيم (OI) بحيث $\overline{OA}=r$.

2. حقل الأعداد القابلة للإنشاء

1.2. مبرهنة

مجموعة الأعداد القابلة للإنشاء $\mathscr{C}$ حقل جزئي من حقل الأعداد الحقيقية $\mathbf{R}$ ، مستقر بالنسبة إلى الجذر التربيعي.

الإثبات

يكون حقل جزئي K من $\mathbf{R}$ مستقرا بالنسبة إلى الجذر التربيعي إذا صح الاستلزام الآتي:

$$(a\in K, a\geq 0)\Rightarrow \sqrt{a}\in K.$$

العددان 1 و 0 ينتميان إلى $\mathscr{C}$ ، نتيجة لملحوظة سابقة.

1) إذا كان a عنصرا من $\mathscr{C}$ فإن $-a$ عنصر من $\mathscr{C}$.

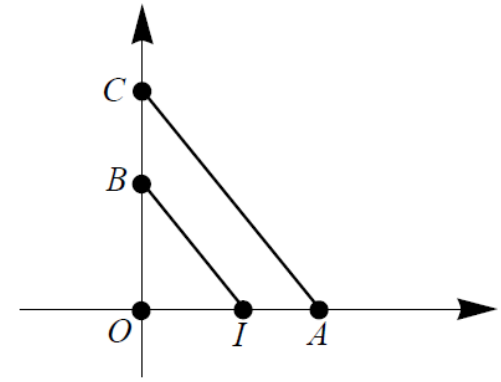
لتكن A النقطة من محور الفواصل ذات الفاصلة a ، الدائرة التي مركزها O ونصف قطرها OA تلتقي محور الفواصل في نقطة ثانية A' فاصلتها $-a$.

2) إذا كان a و b ينتميان إلى $\mathscr{C}$ فإن $a+b$ ينتمي إلى $\mathscr{C}$.

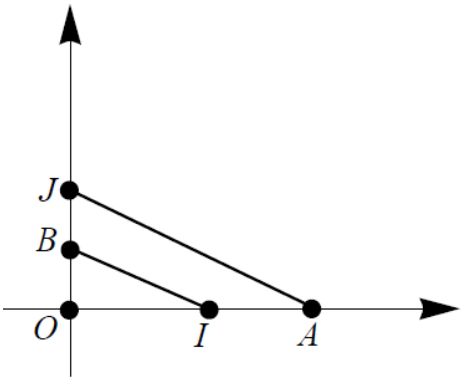
لتكن A و B نقطتي محور الفواصل بحيث $\overline{OA}=a$ و $\overline{AB}=b$. النقطة A قابلة للإنشاء حسب النتيجة 8 والنقطة B قابلة للإنشاء حسب النتيجة 9، باستعمال الدائرة التي مركزها A ونصف قطرها $|b|$. لدينا $\overline{OB}=a+b$.

ومنه $a+b\in\mathscr{C}$.

3) إذا كان a,b ينتميان إلى $\mathscr{C}$ فإن ab ينتمي إلى $\mathscr{C}$.



الشكل 1.1.2



الشكل 2.1.2

نفرض أن لا أحد من العددين منعدم. لتكن النقطة A من محور الفواصل بحيث $\overline{OA}=a$ والنقطة B من محور التراتيب بحيث $\overline{OB}=b$ (الشكل 1.1.2).

المستقيم الموازي لـ (IB) والمنشأ من A يلتقي محور التراتيب في C. من مبرهنة طالبس ينتج

$$\frac{\overline{OC}}{\overline{OB}}=\frac{\overline{OA}}{\overline{OI}}.$$

ومنه $\overline{OC}=ab$.

4) إذا كان $a\in\mathscr{C}$ و $a\neq 0$ فإن $\frac{1}{a}\in\mathscr{C}$.

لتكن A النقطة من محور الفواصل بحيث $\overline{OA}=a$. المستقيم الذي يوازي المستقيم (AJ) والمنشأ من I يلتقي محور التراتيب في النقطة B (الشكل 2.1.2). من مبرهنة طالبس ينتج

$$\frac{\overline{OB}}{\overline{OJ}}=\frac{\overline{OI}}{\overline{OA}}.$$

ومنه

$$\overline{OB}=\frac{1}{a}.$$

5) إذا كان $a\in\mathscr{C}$ و $0\leq a$ فإن $\sqrt{a}\in\mathscr{C}$.

نفرض $0<a$ ، ولتكن النقطة A من محور الفواصل بحيث $\overline{IA}=a$ و M منتصف الثنائية النقطية (O,A) ، (الشكل 3.1.2). المستقيم العمودي على محور الفواصل والذي يشمل النقطة I يلتقي الدائرة التي مركزها M ونصف قطرها OM في نقطة B ترتيبها موجب. ونظرا إلى أن المثلث OBA قائم فإن

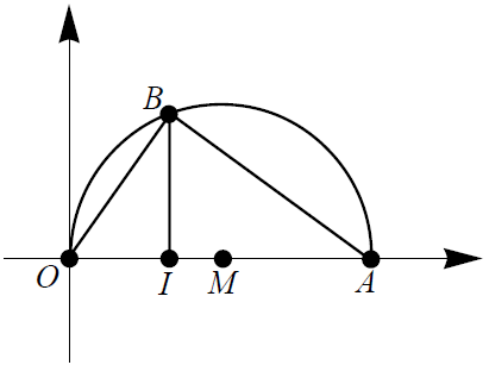
$$IB^2=OI\,.\,IA\,.$$

ومنه فإن

$$IB=\sqrt{a}$$

أي أن $\sqrt{a}$ قابل للإنشاء لأنه ترتيب نقطة قابلة للإنشاء.

ومنه صحة المبرهنة.



الشكل 3.1.2

2.2. ملحوظة

نذكّر أن $\mathbf{Q}$ هو أصغر حقل جزئي من $\mathbf{R}$ (بالنسبة إلى علاقة الاحتواء). بالفعل، ليكن K حقلا جزئيا من $\mathbf{R}$. لدينا $1 \in K$.

استقرار K بالنسبة إلى الجمع يستلزم $\mathbf{N} \subset K$ والاستقرار بالنسبة إلى النظير يستلزم $\mathbf{Z} \subset K$ ؛ أما الاستقرار بالنسبة إلى الجداء والمقلوب فيستلزم $\mathbf{Q} \subset K$. يستخلص من ذلك أن $\mathbf{Q} \subset \mathscr{C} \subset \mathbf{R}$.

المراجع

1. M. Abdeldjaouad: Nombre constructibles, Association Tunisienne des Sciences Mathématiques, Miftah Al Hissab, 69, Juin 1985.
2. J.-C. Carrega, Théorie des corps, La règle et le compas, Hermann, 1989.
3. R. & A. Douady: Algèbre et théories galoisiennes, tome 2, Théories galoisiennes, CEDIC/Fernand Nathan, 1979.
4. J.-P. Escofier: Théorie de Galois, Dunod, 2000.
5. H. Lebesgue: Leçons sur les constructions géométriques, Jacques Gabay, 1987.
6. M. Reversat & B. Zhang: Cours de théorie des corps, Université Paul Sabatier de Toulouse, 2003.

البحث عن حل مسألة

عبد الله رحماني
مفتش الرياضيات ومدرّب التلاميذ المشاركين في المنافسات الأولمبية

إن تقدم الأمم والشعوب في الوقت الحاضر لا يعتمد على ما لديهم من إمكانات مادية فحسب، بل يعتمد أيضا على ما لديهم من إمكانات بشرية تتمثل في الأفراد المبتكرين المبدعين الذين لديهم القدرة على مواجهة المشكلات والعمل على حلها في جميع ميادين الحياة. إنه لا يوجد شيء يمكن أن يسهم في رفع مستوى رفاهية الأمم والشعوب أكثر من رفع مستوى الأداء الإبداعي لدى هذه الشعوب.

وهذا ينطبق على مجتمعنا الذي هو في أمس الحاجة إلى أفراد مبدعين قادرين على تقديم الحلول لمشكلات الحياة اليومية، لذا ينبغي أن تصبح تنمية قدرات التفكير الإبداعي لدى الطلاب أحد الأهداف التربوية الهامة التي تسعى إلى تحقيقها مناهجنا التربوية، وفي مقدمتها منهاج مادة الرياضيات.

لكن المتأمل في الواقع الميداني لعملية تدريس الرياضيات في أي مرحلة من مراحل الدراسة يلاحظ تدني التحصيل لدى التلاميذ، بل هناك الكثير ممن يجدون صعوبة بالغة فيما هو بسيط للغاية، كما أن هناك اعدادا كبيرة من التلاميذ ينفرون من مادة الرياضيات.

لقد حظي تدريس الرياضيات باهتمام التربويين ولازال كذلك في كل دول العالم، وهذا لدور هذه المادة الدراسية في تنشيط العقل البشري ودورها في تحقيق النجاح للأفراد والأمم التي أدركت هذا الأمر. ومن ثمّ صارت مختلف الدول، لاسيما المتقدمة منها، تتسابق في التخطيط لأحدث المناهج الرياضياتية وإبداع أجود الطرق لتنفيذها. من المهم أن نلاحظ بأنه مهما يكن لتلك الدول من أهداف وسياسات وخطط تربوية ومناهج وتنظيمات إدارية ووسائل، فإن ذلك كله لا يفوق الدور الأساسي والإيجابي الذي يقوم به الأستاذ في تسخير تلك الإمكانيات للوصول للأهداف المنشودة. أليس الأستاذ هو صانع التدريس، وهو أداته التخطيطية والتنفيذية والتقويمية؟ لذا وجب الاهتمام به وتزويده بأحدث الطرق والاستراتيجيات التي تؤهله لجعل المتعلم ينتج ويولد المعرفة بنفسه. إن "جودة أي نظام تعليمي تقاس بمستوى أساتذته" كما أشار إلى ذلك تقرير منظمة اليونسكو لعام 2016.

إذا ما أمضى أستاذ الرياضيات الوقت في تمرين الطلاب على عمليات تكرارية فإنه يقتل شوقهم ويعرقل نموّ أذهانهم ويضيع عليهم الفرصة أما إذا هو أثار حب الاستطلاع عندهم بمسائل تتناسب مع معلوماتهم وساعدهم على حل هذه المسائل عن طريق أسئلة مشجعة فقد يكسبهم تذوقا للتفكير المستقل وبعضا من وسائله.

1. كيف نبحث عن حل مسألة؟

أثناء البحث عن حل مسألة كثيرا، ما نغير وجهة نظرنا والزاوية التي ننظر منها إلى المسألة، فننتقل من موقف إلى موقف، مرة بعد مرة. وفهمنا للمسألة قد يكون في البدء ناقصا، فإذا تقدمنا في الحل تتغير وجهة نظرنا، وهي تتغير أيضا عندما نشارف اكتشاف الحل.

تتمثل مراحل حل مسألة حسب جورج بوليا في أربع مراحل هي :

المرحلة 1: فهم المسألة، وهنا ينبغي أن نتبين المطلوب بوضوح. يجب أن نفهم المسألة. فلا شيء أسوأ من مباشرة العمليات الحسابية أو الانشائية قبل فهم المسألة : ما المجهول؟ ما المعطيات؟ ما الشرط؟ هل يمكن أن يتحقق

الشرط؟ هل يكفي الشرط لتعيين المجهول ...أم هناك نقص؟ ارسم شكلا، ضع الرموز المناسبة، افصل أجزاء الشرط بعضها عن بعض...

المرحلة 2: فهم الروابط بين عناصر المسألة وصلة المجهول بالمعطيات كي تتجلى لنا فكرة الحل ورسم خطته. عليك بإيجاد الرابطة بين المجهول والمعطيات، وابتكار الخطة: هل صادفتك المسألة من قبل؟ هل رأيتها بشكل آخر؟ هل تعرف مسألة ذات صلة بمسألتك؟ هل تعرف مبرهنة قد تفيدك؟ انظر إلى المجهول وحاول أن تتذكر مسألة فيها هذا المجهول أو مجهول يشبهه.

إن كانت هناك مسألة ذات صلة بمسألتك، وقد حلت من قبل، هل يمكنك استعمالها؟ هل يمكنك أن تستعمل نتيجتها؟ هل يمكنك استغلال طريقتها؟ ينبغي عليك أن تُدخل عنصرا جديدا مساعدا كي يمكنك استعمالها. إذا لم تستطع أن تحل هذه المسألة فجرب أن تحل في البداية مسألة ذات صلة بها.

هل تذكر مسألة ذات صلة بها أسهل حلا؟ أو مسألة أعم؟ أو مسألة أخص؟ هل يمكنك أن تحل جزءا من المسألة؟ خذ جزءا من الشرط وأهمل الباقي. فإلى أي حد يتحدد الآن المجهول؟ كيف يمكنه أن يتغير؟ هل يمكنك أن تستنتج شيئا مفيدا من المعطيات؟ هل يمكنك أن تفكر في معطيات أخرى مناسبة لإيجاد المجهول؟ إذا لزم الأمر، هل يمكنك أن تغير المجهول أو المعطيات أو كليهما إلى مجهول ومعطيات أقرب؟ هل استعملت كل المعطيات؟ هل استعملت الشرط كله؟ هل أخذت بعين الاعتبار كل المبادئ الجوهرية في المسألة؟

المرحلة 3: تنفيذ الخطة. نفذ خطت الحل، واثناء تنفيذ خطتك، انجز كل خطوة. هل يمكنك أن ترى بوضوح أن الخطوة صحيحة؟ هل يمكن أن تثبت صحتها؟

المرحلة 4: مراجعة الحل حين يكتمل ومناقشته. افحص الحل الذي حصلت عليه : هل يمكنك أن تحقق النتيجة؟ هل يمكنك أن تحقق الطريقة؟ هل يمكنك إيجاد النتيجة بطريقة أخرى؟ هل يمكنك أن تتصورها بسرعة؟ هل يمكنك استعمال النتيجة أو الطريقة في مسألة أخرى؟

2. مثالان

مثال1: اوجد قطر متوازي المستطيلات إذا عرفت طوله وعرضه وارتفاعه.

يمكن أن يجعلها المدرس مسألة ملموسة (قطر حجرة الدراسة التي هي متوازي مستطيلات يمكن قياس أو تقدير أبعادها). تُوجه هذه المسألة البسيطة لطلاب التعليم المتوسط بعد دراسة مبرهنة فيثاغورس.

اليك الحوار الذي قد ينشا بين المدرس والطلاب:

- **فهم المسألة:** ما المجهول؟ "قطر متوازي المستطيلات.

ما المعطيات؟ طول متوازي المستطيلات وعرضه وارتفاعه.

لنضع الرموز: ماذا نسمي المجهول؟ " x ". أيُّ رموز تختار للطول والعرض والارتفاع؟ " a ، b ، c ".

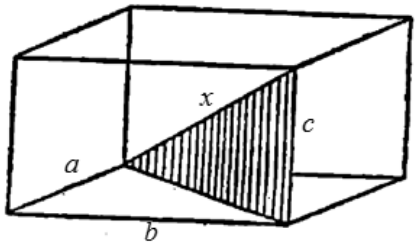
ما الشرط الذي يربط بين a ، b ، c ، x ؟ x قطر متوازي المستطيلات الذي أبعاده a ، b ، c.

هل الشرط يكفي لتعيين المجهول؟ نعم. فإذا عرفنا a ، b ، c نعرف متوازي المستطيلات، وإذا عرفناه يتعين قطره.

- **ابتكار الخطة:** ربما كانت المسافة بين فهم المسألة وابتكار خطة حلها مسافة طويلة وملتوية.

مما لا شك فيه أنه يتعذر الوصول إلى فكرة جيدة إن كانت معرفتنا للموضوع غير كافية. فالفكرة الجيدة تُبنى على الخبرة السابقة والمعارف المكتسبة. والذاكرة وحدها لا تكفي لجلب هذه الفكرة، ولا يمكن الحصول عليها إلا إذا استعدنا في الذهن بعض الحقائق المتعلقة بالموضوع: تجميع مواد البناء وحده لا يكفي لبناء البيت، بيد أن تشييده لا يتم بدون المواد اللازمة.

والمواد اللازمة لحل مسألة رياضياتية هي حقائق تتعلق بها حصلنا عليها من معارف سبق أن تعلمناها أو مسائل سبق أن حللناها أو مبرهنات سبق أن برهنا عليها. لذا فمن المناسب أن نبدأ بالسؤال: هل تعرف مسألة ذات صلة بمسألتك هذه؟



انظر إلى المجهول. هل تعرف مسألة ورد فيها هذا المجهول؟

حسنا. ما المجهول؟ قطر متوازي المستطيلات.

هل تعرف أي مسألة فيها هذا المجهول؟ كلا.

هل تعرف أي مسألة فيها مجهول يشبهه؟

انتبه إلى أن القطر هو قطعة مستقيم، ألم تحل مسألة مجهولها طول قطعة مستقيم؟

بطبيعة الحال، حللنا مسائل كهذه، مثل إيجاد طول ضلع قائم.

احسنت، فهنا مسألة ذات صلة بمسألتنا، وقد حُلت من قبل. فهل يمكن أن نستعملها؟

لاحظ أن المسألة التي تذكرتها تتعلق بمثلث، فهل في هذا الشكل مثلث؟

وهنا نأمل أن يكون هذا التلميح واضحا بما يكفي لاستحضار فكرة الحل بطريقة المثلث القائم. ولكن يجدر بالمدرّس أن يتوقع فشل هذا التلميح الصريح. وفي هذه الحالة، ينبغي أن يواصل في سرد التلميحات المناسبة. أتريد مثلثا في الشكل؟ ما نوع المثلث الذي تريده؟

هل تستطيع إيجاد القطر لو كان ضلعا في مثلث؟

فإذا توصل الطلبة بمساعدة المدرّس إلى إدخال العنصر المساعد الحاسم، وهو المثلث القائم الذي أحد أضلاعه ارتفاع متوازي المستطيلات والضلع الآخر قطر قاعدته (انظر الشكل أعلاه).

إنها فكرة صائبة أن نرسم هذا المثلث، وها قد حصلنا عليه فهل حصلنا على المجهول؟

المجهول وتر مثلث قائم، ونستطيع أن نوجده بواسطة مبرهنة فيثاغورس.

تستطيع ذلك عندما يكون ضلعا المثلث معلومين، فهل هما كذلك؟

أحدهما أعطي، وهو c ، والثاني لا يصعب إيجاده فهو وتر في مثلث قائم آخر.

احسنت. اذن فقد حصلت على خطة.

- **تنفيذ الخطة**: إن ابتكار الخطة، أي إدراك فكرة الحل، ليس بالأمر السهل. فهو يستدعي المعلومات التي سبق اكتسابها، ويحتاج إلى تركيز الذهن على الهدف. وأما تنفيذ الخطة فأسهل بكثير.

ليكن y قطر المثلث القائم الذي بعداه a ، b. لدينا $y^2 = a^2 + b^2$ و $x^2 = y^2 + c^2$. ومنه $x^2 = a^2 + b^2 + c^2$

إذن $x=\sqrt{a^2+b^2+c^2}$.

- **مراجعة الحل**: حتى أمهر الطلاب - عندما يحصلون على الحل ويكتبون خطواته- يقفلون دفاترهم، وبذلك يفقدون ناحية من أهم نواحي الحل وأكثرها إفادة. فهم إذا ما راجعوا الحل بعد اكتماله، وأعادوا النظر في النتيجة، وتفحصوها، وتمعنوا في الخطى التي أدت بهم إلى هذه النتيجة ستزداد معلوماتهم تركيزا ويزدادون مقدرة على حل المسائل.

مثال2: يجري الماء إلى وعاء مخروطي الشكل بسرعة v ، والوعاء على شكل مخروط دوراني قائم قاعدته أفقية ورأسه إلى الأسفل. إذا كان نصف قطر القاعدة R ، وارتفاع المخروط h ، فما سرعة ارتفاع الماء في المخروط عندما يكون عمقه y ؟ وما القيمة العددية للمجهول y عندما يكون $R=4u$ ، $h=3u$ ، $v=2u^3/m$ ، و $y=1u$ ؟

u وحدة طول معطاة. نفترض هنا أن الطلاب يعرفون أبسط مبادئ الاشتقاق وفكرة سرعة التغير.

ما المعطيات؟ في البداية، السؤال يقترح التغاضي عن القيم العددية ونعمل بالرموز، فنعبر عن المجهول بدلالة R ، h ، v ، y

ما المجهول؟ سرعة ارتفاع الماء عندما يكون عمقه y .

ما معنى ذلك؟ هل يمكن التعبير عنه بشكل آخر؟ السرعة التي يتزايد بها عمق الماء.

وما معنى هذا؟ هل يمكن التعبير عنه بشكل آخر جديد؟ سرعة تغير العمق.

هذا صحيح. سرعة تغير y . ما هي سرعة التغير؟ (ارجع إلى التعريف). المشتق هو سرعة تغير الدالة.

صحيح. والآن هل y دالة؟ قلنا علينا أن نتغاضى عن قيمة y العددية. فهل ترى أن y متغيرة؟

نعلم أن عمق الماء y يتغير مع الزمن. إذن y دالة لأي متغير؟ دالة للزمن t .

جيد. لنضع الرموز المناسبة. كيف نرمز إلى سرعة تغير y بالرموز الرياضية؟ $\frac{dy}{dt}$.

جيد. فهذا هو المجهول، والمطلوب أن نعبر عنه بالرموز R ، h ، v ، y . وأحد هذه الرموز هو السرعة. فما هو؟ v هو سرعة انسكاب الماء في الاناء. أيمكن التعبير عنه بصورة أخرى؟

v هو سرعة تزايد حجم الماء في الاناء. أيمكن التعبير عنه بصورة أخرى جديدة؟

كيف نكتبه بالرموز المناسبة؟ $v=\frac{dV}{dt}$. ما هي V ؟ هي حجم الماء عندما يكون الزمن t .

جيد. فالمطلوب أن نعبر عن $\frac{dy}{dt}$ بدلالة R ، h ، $\frac{dV}{dt}$ ، y . فكيف يكون ذلك؟

هل V و y مستقلان؟ كلا، إذا زاد y يزداد V أيضا. إذن فهناك صلة. ما هي؟ $V=\frac{1}{3}\pi r^2 y$ و

$r=y\frac{R}{h}$. وبالتالي $V=\frac{\pi R^2 y^3}{3h^2}$. ومنه $\frac{dV}{dt}=\frac{\pi R^2 y^2}{h^2}\frac{dy}{dt}$.

القيمة العددية: إذا كان $R=4$ ، $h=3$ ، $v=2$ و $y=1$ فإن $2=\frac{16\times 1\times \pi}{9}\frac{dy}{dt}$ ومنه $\frac{dy}{dt}=\frac{9}{8\pi}u/m$.

3. طريقة الحل (محاورة)

- **التعرف على المسألة**: من أين أبدأ؟ أبدأ من نص المسألة.

ماذا أعمل؟ تخيّل المسألة بأوضح وأجلى ما تستطيع. خذها كمجموعة عامة، ولا تهتم بالتفاصيل.

وماذا يفيدني ذلك؟ يجب أن تفهم المسألة وتألفها، وينطبع مرماها في ذهنك. ثم أنت إذ تمعن النظر فيها قد تنشّط ذهنك، وتهيئه لاستعادة ما يتعلق بها من حقائق.

- **العمل من أجل فهم أعمق**: من أين أبدأ؟ أبدأ أيضا من نص المسألة. ابدأ عندما يتضح هذا النص لديك، وينطبع في ذهنك بحيث لا يمكن أن تنساه ولو انشغلت عنه إلى حين.

ماذا أعمل؟ افصل الأجزاء الرئيسية في المسألة بعضها عن بعض. ففي "مسائل الاثبات" يكون المفروض والمطلوب هما الجزأين الرئيسيين، وفي "مسائل الايجاد" يكون المجهول والمعطيات والشرط هي الأجزاء الرئيسية.

راجع الأجزاء الرئيسية في المسألة واحدا واحدا، خذها فرادى، وخذها في مجموعات متباينة، واربط تفاصيلها بعضها ببعض واربط كلا منها بالمسألة.

وماذا يفيدني ذلك؟ يجب أن تجلو التفاصيل التي قد تلعب دورها فيما بعد في الحل.

- **البحث عن فكرة نافعة**: من أين أبدأ؟ ابدأ بالنظر في اجزاء المسألة الرئيسية. ابدأ حينما تكون قد رتبت هذه الأجزاء بوضوح واستوعبتها في ذهنك بوضوح بفضل ما سبق أن صنعت وصارت ذاكرتك مهيأة للاستجابة.

ماذا أعمل؟ قلّب المسألة من وجوه عدة، وفتش عن ارتباطات بينها وبين معلوماتك السابقة.

قلّب المسألة من وجوه عدة: سلط الأضواء على اجزائها المتباينة. تفحص تفاصيلها المختلفة.

تفحّص هذه التفاصيل من نواحٍ شتى. ضمها في مجموعات شتى. هاجمها من اتجاهات شتى. حاول أن تفتش عن معنى جديد في كل واحد من التفاصيل كمجموعة. فتش عن ارتباطات بين المسألة وبين معلوماتك السابقة. حاول أن تتذكر ما الذي ساعدك في مثل هذا الموقف في الماضي. حاول أن تتعرف على شيء مألوف عندك فيما تتفحصه، وحاول أن تجد شيئا يفيدك فيما تتعرف عليه.

ماذا يمكن أن أدرك؟ فكرة نافعة، بل ربما فكرة حاسمة تريك بنظرة خاطفة الطريق الى النهاية.

كيف تكون الفكرة نافعة؟ إنها تريك الطريق أو بعضه. إنها توحي إليك بوضوح كيف تسير. والأفكار تتفاوت كمالا ونقصا.

ماذا أعمل بالفكرة الناقصة؟ تتأمّل فيها، فإن رأيتها مضمونة الفائدة وجب أن تسير الى حيث تقودك. وهناك راجع موقفك مرة أخرى، فأنت الآن بفضل هذه الفكرة في موقف جديد. انظر في هذا الموقف الجديد من جهات مختلفة وفتش عن ارتباطات بمعارفك السابقة.

وماذا يفيدني تكرار النظر والتفتيش؟ قد يقودك إلى فكرة جديدة. وقد تقودك الفكرة الجديدة إلى الحل، أو قد تحتاج إلى بضع الأفكار الأخرى... بل حتى إذا أنت لم تعثر إلى حين على فكرة جديدة ذات قيمة فتأكد أن ادراكك للمسألة قد زاد اكتمالا أو زاد تماسكا أو زاد تجانسا أو توازنا.

- **تنفيذ الخطة**: من اين ابدأ؟ ابدأ من الفكرة السعيدة التي قادتك إلى الحل. ابدأ حينما تشعر أنك أوثقت القبض على الرابطة الرئيسية، وتثق أنك تستطيع ان تستجلب التفاصيل الثانوية التي قد تلزم.

ماذا أعمل؟ زد قبضتك وثوقا واعمل بالتفصيل كل العمليات الجبرية والهندسية التي سبق أن رأيتها ممكنة. واقنع نفسك بصحة كل خطوة بالتفكير الشكلي، أو بالبداهة، أو بكليهما إن استطعت. وإذا كانت مسألتك معقدة، يمكنك أن تحقق الخطوات الكبيرة، ثم تناول الصغيرة بعد ذلك.

وماذا يفيدني ذلك؟ التأكد من صحة حل كل خطوة.

- **المراجعة**: من أين ابدأ؟ من الحل كاملا وصحيحا بكل تفاصيله.

ماذا أعمل؟ انظر في الحل من شتى الوجوه، وحاول ان تعثر على روابط مع معلوماتك السابقة.

انظر في تفاصيل الحل وحاول ان تجعلها مبسطة بقدر ما تستطيع. مر على خطواته وحاول أن تجعلها أقصر. حاول أن تنفذ إلى مجمل الحل بلمحة خاطفة. حاول أن تعدل خطواته الكبيرة أو الصغيرة. حاول أن تحسن الحل كله، وأن تجعله بديهيا متسقا مع معلوماتك السابقة اتساقا طبيعيا بقدر الإمكان.

تفحص الطريقة التي قادتك إليه. حاول أن ترى معالمها، وأن تستفيد منها في مسائل أخرى. وتفحص أيضا النتيجة بنفس الطريقة.

ماذا يفيدني ذلك؟ قد تجد حلا جديدا أحسن، أو قد تعثر على حقائق جديدة شائقة.

وفي كل الأحوال، إذا عودت نفسك على مراجعة حلولك وسبر غورها بهذا الشكل، فستكتسب معرفة منظمة تنظيما جيدا، مهيأة في متناول يدك، وستنمي ملكتك في حل المسائل.

4. تغيير المسألة

تحاول الحشَرة الفرار من النافذة المغلقة، وهي تكرّ عليها مرة بعد مرة دون محاولة الفرار من نافذة أخرى بجوارها مفتوحة... هي النافذة التي منها دخلت إلى الغرفة.

أما الفأر فقد يتصرف تصرفا أذكى. فهو ينوّع محاولاته، ويجرب كل الإمكانيات. أما الرجل فهو قادر ، أو ينبغي أن يكون قادرا، على تنويع محاولاته تنويعا أذكى وعلى تجريب الإمكانيات بفهم أوسع على أن يتعلم من أخطائه وفشله.

والنصيحة السائرة "حاول وحاول من جديد" هي نصيحة جيدة تتبعها الحشَرة ويتبعها الفأر ويتبعها الإنسان. ولكن الذي ينجح أكثر من غيره فهو الذي يغيّر مسألته بذكاء.

فعندما نحاول أن ننتقل من فهمنا الأول للمسألة إلى فهم أصلح وأنسب ننظر إليها من نواحٍ عدة، ونحاول أن نرى لها وجوها عدة، ونجاحنا في حل المسألة يعتمد على اختيارنا للوجه الذي ننظر إليه وعلى مهاجمتنا حصنها من ناحيته الضعيفة. فلكي نرى أي وجوهها هو الأنسب لنا نجرب نواحيها المختلفة ووجوهها المختلفة. إننا نغير المسألة.

مثال3: جد حجم قطعة هرم مربع القاعدة حيث طول ضلع القاعدة السفلية a وطول ضلع القاعدة العلوية b وارتفاعه h . سؤال يمكن أن يلقى على طلبة يلمون بقوانين الحجوم للموشور والهرم.

- **إرشاد:** إن لم يأت الطلبة بفكرة من عندهم، فبإمكان المدرس أن يبدأ بتغيير المعطيات: لنقل $a > b$ فماذا يحدث لو تزايدت b حتى صارت تساوي a ؟ تصير القطعة موشورا، ويصير الحجم a^2h .

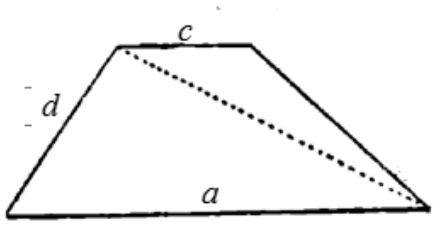
ما ذا يحدث لو تناقصت b حتى صارت صفرا؟ تصير القطعة هرما ويصير الحجم $\frac{1}{3}a^2h$.

فتغيير المعطيات يكسب المسألة متعة، ثم إنه قد يوحي باستعمال هذه النتائج بطريقة ما. نلاحظ أن القانون الذي نسعى للحصول عليه يجب أن يكون a^2h عندما $a=b$ و $\frac{1}{3}a^2h$ عندما تكون $b=0$.

ومن المفيد أن نتعرف للنتيجة التي نريد الحصول عليها.

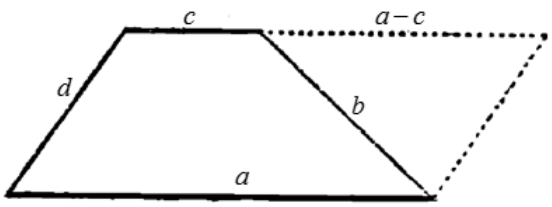
باعتبار حجم قطعة الهرم هي الفرق بين حجمي هرمين ومن تشابه مثلثين نجد $v=\frac{h}{3}\left[a^2+ab+b^2\right]$

مثال4: ارسم شبه منحرف علمت أطوال أضلاعه الأربعة a ، b ، c ، d .



حل: لتكن $a=AB$ القاعدة الكبرى.

إن لم تخطر على بالنا فكرة، فلنبدأ بتغيير المعطيات. فماذا يحدث لو نقصت c حتى صارت صفرا؟ يصير شبه المنحرف مثلثا. والمثلث شكل مألوف بسيط نستطيع أن نرسمه من شتى المعطيات. فلعل هناك فائدة من ادخال هذا المثلث في الشكل. ونحن نستطيع ذلك إذا نحن رسمنا خطا مساعدا واحدا هو قطر شبه المنحرف. ولكن إذا فحصنا المثلث نجد أنه يكاد لا يفيدنا في شيء، فنحن نعرف فيه ضلعين a ، d وينبغي أن نعرف ثلاثة معطيات. فلنجرب شيئا آخر: ماذا يحدث لو تزايدت c حتى صارت تساوي a ؟

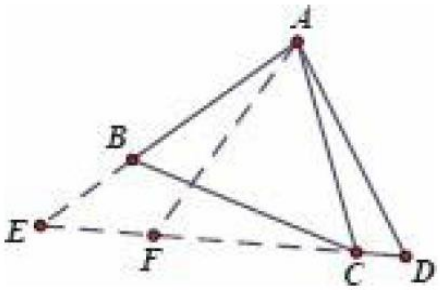


يصير شبه المنحرف متوازي أضلاع. هل يمكن أن نستعمله؟ إن قليلا من التفكير يوجه انتباهنا إلى المثلث الذي أضفناه إلى شبه المنحرف الأصلي برسم متوازي الاضلاع. وهذا مثلث يسهل رسمه، فنحن نعرف معطيات ثلاثة هي أضلاعه b ، d ، $a-c$.

فبتغيير المسألة الأصلية (رسم شبه المنحرف) وقعنا على مسألة أسهل (رسم المثلث)، وباستعمال نتيجة المسألة المساعدة، نحلّ المسألة الاصلية بسهولة (نكمل متوازي الاضلاع). ومثالنا هذا نموذجي. وفشَلُنا في محاولتنا الأولى أيضا نموذجي. فإذا أعدنا النظر فيها نجد أنها لم تكن عديمة الجدوى، بل كانت تحمل فكرة ما أو فائدة ما. إنها أتاحت لنا على الأقل التفكير في رسم مثلث كواسطة للغاية التي نتوخاها. ونحن حصلنا على محاولتنا الثانية الناجحة بتعديل محاولتنا الأولى الفاشلة : غيّرنا c إذ انقصناه في المحاولة الأولى وزدناه في المحاولة الثانية.

مثال5: يعطى رباعي $ABCD$ حيث $AD=BC$ و $\angle BAC+\angle ACD=180°$. برهن أن $\angle B=\angle D$.

حل مختصر:



يبدو أنه ليس من السهل تطبيق الشرط $\angle BAC+\angle ACD=180°$. كذلك لا يبدو كيف يساعد الشرط $AD=BC$ في الاستنتاج لأن الضلعين متباعدان. لكن إذا مددنا كلا من (AB) ، (CD) نحصل على مثلث متساوي الساقين AEC .

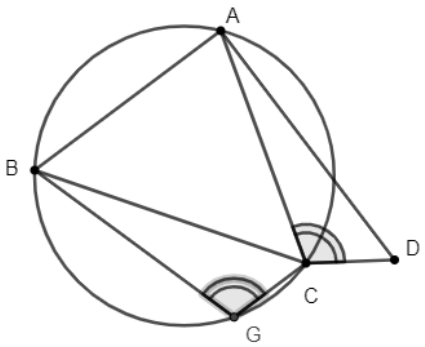
إذا كان $\angle BAC=\angle ACD=90°$ فمن الواضح أن المثلثين القائمين ACD ، ABC متقايسان والرباعي $ABCD$ متوازي أضلاع. ومنه $\angle B=\angle D$.

دعنا نفرض خلاف ذلك دون فقدان العمومية : نفرض $\angle BAC<90°$. ونمدد (AB) ، (CD) فيتقاطعان في E .

لدينا $\angle BAC=\angle ACE$ و $AE=CE$. نختار بعد ذلك نقطة F من $[CE]$ بحيث $AF=AD$ فيكون $\angle D=\angle AFD$ (انظر الشكل أعلاه).

نلاحظ أن المثلثين ACB ، ACF متقايسان. ومنه $\angle B=\angle AFD=\angle D$.

يمكن أيضا إنشاء نقطة G بحيث يكون المثلثان ACD و BGC متقايسين. ومنه نجد في الرباعي $ABGC$ أن $\angle A+\angle G=180°$. ومن ثمّ فهو رباعي دائري ولدينا $AC=BG$. ومنه $\angle ABC=\angle ACG=\angle ADC$.



الحساب الذهني داخل وخارج السّياق المدرسي

محمد بوضياف

أستاذ بقسم الرياضيات، المدرسة العليا للأساتذة، القبة

مقدمة

مهما تطورت وسائل الحساب وتعدّدت أنواعها وأشكالها يبقى الحساب الذي يعتمد على العمل العقلي للفرد (وهو ما يعرف في السّياق المدرسي بالحساب الذهني) حاجة ماسّة ليس لتعلّم الرياضيات فحسب إنما لتدبير وإدارة كثير من شؤون الحياة اليومية. فمن غير اللائق أن يعتمد المتعلّم في كل حركاته وسكناته على وسيلة حسابية مثلما هو حاصل لمعظم أبنائنا في مختلف المراحل التعليمية، بما فيها المرحلة الجامعية.

كما أنّه من غير المعقول أن يُخرج الواحد منا آلة حاسبة عندما يقصد خبازا أو بقالا أو أي فضاء للتسوّق من أجل اقتناء بعض الحاجيات. إن لجوء أبنائنا إلى استخدام حاسبة من أجل إنجاز عمل حسابي، ولو كان غاية في البساطة، خاصّة خلال العقود الأخيرة، له أكثر من دلالة. فهو من ناحية يعكس السلوك الاتكالي الذي يشلّ العقل ويجعل صاحبه مجرد مستهلك سلبي محروما من كل ما يجلبه النشاط العقلي من متعة ونماء فكري. ومن ناحية أخرى، يعبّر هذا التصرف عن إخفاق ظاهر لمنظومة التعليم في مجرّد محو الأمية الحسابية عن كثير من المتعلّمين.

في حين أقل ما تتطلّع إليه المناهج الحديثة للرياضيات هو تخريج متسربين من المدرسة متمكنين من الحساب بمختلف أنواعه، عسى أن يتّخذوا منه ذخيرة لمجابهة بعض متطلبات الحياة عموما، والحياة المهنية بشكل خاص، فما بالك بمصير من يعوَّل عليهم في بلوغ درجات عليا في شتى العلوم والفنون خاصة في الرياضيات. وفي ظل حالة الوهن الذي أصاب مدرستنا، برزت للوجود خلال السنوات الأخيرة ظاهرة غريبة، تتعلّق بالحساب الذهني، لا علاقة لروادها لا بالرياضيات ولا بالتعليم... لا من قريب ولا من بعيد. والغريب في الأمر أنها وجدت تجاوبا رسميا على أعلى مستوى في البلاد.

قبل التطرق لهذه الظاهرة بشيء من التفصيل، وحتى يتمكن القارئ من موضعتها وتحديد محلّها من الإعراب، دعنا في البداية نلقي نظرة مقتضبة حول مفهوم الحساب الذهني وكيفية تعليمه وتعلّمه، في مرحلة التعليم الابتدائي، سواء في ضوء المناهج التعليمية التقليدية أو الحديثة.

1. الحساب الذهني في المناهج التعليمية التقليدية

يُقصد بالمناهج التعليمية التقليدية تلك المناهج القائمة على المقاربة بالمحتويات أو المقاربة بالأهداف، والتي تركّز على المحتوى المعرفي وتتّخذ من المعلّم محورا رئيسا للفعل التعليمي/ التعلّمي. كما يُقصد بالمناهج التعليمية الحديثة تلك التي تقوم على المقاربة بالكفاءات المستمدة من النماذج البيداغوجية البنائية والبنائية الاجتماعية، والتي تتّخذ من المتعلّم محورا رئيسا للفعل التعليمي/ التعلّمي. أما الحساب الذهني، وفقا لهذه المناهج التقليدية، فيُقصد به إنجاز عمليات حسابية من قبل المتعلّم اعتمادا على موارده العقلية فقط دون الاستعانة بأي وسيلة أو أداة أخرى مع التصريح بنتيجة الحساب. وبطبيعة الحال، يمكن أن يُطلب من المتعلّم تبرير نتيجة حسابه من خلال شرح الإجراءات التي اتبعها في انجاز الحساب.

يُشرع في شقّ طريق الطفل لتعلّم الحساب الذهني بتعليمه مفهوم العدد من خلال ممارسة عملية العدّ على أشياء ملموسة (قطع حلوى، لعب، قريصات، ...) بحيث تَنْصَبُّ هذه العملية على إرفاق المعدود (الشيء الملموس) بعدد مناسب، أي المعدود يسبق العدد. تنتهي هذه العملية إلى ترسيخ الأعداد الأولى من مجموعة الأعداد الطبيعية في ذهن الطفل، أي الأعداد 1، 2، 3، ...، 9 -دون التعرض لمفهوم الصفر لكونه من مستوى عال للتجريد، إذ يكفي أنّه لا ينطق عند قراءة الأعداد الطبيعية إلا منفردا- ليتم توسيع مجموعة هذه الأعداد تدريجيا. يؤخذ بيد الطفل بعد ذلك لممارسة عملية الجمع على هذه الأعداد أيضا من خلال وضعيات تتعلّق بأشياء ملموسة، بما في ذلك استخدام أصابع اليدين، وشيئا فشيئا يتخلى عن كل هذه الوسائل ليتحوّل إلى ممارسة عملية جمع الأعداد ذهنيا. تُتبع هذه المرحلة بإدراج عملية الطرح على نحو مماثل وباستخدام أعداد مناسبة.

إنّ تطوير قدرات ومهارات الطفل في الحساب الذهني، وفق هذا النهج، تتطلّب الكثير من الوقت والجهد والصبر والمرافقة الدائمة والمنتظمة للطفل في تعلّمه من قِبل راشد (وليّ أو معلّم). وقد يتيسّر لبعض الأطفال خطو خطواتهم الأولى في هذا الطريق خلال مرحلة ما قبل التمدرس (البيت، المسجد، الروضة، ...) إلا أن الانطلاقة الحقيقية تكون مع دخول الطفل إلى المدرسة، التي يتعيّن عليها التكفّل بهذه المهمّة على أحسن وجه ممكن بالنظر لما تتوفر عليه من موارد بشرية، يفترض أنها مؤهلة، ووسائل مادية وبيداغوجية يفترض أنها هي الأخرى ملائمة.

2. الحساب الذهني في المناهج التعليمية الحديثة

رغم محافظة المناهج التعليمية الحديثة على روح المعنى الذي أعطي لمفهوم الحساب الذهني من قبل المناهج التي سبقتها فإنها حثّت على تناوله من خلال مشكلات من الواقع وليس كعمليات مجردة، وأكّدت على أنه ليس من الضروري أن يتم الحساب الذهني بشكل كلّي دون كتابة، مثلما ورد ذلك في الوثيقة المرافقة لمنهاج الرياضيات في مرحلة التعليم الابتدائي.

كما ميّزت هذه المناهج بين نوعين من الحساب الذهني "حساب ذهني متمعن فيه" و"حساب ذهني آلي". يتمثّل الأول في نشاط حسابي يضطرّ المتعلّم إلى إيجاد طريقة خاصة به تمكّنه من الوصول إلى نتيجة للحساب ذهنيا أو كتابيا في ظلّ غياب آلية أو طريقة جاهزة لديه. بعبارة أخرى، يعتمد الحساب الذهني المتمعن فيه على إجراءات شخصية للمتعلّم، وليس من الضروري أن تقوده إلى نتيجة صحيحة. على سبيل المثال، لحساب الفرق 19-73 يمكن أن يقوم المتعلّم ذهنيا أو كتابيا بالإجراء التالي: 54=6-60=6-13-73=19-73.

أما الحساب الذهني الآلي فيتم باستعمال آلية أو طريقة جاهزة لدى المتعلّم، أي سبق له استخدامها من قبل (اتباع خوارزمية الجمع أو الضرب وفق عملية عمودية، المضاعفة، الإكمال إلى العشرة الأكبر، ...). لقد أوصت المناهج السالف ذكرها بالحرص على ممارسة الحساب الذهني ابتداء من السنة الأولى الابتدائي، بشكل منتظم في بداية كل حصة تتعلق بميدان الحساب ولمدة نحو عشر دقائق. كما تبنّت هذه المناهج نوعا آخر من الحساب "الحساب الأداتي"، ويُقصد به كل نشاط حسابي يتم إنجازه بواسطة آلة حاسبة، وصنّفت الحساب إلى ثلاثة أنواع هي "الحساب المتمعن فيه" و"الحساب الآلي" و"الحساب الأداتي".

الجدير بالملاحظة أن أبرز ما تميّزت به تلك المناهج الحديثة الحضور اللافت لأفكار تعليمية الرياضيات في مقاربة مفاهيم كلٍ من العدد والعمليات الأربع المعروفة (الجمع والطرح والضرب والقسمة)، وذلك من خلال الارتكاز على نظرية الحقل المفهوماتي لفيرنيو، والتي تأخذ في الاعتبار ثلاثة جوانب للمفهوم هي: إعطاء معنى له من قبل المتعلّم عبر لمس دوره الفعّال في حل بعض المشكلات خاصّة عندما تكون من الحياة اليومية. ثمّ التحكّم في الجانب التقني المتعلّق بالمفهوم من خلال التعامل معه في وضعيات متنوّعة.

وأخيرا التحكّم في مختلف أشكال التعبير اللّفظية والرمزية المتعلّقة بالمفهوم شفويا وكتابيا، على أن يتم كل هذا بشكل نسَقي وليس خطّيا، أي الكلّ في آن واحد (المعنى والتقنية والتعبير). لكن بقدر ما يضفيه هذا النهج على العملية التعليمية/ التعلّمية من خصوبة وثراء إلا أنه من المؤكّد أن يسبّب لجلّ معلّمي المرحلة الابتدائية غبنا كبيرا في مجرّد فهمه وليس تطبيقه، باعتبار أن ملمح معظمهم يعود لشُعبٍ أدبية. والأدهى من ذلك هو أن حتى مرافقهم من المفتشين لهم نفس الملمح، وهو ما يجعل تكوينهم في هذا المجال ضعيفا وربما مجانبا للمقصود فعلا من المناهج التعليمية ومختلف الوثائق التربوية.

ولعل هذا ما أدى إلى ضعف أداء معظم أبنائنا في ميدان الحساب واعتمادهم الكلي على الآلات الحاسبة. ونتيجة لذلك، وجد من لا صلة لهم بالتعليم فرصا سانحة لجمع المال من خلال استغلال قلّة وعي شريحة واسعة من الأولياء وحرصهم الشديد على نجاح أبنائهم وتأمين مستقبلهم.

3. مفهوم الحساب الذهني خارج السّياق المدرسي

خلافا للمدلول المعطى لمفهوم الحساب الذهني في المناهج التعليمية للرياضيات قديمها وحديثها، أعطى بعض من يسمون أنفسهم خبراء التنمية البشرية ببلادنا معنى أو مدلولا جديدا لمفهوم الحساب الذهني. ويتمثّل في إنجاز سلسلة من العمليات الحسابية باستخدام المِعداد أو السروبان. وهذه السلسلة نسخة مطوّرة للمعداد الصيني (سوان بان)، تمّ تطويرها على أيدي يابانيين خلال القرن الرابع عشر ميلادي.

يتكوّن السروبان من عدة أعمدة، وفي كل عمود خمس خرزات (شبه أقراص) تمثل أعدادا، بحيث يمكن للمتعلم ممارسة مختلف العمليات الحسابية المعروفة بواسطة هذه الآلة. وبمجرّد تحكّمه جيّدا في تقنياتها ينتقل لممارسة عمليات حسابية مماثلة باستخدام الأصابع الخمسة لليد الواحدة عوض المعداد أو السروبان.

برز هذا النشاط في بلادنا خلال السنوات القليلة الماضية كنوع من التثقيف والرياضة الفكرية، لكنه سرعان ما أخذ منحى تجاريا تمّ تغليفه بطابع تعليمي والترويج له باستغلال مختلف وسائل التواصل الاجتماعي. ومن أجل اصطياد بعض المغفّلين وفتق جيوبهم وسلبهم أموالهم، راحوا يتفنّنون في وسم متاجرهم الخاصّة بصفات تأُسر السامع وتسحره بل تجعله يحلّق عاليا في السماء. وهذا على غرار مركز تكوين النوابغ: أكاديمية إعداد العباقرة، منتدى صناعة القادة ورواد المستقبل، ...

والمؤسف أن نجد من بين زبائنهم مَن كنا نعتقد أنهم أصحاب فطنة وبصيرة وعقول نيّرة. لكن يبدو أن ابن قتيبة رحمه الله كان محقًّا حينما قال في كتابه "تأويل مُختلَفِ الحديث" "الناس أسراب طير يتبع بعضها بعض ولو ظهر لهم من يدّعي النبوّة، مع معرفته بأن رسول الله (ص) هو خاتم الأنبياء، أو من يدّعي الربوبية لوجد على ذلك أتباعا وأشياعا".

الغريب أنّ بعضا من ممتهني هذا النشاط التجاري صاروا يطالبون بإدراج بضاعتهم في المناهج التعليمية مستغلين في ذلك تفوّق بعض مستهلكيهم فيما سمّوه "منافسات دولية" حظيت بإشادات وتكريمات على أعلى مستوى (وزارة التربية الوطنية ورئاسة الجمهورية)، وذلك تحت تأثير تزميرٍ إعلاميٍ غير مسبوق حمل بشائر قدوم مُخَلِّص المدرسة الجزائرية للمسؤولين قبل أولياء التلاميذ.

مما لا شك فيه أن ممارسة المتعلّم لهذا النوع من الأنشطة الحسابية تنمي فيه بعض الجوانب المهارية وتزرع فيه بعض السلوكيات والقيم الإيجابية، كالتركيز وحب المنافسة. وبالتالي لا مانع في أخذ بعض الجرعات منها في نواد علمية أو ما شابه ذلك. لكن لا ينبغي أن نضحك بها على عقول الأولياء من أجل بعض الدريهمات، أو نزايد بها لدى بعض المسؤولين ونوهمهم بأن إدراجها في المناهج التعليمية يجعل من أبنائنا عباقرة في الرياضيات. أما أنتم أيها الخبراء

التنمويون عندما تشاركوا فيما تصفونه "مسابقات دولية"، لا تغالطوا الرأي العام بعطف الرياضيات على الحساب الذهني وتجعلونهما في نفس المستوى. ذلك ن المفاخرة بالتميّز في الرياضيات لا تكون بإنتاج أفراد لهم قدرات خارقة في الحساب حتى لو كانوا بمثابة حواسيب بشرية، إنما تكون بإنتاج عقول بشرية لها قدرات خارقة على التفكير والاستبصار والإبداع في حل المشكلات، بما يجعلها مثارا للإعجاب وأهلا للاعتزاز والتقدير والتكريم والعرفان.

في الختام، فإن أهمّ ما يمكن أن نخلص إليه هو التأكيد على أهمية الحساب الذهني في تطوير قدرات التخيّل والتذكّر والتفكير والتقدير لدى المتعلّمين. ونُطَمْئن الأولياء بأن ما هو مقرّر في المناهج التعليمية كفيل بتلبية حاجة أبنائهم من هذا المجال. ولا يحتاج الأمر سوى منح معلّمي المدرسة الابتدائية بالخصوص تكوينا نوعيا. وحبّذا لو يعمل مُعدِّي المناهج التعليمية على تجنّب الاستغراق في المصطلحات الخاصّة بأنواع الحساب.

وبهذا الصدد، أرى أنّ ما سُمي بالحساب المتمعّن فيه والحساب الآلي هما مجرد استراتيجيتي حساب وليس نوعين من الحساب. وعلى هذا الأساس، أقترح الاقتصار على نوعين من الحساب هما "الحساب الذهني" و"الحساب الأداتي" حيث يشمل هذا الأخير كل أنواع أدوات الحساب بما في ذلك "ورقة وقلم"، "سبورة (لوحة) وقلم (طبشور)" مع تركيز الأنشطة التعليمية/التعلّمية في هذا المجال على ممارسة المتعلّم للجانب التقني القائم على الخواص الجبرية للعمليات (خاصيتي التبديل والتجميع لعمليتي الجمع والضرب، خاصية توزيع الضرب على كلّ من الجمع والطرح)، والتي تظهر بشكل صريح لاحقا في مرحلة التعليم المتوسّط.

فـــــیزیاء

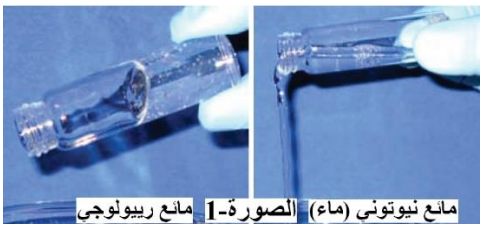
الموائع الذكية للتحكم في تقنيات حديثة

نجيب لوام
أستاذ بقسم الإعلام الآلي، المدرسة العليا للأساتذة، القبة، الجزائر

مقدمة

من ضمن المواد المعروفة حاليا بالمواد المتقدمة أو الحديثة (advanced materials)، وعلى رأسها الفئة التي تسمى بالمواد الذكية (smart materials)، تندرج الموائع التي لها قابلية التغيير المكرر في البعض من خواصها، مثل اللزوجة (viscosity)، والمعروفة بالموائع الريبولوجية (Rheological fluids). تستخدم حاليا هذه الأخيرة كوسائط (interfaces) سريعة وذات فعالية عالية ضمن منظومات التحكم في الكثير من التقنيات الحديثة.

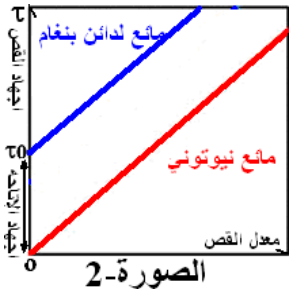
تعتبر مادة الطلاء (paint) من أكثر الموائع الريبولوجية المعروفة بانتشارها الواسع لدى العامة والتي من أهم خصائصها الريبولوجية أنّها لا تتقطع، وتسقط بسهولة تحت تأثير فعل الجاذبية مثل ما يفعله الماء العادي. يتميّز المائع الريبولوجي بقدر أدنى (τ_0) من المقاومة ضد عملية التقطع (القصّ) والتدفق تحت تأثير أي إجهاد (stress)، بينما نجد مقاومة سائل الماء لعملية التقطع شبه منعدمة. ولذا يُعرف الماء بأنّه مائع نيوتوني(Newtonian) ، أي خاضع بصفة تامة لقانون جاذبية نيوتن (الصورة-1).



الصورة-1

ومن المؤكد علميا أنّه كلما كان مقدار الإجهاد الأدنى (τ_0) أو ما يسمى بإجهاد الإتاحة (Yield stress)، المتطلب من قِبل المائع الريبولوجي للبدء في عملية التقطع عاليا، كلما كانت حالة المائع قريبة من حالة اللدائن الصلبة (لدائن بنغام Bingham plastic)، وكلما اقتربت قيمة الإجهاد الأدنى من الصفر كلما اقتربت حالة المائع من حالة السوائل النيوتونية (الماء)، مثل ما يشير إليه الرسم البياني في الصورة-2.

وبما أنّ مقدار لزوجة المائع تتأثر أساسا بشدة العوامل الخارجية، مثل الحرارة والضوء والكهرباء، فإنه يمكن الحصول على تغيير في مستوى إجهاد القص الأدنى (τ_0) للموائع بواسطة التأثير على أحد هذه العوامل الخارجية والتحكم في مستواها عن طريق الضبط، مثلا في طول موجة الإشعاع الضوئي أو في شدة الحقل الكهربائي أو المغناطيسي المسلط.



الصورة-2

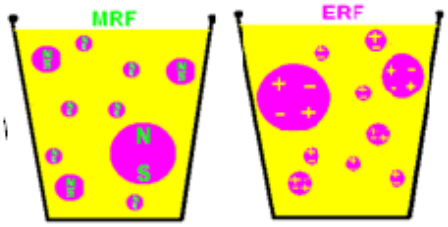
نبيّن في هذا المقال أولا المبدأ والكيفية العامة لصنع مائع ريبولوجي يسمح بالتحكم في لزوجته بواسطة الحقل الكهربائي والمغناطيسي والإشعاع الضوئي، ثم نقدم عرضا متنوعا لأهم التطبيقات الحديثة التي استخدمت فيها هذه الموائع الذكية كوسيلة للتحكم. وفي الأخير، نختم هذه الورقة بأهم المواصفات التقنية والتجارية للموائع الكهرومغناطيسية المسوّقة حاليا في العالم مع تقديم مقارنة تقنية موجزة لها.

1. كيفية صنع مائع ريئولوجي قابل للتحكم في لزوجته

بصفة عامة، يمكن صنع مائع ريئولوجي من وسط عازل للكهرباء، كالزيت الاصطناعي أو المعدني، مثل الغليكول (glycol)، وزيت السيلكون، وغير ها، وهذا عندما تصل نسبة التشبع إلى 40% بجسيمات صغيرة جدا وصلبة لها مقاس نمطي يتراوح من 3 إلى 100µm يسمح لها بالتعليق (suspension) الجيد. تتكوّن هذه الجسيمات مثلا من مادة حديدية، كالكربونيل (carbonyl iron) لتكون قابلة لاكتساب إحدى القطبيتين :

أ- القطبية الكهربائية : يكون المائع كهرو-ريئولوجي Electro-rheological fluid (ERF)

ب- القطبية المغناطيسية : يكون المائع مغناطو-ريئولوجي Magnetorheological fluid (MRF)، الصورة-3.

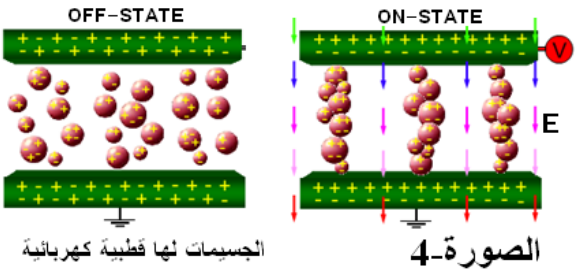


الصورة-3

وبهذه التركيبة يمكن التأثير في الجسيمات الحديدية بواسطة حقل كهربائي أو مغناطيسي كما سنبيّن أدناه.

1.1. المائع الكهرو-ريئولوجي Electro-rheological fluid (ERF)

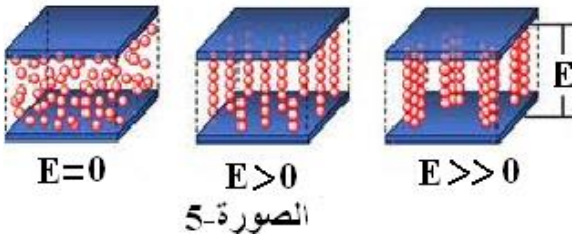
في حالة العادية، تكون للمائع الكهرو-ريئولوجيله إمكانية التدفق، مثل أي سائل بعد تجاوزه لجهد الاتاحة (τo) الخاص به. لكن في ظل وجود حقل كهربائي فستصطف الجسيمات الحديدية على شكل سلاسل كثيفة طوال خطوط الحقل لتعيق التدفق إلى أن تحوّل المائع إلى جسم شبه صلب (بلاستيك) يكون عنده جهد الاتاحة مرتفعا جدا. والمهم في هذا الأمر أنّه بإزالة الحقل الكهربائي المطبق، يعود المائع سريعا إلى حالته الأولى (السائلة) ويتدفق بعد أن تنخفض قيمة جهد الاتاحة الخاصة به، مثل ما تبيّنه الصورة-4.



الصورة-4

يتناسب مستوى الصلابة أو اللزوجة الذي يمكن أن يحصل عليه المائع بصفة طردية مع شدة الحقل الكهربائي المطبق (الصورة-5)، وبإمكانه أن يرتفع أو ينخفض بحولي مائة ألف ضعف في أقل من 10ملي ثانية

(10ms). وبهذه الوتيرة فإنّ المائع الكهرو-ريُولوجي يكون أسرع من كل المشغلات (actuators) أو الصمامات الكهروميكانيكية (Electromechanical valves) المستخدمة حاليا في عمليات التحكم.

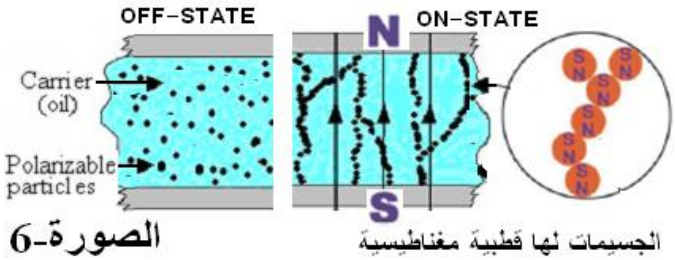


الصورة-5

2.1. المائع المغنطو-ريبولوجي Magnetorheological fluid (MRF)

يمكن صنع أبسط مائع مغنطو- ريُولوجي من وسط سائل مثل الماء، مشبع أيضا إلى نسبة تصل إلى 40% بجسيمات حديدية من مادة الكربونيل بمقاس نمطي يتراوح من 1 إلى 10µm.

وتحت تأثير حقل مغناطيسي، وبطريقة مشابهة للمائع الكهرو-ريُولوجي، تُنشأ روابط بين الجسيمات الكاسبة للقطبية المغناطيسية بشدة متناسبة مع قوة الحقل المطبق، لتكوّن سلاسل كثيفة في اتجاه خطوط الحقل، وتُحوّل المائع إلى جسم شبه صلب (بلاستيك) بجهد إتاحة مرتفع جدا (الصورة-6)، تصل قوة تصديه لعملية القص إلى غاية 50-100 kPa مع تطبيق حقل مغناطيسي بشدة 150-250 kA/m.



الصورة-6

ومثل ما هو الحال بالنسبة للمائع الكهرو-ريُولوجي، فبإلغاء الحقل المغناطيسي ينخفض جهد الاتاحة ويعود المائع المغنطو-ريُولوجي إلى حالته الأولى (السائلة) وبسرعة أكبر من تلك التي يرجع بها المائع الكهرو- ريبولوجي إلى حالة السائل.

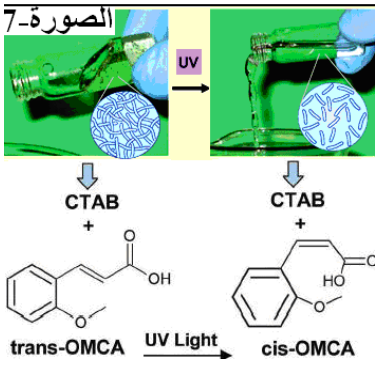
ومن أهم مميزات المائع المغنطو-ريُولوجي أنّه لا يتأثر كثيرا مثل المائع الكهرو-ريُولوجي بعوامل الرطوبة والتخثر أو الحرارة، سواء أكان ذلك أثناء صنعه أو استخداماته، وهو مختلف تماما عن الموائع المغناطيسية (Magneto fluids) أو الموائع الحديدية (Ferrofluids) المعروفة والتي لا تتغير لزوجتها تحت تأثير الحقل المغنطيسي، والتي يكون مقاس جسيماتها بصفة عامة أقل من 1 µm.

3.1. المائع الفوطو-ريبولوجي Photorheological fluid (PRF)

هو المائع الذي تتأثر لزوجته بنسبة طول موجة الإشعاع الضوئي المسلط عليه. ويمكن إنشاؤه أساسا من وسط حساس للإشعاع البنفسجي (ملح أو حمض معدني)، مثل حمض trans-ortho-methoxycinnamic (OMCA) والمضاف إليه عنصر فاعل كيمائي مثل cetyltrimethylammonium bromide (CTAB).

في أغلب الأحيان، يكون الخليط CTAB/OMCA على شكل سباغيتي أو ديدان ملتوية على بعضها البعض في محلول مائي.

الصورة-7



يمكن خفض مستوى لزوجة المائع الفوطو- ريبولوجي بحوالي 1000 إلى 10000 ضعف، أو إلى أن يقترب من مستوى لزوجة الماء تحت تأثير إشعاع فوق البنفسجي بطول موجة أقل من 400nm، وفقا لقاعدة التحويل الكيميائية (الايزوميرة الضوئية) أو trans to cis photoisomerization للرابط المضاعف عند OMCA، كما تبيّنه الصورة-7.

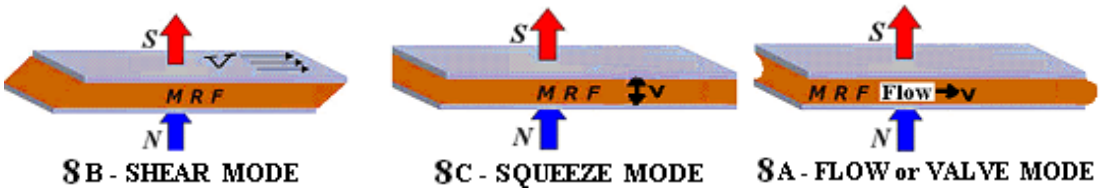
ورغم أنّ الايزوميرة الضوئية (photoisomerization) عملية عكسية من الناحية المبدئية، فإن التحوّل (cis to trans isomerization) هو أيضا ممكن، إلاّ أن عودة لزوجة المائع الفوطو- ريبولوجي الى مستواها الأول لا تحصل بسهولة بعد توقيف الإشعاع المسلط عليه. وهذا يمثل أحد العيوب أو الأسباب التي قللت من السعي وراء انتشار وتطوير المائع الفوطو- ريبولوجي في مجالات التحكم الصناعي.

تنحصر حاليا استخدامات المائع الفوطو- ريبولوجي في صنع بعض المجسات والمفاتيح الدقيقة (microsensors & microvalves) التي تعمل فقط باتجاه واحد. وإضافة لهذا، فكلفة صنع الموائع الفوطو- ريبولوجية ما زالت جدّ مرتفعة بالمقارنة مع كلفة صنع المائعين الكهرو- ريبولوجي و المغنطو- ريبولوجي.

2. كيفية استغلال الموائع الكهرو والمغناطو ريبولوجية

يتم استغلال المائع الكهرو والمغناطو ريبولوجي القابل للتحكم في لزوجته بإحدى الطرق الثلاث الآتية:

- ✓ **طريقة التدفق** (flow or valve mode) : تكون للمائع خلالها حرية التحرك أو التدفق بين حاجزين ثابتين كما تبيّنه الصورة-8A.
- ✓ **طريقة القص** (shear mode) : يكون المائع خلالها محتبسا بين حاجزين لهما إمكانية التحرك والانحياز عن بعضهما البعض أفقيا، انظر الصورة- 8B.
- ✓ **طريقة الكبس** (squeeze mode) : يكون المائع خلالها محتبسا بين حاجزين لهما إمكانية التقارب أو التباعد عن بعضهما البعض عموديا، انظر الصورة- 8C.



1.2. طريقة التدفق

تُستخدم أساسا في تصميم المساعدات dampers (الصورة-9)، ووسائل امتصاص الصدمات shock absorbers (الصورة-10)، ذات العوامل القابلة للتغيير السريع.

وفي هذه الطريقة يتم ضبط لزوجة وحركة المائع بدفعه إلى التنقل بين عدة غرف وقنوات داخل هذه الأجهزة بواسطة قطبية كهربائية أو مغناطيسية مثبّتة.

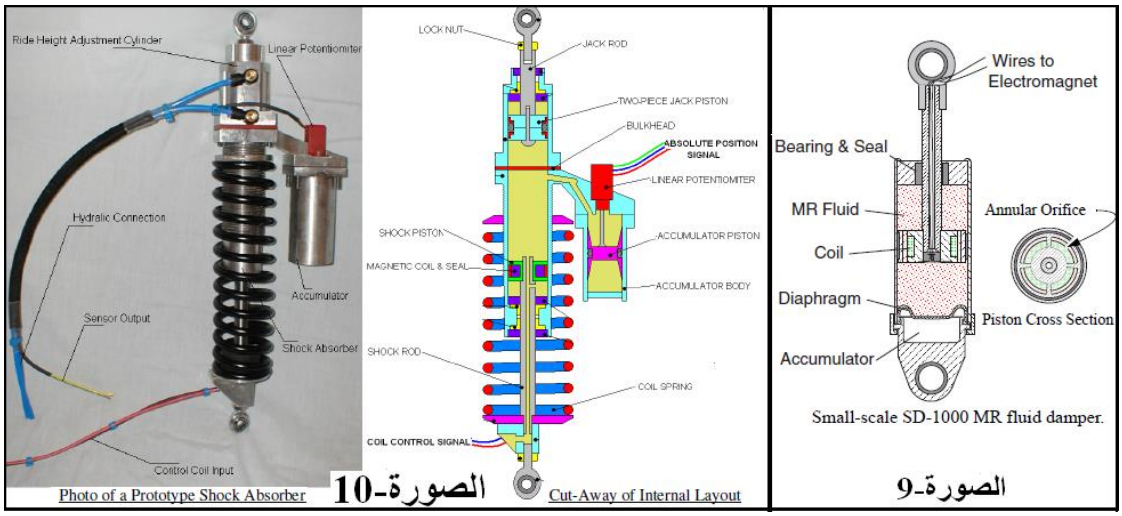
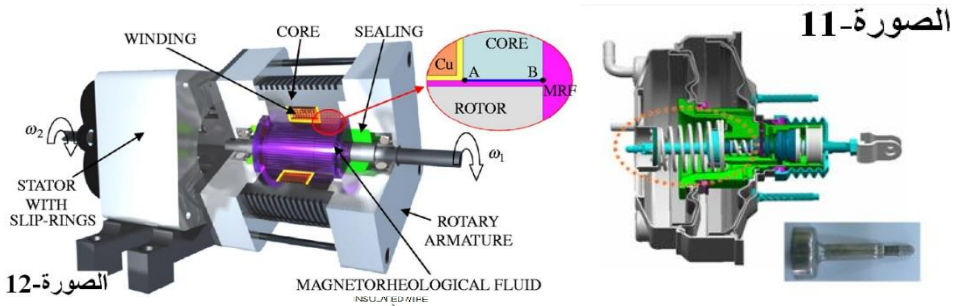


Photo of a Prototype Shock Absorber — الصورة-10 — Cut-Away of Internal Layout

الصورة-9

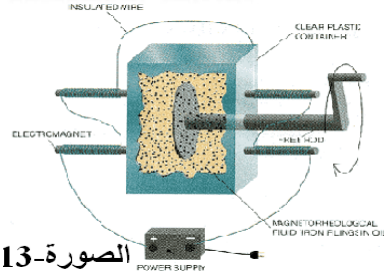
2.2. طريقة القص (shear mode)

تكون طريقة القصّ بقطبين لهما إمكانية الانحياز السريع عن بعضهما البعض أفقيا، وتصلح أساسا لتصميم أجهزة الفتح والإقفال السريع، مثل ما تتطلّبه حركة القوابض (clutches) و فرامل (brakes) سيارات السرعة (الصور 11-12)، وبصفة عامة تستخدم أيضا للتحكم في الحركات الدورانية (الصورة-13).



الصورة-12

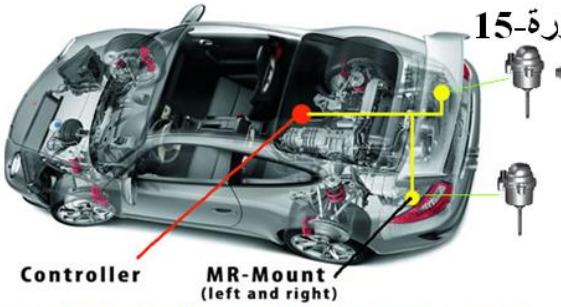
الصورة-11



الصورة-13

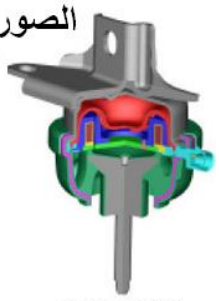
3.2. طريقة الكبس (squeeze mode)

تُستخدم طريقة الكبس أساسا في تصميم أجهزة الحمل (mounts)، انظر الصورة-14، ومقاومة الضغط المرتفع بواسطة قطبية كهربائية أو مغناطيسية لها إمكانية القيام بحركة تباعد أو تقارب عمودية ضئيلة بمقاس الميليمتر (الصورة-15). وتُستخدم حاليا خاصة في تصميم نظم ومعدات حمل هياكل المركبات (powertrain mount) ونظم الإخماد للمنشآت المقاومة للزلازل.



The new Porsche 911 GT3 showing the location of the two MR Powertrain mounts and the electronic controller

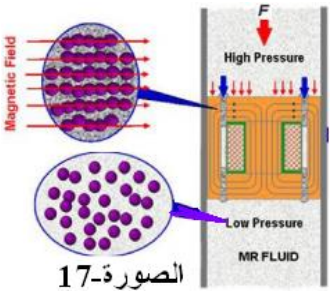
الصورة-15


The Delphi MR powertrain mount

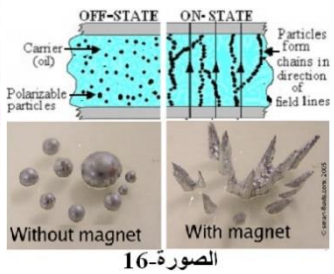
الصورة-14

تكمن أهمية الموائع الريئولوجية القابلة للتحكم أيضا في إتاحة وسائط (Interfaces) بسيطة وسريعة الاستجابة، خاصة بين دوائر التحكم الإلكترونية وعناصر الأنظمة الميكانيكية، وكذا في توفير مشغلات سريعة تعمل بسرعة فائقة للتحكم في قوى ميكانيكية وهيدروليكية هائلة.

ولكي يتم الاستغلال الجيد والفعّال للمائع الكهرو-ريولوجي أو المغنطو-ريولوجي يجب التّأكد عند تصميم أي جهاز يستخدمه، من أنّ خطوط حقل التحريض فيه متعامدة تماما مع اتجاه حركة المائع التي يراد مضايقتها، وذلك لأنّ الخواص الميكانيكية للمائع الريولوجي في حالة تواجد حقل تحريضي (ON-state) ليست هي نفسها في جميع الاتجاهات، أي أنّها لاتناظرية (anisotropic) كما تبيّنه الصور-16-17.



الصورة-17



الصورة-16

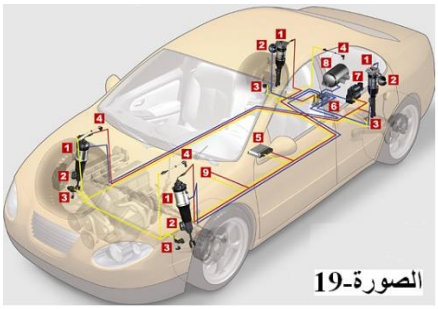
3. أمثلة على أهم التطبيقات الحديثة للمائع الريولوجي القابل للتحكم في لزوجته

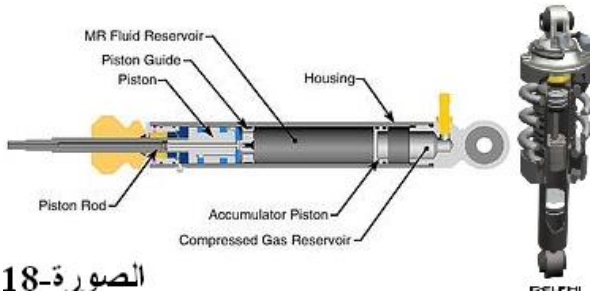
التطبيقات الحديثة للمائع الريولوجي، بإحدى الطرق الثلاث المذكورة سابقا عديدة، ومنها على سبيل المثال:

1.3. التطبيقات في مجال ميكانيكيا السيارات

يستخدم المائع المغنطو- ريولوجي في تصميم المساعدات الذكية من نوع MagneRide (الصور18-19)، والمنتَجة من قِبل شركة Delphi Corporation (Troy, MI) والتي تتطلبها نظم تعليق السيارات المتطورة مثل Audi R8, Cadillac STS, Ferrari .599GTB.

إن تطبيقات المائع الريولوجي في تصميم نظم تعليق السيارات الحديثة هي حاليا الأكثر انتشارا وربحية بالنسبة للشركات المنتجة والتجارية.


الصورة-19



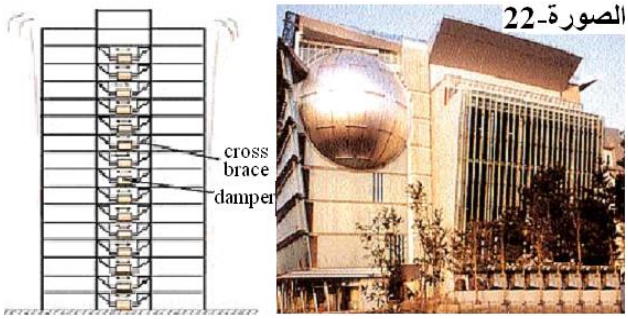
الصورة-18

الصورة-20

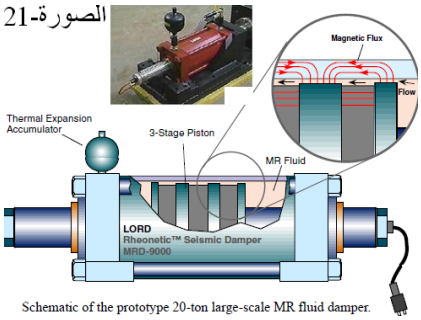
من جهة أخرى، تسعى المشاريع الجارية حاليا في مجال تطبيقات المائع الريبولوجي في تصنيع السيارات الحديثة، إلى التخفيف من وزن هذه الأخيرة بتقليص عدد كبير من القطع والعناصر الميكانيكية التقليدية كالصمامات وأجهزة امتصاص الصدمات وغيرها، بنسبة تصل إلى غاية 40%. فسيتم مثلا استبدال الروابط الميكانيكية، بين عجلة القيادة وعجلات السياقة بتوصيلات سلكية كهربائية لتعمل بالنظام المسمى steer-by wire. ويوجد أيضا مشروع للنظام clutch-by wire، وآخر للنظام brake-by wire (الصورة-20) إلى غير ذلك، مما يجعل سيارات المستقبل أقل وزنا، وأكثر راحة وعزلة عن اهتزازات المحرك والعجلات.

2.3. في مجال المنشآت المقاومة للزلازل

أنجزت اليابان بمساعدة الشركة الأمريكية .Lord Corp، المتخصصة الأولى في إنتاج المائع الريبولوجي وتطبيقاته، عدة مبانٍ حديثة مقاومة للزلازل باستخدام معدات امتصاص الصدمات سريعة وذكية (الصورة-21) تعمل بالمائع الريبولوجي، ولها قدرة التحمل تفوق 20 طنا، مثلما هو مطبق في المبنى المشهور لمتحف العلوم والتقنيات البارزة باليابان (الصورة-22)، وأيضا في مبنى المسجد الأعظم بالجزائر العاصمة.



الصورة-22

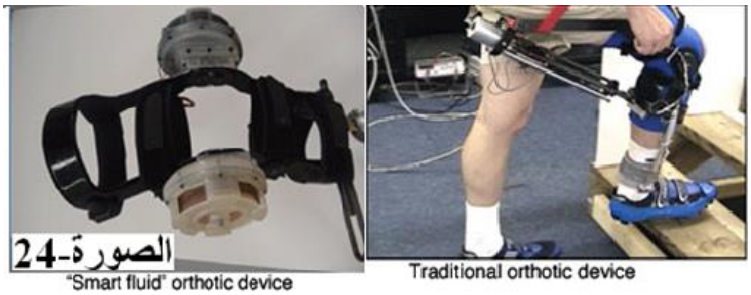


الصورة-21
Schematic of the prototype 20-ton large-scale MR fluid damper.

كما توصلت شركة Lord Corp إلى حل مشكلة اهتزاز الكوابل الحاملة للجسر الشهير في الصين Bridge DingTong (الصورة-23) الذي كان يتعرض للرياح العاتية والسريعة بكثرة.

3.3. التطبيقات في المجال الطبي

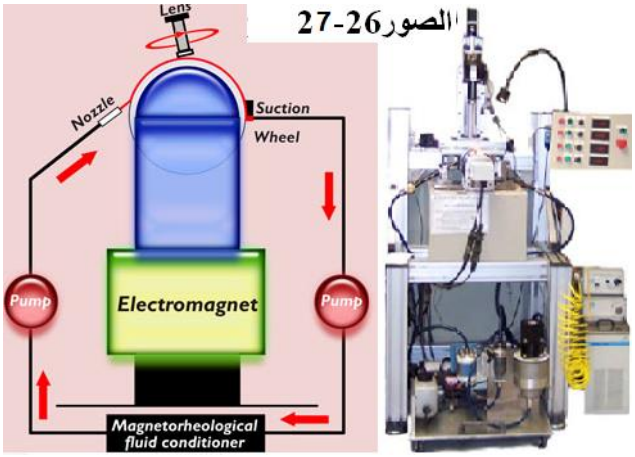
تم تطوير في جامعة نورث إيسترن Northeastern الأمريكية جهازا خفيفا يساعد على دعم وتأهيل حركة الرُّكبة، تحت مسمى AKROD، وذلك باستخدام المائع الريولوجي كوسيلة للفرملة الذكية والسريعة المتطلبة في تأمين حركة متوازنة للجسم (الصورة-24).



وباستخدام المائع الريولوجي، تم أيضا إنجاز جهاز يساعد على تشغيل اليد الاصطناعية التي تتطلب مشغلات خفيفة وسريعة متصلة بإشارات وأوامر آنية يصدرها الدماغ حسب الحاجة الطارئة كما هو موضح في الصورة-25.

4.3. التطبيقات في مجال صقل المواد الصلبة مثل العدسات البصرية والحجارة الكريمة

تمكنت إحدى الشركات المتخصصة في هذا المجال من توظيف المائع الريولوجي ضمن حركة دورانية واحتكاكية، بتدفق مقنّن، مدفوعة من مضخة كما تبيّنه الصورتان 26-27، وهذا لإنجاز أداة صقل مرنة وذكية لا تكلّ بكثرة الاستخدام ولا تحتاج إلى التغيير بصفة مكررة، مع تحقيق دقة عالية في الأداء تصل إلى غاية 10nm. وذلك بتطبيق سريع ومبرمج لحقل مغناطيسي يتحكم آنيا في لزوجة المائع الريولوجي بطريقة التدفق المبرمج.



الصور26-27

5.3. تطبيقات في المجال العسكري

شرعت الولايات المتحدة مؤخرا في إطار المشروع الذي سمّته "مقاتل المستقبل" بتصميم سترة "خفيفة" ومرنة مقاومة للرصاص، محشوة بمائع ريبولوجي يسمح لها بالتحوّل آنيا عند صدمة الرصاص إلى درع صلب شديد الحماية، وهذا باستخدام طريقة الكبس للمائع الذكي (الصورة-28).

الصورة-28

الصورة-29

6.3. التطبيقات في مجال التقنيات الإلكترونية

تم إنجاز عدة أجهزة ووسائل تسمى بالإلكترونيات المرنة (flexible electronics) بإدماج المائع الكهرو-ريبولوجي ضمن تصميم البعض من عناصرها بطريقة الكبس للمائع، مثل لوح مفاتيح قابل للطي لجهاز الحاسوب (الصورة-29).

4. فاعلية ومحدودية المائع الريبولوجي القابل للتحكم

تعتمد فاعلية وجودة المائع الريبولوجي أساسا على قدرته على تحمل الضغط المرتفع ونوعية وحجم جسيماته.

- تتناسب قوة المائع على تحمّل الضغط العالي طرديا مع قدرة التشبع بالمغناطيسية عند الجسيمات التي تكوّنه. وأفضل جسيمات متوفرة حاليا لهذا الغرض هي التي صنعت من مادتي الحديد والكوبالت حيث وصلت قدرة التشبع بالمغناطيسية عندها إلى غاية 2.4 تسله. لكن صنع هذا المركب مكلف جدا حاليا بالنسبة لمعظم التطبيقات العملية المطلوبة. وعليه تبقى الجسيمات المكونة من الحديد الخالص مثل الكربونيل، هي المناسبة عمليا بقدرة تشبع بالمغناطيسية تصل إلى 2.15 تسله. نشير إلى أنّ قوة المائع المغنطو- الريبولوجي تفوق قوة المائع الكهرو- الريبولوجي بحوالي 20-50 ضعفا، ذلك لأنّه مكون أساسا من الجسيمات القابلة للقطبية المغناطيسية التي تتحمّل أكثر شدة الضغط.

- بما أنّ الجسيمات الحديدية هي ثقيلة نسبيا، فإنّها ترسب مع مرور الزمن. وعليه تقلّل من فعالية المائع الريبولوجي. ولذا يتطلب من فترة إلى أخرى تغير أو تجديد هذا الأخير في الأجهزة التي تستخدمه.

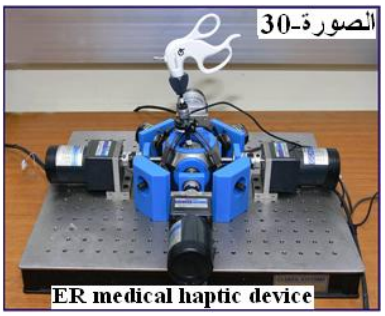
للتقليل من سرعة ترسب الجسيمات الحديدية يلجأ المنتجون حاليا إلى تغليف هذه الأخيرة بمادة خفيفة عازلة تعطي ناتجا معروفا بالسرفكتنت (surfactant) يقاوم أكثر فعل الجاذبية والترسب بسبب الزيادة في حجم الجسيم على حساب الوزن. ومن أنواع السرفكتنت الأكثر استخداما حاليا في هذا المجال نجد : oleic acid , citric acid , soy lecithin.

- القطر النمطي للجسيمات القابلة للمغنطة يتراوح من 3 إلى 5µm. والجسيمات بقطر أقل تعلق بشكل أفضل، غير أنها مكلفة، وعامة تصنع من أكاسد (oxydes)، واستخدامها يتيح موائع ذات استقرار جيّد بلزوجة طيّعة، لكن بقوة لا تتجاوز 5KPa.

نلاحظ أن جسيمات حديد الكاربونيل التجارية وغير المكلفة نسبيا لا يقل قطرها عامة عن 1.5µm، وشركة لورد الأميركية تنتج منها حاليا ثلاثة أنواع مشهورة من الموائع المغنطو-ريبولوجية بالمواصفات المبينة في الجدول الموالي (www.mrfluids.com) :

Property	MR Fluids	ER Fluids
Max. Yield Stress τ_0	50–100 kPa	2–5 kPa
Maximum Field	~250 kA/m	~4 kV/mm
Apparent Plastic Viscosity η	0.1–10 Pa-s	0.1–1.0 Pa-s
Operable Temp. Range	-40–150 °C	+10–90 °C
Stability	Unaffected by most impurities	Cannot tolerate impurities
Density	3–4 g/cm^3	1–2 g/cm^3
η/τ_0^2	10^{-11}–10^{-10} s/Pa	10^{-8}–10^{-7} s/Pa
Maximum Energy Density	0.1 Joules/cm^3	0.001 Joules/cm^3
Power Supply (typical)	2–50 V, 1–2 A	2000–5000 V, 1–10 mA

أخيرا، يتميز المائع المغنطو-ريبولوجي عن المائع الكهرو-ريبولوجي بقدرة تشغيلية منخفضة (low-voltage) وهو لا يتضرر كثيرا من درجات الحرارة القصوى أو الدنيا، وتقنيته تسمح بمرونة وموثوقية كبيرة في تصميم نظم التحكم، إلاّ أنّ بعض الخبراء يعتبرون أنّ المائعين مكملان لبعضهما في كثير من التطبيقات. ذلك أنّ المائع المغنطو-ريبولوجي يصمد بشكل جيد أمام القوى العالية والضغط المرتفع، وأنّ المائع الكهرو-ريبولوجي يناسب أفضل تطوير وتسيير مشغلات نظم التحكم ذات الحجم الصغير. وعلى سبيل المثال، تتطلب نظم تعليق السيارات الصناعية والمنشآت المقاومة للزلازل، قوى معتبرة مثل تلك التي يسمح بها المائع المغنطو-ريبولوجي. بينما تقتضي تطبيقات حديثة، مثل التي تدعّم اليد الاصطناعية المستخدمة في المختبرات، قوى صغيرة وفضاء ضيقا لا يتحمل الأقطاب الضخمة للمغناطيس bulky magnets المتطلبة لتشغيل المائع المغنطو-ريبولوجي (الصورة-30). وعليه فإنّ المائع الكهرو-ريبولوجي الذي يكفيه فقط توصيلات سلكية عادية لتغذيته يكون هو الأنسب في هذه المجال.



الصورة-30

5. مقارنة لخواص أهم الموائع الريبولوجية الذكية المسوقة حاليا

الخواص	المائع الكهرو-ريبولوجي ERF	المائع المغنطو-ريبولوجي MRF
مادة الجسيمات العلقة	نشاء الذرى،البوليمر، الزيوليت	الحديد، الفلاذ، ....
مقاس الجسيمات	0.1-100 µm	0.1-10 µm
الوسط الحامل (الحاضن)	زيوت، جل عازل ، البوليمر،	زيوت اصطناعية، سوائل قطبية وغير قطبية، ماء، ....
الكثافة	1-2 g/cc	3-5 g/cc
لزوجة الحالة الغير منشطة (off state) عند 25 °C	50-2000 mPa-s	50-1000 mPa-s
حقل التحريض	3-5 kV/mm	150-350 kA/m
التغيير الناتج عن التحريض	10KPa=τo(E)	100KPa=τo(B)
مصدر التحريض النمطي	الجهد العالي	المغناطيس الكهربائي أو الدائم
الزمن النمطي للاستجابة	100-200 ms	1-10 ms

6. خواص بعض الموائع الذكية التجارية

المائع البيولوجي	الوسط الحامل	الكثافة g/cc	النطاق الحراري	اللزوجة
MRX-126PD	Hydrocarbon oil	2.66	-40°C to 150°C	
MRX-140ND	Hydrocarbon oil	3.64	-40°C to 150°C	
MRX-242AS	Water	3.88	5°C to 90°C	
MRX-336AG	Silicone oil	3.47	-50°C to 200°C	
ERF-3S-I	Silicone oil	1.054	-10°C to 120°C	127 mPa-s
ERF-3S-II	Silicone oil	0.93	-10°C to 120°C	518 mPa-s
ERF-G01	Silicone oil	.	-10°C to 120°C	3452 mPa-s

المراجع

1. P.W. Elder, Raghavan, A.M. Rakesh Kumar and Ketner, T.S. Davies : A simple Class of Photorheological Fluids: Surfactant Solutions with Viscosity Tunable by Light', Journal of the American Chemical Society, Vol. 129, 6, 2007.

2. N. Louam : Les Fluides Rhéologiques Intelligents et leurs Applications Energétiques et Technico-Industrielles. Revue des Energies Renouvelables, CDER, Vol. 16, 4, Alger, 2013.

3. J.M. Se & J. Huang : Magnetorheological Fluids and their Properties, International Journal of Modern Physics B, Vol.19, 1-3, 2005.

4. Scientific Report, P. Grad : Against the Flow, Technical Articles of the Institution of Engineering and Technology, Office Savoy Place, London, WC2R 0BL, Registration Number 909719, 2007.

5. Scientific Report : Electro-Rheological Fluids and Magneto-Rheological Suspensions, In the Proceedings of the 12th International Conference, held in Philadelphia, USA, August 16-20, 2010. Published by R. Tao, World Scientific Publishing Co., 2011.

6. G. Yang : Large-Scale Magneto Rheological Fluid Damper for Vibration Mitigation: Modeling, Testing and Control, PhD Thesis, Dissertation, University of Notre Dame, Indiana, USA, 2001.

التجربة ودورها في درس الفيزياء
وفق منهاج مرحلة التعليم المتوسط - الجزائر

مهدي بن بتقة ومحمد خضراوي
أستاذان بقسم الفيزياء، المدرسة العليا للأساتذة، القبة

مقدّمة

يعتمد العمل في الفيزياء، في الأساس، على الطريقة التجريبية، التي كانت تسمى أيضا من قبل بالطريقة الفيزيائية. كانت التجربة هي الهدف النظري الذي ينتج من الملاحظة كما ذكر آل بشير الحقاني استنادا إلى كلود بيرنار (Claude Bernard) في كتابه المدخل إلى الطب التجريبي: "إن التجربة هي الملاحظة المحدثة لتحقيق الفرضية أو الإيحاء"، وقد وضع كلود بيرنار في عام 1865 تنظيما للمسعى العلمي ظهر على شكل "أنموذج خطي كما يلي: الملاحظة، الفرضية، التجريب، ويرمز له بالحروف اللاتينية باختصار 'OHE' ". نشير إلى أن ابن الهيثم والخازني سبقاه في ذلك، عندما طبقوا الطرق العلمية في إجراء تجاربهم: ابن الهيثم في الضوء والخازني في الهيدروستاتيكا (علم سكون الموائع) والميكانيكا(حركة الأجسام المادية).

نجد هذا الأنموذج في كثير من كتب التعليمية والتربية والوثائق التربوية في شكله المتطور كما يلي: "الملاحظة، الفرضية، التجريب، النتائج، التفسير، الاستنتاج، ويرمز له بالحروف اللاتينية باختصار 'OHERIC' الذي صُمم بشكل مستقل عن النظرية، مقارنة بالنموذج 'PHERIC' الذي لا يكون له معنى إلا إذا كان في سياق يشمل النظرية، وهذا النموذج يتمثل في: المشكلة، الفرضية التجريب، النتائج، التفسير، الاستنتاج، وتستند كل العلوم على الأسس النظرية التي توفر المصداقية والدقة والتعميم والتنبؤ بالواقع العلمي.

بهذا المعنى، تكون التجربة مرادفة للملاحظة، إلا أن اكتساب المعارف في هذه الحالة لا يتم تجريبيا. وهنا يكمن الفرق بين الملاحظة والتجربة؛ التجربة حسب الدمرداش ومنير هي "نوع من الملاحظة ولكننا في ظروف الملاحظة العادية نشاهد الأشياء على طبيعتها دون أن نحاول التدخل في أمرها والتأثير عليها".

1. التجربة والتجريب

نتطرق فيما يلي إلى النقاط التالية:

* مفهوم التجربة الفيزيائية.
* التجربة الفيزيائية وعلاقتها بالطبيعة.
* التجربة الفيزيائية كمصر للمعارف.
* دور التجربة في تطوير شخصية التلميذ.
* دور التجربة التوضيحية.
* عيوب التجربة التوضيحية.
* تجربة التلميذ.
* وظائف (أهداف) تجربة التلميذ.
* الصعوبات المرافقة لإنجاز تجربة التلميذ.
* أهمية التجربة في الأعمال المخبرية.

تجدر الإشارة هنا إلى نوع من الاختلاف بين مفهومي التجربة والتجريب. فحسب مُواحِد (Mouahid) وفيغنس (Vignes) "تشير كلمة التجربة في كثير من الأحيان، إما إلى تجربة مشتركة، وهذا يعني مجموعة من التصورات التي تنتج عن الخبرات في الحياة اليومية، وإما إلى الخبرة الفردية التي يمكن أن تُبْنَى عبر الزمن. في حين يشير مفهوم التجريب إلى جميع الإجراءات (العمليات) العلمية التي يكون موضوعها اختبار أي فرضية بنيت من قبل. وعليه فالتجريب هو جزء مدمج في المسعى (الإجراء) العلمي".

ومن ثمّ تتطلب عملية التجريب تحقيق الترتيب التجريبي لإبراز الدور التعليمي المنهجي للتجربة ضمن عملية التجريب من أجل، دراسة ظاهرة، أو لاختبار فرضية أو قانون أو نظرية، أو للتأكد من دقة الكميات أو المقادير الفيزيائية.

2. التجربة الفيزيائية وعلاقتها بالطبيعة

تقتضي كثير من الظواهر الطبيعية وصفها وتفسيرها، وحتى تعليلها في السياق العلمي الفيزيائي. ومنذ القدم كانت الظواهر الطبيعية محلّ تساؤل الإنسان بصفة عامة والعالم بصفة خاصة، إلا أنه لم يكن من السهل الإجابة عن هذه التساؤلات قبل البحث عن الطريق الذي ينبغي أن يسلكه الباحث لكي يجيب عنها، أي البحث عن الوسيلة التي قد توصله إلى هذا الطريق.

إن إدخال التجربة الفيزيائية (اعتمادها) كإجراء تطبيقي، أو طريقة عملية للربط بين العملية الذهنية والعمل اليدوي يشكل في حد ذاته المحتوى العلمي من الناحية التجريبية في العلوم الفيزيائية. وعليه يمكن القول بأن التجربة هي الوسيلة الجيدة لاكتساب المعارف من جهة، وكإجراء أو طريقة لتغيير العملية الذهنية تنظيميا وعمليا من جهة أخرى.

تكون التجربة كطريقة، كما يقول فاغنشاين (Wagenschein): "عندما يتطلب الأمر من كل واحد منا، إعادة تكرارها "التكرارية"، وهذا يعني إعادة إنجازها مع إحداث تغيرات في الترتيب التجريبي. كما يتطلب ذلك أيضا إهمال بعض العوامل الفردية أثناء إعادة إنجازها، مثل إهمال مقاومة احتكاك الهواء في السقوط الحر، أي نستخدم فقط العوامل التي يهدف إليها هذا الترتيب التجريبي، وفق متطلبات المنهاج المدرسي، مع الأخذ بعين الاعتبار بعض المقادير القابلة للقياس الكمي.

ولذلك فالتجربة هي الطريقة التي يكون تأثيرها بالشكل التنظيمي والمعرفي على العمليات المختلفة في شكلها الحقيقي، ولذلك ينبغي أن يساير العمل اليدوي، التفكير الذهني في تصور وتخيل شكل وتصميم عملية ما أو ظاهرة ما.

تتمثل العمليات الذهنية في التأمل والملاحظة والفرضية والتخطيط والاختبار والوصف والتفسير...؛ وأما العمل اليدوي فيكمن في انتقاء الأجهزة وتركيبها، وكيفية بناء التجربة، وإنجازها. وهنا يكون الإبداع هو الهدف من التجربة وتجهيزاتها، أي أن هذه الأجهزة بعد ترتيبها وتركيبها يمكن لها أن تعوض عملية ما أو ظاهرة فيزيائية معينة. وتغيير هذه الأجهزة وفق المعطيات المعينة والأهداف المرسومة من قِبَل المجرّب تمكّنه من دراسة كثير من جوانب هذه العملية أو الظاهرة الفيزيائية باستعمال نفس الترتيب التجريبي الذي قد يؤدي إلى نتائج علمية أخرى أثناء الربط بين مختلف العمليات الذهنية والعمل اليدوي. نلاحظ هنا بأن للإدراك دورا أساسيا أثناء التجريب لأن وظيفة الربط بين مختلف هذه العمليات الذهنية واليدوية ليست أمرا سهلا.

تتطلب ممارسة العمل أثناء التجريب الربط بين فهم العمليات الذهنية والعمل اليدوي، وعليه للوصول إلى هذا الهدف ينبغي أن يأخذ الأستاذ بعين الاعتبار النشاط الحركي الذاتي للتلميذ حتى لا يكون الهدف من عملية التجريب

هو ترتيب وتركيب الأجهزة التي يتطلبها التجريب فقط، بل الربط بينها وبين مختلف العمليات الذهنية والأعمال اليدوية، أي قبل إجراء أي تجربة، ينبغي البداية إدراك وفهم هذه العمليات تنظيميا ومنطقيا، سواء من قِبَل الأستاذ عندما يتعلق الأمر بالتجربة التوضيحية أو من قِبَل التلميذ بالنسبة لتجربة التلميذ.

3. التجربة كمصدر للمعارف

اعترف أرسطو من قبل بأن التجربة هي مصدر للمعرفة حيث أن "المعرفة هي مجموعة من الذكريات أتت من الإجراءات التجريبية التي تشكل شروطا أولية للملاحظات المستقبلية" (ويلير Willer، 1990). وبالتالي فإن توجيه الدرس في الفيزياء بقوة نحو التجريب لا يهدف إلى اكتساب المعارف فحسب، بل أيضا إلى تطوير طريقة تفكير التلميذ وعمله أثناء عملية التجريب، وذلك حتى نتفادى تلقين المعارف وحشوها في أذهان التلاميذ. كما نأخذ بعين الاعتبار مشاركتهم ومبادرتهم وخبراتهم ونشاطهم، فتتكون بذلك لدى التلاميذ إمكانيات واستعدادات فكرية وعملية لوصف وتفسير وتعليل مختلف الظواهر في الحياة اليومية.

إن استعمال التجربة، كمصدر للمعارف، يحصل ضمن الأوضاع المختلفة التي تأخذها التجربة في عملية التعلم لدى التلميذ لأن إدراج التجربة، في أي وقت ضمن هذه العمليات، يجلب انتباه التلميذ. وبالتالي تتجمع لدى المتعلّم معارف جديدة على إثر استغلال واستعمال هذه التجربة، سواء من الناحية الوصفية أو الناحية الكمية. وبعد امتلاك التلاميذ لهذه المعارف، يمكنهم إنجاز تجارب أخرى وتوظيف هذه المعارف لوصف وتفسير وتعليل الظواهر في الحياة اليومية فيزيائيا.

4. دور التجربة في تطوير شخصية التلميذ

إن للتجربة في درس الفيزياء دورا يتعلق بتطوير شخصية التلميذ. إنها تؤدي إلى اكتساب مهارات أثناء عملية التجريب، أي يتعلم التلميذ كيف يتعامل مع الأجهزة، ويتصرف بها بنظام وترتيب، وخصوصا عندما يتعلق الأمر بتجربة التلميذ وبالتجربة في الأعمال المخبرية. فهو يتعلم كيفية الإنجاز والتنفيذ، ورسم التوصيلات والمخططات، ومراجعة وإعادة اختبار التركيبات التجريبية، والتوقف عند مشكلة أو تساؤل أثناء استغلال نتائج التجربة، ورسم وقراءة المخططات البيانية، إلخ.

كما يتعلم التلميذ كيف يعمل في إطار المجموعة، وكيف يتعاون مع الزملاء، ويتدرب على العمل الجماعي لاكتساب خبرة التحاور، والمناقشة، وتبادل الأفكار العلمية وإثرائها. وهكذا تؤدي التجربة دورا في تطوير شخصية التلميذ، وتؤدي إلى تكوين الصفات الأساسية لديه، مثل الاستعداد للتعاون والمساعدة والقدرة على النقد، والمثابرة، والثبات،إلخ.

يمكن تلخيص وظائف التجربة التوضيحية كما سماها برون وتوبفير (Bruhn & Töpfer)، وسماها كنول (Knoll) أهداف التجربة، فيما يلي:

"- تُستعمل التجربة التوضيحية لجمع أكبر عدد من المعلومات والمعارف.
- تُستخدم لاختبار صحة النتائج النظرية عمليا (مخبريا) في الدرس.
- تُستعمل لوصف وتفسير مبدأ تشغيل بعض الأجهزة التقنية في الدرس.
- تُستخدم في فهم طبيعة وجوهر بعض النظريات الفيزيائية واستخداماتها في الحياة العملية انطلاقا من هذه الوظائف.
- تُسهل عملية اكتساب أكبر عدد من المعلومات والمعارف في أقصر فترة زمنية.

- تَسمح للتلميذ بالوصول إلى أحسن وأعلى فعالية للدرس وأكثر نشاط وحركية.
- تَجلب انتباه التلاميذ نحو النقاط المهمة في التجربة نفسها.
- تسمح بتدريب التلاميذ على ممارسة العمليات العقلية على نحو مقصود مثل دقة الملاحظة والاستنتاج.
- تسمح للأستاذ بالإجابة عن تساؤلات التلاميذ أثناء تنفيذ التجربة.
- تراعي الإمكانيات المحددة للمدارس من حيث توفر الأدوات والأجهزة المخبرية حيث يمكن إجراء التجارب، حتى لو كانت بوسائل بسيطة أو جهاز واحد" برون وتوبفير(1979).

5. دور التجربة التوضيحية

من أجل رفع فعالية التجربة التوضيحية، كما ذكر دويت وآخرون (Duit et al.)، ينبغي مراعاة ما يلي:

"- أن يقوم الأستاذ بتحديد الأهداف من التجربة مسبقا بحيث يجب على كل تلميذ أن يعرف ما الذي ينوي الأستاذ عمله؟ وما ينوي الوصول إليه بهذه التجربة؟

- أن يقوم الأستاذ بتعريف الأدوات والأجهزة اللازمة، وتحديد أهمية كل منها، من أجل استخدامها في عملية التجريب.

- أن يحرص الأستاذ، على أن يعمل التلاميذ في نظام معين، يساعده على اكتشاف المعرفة العلمية من خلال التجربة، أي يستخدم التلاميذ نمطا معينا يتعلق بتسجيل أسماء الأدوات والأجهزة والملاحظات وكتابة التفسيرات والاستنتاجات.

- أن يتأكد الأستاذ من خلال الأسئلة التي يوجهها من حين لآخر، بهدف التأكد من أن الجميع قد تفاعل مع التجربة، ويفكر في نتائجها.

- أن يناقش الأستاذ تلاميذه في نهاية التجربة، بقصد توحيد الملاحظات والاستنتاجات.

- أن يحرص الأستاذ على إشراك بعض التلاميذ وإتاحة الفرصة لهم بالممارسة واكتشاف الحقائق الظاهرية" (دويت وآخرون، 1981).

6. عيوب التجربة التوضيحية

على الرغم من مزايا هذه التجربة كوسيلة تعليمية تطبيقية ناجحة، فإن مجرد استخدامها لا يؤكد ضمان الاستفادة منها، فشأنها في ذلك شأن بقية الوسائل التعليمية، فهي:

- لا تمكّن جميع التلاميذ من الملاحظة الدقيقة للظاهرة المدروسة.
- لا يهتم بعض التلاميذ إلا بالأدوات المستخدمة ويهملون هدف التجربة.
- يتم تلقين المعلومات كمسلّمات دون مناقشتها من قِبَل الأستاذ.
- لا تسمح بتغيير التصورات القبلية للتلاميذ؛ كما لا تجيب عن تساؤلاتهم، مما يؤدي إلى قلة الاهتمام بها من قِبَل التلاميذ.

7. تجربة التلميذ

إن تجربة التلميذ هي "التجربة التي ينجزها التلميذ بنفسه في درس الفيزياء حيث ينبغي على التلميذ في هذا النوع من التجربة المدرسية أن يقوم بكل الخطوات التي تتعلق بإنجاز التجربة بنفسه وبتوجيه من الأستاذ الذي يقوم بدور الموجّه" (بلايشروث وآخرون، Bleichroth et al، 1990).

يستطيع التلميذ بهذه التجربة أن يتأكد من قانون أو مبدأ فيزيائي قُدِّم له أو عُرِض عليه في التجربة التوضيحية بنفسه. ويكون هنا إنجاز التجربة من قِبَل تلميذ واحد أو فوج صغير من التلاميذ في درس الفيزياء لحل بعض الإشكاليات بالاعتماد على نفسه في إنجاز كل مراحل عملية التجريب: التحضير، التصميم (التخطيط)، بناء التجربة، الإنجاز، أخذ القياسات، دراسة النتائج. وعليه فالعمل الذهني/اليدوي في هذا النوع من التجارب يكون من طرف التلاميذ أنفسهم، مثل بعض التجارب التي اقترحت في مرحلة التعليم المتوسط في الميادين المقررة: تحريك جسم فوق لوح أملس، رسم مسارات نقاط من الورق المقوى، وهذا خلال السنة الثانية متوسطة؛ تجربة عربة مجرورة بخيط، وتجربة جر عربة على سطح أملس، ثم سطح خشن السنة الرابعة متوسطة، إلخ.

8. وظائف (أهداف) تجربة التلميذ

يمكن أن نلخص وظائف تجربة التلميذ كما سماها، برون وتوبفير، وسمّاها كنول أهداف التجربة، فيما يلي:

"- تُستخدم للإجابة عن بعض انشغالات التلميذ وميوله حول الظواهر في الدرس.

- تُستخدم لتوظيف معارف التلميذ في وصف وتفسير وتعليل الظواهر/الأحداث.

- تتطلب نشاط التلاميذ وحركيتهم لحل بعض الإشكاليات باتباع المسعى العلمي.

- تُستخدم لاكتشاف الرغبة لدى التلاميذ في البحث عن المعرفة.

- تُكْسِب التلاميذ بالإضافة إلى المعارف، القدرات والمهارات والإتقان.

- تُساهم في تطور ونمو شخصية التلميذ" برون وتوبفير (1979) وكنول (1978).

9. الصعوبات المرافقة لإنجاز تجربة التلميذ

تكمن أهم الصعوبات، التي تترتب عن إنجاز تجربة التلميذ، كما ورد عند كنول في النقاط التالية:

1- تحتاج إلى فترة زمنية طويلة نوعا ما، وهذا قد يؤثر سلبا في سير مراحل الدرس ويعرقل خصوصا الجانب التعليمي المنهجي لإنجاز هذا النوع من التجارب في الدرس، مثل تصميم التجربة وتحضير الأجهزة والأدوات، وكذا التأكد من تشغيلها قبل الإنجاز.

2- يحتاج الأستاذ إلى مدة طويلة لتوزيع الأجهزة والأدوات على أفواج التلاميذ في الدرس، ثم بناء التجربة وفق المشكلة المطروحة، التي تتطلبها هذه التجربة وذلك لحل هذه المشكلة باتباع المسعى العلمي. كما يحتاج أيضا إلى فترة زمنية أخرى لجمع الأجهزة والأدوات. ولتفادي مضيعة الوقت ينبغي التحكم في إنجاز التجربة من قِبَل الأستاذ لأن دوره هنا لا يتعدى التنشيط والتوجيه.

3- كثرة التلاميذ في القسم حيث يصعب على الأستاذ القيام بدور الموجه والمنشط.

4- عدم خبرة الأستاذ أو قلتها أو عدم تعوده على العمل بمثل هذا النوع من التجارب، لأنه قليلا ما يعتمد الأستاذ هذا النوع من التجارب في درس الفيزياء، وقد يقتصر على استعمالها في الأعمال المخبرية. إن إنجاز تجربة التلميذ في الدرس له أهمية بالغة، إذا ما عرف الأستاذ كيف يتعامل معها من حيث الوقت، وعدد التلاميذ بالمقارنة مع التجربة التوضيحية" (كنول، 1978).

10. أهمية التجربة في الأعمال المخبرية

رغم بعض النقائص والصعوبات بالنسبة للتجربة التوضيحية ولتجربة التلميذ، فإن إنجاز التجربة في الأعمال المخبرية لها أهمية في تنمية التفكير الإبداعي واكتساب المهارات اليدوية والعلمية وتطوير الاتجاهات والميول العلمية عند التلاميذ. ومن أجل التقليل من هذه العيوب وزيادة فعالية الأعمال المخبرية وأهميتها، اقترح كنول مجموعة من الأمور ينبغي مراعاتها، وهي:

"- إبراز الهدف من التجربة من قِبل المعلم بشكل سؤال أو إشكالية علمية واضحة ومفهومة لا غموض فيها لدى التلاميذ.

- إعداد بطاقة مخبرية (بروتكول) يحدد فيها المعلم خطوات العمل مع تسجيل التلاميذ ملاحظاتهم واستنتاجاتهم وتفسيراتهم خلال كل خطوة.

- التأكد من مشاركة كل التلاميذ بنفس الفعالية من خلال الأسئلة لكل تلميذ في المجموعة.

- إجراء التجريب في الوقت المناسب، بعد الدرس أو قبله، حتى نضمن إثارة اهتمام ودافعية التلاميذ للتعلم، إذ أن الأنشطة العلمية التي تكون في نهاية الدرس قد تفقد قدرتها على إثارة اهتمام التلاميذ.

- إعطاء توجيهات وتعليمات واضحة للتلاميذ حتى لا تسود الفوضى في المخبر.

- عدم التصريح بنتائج التجربة مسبقا لتشويق التلاميذ وإثارة فضولهم لمعرفة النتيجة" (كنول، 1978).

بعض المراجع

1. حسام، عبد الله (2003): طرق تدريس العلوم-لجميع المراحل الدراسية، دار أسامة للنشر والتوزيع عمان-الأردن.

2. ميشيل، كامل عطا الله (2001): طرق وأساليب تدريس العلوم، دار الميسر للنشر والتوزيع، الطبعة الأولى، الأردن.

3. وزارة التربية الوطنية (2003): منهاج السنة الأولى من مرحلة التعليم المتوسط الرياضيات وعلوم الطبيعة والحياة والعلوم الفيزيائية والتكنولوجيا، الديوان الوطني للتعليم عن بعد الجزائر.

4. وزارة التربية الوطنية (2005): الوثيقة المرافقة لمنهاج العلوم الفيزيائية، السنة الأولى من التعليم الثانوي العام. اللجنة الوطنية للمناهج، الجزائر.

5. وزارة التربية الوطنية (2015/2016): منهاج مرحلة التعليم المتوسط، العلوم الفيزيائية والتكنولوجيا اللجنة الوطنية للمناهج، الجزائر.

6. Bleichroth, W. et al. (1991): Fachdidaktik Physik; Aulis-Verlag Deubner & CO KG Köln. Germany.

7. Duit, R., Häußler, P.& Kircher, E. (1981): Unterricht Physik. Köln: Aulis. Germany.

من مبرهنة الاستحالة لفان نيومان إلى التشابك الكمومي (1)

مفارقة "آب ر" (EPR) والمتغيرات الخفية

جمال ضو

أستاذ بقسم الفيزياء، كلية العلوم الدقيقة، جامعة الشهيد حمه لخضر، الوادي

مقدمة

بعد قرن تقريبا من ظهور ميكانيكا الكم، كنظرية علمية تتحكم في العالم الذري، لا يزال هذا العلم محاطا بنفس التساؤلات الوجودية التفسيرية التي صاحبت نشأته. فبالرغم من أن هذه النظرية استطاعت عبر قرن من الزمن أن تجتاز جميع الاختبارات التجريبية العملية وتثبت تماسكها الرياضياتي -بل جمالها وتناسقها إلى درجة قاربت الكمال الرياضياتي- فلم يزعم أحد من العلماء حتى اليوم أننا نمتلك إدراكا كاملا لحقيقة الظواهر الكمومية، أو أننا نمتلك تفسيرا متكاملا للعالم الكمومي. فكما قال ريتشارد فايمان Feynman في محاضرة شهيرة ألقاها في جامعة "كالتيك" (Caltech) بكاليفورنيا : "أستطيع القول بأمان أن لا أحد يفهم ميكانيكا الكم!"

إن مسألة تفسير ميكانيكا الكم ليست مجرد إشكالية فلسفية أو ميتافيزيقية كما قد يتصور البعض. فلقد تبين مع تطور فهمنا للنظرية الكمومية والنسبية العامة أننا أمام إشكالية وجودية تقف حاجزا أمام فهمنا للطبيعة بأبعادها المختلفة، وربما أمام مفهوم الوجود والحقيقة والمعرفة مجتمعةً.

إن الهدف من هذه المقالة ليس النقاش الفلسفي الذي كثيرا ما يستهوي البعض، ولكن الغاية منه هي تقديم سرد تاريخي علمي وموجز ومبسط قدر الإمكان لبعض المنعرجات البارزة التي نقلت النقاش حول تفسير ميكانيكا الكم إلى مرحلة معرفية موضوعية مختلفة عن تلك التي سادت من بدايات الثلاثينيات إلى بدايات الستينيات من القرن العشرين. ومن خلال هذا السرد سنأتي على قصة ذات دلالة مهمة، إذ إنها تعكس كيف أن بعض المسلّمات التي قد تبدو بديهية من منطلقات رياضياتية وفيزيائية -وتصدر عن عالِم ذي قامة علمية كبيرة مثل فان نيومان Von Neumann- شوشت النقاش العلمي ووقفت حاجزا أمام كثير من العلماء. ذلك أن العديد منهم اعتبروا أن المسألة حُسمت رياضياتيا وتجنبوا، خلال دراساتهم ومحاولاتهم لإيجاد تفسيرات لميكانيكا الكم، العودة إلى مناقشة هذه المسلمة ومناقشة مدى حجيتها. وقد تطلب الأمر أزيد من ثلاثة عقود حتى يكشف العالم والفيزيائي النظري الشهير جون بيل Bell مكمن الخطأ في مبرهنة فان نيومان . والواقع أن هذا هو الشائع بين عامة الفيزيائيين، ولكننا سنأتي في الجزء الثاني من المقالة على ذكر معلومة تاريخية ضاعت وسط ركام سطوة مدرسة كوبنهاجن.

نشير إلى أن المهم في هذه المقالة ليس تقديم قراءة تاريخية لتطور تفسير ميكانيكا الكم. فالكاتب ليس مختصا في تاريخ العلوم ولا يمكنه أن يقوم بهذه المهمة. كما أن الغرض ليس مساهمة في النقاش الفلسفي والفكري المحيط بالموضوع، إذ لا نعتقد أن النقاش الفلسفي سيساهم بقوة في يوم من الأيام في حلّ هذه المعضلة أو حسم النقاش. ولكن الهدف الرئيس هو فتح أعين الطلبة والقراء المهتمين من غير العارفين بهذه القضايا على مسائل تستحق الاطلاع حتى يدرك هؤلاء جانبا آخر لنظرية الكم. إنها نظرية تُعتبر من أعظم إنجازات العقل البشري وأكثرها غموضا في آن واحد.

نشير إلى أنه ونظرا لعدم إمكانية الاحاطة بالموضوع في مقالة واحدة، بحسب الحجم المسموح به في المجلة، فإننا أخترنا أن نعرض الموضوع في جزئيين. كما ارتأينا أن نذكّر بأهم المفاهيم الفيزيائية الأساسية التي قد يحتاج إليها القارئ ذو الخلفية العلمية وغير المتخصص في الفيزياء حتى يتسنى له فهم الأفكار الأساسية لهذه المسألة والإشكاليات العلمية المحيطة بها.

1. الضروري من الزاد في ميكانيكا الكم

يقوم ميكانيكا الكم على عدد من المسلّمات الأساسية. لن نتطرق هنا إلى كل هذه المسلّمات ومناقشتها، ولكن سنكتفي بالإشارة إلى ما يهمنا في سياق نقاش القضية التي نحن بصددها :

وصف حالة نظام كمي (لنتصوره جسيما مثلا، إلكترون) يكون بإعطاء دالة تُعرف بدالة الحالة ψ ، والتي هي في الحقيقة عبارة عن شعاع من فضاء هيلبرتي. لتبسيط الفكرة يمكن اعتبار هذا الفضاء مجرد فضاء شعاعي مركب (عُقدي) بعده d مزود بالجداء السلمي المعتاد : إذا كان $\psi = \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_d \end{pmatrix}$ و $\varphi = \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ d_d \end{pmatrix}$ شعاعين من هذا الفضاء فإن جداءهما السلمي هو $(\varphi, \psi) = \sum_i b_i^* a_i$ حيث يرمز b_i^* للمرافق المركب لـ b_i.

- بالإضافة إلى دالة الحالة فإن كل نظام كمي أو جسيم يمتلك عددا من الكميات الفيزيائية المرفقة به والقابلة للقياس، (موضع، طاقة، عزم حركي، إلخ.). في ميكانيكا الكم، تعرف هذه الكميات بالملاحظات (Observables)، أي كميات قابلة للقياس. يرفق بكل مُلاحَظ مؤثر خطي هرميتي على فضاء هيلبرتي. للتبسيط أيضا يمكن تصوّر أن هذه المؤثرات مصفوفات هرميتية.
- معرفة دالة حالة النظام لا تمكّننا بشكل عام من التنبؤ بنتائج قياس، أي من هذه الملاحظات، ولكنها تزودنا فقط باحتمال الحصول على قيمة ما إذا ما قمنا بعملية القياس. نتائج القياس هي إحدى القيم الذاتية لهذا المؤثر (المصفوفة).

فمن أجل ملاحظ كيفي A بقيم ذاتية $\{a_i\}$، معرفةُ دالة الحالة للنظام ψ تكفي لحساب احتمال الحصول على القيم المختلفة $\{P_i\}$. ومنه يمكن حساب القيمة المتوسطة للملاحظ بالشكل المعروف .

- إذا كانت حالة النظام عند لحظة ما هي ψ ، وقمنا بقياس ملاحظ A وحصلنا على قيمة a، فإن حالة النظام بعد القياس مباشرة هي الشعاع الذاتي للملاحظ A المرفق بالقيمة الذاتية a . للتبسيط، افترضنا هنا أن القيمة بسيطة وغير منحلّة (غير مكررة). تعرف هذه الظاهرة بانهيار دالة الحالة.

الأمر المهم الآخر الذي تجدر الإشارة إليه هنا، كنتيجة لما سبق، هو أن كل ملاحظيْن فيزيائييْن A و B مثلا، غير متبادليْن (أي أن المؤثرين المرفقين بهما غير متبادلين $AB - BA \neq 0$) لا يمكن قياسهما في آن واحد. نشير إلى أنه قد نتمكّن من ذلك أحيانا من أجل بعض القيم الذاتية ولكنه لا يمكن القيام بالقياس مع كل القيم بشكل عام. بعبارة أخرى، إنه لا يمكن القيام بتجربة فيزيائية تمكننا من الحصول على نتيجة دقيقة للملاحظيْن A و B في نفس الوقت. هنا يمكن للطالب أن يتذكر مبدأ هايزينبيرغ الشهير للارتياب أو عدم اليقين.

2. تجربة ومفارقة "آب ر" (EPR)

دعنا أولا نقف وقفة قصيرة لنلخص المشهد الذي عرضناها في الأعلى. في ميكانيكا الكم معرفة دالة الحالة تعطينا معلومات احصائية عن نتائج القياس، ولا تمكننا من التنبؤ بنتائج القياس لكل الملاحظات الفيزيائية المرفقة بالنظام. كما أنه لا يمكن بأي حال من الأحوال أن نتمكن من قياس ملاحظيْن غير متبادلين حتى لو علمنا دالة الحالة للنظام في تلك اللحظة.

من ناحية أخرى، إذا كانت حالة النظام عبارة عن تركيبة خطية بين حالتين ψ_1 و ψ_2 ، مثلا

$$\psi = \frac{1}{\sqrt{2}}(\psi_1 + \psi_2) \qquad (1)$$

فإنه لا يمكن بأي حال من الأحوال القول إن النظام يوجد في الحالة الأولى أو الثانية، بل كل ما يمكن قوله إنه إذا قمنا بتجربة لمعرفة ذلك فإن احتمال أن نجد النظام في الحالة الأولى هو نصف، واحتمال أن نجده في الحالة الثانية نصف. وبمجرد أن نقوم بالقياس ونجد الحالة الأولى أو الثانية فإن دالة الحالة للنظام تتحوّل (تنهار) إلى تلك الحالة التي وجدناها. أما قبل عملية القياس فيعتبر من الخطأ أن نقول إن النظام موجود في الحالة الأولى أو الثانية.

هذه التفسير الذي يعتبر إلى حد كبير متناسقا رياضياتيا وتجريبيا، يعرف بوجهة النظر المحافظة، أو بتفسير مدرسة كوبنهاجن أو بور Bohr (ليس مهما هنا الخوض في كثير من التعقيدات والتفاصيل والنقاشات المحيطة بطبيعة هذا التفسير ومدارسه الفرعية أو تفسير تفسيراته).

لا شكّ في أن الذي اطلع على تاريخ نشأة ميكانيكا الكم يكون قد قرأ عن تلك النقاشات والحوارات الشهيرة التي دارت بين آينشتاين وبور حول مبادئ ميكانيكا الكم : كان بور يرى أن ميكانيكا الكم يعتبر نظرية كاملة وغير متناقضة بأي شكل من الأشكال معرفيا ووجوديا، بينما كان آينشتاين يرى أن النظرية الكمومية مجرد خطوة غير مكتملة، وتتضمن تناقضات داخلية.

في هذه النقاشات، كانت الغلبة فيها دائما لبور حيث دحض كل حجج آينشتاين والتجارب الذهنية التي قدمها ليثبت بها تناقض مسلّمات الكم (خاصة ما تعلق منها بعدم إمكانية قياس ملاحظيْن غير متبادلين في آن واحد). ولكن في سنة 1935 كتب آينشتاين رفقة عالمين آخرين، هما بودولسكي Podolsky وروزن Rosen، مقالة علمية قدموا فيها تجربة تصورية أو ذهنية (عمليا قابلة للإجراء، اصبحت تعرف بتجربة أو مفارقة "آب ر" EPR).

لقد بيّن هؤلاء العلماء في بحثهم أن النظرية الكمومية بشكلها الحالي لا يمكن أن تقدم وصفا مكتملا للحقيقة الفيزيائية، بل إن ظاهر تفسير تجربتهم يؤدي إلى إمكانية قياس ملاحظين غير متبادلين في نفس الوقت، وكذا إمكانية معرفة حالة نظام من دون قياسها. وهذا بالرغم من أنها كانت حالة مزيج خطي بين حالتين قبل القياس من شكل المعادلة (1)، خلافا لما تنصّ عليه أساسيات النظرية الكمومية كما أشرنا أعلاه. الأعلى. نشير إلى أن هذه التجربة التصورية والمقدمات والمعايير التي وضعها العلماء الثلاثة آينشتاين و بودولسكي وروزن لمفهوم الحقيقة الفيزيائية ربطت تفسيرات ميكانيكا الكم بمبادئ فيزيائية أساسية كالمحلية (locality) والسببية، مثلما سيتبيّن لاحقا.

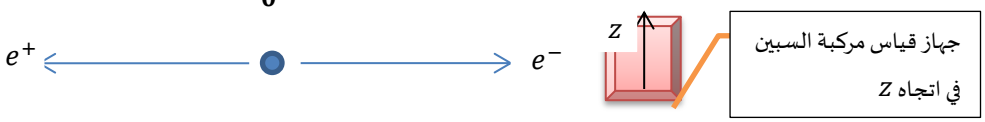
تجدر الإشارة هنا إلى أن الثلاثي "آب ر" لم يناقشوا تفسير ميكانيكا الكم وتجربتهم إلا بعد أن وضعوا مجموعة من المعايير التي تحدد معنى الحقيقة الفيزيائية وما المقصود بنظرية فيزيائية متكاملة. لن نتعرض هنا إلى هذه المعايير، ولا إلى الجدل الذي أثير حولها لأن تبعات هذه المفارقة وما أفرزته -بصرف النظر عن الإشكاليات التي قد تعتبر فلسفية- باقية مهما كانت الاعتبارات والمنطلقات الفلسفية التي لا يبدو أنها ستحسم النقاش في يوم من

الأيام. والقارئ الذي يرغب في الاطلاع على هذه المعايير ونقاشها يمكن أن يعود إلى المقالة الأصلية للثلاثي "آب ر" أو أن يطلع على ما جاء في كتاب بوم Bohm، فهو أبسط وأكثر وضوحا خاصة بالنسبة للطلبة، والمصدران مذكوران ضمن قائمة المراجع.

يمكن تقديم مفارقة أو تجربة "آب ر" باختصار عبر نسخة معدلة وأكثر وضوحا وقابلية للتعامل تجريبيا من النسخة الأصلية التي ظهرت في مقالة المؤلفين "آب ر". تُعرف هذه النسخة المعدَّلة بنسخة بوم.

لنتصور أن لدينا جسيما (π_0 مثلا- البايون) يتحلل أو يتفكك، في وضع السكون، إلى جسيمين، إلكترون (e^-)و بوزيترون (e^+)،

$$\pi_0 \longrightarrow e^- + e^+$$



يمثل الشكل أعلاه مشهدا مبسطا لما يحدث. حيث أنه في لحظة ما ينقسم الجسيم π_0 ، ويتجه الإلكترون نحو جهة والبوزيترون نحو الجهة المعاكسة، وذلك بسبب إنحفاظ الدفع الخطي أو كمية الحركة. ومن ناحية أخرى -وبسبب إنحفاظ العزم الحركي وكون البايون لا يمتلك عزما حركيا ذاتيا، أي أن له سبين (spin) صفر- فإن الحالة النهائية المكونة من إلكترون وبوزيترون يجب أن تكون أيضا حالة بسبين صفر. وبما أن الإلكترون والبوزيترون كلاهما يملكان سبين نصف $(\frac{1}{2})$ فإن الحالة النهائية يجب أن تكون من الشكل التالي :

$$\psi = \frac{1}{\sqrt{2}}[\psi_+(e^-)\,\psi_-(e^+) - \psi_-(e^-)\,\psi_+(e^+)]. \qquad (2)$$

الحالة $\psi_+(e^-)$ تعني أن سبين الإلكترون في اتجاه ما (ليكن z) هو $+\frac{1}{2}$ أو باختصار $+$، والحالة $\psi_-(e^+)$ تعني أن سبين الإلكترون في اتجاه z هو $-\frac{1}{2}$ أو $-$. ونفس الشيء بالنسبة للبوزيترون.

الآن، ماذا تعني الحالة المعطاة بالمعادلة (2) من الناحية التجريبية؟

بحسب قواعد ميكانيكا الكم (التي اثبت صحتها تجريبيا) فإننا إذا قمنا بوضع جهاز لقياس مركبة السبين للإلكترون في اتجاه ما فإننا سنجد إما + أو - كما أشرنا أعلاه. لكن الأهم من ذلك هنا أنه إذا حصلنا على نتيجة موجبة + فإن أي عملية قياس لمركبة السبين نفسها للبوزيترون ستعطي حتما قيمة، والعكس صحيح. هذا يعني أن ميكانيكا الكم لا يحدد لك حالة السبين لأي من الجسيمين سلفا، ولكن يخبرك أن عمليات القياس ستكون مترابطة ترابطا وثيقا ودقيقا.

قد يبدو للوهلة الأولى أن لا شيء غير عادي يحدث هنا. وقد يشبّه أحدهم المسألة بشخص لديه صندوق فيه قريصتان، واحدة سوداء والأخرى بيضاء، وقام بإخراج القريصتين، ووضع كل واحدة منهما في صندوق وأغلق عليهما، وأعطى صندوقا لأحمد وصندوقا آخر لعلي، وأفترق أحمد عن علي. صحيح أن أحمد لا يعلم ما في صندوقه ولا ما في صندوق علي، ولكن بمجرد أن يفتح أحمد صندوقه ويتعرّف على لون القريصة التي في صندوقه فسيعلم مباشرة وعلى وجه اليقين أيضا لون القريصة الموجودة في صندوق علي من دون فتح صندوق هذا الأخير. ولا يبدو في هذا أي مشكل!

لكن لنتوقف لحظة، لأن التشبيه بالقريصات والصناديق غير صحيح في سياق ميكانيكا الكم.

الإلكترون والبوزيترون الناتجان عن تحلل البايون اتجه كل واحد منهما في اتجاه وابتعدا عن بعضهما. وإذا قمنا بقياس مركبة سبين الإلكترون، $S_z(e^-)$ مثلا، وحصلنا على نتيجة موجبة فإننا لا نحتاج عمليا لقياس مركبة سبين البروزيترون $S_z(e^+)$ ، بل بمجرد حصولنا على نتيجة موجبة للإلكترون فإننا نعلم يقينا أن نتيجة القياس لسبين البروزيترون ستكون حتما سالبة، والعكس صحيح، وهو ما يناقض التفسير المحافظ.

فحالة سبين البوزيترون لم تكن معلومة قبل القياس، ولكن بقياس سبين الإلكترون البعيد والمنفصل عنه (مسافات تصل إلى ما نشاء) أمكن معرفة نتيجة القياس من دون إجراء أي عملية القياس على البوزيترون. يعني ذلك بحسب "آب ر" أن سبين البوزيترون كان محددا سلفا بعكس التفسير المحافظ، أو أن عملية قياس سبين الإلكترون أثرت بشكل آني ومباشر على حالة سبين البوزيترون وجعلت حالته تنتقل آنيا إلى الحالة المعاكسة، وهو ما يعكس عدم محلية النظرية الكمية، أي إمكانية التأثير عن بعد بسرعة أكبر من سرعة الضوء. وفي كلتا الحالتين فإن ميكانيكا الكم بشكله الحالي وفي ظل التفسير المحافظ في مأزق.

هذه التجربة أو المفارقة تضع ظاهريا تفسير ميكانيكا الكم وقواعده أمام تحدٍ أكبر ذي صلة بالإشكالية السابقة. فلقد أشرنا آنفا إلى أنه لا يمكن قياس ملاحظيْن غير متبادليْن في آن واحد، ولكن هذه التجربة تشير إلى أن هذا ممكن : بما أنه بقياس سبين الإلكترون يمكن معرفة اتجاه سبين البوزيترون فيمكن أن نقيس سبين الإلكترون من ناحية لنعرف سبين البوزيتورن في اتجاه Z ، ثم نضع جهاز قياس أمام البوزيترون المركبة مثلا لسبين البوزيترون ونعرف قيمتها. ومن ثمّ نكون قد قسنا ملاحظيْن غير متبادليْن في آن واحد S_z و S_x . وكما هو معلوم لدى طلبة الفيزياء فإن هذين الملاحظيْن لا يتبادلان . نشير هنا إلى أن عملية قياس S_z تحتاج عادة إلى إجراء تجربة مختلفة عن التجربة التي يمكن بها قياس S_x، وإذا قمنا بقياس S_z وحصلنا على قيمة معينة فإن التجربة الموالية لقياس S_x تدمر المعلومات التي حصلنا عليها بخصوص المركبة S_z .

دعنا نلخص أهم دلالات تجربة "آب ر". أولا، فإن عملية قياس سبين الإلكترون التي جعلتنا عمليا نعرف حالة البوزيترون بشكل يقيني تشير إلى عملية تأثير عن بعد غريبة جدا. فكيف لتجربة أجريت على جسم ما يبعد مسافات كبيرة (كبيرة بالقدر الذي نريد) تؤدي إلى تحديد أو انهيار دالة الحالة لجسيم آخر (البوزيترون) وتحديد نتيجة قياس مركبة السبين مسبقا حتى وإن لم نقم بها؟ أطلق آينشتاين على هذه الظاهرة اسم " التأثير الشبحي عن بعد". وهذا ما ينقاض مبدأ المحلية، والذي ينصّ في أحد نسخه على أنه لا يمكن لأي تأثير فيزيائي أن ينتقل بشكل آني، كما لا يمكن لأي تأثير أن ينتقل بسرعة تفوق سرعة الضوء. ثم إن الانتقال الفيزيائي بسرعة أكبر من سرعة الضوء يؤدي إلى خرق مبدأ السببية مثلما هو معلوم في النسبية الخاصة. في الحقيقة، يمكن البرهان على أنه لا يوجد في هذه التجربة بالذات انتقال حقيقي ومادي بسرعة تفوق سرعة الضوء بشكل يمكن أن يخرق مبدأ السببية (انظر المناقشة المبسطة الواردة في المرجع 5).

أما الدلالة البديلة فهي القبول بكون أن حالة السبين كانت محددة سلفا، وتمثل حقيقة فيزيائية، وأن القصور يكمن في كون دالة الحالة لا تعطي كافة المعلومات حول النظام الكمي.

تجدر الإشارة إليه هنا إلى أن آينشتاين وبودلوسكي وروزن لا يقولون بخطأ ميكانيكا الكم، كما لم يصدروا شكوكا حول ذلك، بل هدفهم الرئيس ومحور فكرتهم أن ميكانيكا الكم بشكله الحالي لا يمكن إلا أن يقدم وصفا غير مكتمل للحقيقة الفيزيائية .

لن نخوض في النقاشات الفلسفية والفكرية التي أحاطت بهذه المفارقة وهذه التجربة، ولكن نشير إلى أن بور قام بكتابة رد سريع على ما ورد في هذه المقالة يمكن للقارئ أن يطلع عليه في المرجع 3.

والأهم بالنسبة لنا هو التبعات الفيزيائية والعملية لهذه التجربة الذهنية التي تبيّن أنها عميقة جدا وذات أبعاد وتبعات تتجاوز توقعات العلماء الثلاثة الذين اقترحوها .

3. المتغيرات الخفية

كما أشرنا أعلاه فلا أحد يمكنه أن يشكك في صحة ميكانيكا الكم، على الأقل كسلسة أو مجموعة من الأدوات الرياضياتية المتماسكة والقادرة على التنبؤ بالنتائج التجريبية وتفسير العالَم الذري. ولم يظهر لحد اليوم تناقض تجريبي لهذه النظرية. ولهذا، وفي محاولة للتوفيق بين التساؤلات أو التناقضات التي طرحتها تجربة "آب ر" وميكانيكا الكم، كان من الطبيعي أن يقترح عدد من العلماء المهتمين بتفسير ميكانيكا الكم حلولا لهذه المعضلة، مقترحات وتصورات تحل هذه الإشكاليات التي تحيط بميكانيكا الكم القائم. وذلك من دون الإخلال بنجاحات هذا العلم في تفسير العالَم الذري. ومن بين أشهر التصورات أو الحلول التي تم اقتراحها فكرة " المتغيرات الخفية".

قبل التطرق لفكرة المتغيرات الخفية تجدر الإشارة إلى أن الأغلبية الساحقة للعلماء في الفيزياء انشغلوا بتطبيق ميكانيكا الكم على العالَم الذري بأدواته الرياضياتية وتفسيراته المحافظة تقريبا دون الالتفات كثيرا لهذه التساؤلات، أو ما يسمى أحيانا بطريقة : "أحسب وأصمت".

يقوم تصور وجود متغيرات خفية على الفكرة الفيزيائية والرياضياتية التالية:

في ميكانيكا الكم، تمثل دالة الحالة المصدر الرئيس والمحوري للمعلومات حول النظام الكمومي، ومنها يمكن استقاء جميع المعلومات الممكنة حول النظام، والتي هي عبارة عن احتمال الحصول على نتائج قياس كافة الملاحظات المرفقة بالنظام، ومنه القيم المتوسطة لهذه الملاحظات، إلخ.

الآن، لنتصور أن دالة الحالة ليست هي نهاية القصة بل هي مجرد تعبير عن جهلنا أو عدم قدرتنا على التعامل مع العالَم الذري، وأن هناك متغيرات أخرى قادرة على تحديد ووصف العالم الكمي بشكل كامل ويقيني، وهذا بشكل شبيه بما يحدث في الميكانيكا الاحصائي الكلاسيكي (أو لِنَقُل النظرية الحركية للغازات). ففي ميكانيكا الاحصاء الكلاسيكي نستعمل الاحتمالات والاحصاء لدراسة سلوك الغازات مثلا، ولكن هذا لا يعكس أي سلوك احتمالي أصيل للذرات، فحركة الذرات منفردة تحكمها قوانين نيوتن اليقينية وليس الاحتمالات. بل الاحتمالات تمثّل ظاهرة ناشئة عن عدم قدرتنا على التحكم العملي في سلوك الذرات بسبب عددها الكبير جدا وعشوائية حركتها إلى حد كبير، والذي يدفعنا إلى استعمال كمية أخرى هي متوسط الحركة العامة للذرات (دالة الكثافة في فضاء الطور مثلا).

تعبّر المتغيرات الخفية عن افتراض وجود دالة حالة أخرى هي "غير مبدّدة" (dispersion-free state)، والقصد هنا أن الحالة لا تتبدّد (لا تضيع) فيها أي معلومات حول النظام. الشرط الأساس الذي يجب أن تحققه هذه الحالة غير المبددة هو أن تقدم تفسيرا موضوعيا وواقعيا لنتائج ميكانيكا الكم؛ وتسترجع محلية الظواهر الفيزيائية التي يبدو أن تفسير ميكانيكا الكم قد ضيعها إذا ما أخذنا بنتائج تجربة "آب ر" ودلالتها كما هي.

في الحقيقة، تعكس إمكانية وجود متغيرّات خفية عدم كمال الوصف الكمي، وقد جذبت إليها عددا من العلماء المهتمين بتفسيرات ميكانيكا الكم، بينما كانت هناك فئة أخرى من العلماء ترى بأن هذه المسألة تمّ البتّ فيها من قِبل فان نيومان الذي أثبت استحالة وجود مثل هذه المتغيرات الخفية أو الحالات غير المبددة، ومنه فإن ميكانيكا الكم نظرية كاملة وأن أي نظريات تعتمد على متغيرات خفية ستكون لها بنية مختلفة بشكل رئيس عن مكيانيكا

الكم، وهذا ما يدفعنا إلى الحديث عن مبرهنة الاستحالة لفان نيومان والتي أسالت كثيرا من الحبر بعد عقود عديدة من ظهورها.

ستكون مبرهنة الاستحالة لفان نيومان وتبعاتها ومتراجحة بيل Bell موضوع الجزء الثاني من هذه المقالة إن شاء الله.

المراجع

1. J. Bell : Speakable and unspeakable in quantum mechanics. Cambridge Univ. Press, Cambridge, (1987).
2. D. Bohm : Quantum Theory, Dover Pub.Inc, New York, Edition 1989, (Chapter 22).
3. N. Bohr (1935-10-13): Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality be Considered Complete?, Physical Review. 48 (8): 696–702.
4. A. Einstein; B. Podolsky; N. Rosen (1935-05-15) : Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality be Considered Complete?, Physical Review. 47 (10): 777–780.
5. D. Griffiths : Introduction to quantum mechanics, Prentice Hall,1995.

علوم طبيعية

الإنزيم المُصنّع لـ "أي تي بي" ATP : المحرك الجزيئي

عبد الكريم كاملي
أستاذ بقسم العلوم الطبيعية، المدرسة العليا للأساتذة، القبة

مقدمة

تحتاج الكائنات الحية إلى مصدر للطاقة كما تحتاج إلى آلية تسمح لها بتحويل الطاقة إلى صور قابلة للاستعمال تمكّنها من القيام بوظائفها الأساسية والمحافظة على حياتها. لكن الكائنات الحية تختلف في المصدر الذي تحصل منه على الطاقة وتشترك معظمها في آلية تحويل الطاقة من المصدر إلى الصورة القابلة للاستعمال والتي تكون في غالبية الكائنات الحية جزيئات "أي تي بي" ATP يتم إنتاجها بآلية معقدة يتدخل فيها الإنزيم المُصَنّع لـ "أي تي بي"، والمعروف باسم ATP Synthase في مرحلتها الأخيرة.

يمكن اعتبار هذا الإنزيم من أهم الإنزيمات الموجودة في الكائنات الحية والذي يمكّنها من إنتاج الطاقة القابلة للاستعمال للمحافظة على حياتها وبقائها. سيتم في هذا المقال التعرّف على هذا الإنزيم وعلى بنيته الفراغية وآلية عمله ضمن سلسلة طويلة من التفاعلات تسمح بإنتاج الطاقة في صورة "أي تي بي". هذا الإنزيم يعمل بطريقة عجيبة تختلف عن باقي الإنزيمات حيث تحدث أثناء عمله حركة دورانية تشبه دوران المحركات الميكانيكية بالرغم من أنه جزيئة بروتينية. فما هو هذا الإنزيم العجيب وما هو دوره؟ كيف يمكن لإنزيم أن يعمل كمحرك، وما هي الأدلة التجريبية على وجود هذه الحركة؟

تم تحديد البنية الفراغية للإنزيم المصنّع لـ "أي تي بي" وآلية عمله من قِبل العالمين جون والكر John Walker وبول بوير Paul Boyer في بداية التسعينيات. وقد تحصلا على جائزة نوبل للكيمياء سنة 1997 مناصفة بينهما. كان هذا الاكتشاف خاتمة الأبحاث حول دور الـ"أي تي بي" وآلية إنتاجه في الكائنات الحية. وتبعت ذلك تجارب عديدة مؤكدة ومكملة لهذا الاكتشاف.

John Walker Paul Boyer

شكل 1. صورة للعالمين اللذين اكتشفا بنية وآلية عمل الإنزيم سنة 1997

1. الكائنات الحية والطاقة

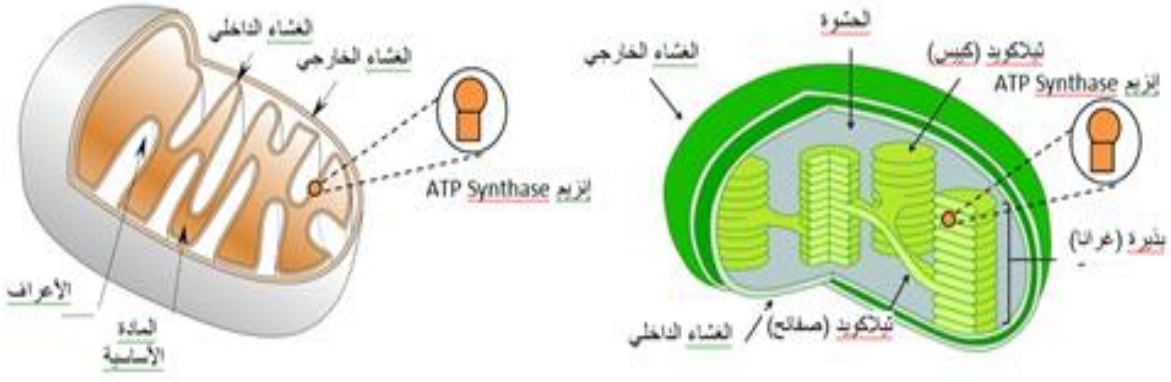
تنقسم الكائنات الحية من حيث المصدر الأصلي للطاقة إلى قسمين:

- الكائنات ذاتية التغذية autotrophes : هي كائنات يكون الضوء فيها هو المصدر الأول للطاقة وتمتلك القابلية على تحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كيميائية في شكل سكريات أساسا في البداية ليتم تحويلها إلى صور أخرى، ثم إلى طاقة قابلة للاستعمال في شكل جزيئات "أي تي بي". تمثل النباتات

الخضراء أهم هذه الكائنات وتتوفر ضمن خلاياها على عضيات خاصة تسمى الصانعات الخضراء chloroplasts تقوم بتحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كيميائية (سكريات) في عملية التركيب الضوئي photosynthesis.

- **الكائنات غير ذاتية التغذية** heterotrophes : هي كائنات تحتاج إلى أغذية عضوية (سكريات، دهون أو بروتينات) كمصدر للطاقة تقوم بتحويلها إلى طاقة قابلة للاستعمال في شكل "أي تي بي" أساسا في وظائفها المختلفة.

تشترك كائنات الفئة الأولى والثانية في عملية تحويل الأغذية العضوية (سكريات أو دهون أو بروتينات) إلى طاقة قابلة للاستعمال في شكل "أي تي بي" في عضية أخرى تتواجد في كل أنواع الخلايا ذات النواة الحقيقية تسمى الميتوكوندريا mitochondria. يتواجد الإنزيم المصنّع للـ"أي تي بي" ضمن الغشاء الداخلي للميتوكوندريا وضمن غشاء الثيلاكويد في الصانعات الخضراء ليقوم في كلا الحالتين بتركيب جزيئات الـ "أي تي بي" في عمليتين مختلفتين لغايات مختلفة.



شكل 2. رسم تخطيطي لما فوق بنية الصانعات الخضراء (اليمين) والميتوكوندري (اليسار)

سوف يتم التركيز في هذا المقال على دور الإنزيم المصنّع لـ "أي تي بي" في الميتوكوندريا أساسا عند أكسدة المواد العضوية لغرض إنتاج الطاقة القابلة للاستعمال. لكن آلية عمله التي يتم وصفها لاحقا تشبه كثيرا تلك التي تتم في الصانعات الخضراء مع بعض الاختلافات خاصة في اتجاه انتقال البروتونات وبعض تفاصيل البنية الفراغية.

مراحل هدم المواد الغذائية العضوية

تحصل الكائنات غير ذاتية التغذية مثل الإنسان على طاقتها من خلال هدم المواد الغذائية العضوية (سكريات ودهون أساسا وبروتينات بدرجة أقل). يمر هدم هذه المواد عادة بثلاث مراحل يتم فيها تدريجيا تكسير الروابط الكيميائية للحصول على الطاقة التي يتم تحويلها في النهاية إلى صورة قابلة للاستعمال ("أي تي بي").

بالنسبة للسكريات تمر مراحل الهدم أولا بهدم الغلوكوز في عملية التحلل السكري في الهيولى، ثم تستمر العملية في الميتوكوندريا من خلال تحويل ناتج التحلل السكري (البيروفات) إلى مركب Acetyl-CoA الذي يتم هدمه داخل حلقة كريبس في المادة الأساسية للميتوكوندريا. وخلال المرحلتين السابقتين، يتم إنتاج طاقة في صورة قابلة للاستعمال في صورة "أي تي بي" بكميات قليلة، ولكن معظم الطاقة التي تم استخراجها من السكريات لا تزال في صورة

إلكترونات غنية بالطاقة تحتاج إلى مرحلة أخيرة يتم فيها تحويل أغلب الطاقة التي كانت موجودة في المادة الغذائية العضوية إلى طاقة قابلة للاستعمال في صورة "أي تي بي". تتم هذه المرحلة الأخيرة على مستوى الغشاء الداخلي للميتوكوندريا، وتتدخل فيها بروتينات ناقلة للإلكترونات والإنزيم المصنع لـ "أي تي بي"، وتعرف هذه المرحلة بالفسفرة التاكسدية oxidative phosphorylation.

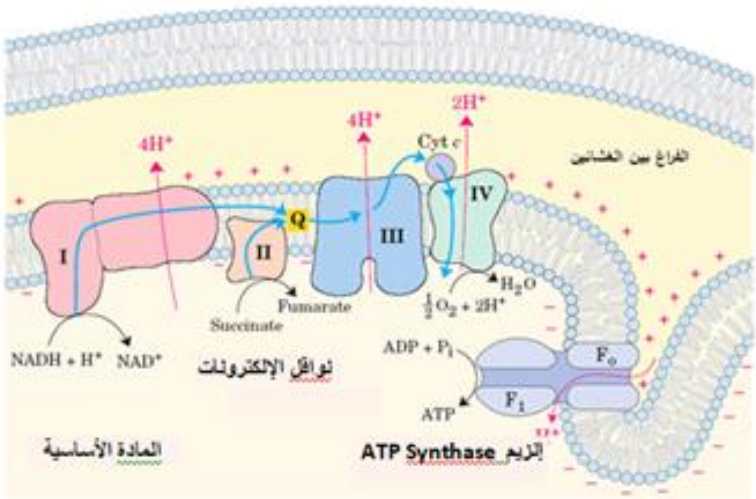
بالنسبة للمواد الأخرى، هناك مراحل هدم مختلفة في مرحلتها الأولى مع هدم السكريات، وتشترك في مرحلتها الثانية والأخيرة (حلقة كريبس والفسفرة الاكسدية). سيتم التركيز في هذا المقال على المرحلة الأخيرة فقط لأنه يتم تدخل فيها الإنزيم المصنّع لـ "أي تي بي".

2. الفسفرة التأكسدية

هي المرحلة الأخيرة ضمن مراحل هدم المركبات العضوية لغرض إنتاج الطاقة في معظم الكائنات الحية الهوائية، وتحدث عند الخلايا الحقيقة على مستوى الغشاء الداخلي للميتوكونجريا، وتتضمن الفسفرة التأكسدية عمليتان : أكسدة و فسفرة.

تشمل الأكسدة نزع الإلكترونات من المرافقات الإنزيمية المرجعة (NADH و FADH2) بواسطة الأكسجين O_2 (المستقبل النهائي للإكترونات) عبر مجموعة من نواقل الإلكترونات يطلق عليها مجتمعة اسم سلسلة نقل الإكترونات أو السلسلة التنفسية. هذه المرافقات الإنزيمية المرجعة تحمل إلكترونات غنية بالطاقة تم نزعها (أكسدة) أثناء مراحل هدم المواد العضوية.

كما يتم خلال انتقال الإكترونات إخراج البروتونات من بعض نواقل الإلكترونات التي تعمل على مضخات تنقل البروتونات عكس ندرج التركيز من المادة الأساسية إلى الفراغ بين الغشائين. يتشكل نتيجة لذلك فرق في تركيز البروتونات حيث يكون مرتفعا في الخارج مقارنة بالداخل. وتستعمل المضخات طاقة الإلكترونات لضخ البروتونات. تؤدي عودة البروتونات من الفراغ بين الغشائين إلى المادة الأساسية عبر الإنزيم المصنع لـ "أي تي بي" إلى حدوث العملية الثانية، وهي فسفرة ADP إلى "أي تي بي" بواسطة الإنزيم المصنع لـ"أي تي بي".

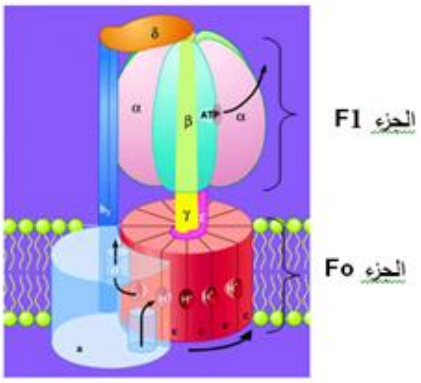


شكل 3. رسم تخطيطي وظيفي لآلية الفسفرة التأكسدية

من خلال الفسفرة التأكسدية، نلاحظ الدور المحوري والأساسي للإنزيم المصنع لـ "أي تي بي" في آخر السلسلة لإنتاج الطاقة القابلة للاستعمال. ومن خلال المخطط نلاحظ أن للإنزيم دورين يقوم بهما: إدخال البروتونات (قناة) وتركيب "أي تي بي" (إنزيم بناء). فكيف يقوم الإنزيم بهذين الدورين؟ للإجابة على هذا السؤال نحتاج إلى التعرف على بنية الإنزيم للوصول إلى فهم كيفية قيامه بهذين الدورين.

بنية الإنزيم المُصنع لـ "أي تي بي"

الإنزيم ذو بنية رابعية يتكون من 22 تحت وحدة موزعة بين جزئين: جزء ضمني في الغشاء الداخلي للميتوكوندريا يعرف بالجزء Fo، وجزء سطحي يمتد في المادة الأساسية ويعرف بـ F1 . لذلك يسمى الإنزيم الكامل عادة بـ FoF1 ATP Synthase . يتكون الجزء Fo من 11 تحت وحدة تتجمّع 10 منها داخل الغشاء في شكل أسطوانة يرمز لها بـ C10 (يرمز لكل تحت وحدة بالحرف C).

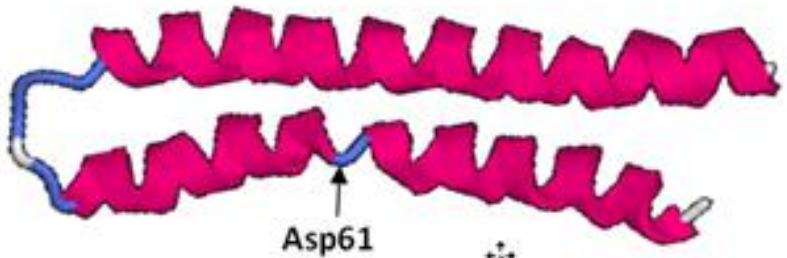


شكل 4. رسم تخطيطي لبنية إنزيم ATP Synthase يوضح مسار دخول البروتونات عبر الجزء Fo وموقع تركيب ATP في الجزء F1 .

بنية تحت الوحدة C

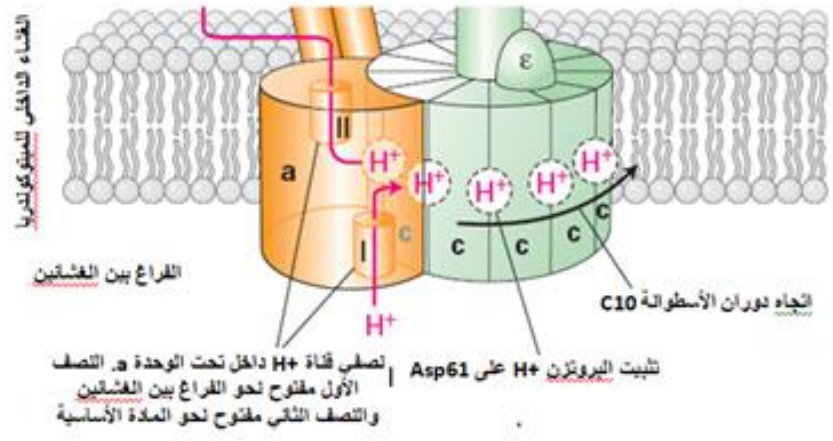
هي سلسلة متعددة الببتيد مكونة من 79 حمضا أمينيا تلتف في شكل 3 بنيات ثانيو حلزونية α تأخذ السلسلة الببتيدية شكل حرف U. يؤدي تجمّع تحت الوحدات العشرة إلى تشكل الأسطوانة C10 ضمن الغشاء الداخلي للميتوكوندريا.

تحتوي تحت الوحدة C في نقطة الانعطاف القصيرة الفاصلة بين البنيتين الحلزونيتين الثانية والثالثة على حمض أميني حامضي (Asp61) أساسي في وظيفة الأسطوانة C10 في إدخال البروتونات H^+ نحو الداخل.



شكل 5. نموذج جزيئي شريطي لتحت الوحدة C يظهر عليها موقع الحمض الأميني Asp61

كما يحتوي الجزء Fo تحت الوحدة a التي تضم قناة يتم منها دخول البروتونات H^+ من خارج الميتوكوندريا مرورا بالفراغ بين الغشائين إلى المادة الأساسية. تتميز هذه القناة عن غيرها من القنوات الغشائية بأنها مكونة من نصفين غير متصلين. نصف قناة أولى مفتوحة نحو الفراغ بين الغشائين ونصف قناة ثانية مفتوحة نحو المادة الأساسية لميتوكوندريا. النصف الأول من القناة يسمح بدخول H^+ من الفراغ بين الغشائين ويتوقف الدخول عند منتصف القناة حيث يتثبت البروتون على مجموعة -COO في جذر الحمض الأميني Asp61 التابع لتحت الوحدة C.



شكل 6. رسم تخطيط يوضح آلية دخول البروتونات عبر نصفي القناتين في تحت الوحدة a ودوران الأسطوانة C10 .

لماذا تكتسب مجموعة -COO في جذر Asp61 البروتون H^+؟

لأن نصف القناة الأولى تكون متصلة بالفراغ بين الغشائين الذي يحتوي على تركيز عالٍ من البروتونات التي تم إخراجها أثناء انتقال الكترونات في السلسلة التنفسية (وسط حامضي). يعني ذلك أن الحمض الأميني يسلك في هذه الحالة سلوك القاعدة، ويكتسب البروتون (الأحماض الأمينية هي مركبات أمفوتيرية).

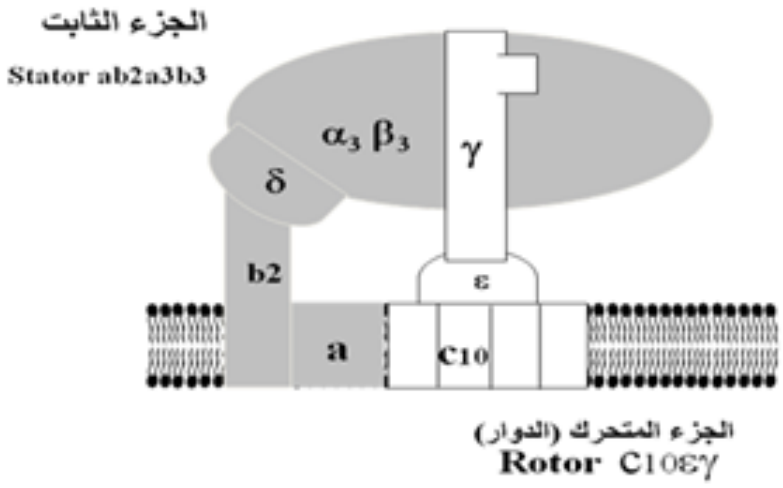
عند اكتساب البروتون من قِبل جذر Asp61 لتحت الوحدة C الأولى تدور الأسطوانة C10 بمقدار 10/1 من الدائرة. يصبح الحمض الأميني Asp61 لتحت وحدة C الثانية في المكان المناسب لاستقبال البروتون الثاني الذي يدخل عبر نصف القناة الأولى، ثم يتكرر الدوران. ويستمر دخول البروتونات عبر نصف القناة التابعة لتحت الوحدة a، وتستمر معها حركة الأسطوانة C10 حركة دورانية.

عند وصول تحت الوحدة C الأولى التي اكتسبت البروتون الأول إلى نصف القناة الثانية -التي تكون مفتوحة نحو الداخل (المادة الأساسية)- يتحرر البروتون. يكون تركيز البروتونات في المادة الأساسية منخفضا (وسط قاعدي) مما يجعل الحمض الأميني Asp61 يسلك سلوك الحمض، ويقوم بتحرير البروتون الذي اكتسبه نحو الداخل من الجذر ، وتتحول المجموعة الكربوكسيلية في الجذر من COOH إلى -COO.

بهذه الطريقة، يتم دخول البروتونات عبر نصف القناتين التابعتين لتحت الوحدة a، وتتم حركة الأسطوانة C10 في حركة دائرية. لكن دور الإنزيم الأساسي الذي تمت الإشارة إليه سابقا هو تركيب جزيئات "أي تي بي" والتي تمثل الطاقة القابلة للاستعمال عند معظم الكائنات الحية.

فكيف يساهم دخول البروتونات وحركة جزء من الإنزيم (الأسطوانة C10) في تحفيز الإنزيم لتركيب الـ "أي تي بي"؟

يمكن تقسيم مكونات الإنزيم المصنع لل "أي تي بي" حسب الحركة إلى جزئين: جزء ثابت Stator وجزء متحرك Rotor. يضم الجزء الثابت 10 تحت وحدات $(ab2\delta\alpha3\beta3)$ ويضم الجزء المتحرك 12 تحت وحدة $(C10\varepsilon\gamma)$.

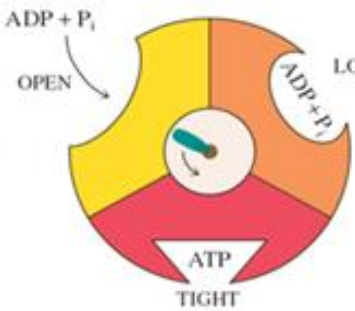


شكل 7. رسم تخطيطي يوضح الجزء الثابت والمتحرك من إنزيم ATP Synthase .

آلية عمل الإنزيم المصنع لل "أي تي بي"

أُقترحت الآلية من قِبل العالم بول بوير، وترتكز على وجود 3 مواقع فعالة في الجزء F1، تأخذ هذه المواقع 3 حالات مختلفة، يرمز لها بالأحرف L (ضعيفة الارتباط Loose) و T (شديدة الارتباط Tight) و O (مفتوحة Open). تأخذ كل وحدة من الوحدات الثلاث إحدى هذه الحالات عند أي وقت. تتحول تحت الوحدات من حالة إلى أخرى بصورة متتابعة. وتتميز كل حالة بما يلي:

- الحالة L: يرتبط بها ADP و Pi بطريقة ضعيفة.
- الحالة T: تتميز بارتباط شديد مما يؤدي إلى تصنيع الـ"أي تي بي".
- الحالة O: مفتوحة لتحرير جزيئة الـ"أي تي بي"المتكونة.



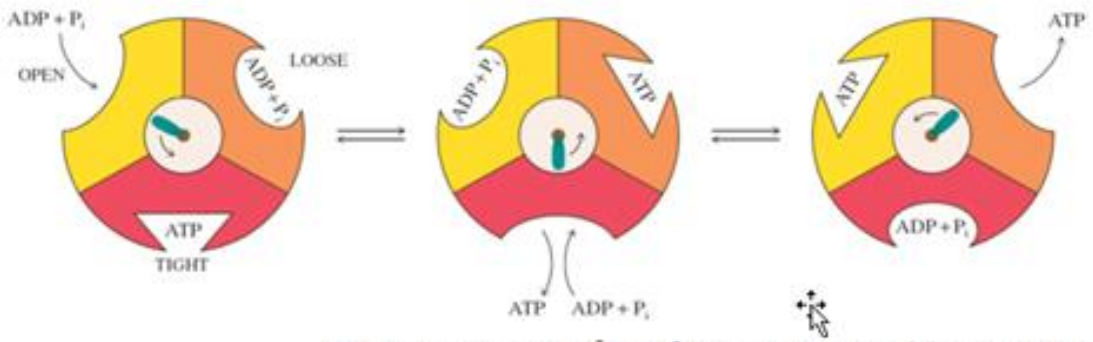
شكل 8. رسم تخطيطي يوضح الأشكال الثلاثة للمواقع الفعالة في الإنزيم.

كيف تعمل المواقع الفعالة في الجزء F1 للإنزيم؟

كل موقع من المواقع الثلاثة يأخذ أحد الأشكال الثلاثة

في كل ثلث دورة (120 °) يتغير كل موقع من شكل إلى شكل آخر بحيث يتغير الموقع من O إلى L، ثم إلى T ، ويعود مرة أخرى إلىO بعد دورة كاملة (360°).

للتبسيط يتم تمثيل الجزء $\alpha 3\beta 3\gamma$ بشكل تخطيطي بسيط يضم 3 أجزاء يتكون كل جزء من تحت وحدة α و β ، ويحتوي كل جزء على موقع فعال بالإضافة إلى محور وسطي γ يدور في المركز . المواقع الثلاثة ذات بنيات (أشكال) مختلفة : مفتوح O ، نصف مفتوح (ارتباط ضعيف) L ، مغلق (ارتباط قوي) T.

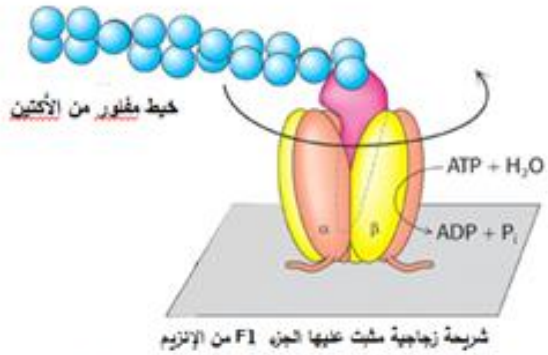


شكل 9. رسم تخطيطي يوضح تغير شكل المواقع الفعالة عند دوران تحت الوحدة غاما

إثبات دور الإنزيم كمحرك جزيئي

لم يصدق المختصون في البداية فكرة دوران الإنزيم، ولذلك عمل الكثير من الباحثين على محاولة إثبات الحركة تجريبيا، ومن بين الأدلة التجريبية على الحركة ما يلي:

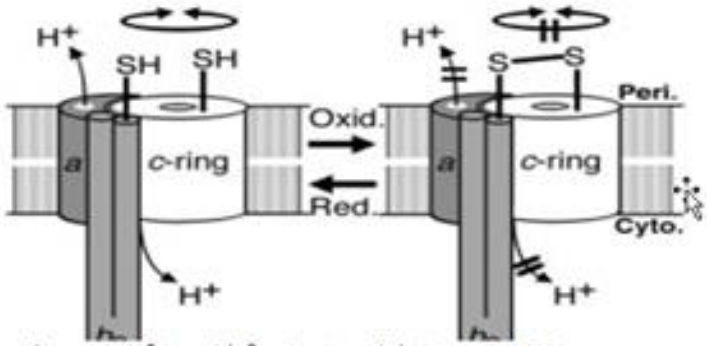
تم تأكيد الحركة من قِبل علماء يابانيين قاموا باستخلاص الجزء F1 وربطه بسطح زجاجي، ثم ربط خيط من الأكتين المفلور بالمحور الوسطي γ . وقد تمت مشاهدة عملية الدوران وتصويرها مباشرة بواسطة كاميرا خاصة.



شكل 10. رسم تخطيطي يوضح تجربة تصوير حركة الإنزيم

كما تم إثبات دور الحركة في عمل الإنزيم (تركيب الـ "أي تي بي") عن طريق منع الحركة وملاحظة هل يتركب الـ"أي تي بي" أم لا؟

تم ذلك عن طريق تكوين جسور كبريتية بين الأسطوانة المتحركة C10 وتحت الوحدة الثابتة b2 لمنع دوران الأسطوانة. ومن ثمّ لوحظ أن منع الحركة يؤدي إلى عدم تركيب جزيئات الـ "أي تي بي".



شكل 11. رسم تخطيطي يوضح تجربة إثبات حركة الإنزيم عن طريق تثبيت حركة الأسطوانة C10 بواسطة جسور كبريتية.

لقد تبين لنا من خلال المقال الأهمية الكبيرة للإنزيم المصنّع لل "أي تي بي" في تركيب الصورة من الطاقة القابلة للاستعمال في معظم أنواع الكائنات الحية. تسمح هذه الطاقة للكائنات بأداء وظائفها المختلفة للمحافظة على حياتها. كما تبين أن الإنزيم يعمل كأنه محرك ميكانيكي عن طريق دوران أجزاء منه حركة دورانية تسمح له بتركيب هذه الجزيئات الطاقوية الهامة. لهذا استحق هذا الإنزيم اسم المحرك الجزيئي molecular motor .

المراجع

1. كاملي ع. : البيوكيمياء الأيضية، دار الوعي، الجزائر، 2012.
2. Voet D., Voet J. G.: Biochemistry, Wiley, John & Sons, 2003.
3. Stryer L., Tymoczko J. L., Berg J. M.: Biochemistry, W. H. Freeman Company, 2002.
4. Karp, G. Cell and Molecular Biology: Concepts and Experiments 5th Edition, Wiley, 2007.
5. Nelson, D. L. & Cox, M. M.: Lehninger Principles of Biochemistry, Freeman 5th ed, 2016.

الميكروبيوم البشري:
كيف يمكن أن تكون الميكروبات في أجسامنا مفتاحًا لصحتنا

خولة بوزنادة
أستاذة بقسم العلوم الطبيعية، المدرسة العليا للأساتذة، القبة

مقدمة

تأوي أجسامنا في الداخل والخارج مجموعة كبيرة من الكائنات الحية الدقيقة. والأكثر عددا هي البكتيريا، مع أننا نستضيف أيضًا كائنات دقيقة تُعرف باسم الأركيا، بالإضافة إلى الفطريات والفيروسات والميكروبات الأخرى -بما في ذلك الفيروسات التي تهاجم البكتيريا. ويطلق على مجموعة هذه الكائنات اسم الميكروبيوم البشري Human microbiome.

1. أليس من المفترض أن تكون الميكروبات خطرة؟

في الحقيقة، بعض هذه الميكروبات هي من مسببات الأمراض، لكن البعض الآخر يصبح ضارًا فقط إذا تواجد في المكان الخطأ أو تكاثر بشكل فائق، كما يعدّ الكثير منها مفيدا جدًا للجسم مثل تلك التي تساعد في هدم السكريات الموجودة في حليب الأم فهذا الصدد أشار الأستاذ جون كريان (John Cryan) ، خبير الميكروبيوم من جامعة كوليدج كورك (College Cork) الأيرلندية، إلى أن الرضيع لا يقوم بتفكيك هذه السكريات بل تقوم الميكروبات الموجودة في أمعاء الطفل بهذه المهمة. تشمل الأدوار الرئيسية الأخرى لميكروباتنا برمجة جهاز المناعة وتوفير العناصر الغذائية لخلايانا ومنع استعمار البكتيريا والفيروسات الضارة .

2. من أين تأتي ميكروبات الأمعاء؟ هل نقوم بالتقاطها من محيطنا؟

جزئيا، لا يزال الأمر مثيرًا للجدل بعض الشيء، بل الأمر أكثر تعقيدًا من ذلك. ولكن في الغالب، يُعتقد أن أجسام الأجنة في الرحم تكون خالية من الميكروبات، ولا يتم اكتساب هذه الميكروبات إلا أثناء الولادة الطبيعية. ويكون اكتساب هذه الجرعة الميكروبية مهما جدا عند الولادة. وتجدر الإشارة إلى أنه خلال فترة الحمل، يتحوّل ميكروبيوم الأم إلى مزيج مثالي مفيد للجنين. أما إذا كانت الولادة غير طبيعية، أي بعملية قيصرية، فالأمر لا يكون كذلك. في الواقع، أشارت الدراسات إلى أن هذه الاختلافات يمكن أن تكون إحدى الأسباب التي تجعل الأطفال المولودين بعملية قيصرية أكثر عرضة للإصابة بأمراض مثل الربو ومرض السكري مقارنة بالنوع الأول.

يتغير ميكروبيوم أمعائنا بسرعة خلال أول عام أو عامين بعد الولادة، ويتشكل بواسطة الميكروبات الموجودة في حليب الأم، والبيئة وعوامل أخرى، ويستقر في الوقت الذي نبلغ فيه من العمر ثلاث سنوات تقريبًا. لكن بيئتنا ونظامنا الغذائي طويل الأمد والإجهاد والأدوية التي نتناولها، مثل المضادات الحيوية، تستمر في أداء دور مع تقدمنا في العمر، مما يعني أن الميكروبيوم الخاص بنا يمكن أن يتغير طوال حياتنا.

3. هل الميكروبات في أمعائنا هي نفسها الموجودة على بشرتنا؟

لا، أجزاء مختلفة من الجسم - الجلد، الفم، الأمعاء... - جميعها بها مجتمعات مختلفة جدًا ومتميزة من الميكروبات. لقد حظيت ميكروبات الأمعاء الكثير من الاهتمام : في الدراسات الحديثة، وجد العلماء أن البكتيريا

الموجودة بشكل كبير على الجلد قد تساعد في الحماية من سرطان الجلد. بالإضافة إلى ذلك، يختلف الميكروبيوم أيضًا من شخص لآخر، حيث لاحظ روب نايت (Rob Knight)، أستاذ طب الأطفال وعلم الحاسوب والهندسة في جامعة سان دييغو (كاليفورنيا) وخبير الميكروبيوم البشري، أن التباين في ميكروبيوم الأمعاء يساعد في تفسير سبب استجابة الناس بشكل مختلف لنفس الأطعمة، وقال: "سواء كانت الطماطم جيدة أو سيئة بالنسبة لك، وسواء كان الأرز مفيدًا لك أو أسوأ بالنسبة لك من الآيس كريم وما إلى ذلك، فهذا يفسَّر من خلال الميكروبيوم الخاص بك ."

4. لماذا أصبح الميكروبيوم موضوعًا مهمًا للبحث؟

على مدى السنوات الأخيرة، تم ربط ميكروبيوم الأمعاء على وجه الخصوص بعدد كبير من الأمراض، من مرض السكري إلى التوحد والقلق والسمنة. كما تم ربطه بكيفية استجابة الأفراد لبعض الأدوية، بما في ذلك كيفية استجابة مرضى السرطان للعلاج الكيميائي. وهناك اعتقاد بأنه قد يرتبط بمدى جودة نومنا وحياتنا اليومية.

5. لماذا نعتقد أن الميكروبيوم مرتبط بكل هذه الأمراض؟

في حين أن بعض الروابط جاءت من مقارنة الميكروبيومات لمجموعات مختلفة من الناس، مثل أولئك الذين يعانون من مرض معين مقارنة بالأفراد الأصحاء، فإن الفأر الخالي من الجراثيم هو العامل الرئيسي في أبحاث الميكروبيوم.

ينشأ هذا الكائن الحي في بيئة معقمة ويمكن أن يتعرض بعد ذلك لميكروبات معينة، أو مجموعات من الميكروبات لاستكشاف تأثيرها. كانت مثل هذه الدراسات أساسية في إثارة الروابط المحتملة بين ميكروبيوم الأمعاء والعديد من جوانب صحتنا، بما في ذلك الحالة المزاجية والسمنة.

6. هل الميكروبات المعوية "Gut Microbiome" حقاً دواء لكل داء أم أن في الأمر مبالغة؟

من الناحية النظرية، ارتبطت الميكروبات بأمراض مميتة مثل الطاعون والجدري والملاريا. وفي الواقع، قد يكون العديد من الميكروبات التي تعيش في أجسادنا -خاصة تريليونات البكتيريا الموجودة في أمعائنا- مفيدة، بل ضرورية لصحة الإنسان.

على مدى السنوات العشر الماضية، أصبح ما يسمى بميكروبيوم الأمعاء أحد أهم مجالات البحوث الطبية الحيوية. وخلال هذا الوقت القصير، اكتشف العلماء أن بعض ميكروبات الأمعاء تنتج مواد كيميائية يمكن أن تؤثر على بنية الدماغ ووظيفته وتطوره. وربما تتسبب بكتيريا الأمعاء في الكثير من الأمراض، من التوحد والقلق وحتى مرض باركنسون.

أدى هذا العملُ بالخبراء إلى اقتراح ما كان يُعتقد، قبل بضع سنوات فقط، أنه مستحيل ومثير للسخرية: أن الخرف والأمراض العقلية يمكن علاجها في يوم من الأيام استخدام "السيكولوجيا الحيوية"، أو البكتيريا المعوية ذات الفوائد الصحية العقلية. هل يجب أن نصدق هذه النظرية، أم أنه أمر مبالغ فيه؟ يُظهر ميكروبيوم الأمعاء بالفعل إمكانات هائلة، لكن البحث لا يزال في مهده، ولا تزال العديد من الأسئلة الكبيرة بلا إجابة. ومن بين أكبر الأشياء المجهولة هو كيف تتواصل ميكروبات الأمعاء مع الدماغ. يحتمل أن تكون إحدى طرق التواصل عبر العصب المهم الذي يتفرع في القناة الهضمية ويرسل نهايات عصبية حسّية في البطانة. ويمكن للمواد الكيميائية المعدلة للأعصاب التي تصنعها وتفرزها بكتيريا الأمعاء أن ترسل إشارات إلى الدماغ من خلال التأثير على نشاط هذه الأعصاب. كما يستطيع الدماغ إرسال إشارات لبكتيريا الأمعاء بنفس المسار في الاتجاه المعاكس.

نشير إلى أن بكتيريا الأمعاء تفرز أيضًا مواد كيميائية يمكن أن تعمل على الخلايا والغدد المنتجة للهرمونات في الأمعاء، مما يؤدي إلى إفراز بعض الببتيدات التي قد تصل بعد ذلك إلى الدماغ وتؤثر على عمله عبر مجرى الدم. وقد تؤثر أيضًا على وظائف المخ عن طريق إطلاق المستقلبات التي تُنشط جهاز المناعة.

7. هل توجد ميكروبات معينة مهمة، أم أن الأمر يتعلق بالمجتمع الميكروبي ككل؟

الأمر في مجمله معقد بعض الشيء. ففي بعض التجارب، تم ربط سلالات معينة من البكتيريا بتأثيرات أو ظروف معينة، بينما أظهر البعض الآخر أن تنوع الميكروبيوم، أو الوفرة النسبية للأنواع هو أساس الفائدة. "إنها تشبه الغابة المطيرة إلى حد ما: قد يكون لديك سرخس جميل جدًا ... ولكن إذا كان هذا هو الشيء الوحيد في غاباتك المطيرة وليس لديك تنوع، فلن يكون ذلك جيدًا [بالنسبة] للتربة. قال تيم سبيكتور (Tim Spector)، أستاذ علم الأوبئة الجينية في كينجز كوليدج لندن ومؤلف كتاب The Diet Myth بخصوص الميكروبيوم: "إنه وجود المجتمع الصحيح من البكتيريا التي تعمل معًا وتنتج معًا المواد الكيميائية المناسبة لجسمك ".

8. ما الذي يمكنني فعله للحفاظ على الميكروبيوم الخاص بي في حالة جيدة؟

هنا يأتي دور البريبايوتكس والبروبيوتيك : الأولى هي مواد يمكن أن تزدهر فيها الميكروبات المفيدة، في حين أن الأخيرة هي الميكروبات نفسها التي ثَبُت أنها مفيدة للصحة، مثل أنواع Lactobacillus و Bifidobacterium التي يمكن تناولها كمكملات غذائية في حالات معينة كالخضوع للعلاج بالمضادات الحيوية، وذلك للتقليل من الآثار الجانبية لهذه المركبات.

وفضلا عن العوامل الوراثية، والبيئة، واستخدام الأدوية يؤدي النظام الغذائي دورًا كبيرًا في تحديد أنواع الجراثيم التي تعيش في القولون والحفاظ عليها. تخلق كل هذه العوامل ميكروبيومًا فريدًا من شخص لآخر. ويؤثر النظام الغذائي الغني بالألياف بشكل خاص على نوع وكمية الجراثيم في الأمعاء. إنه لا يمكن هضم الألياف الغذائية وتخمرها إلا بواسطة إنزيمات تفرزها الميكروبات التي تعيش في القولون. ينتج عن هذا التخمر إطلاق الأحماض الدهنية قصيرة السلسلة (SCFA) التي تقلل من درجة الحموضة في القولون، والذي بدوره يحدد نوع وكمية الميكروبات التي يمكن أن تعيش في هذه البيئة الحمضية.

يحد انخفاض درجة الحموضة من نموّ بعض البكتيريا الضارة، مثل المطثية العسيرة (Clostridium difficile). تستكشف الأبحاث المتزايدة حول الأحماض الدهنية قصيرة السلسلة آثارها واسعة النطاق على الصحة، بما في ذلك تحفيز نشاط الخلايا المناعية والحفاظ على مستويات الدم الطبيعية من الجلوكوز والكوليسترول والعمل على استقرار الحالة المزاجية لأن بنيتها تشبه إلى حدّ كبير بعض الأدوية الموصوفة لمعالجة الاكتئاب والحفاظ على الصحة النفسية.

نلاحظ أن الأطعمة التي تدعم المستويات المتزايدة من الأحماض الدهنية قصيرة السلسلة هي الكربوهيدرات والألياف غير القابلة للهضم، مثل النشويات. تسمى هذه الألياف أحيانًا بالبريبايوتكس لأنها تغذي الكائنات الحية الدقيقة المفيدة لنا. وعلى الرغم من وجود مكملات تحتوي على ألياف البريبايوتك، فإن هناك العديد من الأطعمة الصحية التي تحتوي بشكل طبيعي على البريبايوتكس. توجد أعلى الكميات في الثوم والبصل والكراث والهليون والخرشوف والموز والأعشاب البحرية، شريطة تناولها طازجة. وبشكل عام، تعدّ الفواكه والخضروات والفاصوليا والحبوب الكاملة، مثل القمح والشوفان والشعير، كلها مصادر جيدة لألياف البريبايوتيك.

تجدر الإشارة إلى أن تناول كميات كبيرة من الأطعمة التي تحتوي على البريبايوتك، خاصة إذا تم تقديمها فجأة، يمكن أن يزيد من إنتاج الغازات والانتفاخ. يجب على الأفراد الذين يعانون من الحساسيات المعدية المعوية، مثل متلازمة القولون العصبي، إدخال هذه الأطعمة بكميات صغيرة لتقييم التحمل أولاً. ومع الاستخدام المستمر، قد يتحسن التحمل مع آثار جانبية أقل.

إذا لم يكن لدى المرء حساسيات غذائية، فمن المهم تطبيق نظام غذائي غني بالألياف تدريجيًا لأن اتباع نظام غذائي منخفض الألياف قد لا يقلل فقط من كمية الجراثيم المفيدة، بل يزيد أيضًا من نمو البكتيريا المسببة للأمراض التي تزدهر في بيئة منخفضة الحمضية.

خاتمة

يشكّل الميكروبيوم البشري بيئة ديناميكية حية تتغير الوفرة النسبية للأنواع فيه يوميًا وأسبوعيًا وشهريًا اعتمادًا على النظام الغذائي والأدوية وممارسة الرياضة ومجموعة من التعرضات البيئية الأخرى. ومع ذلك، لا يزال العلماء في المراحل المبكرة من فهم الدور الواسع للميكروبيوم في الصحة ومدى المشكلات التي يمكن أن تحدث عند انقطاع التفاعلات الطبيعية بين الميكروبيوم وصاحبه.

المراجع

1. Ursell, L.K. et al. : Defining the human microbiome. Nutr Rev. 2012 Aug; 70 (Suppl 1): S38–S44.

2. den Besten G. et al. : The role of short-chain fatty acids in the interplay between diet, gut microbiota, and host energy metabolism. J Lipid Res. 2013 Sep; 54(9): 2325–2340.

3. Morowitz, M.J., Carlisle, E., Alverdy, J.C. ; Contributions of intestinal bacteria to nutrition and metabolism in the critically Ill. Surg. Clin. North Am. 2011 Aug; 91(4): 771–785.

4. Arumugam, M., et al. : Enterotypes of the human gut microbiome. Nature. 2011 May 12;473(7346):174-80.

5. Canny, G.O., McCormick, B.A. : Bacteria in the intestine, Helpful residents or enemies from Within. Infect and immun. August 2008 vol. 76 no. 8, 3360-3373.

6. Jandhyala, S.M. : Role of the normal gut microbiota. World J Gastroenterol. 2015 Aug. 7; 21(29): 8787–8803.

7. Proctor, L.M. : The Human microbiome project in 2011 and beyond. Cell Host & Microbe. Volume 10, Issue 4, 20 October 2011, pp 287-91.

شخصية العدد

شخصية العدد

أستاذ الفيزياء جمال ميموني

يشغل السيد جمال ميموني منصب أستاذ باحث في مادة الفيزياء بجامعة منتوري (قسنطينة 1) منذ عقود، وهو من مواليد 1956. وقد أنهى دراسته عام 1985 حيث تحصل آنذاك على الدكتوراه من جامعة بنسلفينيا (الولايات المتحدة) في فيزياء الجسيمات. وقبل ذلك، نال عام 1977 دبلوم الدراسات العليا في الفيزياء النظرية من جامعة الجزائر.

وإلى جانب التدريس، يقوم الأستاذ ميموني بعديد النشاطات المتنوعة، منها أنه يشرف على برنامج للدراسات العليا في الفيزياء الفلكية بالجامعة. وله العديد من البحوث المنشورة في المجلات الأكاديمية. وقد ركّز اهتمامه على الفيزياء الفلكية، فتكّلل جهده في مجال الدراسات العليا بوضع برنامج يغطي هذا الاختصاص في إطار نظام ما يُعرف بـ"مدرسة الدكتوراه". وشملت نشاطاته العلمية أيضا إسهاما في مشروع المرصد الفلكي الوطني بجبال الأوراس. وشارك لأكثر من 25 عامًا في نشاطات علم الفلك الهاوي والمحترف في الجزائر والعالم العربي وإفريقيا.

واللافت أن جمال ميموني تعاون عن كثب مع وزارة التربية الوطنية، حيث نشط في هذا الإطار ورشات عمل تدريبية في مادة الجغرافيا لكل من معلمي المرحلة الابتدائية وأساتذة مادة العلوم الفيزيائية في المرحلة الثانوية.

ومن جهة أخرى، يؤدي الأستاذ جمال ميموني دورا بارزا في تنظيم المؤتمرات والملتقيات في مجال اختصاصه على المستويين الوطني والإقليمي. ومن نشاطاته الفكرية إسهامات حول مكانة العلم في العالم العربي الإسلامي والعلاقة بين العلوم والمجتمع والبعد الثقافي، إذ نجد عنده اهتماما خاصا بفلسفة العلوم المعاصرة.

ومن مؤلفات جمال ميموني باللغة العربية كتاب "قصة الكون: من التصورات البدائية إلى الانفجار العظيم" الذي يندرج ضمن نشر الثقافة العلمية. كما كان من مؤلفي كتاب أكاديمي مشترك باللغة الفرنسية بعنوان "العلم والدين في الإسلام"؛ وذلك فضلا عن مقالات صحفية كثيرة نشرت في وسائل إعلام مختلفة تتناول مواضيع في التربية والتعليم والبحث العلمي.

ولم يهمل الأستاذ ميموني النشاط الجمعوي في علم الفلك إذ نجده على رأس جمعية الشعْرى لعلم الفلك (قسنطينة)، وكذا على رأس الجمعية الفلكية الأفريقية (AfAS) التي مقرها في كيب تاون (جنوب إفريقيا). وليس هذا فحسب، حيث يشغل منصب نائب رئيس الاتحاد العربي لعلوم الفضاء والفلك الكائن مقره بعمّان (الأردن)، وهذا لمدة تقارب العقدين. وجمال ميموني هو المنسق في الجزائر لإحدى التجارب الدولية الكبرى في الفيزياء الفلكية للنيوترينو المعروفة باسم "تليسكوب النيوترينو الكيلومتر المكعب" (KM3NeT).

لهذا كله لا يمكن أن يكون أحدهم وراء كل هذه الانجازات دون أن يعترف أهل الاختصاص بمكانة صاحبها. وهكذا فاز جمال ميموني عام 2008 بجائزة الجمعية الفلكية الفرنسية المسماة " Prix Gabrielle et Camille Flammarion ". وفي نفس السنة، تُوّج بـ"وسام العالم الجزائري" الذي يمنحه كل سنة معهد المناهج بالجزائر العاصمة. وفي عام 2020، نال الجائزة المتوسطية المعروفة باسم "Eureka" التي تمنحها مجموعة من المؤسسات العلمية من دول البحر الأبيض المتوسط في مجال تعميم العلوم ونشرها.

ولنتعرّف أكثر على صاحب هذه الإنجازات طرحنا عليه الأسئلة العشرة أدناه.

10 أسئلة يجيب عنها الأستاذ جمال ميموني

السؤال 1 : هل بالإمكان أن تقدم نفسك للقارئ بإيجاز... من عهد الطفولة إلى المرحلة الثانوية؟

جمال ميموني : ولدت في عائلة متوسطة الدخل في أواخر سنة 1956 بباريس، كان أبي يشتغل ميكانيكيا صناعيا في مصانع السيارات. وكان في نفس الوقت، كحال الكثير من الجزائريين في المهجر، منخرطا في منظمة جبهة التحرير الوطني في الخارج (OCFLN). وقد قرر الرجوع إلى بلده بعد الاستقلال بقليل فرجعنا إلى أرض الوطن عام 1965. ونظرا لعدم تمكّني من اللغة العربية قرر أبي أن يسجلني في ثانوية "فيكتور هوغو" التابعة للديوان الثقافي الفرنسي بالعاصمة، وبعدها التحقت بثانوية الإدريسي حيث أكملت دراستي في الفرع العلمي وختمتها بتحصلي على شهادة البكالوريا سنة 1973 وعمري يناهز 16 سنة، وكنت الأول على مستوى ثانويتي.

كنت في صغري طفلا هادئا وخجولا ولا أخالط الأطفال كثيرا بل أخالط الكتب حيث استغللت مكتبة البلدية (رضا حوحو حاليا) بقلب العاصمة، وهي مكتبة قديمة من العهد الفرنسي تزخر بكنوز من الكتب الحديثة في كل مجالات المعرفة. أما المجالات التي كانت تستهويني فهي الفلسفة والتاريخ المعاصر -وخاصة الحربان العالميتان وفترة الحرب الباردة، بعدها اكتشفت في هذه المكتبة ميولي إلى الجانب العلمي، خاصة علم الفلك، فصرت متمكنا من علم النجوم من الناحية النظرية بأدق تفاصيله قبل التمكن من رصدها.

بالإضافة إلى هذا، كنت أمارس السباحة في مسبح غرمول المجاور للثانوية، وانضممت إلى فريق الكرة الطائرة التابع لشركة سوناطراك.

السؤال 2 : قضيتَ جزءا من المرحلة الجامعية كطالب داخل الوطن والبقية في الخارج. حسب تجربتك، هل ترى الآن قضاء فترة بجامعة أجنبية خلال التكوين الجامعي أمرا ضروريا لطالب الدراسات العليا؟ وكيف يمكن أن يتم تنظيم ذلك؟

جمال ميموني : بعد المرحلة الثانوية، كنت في حيرة من أمري بين علوم الحياة والفيزياء، ولكن سرعان ما رجّحت علوم المادة على علوم الحياة إذ كانت تدور في ذهني شخصيات مرموقة مثل آينشتاين وفاينمان Feynman... فتخصصت في الفيزياء النظرية التي تجمع بين العالم الملموس والتجريد الرياضي فتخرجت عام 1977 وفي حوزتي دبلوم الدراسات العليا (DES) في الفيزياء النظرية، وكنت الأول من دفعتي مع طموحات أعلى من قمة هيمالايا... وجبل شيليا في الأوراس! فلم أندم على هذا الاختيار إلا أنه بقي لي حنين لم ينطفئ للبيولوجيا التي أعتبرها علم القرن الحالي (الفيزياء كانت العلم الحاسم في القرن العشرين). وأظل أقول لزملائي الفيزيائيين في خرجة استفزازية أن البيولوجيا تدْرس آليات الحياة في حين أن الفيزياء تهتم بالمادة "الميّتة"، وبالتالي فالفيزياء في آخر المطاف ليست سوى حالة خاصة للبيولوجيا.

وفي المرحلة الموالية، واصلت دراستي في الولايات المتحدة الأمريكية مستفيدا من منحة حكومية، وهناك حضّرت شهادة الدكتوراه في فيزياء الجسيمات بجامعة بنسيلفانيا (Pennsylvania) بمدينة فيلادلفيا، وهي أول جامعة أسست في أمريكا، ومن أرقى جامعاتها إذ تنتسب إلى "رابطة أيفي" (Ivy League) للجامعات المرموقة (والمكلفة للغاية !) في أمريكا.

وبالفعل أعتبر أن دراستي في نظام جامعي راق تجربة فريدة ونقطة محورية في مشواري العلمي حيث رأيت كيف "يُصنع" العلم في وسط مؤسسة بحثية عاكفة على حسن التدريس ووفرة الإنتاج المعرفي والتفوق. ذلك أن حياةً علميةً زاخرة بالندوات المتخصصة والورشات والتبادلات لا يمكن مقارنتها مع الصحاري العلمية التي نجدها في أقسامنا العلمية.

إن التجربة التي يتحصل عليها طالب دكتوراه في جامعة أجنبية حتى ولو لفترة قصيرة (فترة "التربص" لبضعة أشهر مثلا) أمر ضروري في تكوينه لا تُعوّض إذ تسمح له بتوسيع منظوره لعملية إنتاج العلم (Science in action). وذلك بالإضافة إلى تعميق معرفي في إطار تحضيره لرسالة دكتوراه أو لمشروع بحثي آخر.

السؤال 3 : حسب كتاباتك المختلفة في الصحف الوطنية وغيرها، من الواضح أنك تتابع عن كثب مجريات التعليم العالي عندنا بصفة خاصة والتربية الوطنية بصفة عامة. ما هي في نظرك أبرز العوائق التي تحول دون التكوين الجيد والتحصيل العلمي السليم لتلاميذنا وطلابنا؟

جمال ميموني : أولا ، هناك نقص في تكوين المكونين حيث الكثير من المعلمين يعتمد على مبدأ عدم الحيود عن النص. ثم إن التلقين الحرفي وطريقة نسخ/لصق لا يسمحان للطالب باستغلال قدراته والاعتماد على تفكيره الذاتي للتحصل على المعلومة، بل يكبحان مواهبه وإبداعه.

- كما علينا الإشارة إلى فيروس الدروس الخصوصية، والخوض في هذا الموضوع قد يطول...

- نذكر أيضا عدم تجديد المناهج الدراسية، إذ يبدو أن عددا من المكلفين بالمراجعة الدورية للبرامج هم أساتذة على باب التقاعد أو متقاعدون ترعرعوا في النظام السابق البالي ولذلك فلا يستطيعون ترقية المناهج إلى ما هو مطلوب لمواكبة العصر.

ولا يفوتنا أن نشير إلى الحالة المادية للمعلمين التي لا تشجعهم على بذل الجهد، فراتبهم يمثل جزءا من رواتب زملائهم في الدول المغاربية الأخرى، مما يجعل الكثير منهم يعتمد على الدروس الخصوصية التي أفسدت المنظومة التربوية.

أما بالنسبة للجامعة فنجد الكثير من الزملاء محبطين بسبب الظروف الهيكلية الصعبة التي تعيشها معظم الجامعات الجزائرية، ومنها غياب جو علمي يسمح بعطاء علمي فضلا عن نقص في الإمكانيات عموما.

السؤال 4 : بحكم اختصاصك، وربما أيضا لأسباب أخرى، أنت تنشط كثيرا في مجال علم الفلك منذ أمد بعيد. من المؤكد أن النشاط في هذا المجال من قِبل الهواة من الشباب يكتسي فوائد مختلفة. هل يمكن أن تحدثنا عن هذه الفوائد؟ وما فوائد ذلك على المستوى الوطني؟

جمال ميموني : إن علم الفلك علم أساسي من بين علوم المادة بالرغم من أنه لم يتلقّ إلى يومنا هذا الاهتمام اللازم على المستوى الوطني... إذ يوجد قسم واحد فقط يحتوي على هذا التخصص من بين 40 قسما تحمل اسم "قسم الفيزياء".

والدليل على أهمية هذا العلم أن الحائزين على جوائز نوبل في الفيزياء للسنوات القليلة الأخيرة أغلبهم فلكيين.

السؤال 5 : من المعلوم أن الدول المتقدمة تولي اهتماما بالغا لنشر الثقافة العلمية في المجتمع عبر عدة قنوات إعلامية. أما في العالم الثالث فكثير من مثقفيه وسياسييه يعتبرون هذا النوع من الثقافة من الكماليات الثقافية التي لا تغني المواطن من جوع ولا تفيد في تقدم البلاد، ومن ثمّ، فهم لا يولونها الاهتمام الذي تستحقه. أليس كذلك؟

جمال ميموني : نعم، تساهم عملية نشر الثقافة العلمية في ترقية المجتمع ومواكبة العالم في تطوره العلمي والتكنولوجي. بالإضافة إلى هذا، تشجيع الشباب للتوجّه نحو الفروع العلمية والبروز فيها.

السؤال 6 : الكل يتحدث عن ضرورة إصلاح التعليم العالي؛ بوصفك أستاذا جامعيا يلمّ جيدا بمسار هذا التعليم، ما هي النقاط التي ينبغي أن يركز عليها هذا الإصلاح في الوقت الراهن؟

جمال ميموني : هناك بعض النقاط نوجزها هنا إذ لا يمكن معالجة القضية نظرا لتعقيدها وتشابك العوامل المتعلقة بها.

- توقيف هجرة الأدمغة التي تمثل نزيفا مستمرا لخيرة الباحثين الجزائريين الشباب، وهو الأمر الذي أدى على مرّ عقود من الزمن إلى تدنّي مستوى الجامعة الجزائرية، وكذا قدرتها على العطاء.

إن نظام ل.م.د المطبق في الجزائر يفتقر للمرونة والفعالية، فمثلا: الطالب عندنا مقيّد باتباع مسار واحد ولا توجد إمكانية أن يختار هذا الطالب مسارات مشتركة بين التخصصات على الرغم من أن هذه الإمكانية تُعدّ من المميزات الأساسية في نظام ل.م.د بأوروبا. ولذا فهذا نظام عندنا محنط شبيه بالنظام الكلاسيكي السابق بتسمية جديدة.

- الجامعة الجزائرية تعاني من تضخم عدد الطلبة الوافدين إليها، ففكرة أنه يتعين توفير مقعد بيداغوجي في الجامعة لكل حائز على شهادة البكالوريا فكرة غير سليمة تنجرّ عنها معضلات أخرى، منها عدم التمكن من الحفاظ على النوعية في التعليم.

- أغلبية المتخرجين من الجامعة لا يجدون مناصب شغل، إذ أن شهاداتهم لا تتماشى مع احتياجات القطاعات المهنية المختلفة. وبالتالي فالجامعة لا تؤدي دورها كهمزة وصل مع القطاع المنتج. ومن ثمّ تصبح إلى حد كبير حلقة مفرغة في مسار الطالب، دون أن ننسى التكلفة الباهظة التي تتحملها الدولة من تجهيز مؤسسات بالهياكل والوسائل المادية المطلوبة لاستقبال هذا الكمّ الهائل من الطلبة.

ومن جهة أخرى، هذه المشاكل الهيكلية تجعل الجامعة الجزائرية على العموم غير منتجة للمعارف... وهو الانتاج الذي يُعتبر من مهماتها الأساسية مقارنة بالجامعات الأخرى.

وفي الأخير يمكن القول إن الجامعة الجزائرية تواجه تحديين أساسيين: تحدي التكوين، وهذا يتطلب إعادة النظر في عدد الطلبة الوافدين لكي تتمكن من التحسين في نوعية التكوين وجعل الشهادة الجامعية ذات قيمة في سوق العمل. ومن جهة أخرى، معركة الامتياز التي تتطلب إعطاء الأساتذة كل الوسائل لإنتاج معرفي وتكنولوجي من تبادلات علمية وتوفير وسائل مادية للبحث.

السؤال 7 : سبق أن درسّت في المدارس العليا للأساتذة. ولا شك أنك ترى ضرورة إصلاح عاجل لطريقة تكوين المكون. هل لك أن تصف الداء والعلاج؟

جمال ميموني : أولا، لابد من فتح المدارس العليا للبحث العلمي إذ لا يليق بها أن تبقى محصورة في التكوين من أجل التدريس، علما أن كثيرا من طلبة هذه المدارس متفوقون. إنها خسارة كبيرة أن نبقيهم على روتين التدريس على مستوى المنظومة التربوية للطور الأول.

توظيف أساتذة متمكنين من مواكبة المتطلبات التربوية الخاصة لهذه الفئة، وعدم التوظيف العشوائي المبني على الشهادة. ينبغي أيضا إدخال مسابقات "التبريز" (Agrégation) كما في الأنظمة التدريسية الأخرى، والسماح بإنشاء مخابر بحث داخل المدارس، الأمر الذي تمّ إلغاؤه قبل عدة سنوات.

كل هذا يتطلب سياسة جريئة ورؤية بعيدة. فلا يمكن أن نشتكي من الأداء المتوسط لأساتذة التعليم بل الأداء الرديء في بعض الحالات، دون أن نوفر لهم مستوى تكويني جيد.

كما يجب أن ننشئ مسارات للطلبة المتخرجين -على الأقل للمتفوقين منهم- لمواصلة الدراسات بدلا من صبهم مباشرة في التدريس.

السؤال 8 : أنشأت الدولة مؤخرا المدرسة العليا للرياضيات والمدرسة العليا للذكاء الاصطناعي، وقبلها أنشأت ثانوية الرياضيات لتكوين نخبة من إطارات الدولة وعلمائها. الغريب أن جلّ من يتخرج من ثانوية الرياضيات لا يتوجّه نحو تخصص العلوم الدقيقة. وهذا أمر غير طبيعي. كما أن هناك تخوّفا كبيرا من أن يتوجّه خريجو المدرستين المذكورتين نحو الخارج للعمل في مؤسسات أجنبية. كيف ترى ترشيد هذا التوجّه لنخبنا؟

جمال ميموني : صحيح أن الشهادات وقدرات هؤلاء الطلبة العالية لا تتطابق مع سوق العمل وقطاع البحث العلمي، وهذا ما يجعلهم يتوجهون نحو القطاعات الراقية التي توفر لهم راتبا معتبر ا وعملا محفزا ومبدعا سواء في الجزائر - وخاصة في الشركات الأجنبية- أو في الخارج حتى لو كان خارج تخصصهم الأصلي. وبالتالي نجد أنفسنا في معضلة هجرة الأدمغة مرة أخرى. فالفرص المتوفرة في العلوم الدقيقة حتى على المستوى البحثي المحض لا تتماشى مع طموحاتهم. فلماذا نكونهم، ولمن؟

ولا أرى حلا سهلا لأن المشكلة تكمن في هيكلية تعيشها الجزائر منذ أمد بعيد. وقد يسمح انسجام بلادنا مع الاقتصاد العالمي لخريجي جامعاتنا البحث عن فرص عمل في بلدهم. هل يعقل أن الراتب الشهري لباحث ذي شهادات عليا ومن معاهد مرموقة يمثل سوى جزء من راتب خريج بشهادة ماستر في البلدان الأخرى؟

السؤال 9 : هناك تناقض صارخ في مجال نشر البحوث العلمية عندنا: من جهة لا بد أن ينشر طالب الدكتوراه أو الأستاذ المحاضر لينال الشهادة ويترقى؛ ومن جهة أخرى يشتكي هؤلاء من "ندرة" المجلات المصنفة مقارنة بعدد طالبي نشر أبحاثهم. لقد أدى هذا الوضع بفوضى عارمة جعل الكثير من البحوث تُنشر بدون تحكيم جاد في مجلاتنا الجامعية المصنفة. كيف ترى حل هذا الإشكال؟

جمال ميموني : صحيح أن النشر في مجلات علمية بالجزائر هو محل فوضى عارمة. فالإلزام بالنشر يؤدي إلى إنشاء مجلات شبحية من قِبل بعض الجامعات. وهذه المجلات لا تخضع لقواعد تحكيم سليمة، بل إن لجنة القراءة أحيانا وتكون لجنة وهمية.

أضف إلى هذا أن عددا من المجلات العلمية تغطي مجالات واسعة من حيث أنها لا ترتقي إلى أن تسمى "مجلة علمية" مثل تلك المجلات التي نجد فيها كل التخصصات في نفس الوقت (بيولوجيا، تكنولوجيا، علوم المادة...). وهذا

النوع من المجلات لا يوجد في العالم، وشغلها الشاغل تسهيل النشر للطلبة حتى يتمكنون من المناقشة لا غير. وبالموازاة مع ذلك فإن عدد المجلات العلمية قليلة مقارنة بعدد طلبة الدكتوراه. وفوق كل هذا، فتكلفة طباعة هذه المجلات الوهمية باهظة مع شبه انعدام القراء لها. إنه هدر للطاقة والمال.

فالإشكال يقع على مستويين: قلة المجلات العلمية المحكمة، ثم عدم توفر ميزة التحكيم الجيد على الرغم من ادعاءات تلك المجلات. ونتيجة لذلك، لا تدرج تلك المجلات في الكثير من الأحيان ضمن قائمة المجلات العلمية المصنفة التي تقبلها الوزارة الوصية في الملفات الإدارية الخاصة بمناقشة الرسائل الجامعية والترقيات.

السؤال 10 : هل من كلمة أخيرة موجهة للطلبة.وأخرى للزملاء الأساتذة؟

جمال ميموني : إن طلبتنا يعانون من تحديات ومشاكل هيكلية. زد على هذا النقائص التي تواجهها الجامعة الجزائرية، على الرغم من وجود بؤر لامعة، فإنه ينبغي لنا أن نحثّ الطالب على اتباع تطوير وتكوين ذاتيين واكتساب خلال فترة وجيزة استقلالية عن أساتذته.

وللأمانة، نضيف أن كل طالب ذي عزيمة عالية تدفعه للتميّز، سيجد عددا من الأساتذة مستعدين لمرافقته خارج المسار الدراسي قصد مساعدته بكل تفانٍ.

إن الجامعة الجزائرية أنتجت -رغم نقائصها- وتواصل إنتاج نخبة من الأفراد تفوّقوا لما أعطيت لهم الفرصة للذهاب إلى الخارج. وهذا على الرغم من المستوى المتوسط لجامعاتنا مقارنة مع الجامعات الأخرى. وجامعاتنا نقاط براقة لم يسع المكان لذكرها هنا، خاصة على مستوى بعض المخابر والأقسام التي قد تضاهي أو تفوق أحيانا التطور الذي وصلت إليه جامعات متألقة أخرى في الخارج.

أما لزملائي، فأقول إننا نعيش حقًا في جو متشائم وظروف صعبة وسط الرداءة المنتشرة التي أصابت الكثير من مؤسساتنا. إلا أنه من واجبنا أن نتجاوز هذه العقبات ونتفانى أكثر لخدمة الأسرة الجامعية، وخاصة طلبتنا حتى لا يفقدون الأمل. كما أنه من واجبنا أن نكون متفائلين وإيجابيين وأن نسهّل أداء هؤلاء ما بوسعنا لكي يرتقوا ويصلوا إلى أهدافهم... وألا نكون عقبة إضافية في طريقهم.

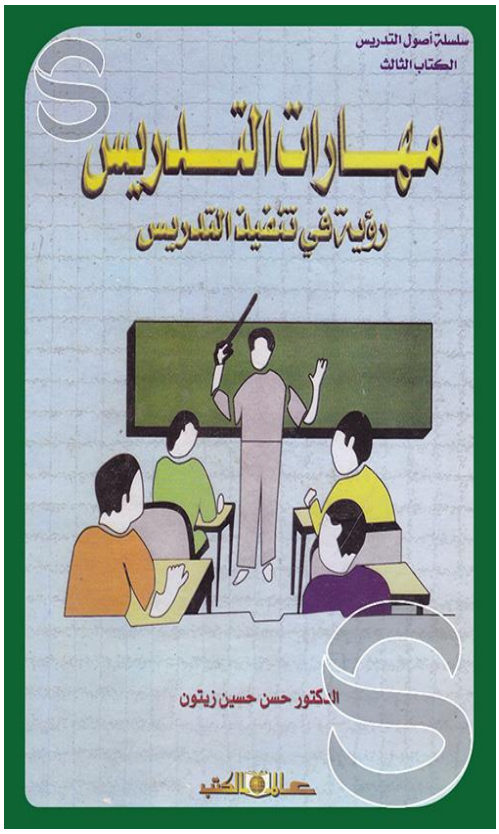
عرض الكتاب

عرض كتاب : مهارات التدريس (رؤية في تنفيذ التدريس)

تأليف : حسن حسين زيتون

عرض : عبد الرحمن بن بريكة

أستاذ بقسم علوم التربية، المدرسة العليا للأساتذة، القبة



عنوان الكتاب

مهارات التدريس

(رؤية في تنفيذ التدريس)

الكتاب الثالث من سلسلة أصول التدريس

- **تأليف**: حسن حسين زيتون.

- **الطبعة**: 2، 2004؛ 3، 2006.

- **الناشر**: عالم الكتب، القاهرة.

- **الحجم**: 581 ص – 24 سم.

- **الترقيم الدولي**: 9777-232-228-5

تمهيد

لكل مهنة مهاراتها وكفاياتها التي تُمكِّن صاحبها من ممارستها بنجاح وفاعلية. ولمهنة التدريس جملة من المهارات، كلما تحكم فيها المدرس كوّن خبرة وكفاية سَهَّلت عليه التأثير الإيجابي في طلابه. وبهذا يتكوّن لديهم الميل لمادته، والشعور بالمتعة أثناء دراستها، وهذا ما ينمي دافعية التعلم لديهم. غير أنه إذا تعرض المعلم للفشل فإن عواقبه تكون وخيمة ليس عليه وحده فحسب وإنما على مئات الطلاب الذين يدرسهم. فكل معلم بحاجة إلى اكتساب مهارات التدريس عن طريق التدريب والممارسة، وبالتالي تكوين خبرة وكفاية لأداء عمله على أفضل وجه..

تعريف مهارة التدريس: إنها القدرة على أداء عمل (نشاط) معيّن ذي علاقة بتخطيط التدريس، وتنفيذه، وتقويمه. ويتكون هذا العمل أو العمليات من مجموعة أداءات أو عمليات أصغر تتداخل وتترابط لتشكل مهارة واحدة، أي أن مهارة التدريس قابلة للتحليل لمجموعة من السلوكات (الأداءات). ومن ثم يمكن تقييمها في ضوء معايير الدقة في القيام بها، وسرعة إنجازها، والقدرة على التكيّف مع المواقف التدريسية المتغيرة. مثال ذلك : مهارة إدارة المناقشة تتداخل فيها مهارة صياغة الأسئلة التعليمية، ومهارة تنظيم المناقشة، ومهارة استعمال التغذية الراجعة، ومهارة إدارة الوقت، ومهارة ضبط النظام.

وهكذا فإن كل مهارة تتداخل فيها جملة من السلوكات العقلية، والحركية، والاجتماعية. وباعتبار أن مهنة التدريس تتم في ثلاث خطوات كبرى (التخطيط، التنفيذ، التقويم)، وباعتبار أن لكل خطوة مهارات خاصة بها فإن تقويم أداء المدرس في مهارة ما يتم عن طريق أسلوب الملاحظة المنظمة، وذلك من خلال بطاقة ملاحظة نقيس بها كفاءته في تطبيق المهارة. ومن ثم يمكن تحسين أدائه من خلال البرامج التدريبية.

يُعدّ كتاب مهارات التدريس (رؤية في تنفيذ التدريس) الذي بين أيدينا من المراجع الأساسية لكل مقبل على مهنة التعليم ولكل ممارس لها حيث يهدف هذا الكتاب – كما جاء في مقدمة المؤلف- إلى تنمية المهارات الخاصة بتنفيذ التدريس للمقبلين على ممارسة التدريس في المدارس والجامعات... وهو يهم بشكل خاص طلاب معاهد إعداد المعلمين، علما أن هناك ندرة ونقصا واضحا في المؤلفات التي تتناول موضوع تنمية مهارات التدريس.

يتوزع هذا الكتاب إلى ثلاثة أجزاء رئيسة:

الجزء الأول: مدخل معرفي عن مهارات التدريس: موزع إلى 5 مواضيع فرعية، تم فيها التعريف بأهمية مهارات التدريس: معناها، أنواعها، وكيفية اكتسابها.

الجزء الثاني: مهارات التدريس التنفيذية: موزع إلى 16 موضوعا فرعيا تم فيها شرح وتحليل مهارات التدريس التنفيذية.

الجزء الثالث: كيفية توظيف مهارات التدريس في مرحلة التنفيذ.

ونجد في آخر الكتاب ملحقا يلقي نظرة مجملة على بعض تقنيات تعليم مهارات التدريس وأساليبه، موزعة إلى 4 مواضيع.

ما هي أنواع المهارات التدريسية؟ يمكن تقسيم هذه المهارات إلى ثلاث مجموعات، هي:

- **المجموعة الأولى:** مهارات التخطيط التي تشمل العديد من المهارات ومن أهمها: تحليل محتوى المادة الدراسية، تحليل خصائص المتعلمين، تحديد الأهداف والكفاءات المستهدفة، تحديد إجراءات التدريس، اختيار الوسائل التعلّمية، تحديد أساليب التقويم وتحديد الواجبات المنزلية.

- **المجموعة الثانية:** مهارات التنفيذ (وهي موضوع هذا الكتاب). ومن أهمها مهارات: تهيئة قاعة الدرس، إدارة اللقاء الأول، إدارة ما قبل الدخول في الدرس الجديد، التهيئة الحافزة للتلاميذ، شرح الدرس، طرح الأسئلة، تنفيذ العروض العملية، التدريس الاستقصائي، استخدام الوسائل التعليمية، استشارة الدافعية للتعلم، الاستحواذ على الانتباه، التعزيز، مهارة تكوين العلاقات الإنسانية، مهارة ضبط النظام، مهارة تلخيص الدرس، مهارة تعيين الواجبات المنزلية..

وقد تناول هذا الكتاب كل مهارة بشيء من التفصيل، إلا أن ذلك لا يعني أن هذه المهارات منفصلة تماما عن بعضها. فثمة تداخلات عديدة بينها، بعضها متضمن في الآخر، وبعضها يشترك مع الآخر في ممارستها. كما أنها لا تسير دوما وفق ترتيبها بل تبدو أقرب ما تكون لأعضاء جسم الإنسان التي تعمل معا في معظم الوقت وكل منها له أهميته ووظيفته الخاصة..

- **المجموعة الثالثة:** مهارات التقويم التي تتمثل في إعداد أسئلة التقويم الشفهية، وإعداد الاختبارات وتصحيحها، وتشخيص أخطاء التعلم وعلاجها، ورصد الدرجات (العلامات) وتفسيرها.

وفي موضوع منهجية تقديم المهارات، عمل المؤلف في هذا الكتاب على اتباع منهجية وأسلوب تربوي في تقديم كل مهارة: يبدأ عرض المهارة بتمهيد، ثم يُتبع بتعريفها وتعريف أهم المصطلحات المرتبطة بها، وبعد ذلك يعرض أهم خطوات تنفيذها، والتنبيه للأخطاء التي يجب تفاديها عند تطبيق المهارة، ويبيّن مواضيع استخدامها في التدريس، ويشير إلى أبرز الصعوبات التي قد تواجه المعلم عند تطبيقها، ويختم كل مهارة ببطاقة ملاحظة يقيس من خلالها كفاءة الأستاذ في تطبيق المهارة.

كيف تكتسب مهارة التدريس؟ يمكن للمعلم المتدرب اكتساب المهارات باتباع الخطوات التالية:

الخطوة 1. إفهم المهارة: قراءة كل ما يتعلق بالمهارة المراد تعلمها، تحديد أهميتها والحاجة إلى اكتسابها، التعرف على المفاهيم المرتبطة بها.

الخطوة 2. إختبر ووسع فهمك للمهارة: من خلال ممارسة الأنشطة التي تكشف عن فهمك للمهارة ولكيفية توظيفها أثناء التدريس.

الخطوة 3. إبحث عن رسوم كاريكاتورية للمعلم الذي لا يجيد أداء المهارة وذلك تحت عنوان "لا تكن مثل هذا المعلم". والهدف من ذلك إضفاء نوع من المرح والضحك والسخرية من المعلم الذي يفتقر لهذه المهارة.

الخطوة 4. قدم النموذج المثالي لأستاذ يتقن أداء هذه المهارة: ونضع هذا تحت عنوان "كن مثل هذا المعلم"، ونعطي أمثلة تبين قدرته على إتقان هذه المهارة..

الخطوة 5. مارس أداء المهارة بشكل أولي (تمرن عليها): ويُفضل أن يكون التدريب متبوعا بالتقويم الذاتي وتقويم بعض الزملاء أو المشرف على التدريب من خلال بطاقة ملاحظة معدة مسبقا لتقويم كفاءة الأستاذ في تنفيذ مهارة ما.

الخطوة 6. إجمع معلومات مفصّلة عن أدائك للمهارة: يتمّ ذلك من خلال تحليل بطاقات الملاحظة التي أنجزت أثناء تقويم أدائك للمهارة من قبل زملائك أو من قبل المشرف على التدريب، وكذا من خلال تقويمك الذاتي فتظهر لك الأداءات التي تمكنت منها والأداءات التي ما زلت في حاجة للتدريب عليها.

الخطوة 7. أعد التدريب على المهارة: تستهدف هذه الخطوة تحسين أدائك للمهارة وصولا إلى مستوى الإتقان. كما ترمي إلى أن يكون التدريب متبوعا بالتقويم الذاتي وتقويم الزملاء، وتقويم المشرف. ويفترض هنا أن يكون أداء المعلم خاليا من الأخطاء التي كان يرتكبها في مراحل التدريب الأولى.

الخطوة 8. طبق المهارة في الميدان: بعد التدريب والتقويم، تأتي مرحلة ممارسة المهارة أثناء التدريس الفعلي ويتم أيضا تقويم الأداء من خلال بطاقات التقويم والملاحظة من قبل الزملاء والتقويم الذاتي من خلال تسجيل الحصة صوتيا أو بالفيديو، وإعادة مشاهدتها والاستماع إليها.

وقد ذُيل الكتاب بأربعة أساليب لتعليم مهارات التدريس:

1) التدريس المصغر: وهو يتمثل في تفتيت مهارات التدريس إلى عدد من المهارات الفرعية. ويتمثل أيضا في تدريب الطالب الأستاذ على كل مهارة فرعية من خلال موقف تدريس مصغر. كما يتم فيه اختصار زمن هذا الموقف وتقليل عدد الأفراد الذين يواجههم الطالب الأستاذ أثناء عملية التدريب، وتسجيل الدرس بالفيديو أو صوتيا لتتم عملية التغذية الراجعة عن هذا الأداء من قبل الطالب المتدرب.

2) تمثيل الأدوار: وهو موقف تدريبي يحاكي موقفا تدريسيا فعليا، يواجهه المعلم مستقبلا. والممثلون هم الطالب المدرب (بطل التمثيلية) عدد من الأفراد (بين 5 و 10) يشاركون في مجموعة التدريب. أما المشاهدون فهم عدد من الزملاء، وموضوع التمثيلية هنا هو "المهارة المراد التدريب عليها". ويتم هذا الأسلوب ضمن عدة خطوات: تهيئة مجموعة التدريب/ توزيع الأدوار/ تهيئة مسرح التمثيل/ النقد/ إعادة التمثيل والنقد.

3) العصف الذهني: وهو أحد أساليب المناقشة الجماعية التي يشجع بمقتضاها أفراد مجموعة (من 5 إلى 12 فردا) بإشراف رئيس لها على توليد أكبر عدد ممكن من الأفكار المبتكرة بشكل عفوي وتلقائي وحرّ. ويتم ذلك في مناخ مفتوح غير نقدي، لا يحدّ من إطلاق الأفكار التي تهدف إلى حل مشكلة معينة مختارة سلفا. وفي الأخير يتم اختيار أنسب الحلول، ويتم العصف الذهني خلال جلسة واحدة أو عدة جلسات. وتستغرق كل جلسة بين 15 و 20 دقيقة. وتُقدم الأفكار التي يتم التوصل إليها على أساس عدد من المعايير: الجدة، الأصالة، المنفعة، منطقية الحل، التكلفة، مدى قبول الحل، الجدول الزمني للتنفيذ. وهناك بعض المشكلات لها معايير خاصة. وفي الأخير ، يتم استبعاد الأفكار التي لا تساير المعايير السابقة.

4) مجموعة التشاور: وهي عبارة عن أسلوب من أساليب المناقشة الجماعية، وذلك من خلال تقسيم مجموعة كبيرة من المتدربين إلى مجموعات صغيرة يتراوح عددها بين 5 و 7 أعضاء يجلسون على شكل دائرة. وتعطى لكل مجموعة نفس المشكلة لمناقشتها في حدود 6 دقائق، ثمّ يُقدم تقريرا عن ذلك، وبعد ذلك يتم عقد جلسة موسعة لممثلي المجموعات لتقديم التقارير التي تم التوصل إليها، والخروج بتقرير موحد لحل المشكلة.

نشير إلى أن للكاتب مؤلفات عديدة أخرى في مجال التربية والتعليم، نذكر منها كتاب"إستراتيجيات التدريس : رؤية معاصرة لطرق التعليم والتعلم" الصادر عام 2009؛ و"تعليم التفكير : رؤية تطبيقية في تنمية العقول المفكرة"(2008)؛ و"أصول التقويم والقياس التربوي: المفهومات والتطبيقات" (2007)؛ و"التعلم والتدريس: من منظور النظرية البنائية" (2006)؛ و"التدريس: رؤية في طبيعة المفهوم" (2004)؛ و"نموذج رحلة التدريس: رؤية جديدة لتطوير طرق التعليم والتعلم في مدارسنا" (2003)؛ و"تصميم التدريس: رؤية منظومية" (2001)؛ و"الاتجاه الديني في تدريس العلوم: دراسة في العلاقة بين العلم و الدين" (1984).

على ضوء كل ما تقدم، يتضح أن كتاب "مهارات التدريس: رؤية في تنفيذ التدريس" لمؤلفه حسن حسين زيتون، جدير بالقراءة والدراسة من قِبل الطلبة الأستاذة المقبلين على مهنة التعليم.