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

لحسن سرحان، عبد الحميد زغداوي
zeghdaouiens@hotmail.fr

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

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

كشف التحليل اللاحق لإجابات المشاركين عن المفاهيم الخاطئة التالية:

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

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

لذلك، من أجل استنباط ما يخفيه الطلاب في أذهانهم بشأن مفاهيم معينة، يجب حثهم على إظهار ما هو مخزن في كلتا القناتين الإدراكيتين. تتطلب طريقة CNF من الطلاب عرض تصوراتهم البديلة بشكل تمثيلي (كتابي) و/ أو شفهي (في المساحة المتبقية بعد كل وضعية أو صورة تخطيطية). وبما أن هذه الطريقة تتطلب من المشاركين تمثيل القوتين المتفاعلتين في كل وضعية، فقد يدفع ذلك الطلاب إلى إظهار مفاهيمهم الخاطئة بأنفسهم. في الواقع، أحد مصادر مفاهيم

الطلاب الخاطئة هو المفاهيم الخاطئة التي ينشرها المعلمون أنفسهم [23]. وقد خلصت العديد من الدراسات إلى أن المعلمين لديهم مفاهيم خاطئة أيضًا (على سبيل المثال، في الفيزياء [4]؛ في الكيمياء الفيزيائية [6]؛ في علم الأحياء [23]).

1. التصوّرات الخاطئة المرتبطة بقانون نيوتن الثالث

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

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

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

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

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

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

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

يمكن تلخيص النقاط السابقة على النحو الآتي:

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

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

وفي الواقع، يبدو من الأكثر منطقية (لكن ذلك غير صحيح) أن تُنسب القوى أثناء التفاعل إلى "الأجسام الفاعلة"، وأن يُعتقد بأن الأجسام الكبيرة وسريعة الحركة تمتلك "قوى داخلية" كبيرة، ومن ثمّ تؤثّر بقوى أكبر على الأجسام الأخرى، في حين أن الأجسام الصغيرة والبطيئة تؤثر بقوى صغيرة. كما أن عرض قانون نيوتن الثالث في وضعيات ساكنة يجعل

فهمه أكثر صعوبة. ووفقًا لبراون، فإن تصور القوة بوصفها خاصية لجسم واحد، بدلًا من كونها ناتجة عن تفاعل، يظهر بوضوح في المسائل المرتبطة بالحالات الساكنة [1].

2- هدف الدراسة

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

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

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

3- تحليل أعمال الطلبة

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

5- يُنظر إلى الفعل ورد الفعل على أنهما عملية زمنية متعاقبة (يحدث أحدهما بعد الآخر بفاصل زمني)، حيث يحدث الفعل أولًا ثم يتبعه رد الفعل، وهو تصور خاطئ؛ إذ إن القوتين تحدثان في آنٍ واحد. وقد يكون ذلك جزئيًا بسبب

استمرار بعض الكتب المدرسية في استخدام مصطلحي "الفعل" و"رد الفعل" بدلًا من "التفاعل المتبادل". ويشير وارن (Warren) إلى أن هذين المصطلحين يوحيان بعلاقة زمنية سببية [22].

6- يميل بعض الطلبة إلى إدخال كيانات غير ذات صلة في تفسيراتهم، من خلال افتراض وجود مؤثرات إضافية غير معنية بالتفاعل المدروس.

7- يوجد ميل إلى حصر تطبيق قانون نيوتن الثالث في الحالات الساكنة فقط.

8- يوجد خلط بين قانون نيوتن الثالث وقانونه الثاني.

9- يستخدم الطلبة تفسيرات غير رسمية تخلو من مصطلح "القوة"، ويستبدلونه بكلمتي "الدفع" و"السحب".

10- يؤثر سياق المسألة بشكل كبير في تفكير الطلبة؛ فقد يقدمون إجابات منسجمة مع الرؤية العلمية في سياق معين، بينما تكون إجاباتهم في سياق آخر مخالفة أو مختلفة عن التفسير العلمي المقبول [13]، [18].

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

4. النتائج

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

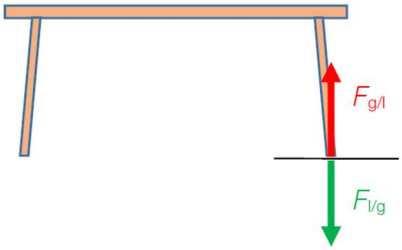
نوع الإجابة	n (الحالة 1)	n (الحالة 2)	n (الحالة 3)
إجابة صحيحة	8	11	7
إجابة ناقصة أو غير مكتملة	51	39	74
لا توجد إجابة	43	52	21
المجموع	102	102	102

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

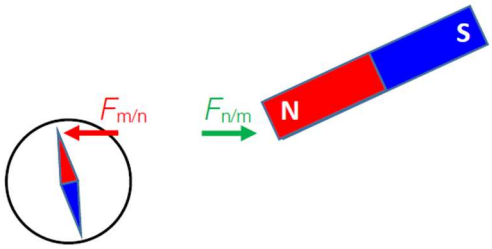
غالبًا ما يكون لدى الطلبة الذين اعتادوا على تصور القوة بوصفها خاصية مكتسبة للأجسام. ومن المتوقع، وفق هذا التصور، أن يجيب الطلبة بأن الجسم الأكثر كتلة أو وزنًا أو قوة يؤثر بقوة أكبر من الجسم الأقل كتلة أو وزنًا أو قوة، أو أن الجسم البطيء لا يؤثر بأي قوة على الإطلاق [10].

تتكوّن الصورة الأولى في هذه الدراسة من حالة ساكنة: إذ تُظهر طاولةً مستندةً إلى الأرض، ويُطلب من الطلبة تمثيل القوتين المتفاعلتين بين الأرض وأحد أرجل الطاولة عند النقطة A (نقطة التلامس بين رجل الطاولة وسطح الأرض).

أما الصورة الثانية، فتعرض إبرةً مغناطيسية على حاملها بالقرب من مغناطيس، بحيث يكون قطباهما الشماليان متقاربين. ويطلب من الطلبة مرة أخرى تمثيل القوى المتبادلة في هذا التفاعل تمثيلًا كيفيا واضحًا.

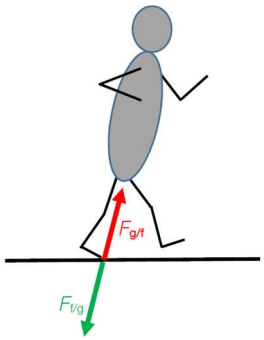


الصورة 1. تفاعل إحدى أرجل الطاولة مع الأرضية



الصورة 2. التنافر المتبادل بين مغناطيس وإبرة بوصلة

وأخيرًا، تناولت المسألة الثالثة رجلًا يمشي على الأرض، حيث طُلب من الطلبة التركيز فقط على تمثيل القوى المتبادلة بين قدم الرجل وسطح الأرض.



الصورة 3. القوى المؤثرة على الأرض وعلى القدم التي تمكّن الرجل من المشي.

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

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

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

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

في الوقع، كان الهدف من هذا السؤال هو حثّ الطلاب على إظهار مدى فهمهم لآلية أو(ميكانيكية) المشي، ومن ثم الكشف عن تصوراتهم والصعوبات التي يواجهونها. في الواقع، إن بناء الرسوم التخطيطية وصياغة الحجج التي تُمثّل التفاعلات بين قدم الإنسان والأرض ليس أمرًا بسيطًا، بل يتطلب قدرًا من الانتباه والتحليل المتعمق. ووفقًا لدراسات أجريت من قبل [3]، غالبًا ما يخلط الطلاب في تطبيق قوى الاحتكاك، إذ يعتقد معظمهم أن قوة الاحتكاك تكون دائمًا في اتجاهٍ معاكس لحركة الجسم المعني. ولذلك، فإن عددًا قليلًا جدًا منهم يقبل فكرة أن قوة الاحتكاك يمكن أن تؤدي أيضًا دور قوة محركة أو دافعة (في اتجاه الحركة)، وليس مجرد قوة مقاومة تعارض الحركة. فعلى سبيل المثال، يؤثر الشخص أثناء المشي بقوة على الأرض في اتجاه خلفه، بينما تؤثر الأرض بقوة في اتجاه أمامي تمكّنه من الحركة.

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

5. المناقشة

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

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

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

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

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

- الاعتقاد الخاطئ بأن قانون نيوتن الثالث يصف تتابعًا زمنيًا للأحداث؛
- الميل إلى إدخال عناصر غير ذات صلة في التمثيلات؛

- استخدام مصطلح "رد الفعل" بمعناه المتداول في اللغة اليومية.

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

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

- بساطتها وطابعها العملي؛
- سهولة توظيفها من طرف المعلمين كجزء مدمج في عملية التدريس؛
- تمكينها الطلاب من ربط خبراتهم اليومية خارج الصف بتعلمهم الفيزيائي بطريقة أصيلة ومشوقة.

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

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

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

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

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

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

المراجع

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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