د. فهد راشد المطيري

مكتبة

العِلم

أدواته وجذوره وفلسفته

منشورات تكوين
TAKWEEN PUBLISHING
تساؤلات

تتوفر نسخة عالية الدقة داخل قناة مكتبة لصور أفضل

سجل في مكتبة

اضغط الصفحة

SCAN QR

العلم

أدواته وجذوره وفلسفته

مكتبة
t.me/soramnqraa

الكاتب: **د. فهد راشد المطيري**

عنوان الكتاب: **العِلم: أدواته وجذوره وفلسفته**

تصميم الغلاف: يوسف العبدالله

تنضيد داخلي: سعيد البقاعي

ر.د.م.ك: 978-9921-808-63-6

الطبعة الأولى - أكتوبر/ تشرين الأول - 2024

1000 نسخة

جميع الحقوق محفوظة للناشر ©

منشورات تكوين
TAKWEEN PUBLISHING

الكويت - الشويخ الصناعية الجديدة

تلفون: 40 04 81 98 965 +

بغداد - شارع المتنبي، بناية الكاهجي

تلفون: 60 58 00 11 78 964 +

takween.publishing@gmail.com
takweenkw
takween_publishing
TakweenPH
www.takweenkw.com

د. فهد راشد المطيري

مكتبة
t.me/soramnqraa

العِلم

أدواته وجذوره وفلسفته

منشورات تكوين
TAKWEEN PUBLISHING
تساؤلات

الإهداء

إلى أبي

محتويات الكتاب

القسم الثاني

جذور العلم

القسم الثالث

فلسفة العلم

مقدمة الكتاب

مكتبة
t.me/soramnqraa

ضمن تخصُّص اللسانيَّات، كثيرة هي المقررات الدراسية الجامعية التي تبدأ عناوينها بكلمة «علم»، هناك، مثلًا، مقررات «علم اللغة»، و«علم الدلالة»، و«علم الأصوات»، وغيرها. حين يستقي الطالب معلوماته حول هذه المقررات الدراسية، تارة من الأستاذ في قاعة الدرس، وتارة من الكتب الدراسية خارج قاعة الدرس، فإنَّ مضمون هذه المعلومات يقتصر غالبًا (إنْ لم يكن دائمًا) على مضمون المضاف إليه في تلك العناوين: اللغة، الدلالة، والأصوات، إلى آخره. من الواضح أنّ الافتراض الضمني هنا هو أنّ الطالب على دراية مسبقة بمعنى العلم بشكل عام ولا يحتاج إلَّا إلى الدخول مباشرة في مضمون المقرر الدراسي. قبل سنوات طويلة، وفي أوَّل محاضرة لمقرر «علم اللغة»، قرَّرت اختبار مدى صحة هذا الافتراض الضمني، فسألت الطلاب سؤالًا مباشرًا وبسيطًا: ما هو العلم؟

كانت كل الإجابات مُشجِّعة، ليس لأنّها كانت كلها إجابات

معقولة، بل على العكس من ذلك تمامًا، وهو الأمر الذي شجَّعني على تخصيص أول ثلاث محاضرات من كل مقرر يبدأ عنوانه بكلمة «علم» للحديث حول ماهيَّة العلم بشكل عام. بطبيعة الحال، لم تكن هذه الخطوة كافية، وزاد من قصورها أنّ الطالب الجادَّ، حين يستنجد بالمكتبة العربية للاستزادة حول هذا الموضوع، غالبًا ما يجد نفسه أمام نوعين من الكتب: أحدهما للمتخصصين، والآخر للعموم. مع النوع الأول، يلج الطالب ميدان فلسفة العلم قبل الأوان فيكاد يغرق في مشكلاتها وتفاصيلها، ومع النوع الثاني يجد الطالب نفسه أمام طرائف تُروِّج ثمار العلم وقشوره كما تُرِّوج الإعلانات التجارية مُنتجًا جديدًا! هناك بالطبع الكتب المترجمة في كلا النوعين، وكثير منها جيّد، لكنها لا تخلو مع ذلك من المشكلات المصاحبة لأي كتاب مترجم، وجميعها مشكلات نتاج دفع ضريبة عبور الحد الفاصل بين لغة وأخرى، ومن ضمنها تلك المشكلات غير المباشرة والمرتبطة بالتفاوت في مستوى النظام التعليمي بين بيئة ثقافية وأخرى.

هل من سبيل إلى وضع كتاب يتدرّج في شرح معنى العلم والكشف عن طبيعته الجوهرية، ليس للطلّاب فحسب، بل لكل مَن لديه فضول حول ماهيّة العلم؟ كان هذا السؤال يشغلني حين شرعت في التخطيط لهذا الكتاب الذي بين يديك، ولقد انتظرت طويلًا راجيًا أن تُتاح لي فرصة في إتمام ما عقدت العزم عليه. كان اعتقادي ولم يزَل أنّ ماهيّة العلم لا تتجلّى إلَّا حين ننظر في ما يُعين

العلم على قطف ثماره، وهذا يستدعي فحص علاقة العلم بالمنطق من جهة أُولى، وبالرياضيات من جهة ثانية، وبإجراء التجارب من جهة ثالثة، ومن أجل فهم معمَّق لطبيعة العلم الجوهرية، لا بدّ أيضًا من عودة إلى جذور العلم التاريخية من جانب، وتأمّل في مشكلاته الفلسفية من جانب آخر.

جاءت اللحظة المناسبة أخيرًا خلال العام الدراسي 2017-2018 حين قضيت إجازة التفرُّغ العلمي في «معهد ميونخ لفلسفة الرياضيات»، وخلال الشهور الثلاثة الأولى فرغت من كتابة الفصول الثلاثة الأولى من هذا الكتاب، ثم صرفتني مشاغل الحياة عنه إلى أن حلَّت جائحة كورونا، فعدتُ إليه من جديد يدفعني الشعور بالذنب تارة، والشعور بالمسؤولية تارة أخرى، ولم أكن لأتمَّ الكتاب لولا إلحاح بعض الأصدقاء ممن قرءوا أولى فصوله، فإليهم إنما يرجع الفضل في دفعي إلى إتمام ما بدأت فيه قبل سبع سنوات.

يتناول هذا الكتاب موضوع العلم من خلال ثلاثة أبعاد: بُعد وسائلي، وبُعد تاريخي، وبُعد فلسفي. في البعد الوسائلي، يستعرض الكتاب أهم الأدوات التي يستعين بها العلم على جني ثماره، وهي المنطق والرياضيات وإجراء التجارب، وفي البُعد التاريخي يعود الكتاب إلى الوراء في محاولة للكشف عن جذور العلم في الحضارات القديمة بشكل عام، وفي فيزياء أرسطو بشكل خاص، ثم ينتقل الكتاب إلى البُعد الفلسفي ليتوقف عند فلسفة العلم الحديث وما

تتضمَّنه من مشكلات، ولا سيّما تلك المشكلات المتعلقة بالاستدلال والتفسير.

بالرغم من احتواء هذا الكتاب على فصول في المنطق والرياضيات وتاريخ العلم وفلسفته، فليس هدفه بطبيعة الحال أن يكون جامعًا بحيث يشمل كل ما جاء في هذه الميادين من المعرفة، فلا يوجد كتاب واحد يستطيع بلوغ هذا الهدف، ولا كاتب واحد يستطيع حمل هذه المسؤولية. إنّ الهدف من الكتاب أدنى من ذلك بكثير وغاية كاتبه أشدّ تواضعًا، فكلّ ميدان من هذه الميادين المعرفية الشاسعة لا يُطلب هنا بذاته، بل يُشار إليه بالقدر الذي يُعين على بلوغ الهدف من هذا الكتاب، وهو تبيان ماهيّة العلم. فعلى سبيل المثال، يختصّ الفصل الثاني بالمنطق بوصفه أداة من أدوات العلم، ولهذا، فأغلب ما جاء فيه من موضوعات يهدف إلى تبيان جوهر العلاقة بين المنطق والعلم فحسب.

لم تكن غاية كاتب هذه السطور من هذا الكتاب أن يأتي بجديد، فحسبه أن ينقل ما هو مفيد. لا يخلو الكتاب مع ذلك من قدر يسير من الأصالة، فحين يُطيل المرء النظر في مسألة مرارًا وتكرارًا، فلا بدّ أن يكافئه الحظ بين حين وآخر بشيء من شعور الإمام الشافعي عند تمايله طربًا لحلّ عويصة في الدرس! هناك -على وجه التحديد- مسألتان فيهما شيء من الجدّة في هذا الكتاب. تتعلّق المسألة الأولى بطريقة التحليل والتركيب في المنهج العلمي عند أرسطو، حيث أزعم في الفصل العاشر أنّ أغلب المشكلات المتعلقة بطبيعة المعرفة

العلمية في فلسفة العلم، إلى جانب الاختلاف التقليدي بين المنهج العقلاني والمنهج التجريبي، تعود في جذورها جميعًا إلى هذه الطريقة الأرسطية (المبحث 3.10). أما المسألة الثانية فتتعلّق بالخلط الشائع في فلسفة العلم بين الطريقة الافتراضية-الاستنباطية والنموذج الاستنباطي-الناموسي، حيث أبيّن في الفصل الثاني عشر (المبحث 3.12) ثلاثة أسباب لهذا الخلط بينهما.

يتألّف الكتاب من اثني عشر فصلًا، موزَّعة على النحو التالي: يختصّ الفصل الأول بتبيان ماهيّة العلم بشكل عام، ثم تتوزّع باقي الفصول على ثلاثة أقسام: يختصّ القسم الأول بأدوات العلم ويتألّف من ثلاثة فصول، ويختصّ القسم الثاني بجذور العلم ويتألّف من أربعة فصول، ويختصّ القسم الثالث بفلسفة العلم ويتألّف من أربعة فصول. في وُسع القارئ أن يكتفي بقراءة الفصل الأول والفصول الثلاثة من القسم الأول، وأمّا إذا أراد الاستزادة والاستمرار في القراءة، فحبّذا إتمام قراءة الكتاب كاملًا، ذلك أنّ القسم الثالث يبدأ من حيث انتهى القسم الثاني.

أخيرًا، أنا مَدين في كتابة هذا الكتاب لكل مَن قرأت له وأفدت منه، ولكلّ مَن استمعت إليه فاتفقت أو اختلفت معه، لكنّي بالطبع المسؤول الوحيد عن أي خطأ يرد فيه. أمّا أسماء مَن قرأت لهم فمدوّنة في قائمة المراجع، وأما أسماء مَن تحاورت معهم فأعلم أنهم من النبل والتواضع بحيث لا يرغبون في أن أذكر أسماءهم، ومع ذلك، لا أستطيع أن أتجاوز أسماء هؤلاء مع حفظ ألقاب أعلم مسبّقا أنهم

لا يكترثون بها: معاذ الدخيل، وعبدالعزيز الذايدي، وفهد عبدالله، ومحمد عواض، وثريا سعيد، وبدرو آرياس كاستانيدو، وخالد شقير، وعبدالله علي، والفقيد يوسف الصمعان، وعبدالإله حمد، وعدنان العبار، وأحمد الرشيدي، وفهد عزام. أودّ كذلك أن أشكر القائمين على دار نشر «تكوين»، وبخاصة الأستاذة بثينة العيسى والأستاذ محمد العتابي، لنشرهم هذا الكتاب.

الفصل الأول

ماهيّة العلم

مكتبة
t.me/soramnqraa

1 . 1 . معاني العلم المتعددة

هناك كلمات يصعب تعريفها رغم شعورنا بأنها لا تحتاج إلى تعريف لإيضاح معناها، مثل: «حَدْس» أو «كتلة» أو «حُبّ». لكن، في المقابل، هناك كلمات يسهل تعريفها رغم شعورنا بقصور التعريف في إيضاح معناها، ويبدو لي أن كلمة «عِلم» تنتمي إلى هذا النوع من الكلمات. لننظر كيف يعرِّف قاموس «كامبردج»، مثلًا، هذه الكلمة: العلم هو «الدراسة الفاحصة لبنية العالم وسلوكه، وبخاصة من خلال إجراء التجارب». يبدو هذا التعريف مباشرًا، لكن من الصعب الزعم بأنه تعريف دقيق، وهناك على الأقل سببان لذلك.

أولًا، يشير التعريف إلى «إجراء التجارب» بوصفها العلامة البارزة على كل ما يُمكن أن يوصف بأنه علم، ولا شك في أن التجربة عنصر مهم في أي علم «إمبريقي». لكن قصور التعريف يكمن في إغفاله الجانب المجرّد في أي علم يتخذ من الطبيعة وظواهرها موضوعًا له، فوصف العلم بأنه دراسة «فاحصة» -كما

جاء في التعريف أعلاه- لا يكفي للكشف عن هذا الجانب المجرد. يتجلّى هذا الجانب في حقيقة أن التجربة تأتي عادة بعد عملية استدلال عقلي ينطلق من التسليم بصحة فرضية معينة لتحديد ما ينتج منها، ودور التجربة هو فحص مدى تطابق هذه النتيجة الاستدلالية مع معطيات الواقع. فعلى سبيل المثال، لو انطفأ المصباح الكهربائي فجأة في الغرفة التي أجلس فيها الآن، فقد أقترح فرضية مفادها أنّ السبب وراء انطفاء المصباح يعود إلى انقطاع الكهرباء عن كل أرجاء المنزل. تقود هذه الفرضية إلى الاستدلال التالي: إذا كان انقطاع التيار الكهربائي عن كل أرجاء المنزل هو السبب وراء انطفاء المصباح في الغرفة، فهذا يعني أني لو حاولت تشغيل أي جهاز كهربائي، أو إشعال أي مصباح آخر في أي غرفة أخرى من غرف المنزل، فإن النتيجة ستكون سلبية. حين أقوم بمثل هذه المحاولة، أكون بذلك قد قمت بفحص مدى تطابق نتيجة الاستدلال مع معطيات الواقع، وهذا الفحص غير المباشر للفرضية هو الدور الذي تقوم به التجربة في مثالنا هذا.

ثانيًا، يبدو التعريف أعلاه مقتصرًا على معنى محدد لكلمة «علم»، في حين أنها كلمة ذات معانٍ متعددة، وفي تعدّد المعنى إشارة إلى تعدّد طرق الاستخدام في سياقات مختلفة. لنتأمّل -على سبيل المثال- الجمل التالية، حيث ترد كلمة «عِلم» في كل جملة على حدة:

(1) نأمل أن يصل العلم إلى علاج لهذا المرض.

(2) لا يخضع ما يسمى العلاج بالطاقة لشروط العلم.

(3) تحرص الدولة على دعم العلم.

(4) في إمكان العلم أن يعمِّرَ الأرض أو أن يدمِّرها!

في (1)، هناك إشارة إلى العلم بوصفه وسيلة معرفية تنطوي على قدر كبير من الجهد لحلّ مشكلة ما، في حين أن الإشارة في (2) هي إلى العلم بوصفه معيارًا يحدِّد ما ينبغي أن يندرج ضمن حصيلة الأفكار المقبولة والمدعومة بأدلة تجريبية. حين ننتقل إلى (3)، فإن الإشارة هنا متعلقة بالعلم بوصفه مؤسسة اجتماعية لها أفرادها ومبانيها ومجلّاتها الدورية، والعلم بهذا المعنى لا يختلف عن باقي مؤسسات المجتمع المدني. أخيرًا، هناك إشارة ضمنية في (4) إلى قائمة من الاختراعات التقنية أو ما يعرف بالتكنولوجيا، وبذلك تنطوي الإشارة هنا على تماثل بين العلم وتطبيقاته. على ضوء هذه الإشارات المختلفة، أصبحت لدينا قائمة بأربعة مفاهيم لمصطلح «العلم»[1]:

(1*) أداة معرفية تتضمن جهدًا ذهنيًّا مُنظَّمًا لحل مشكلة ما أو إنتاج معرفة جديدة.

(2*) معيار معرفي يحدد ما هو مقبول من الناحية التجريبية.

(3*) مؤسسة اجتماعية ضمن مؤسسات المجتمع المدني.

(4*) مجموعة من الاختراعات التقنية.

هناك ثلاث نقاط تنبغي الإشارة إليها بخصوص هذه القائمة. أولًا، لا تحصر هذه القائمة بطبيعة الحال كل المفاهيم التي يشير إليها

مصطلح «العلم»، فالهدف منها يقتصر فقط على التنبيه إلى وجود استخدامات متعددة لهذا المصطلح. ثانيًا، من الضروري عدم الخلط بين هذه المفاهيم المختلفة، ولعلّ كثيرًا من النقد الذي يُوجّه إلى العلم يقع في شَرَك هذا الخلط، فالقول -مثلًا- إنّ العلم جلب الهلاك إلى ملايين الأرواح البشرية، ينطوي على خلط بين مفهوم العلم في (*1) ومفهوم العلم في (*4)، إنّ العلم -بوصفه أداة معرفية- مسؤولٌ عن إنتاج نوع محدد من المعرفة، في حين أنّ المسؤولية الأخلاقية تقع على عاتقنا عند تحديد أوجه الاستفادة المشروعة من تلك المعرفة. أخيرًا، حين نشير إلى كلمة «علم» في هذا الكتاب، فإن السياق سيتكفل بتحديد المعنى المقصود من ضمن معانٍ مختلفة.

نلجأ إلى القاموس لتحديد معنى كلمة، غير أنّ المعنى بذاته لا يكفي للكشف عن ماهيّة ما تشير إليه أي كلمة. بعبارة أخرى أكثر تحديدًا، يساهم التعرّف على معنى كلمة «علم» في مساعدتنا على كيفية استخدامها في سياق معيَّن، لكنه لا يكفي بالضرورة لتحديد ملامح العلم بوصفه أداة معرفية. إنّ أبرز ما يميّز العلم يكمن -على الأرجح- في ما ينتجه من معرفة، ولعلّ من المناسب الآن التعرّف على أبرز سمات المعرفة العلمية.

1. 2. سمات المعرفة العلمية

تكمن إحدى الوسائل للتعرف على طبيعة شيء ما، في محاولة تحديد السمات التي يمتاز بها هذا الشيء، وللتعرف على طبيعة

المعرفة العلمية، سنستعرض فيما يلي بعضًا من أهم سمات هذا النوع من المعرفة.

أولى سمات المعرفة العلمية هي أنها معرفة **تراكمية**، أي أنها تزداد من حيث الكم مع مرور الزمن، فلا ريب -مثلًا- في أنّ الطلاب البارزين في أي ميدان من ميادين المعرفة العلمية في وقتنا الحاضر يفوقون الخوارزمي وابن الهيثم وجاليليو ونيوتن في درايتهم بعلوم الفيزياء والرياضيات والفلك وغيرها. لاحظ أنّ النقيض من ذلك ينطبق على ميدان المعرفة التقليدية ذات الطبيعة التناقصية، حيث حجم المعرفة مرتبط بمدى القرب الزماني من مصدرها، جرِّب أن تسأل أزهريًّا، مثلًا، ما إذا كان علمه في النحو يفوق علم سيبويه[2]. من جهة أخرى، تتيح الطبيعة التراكمية للمعرفة العلمية طرح أسئلة جديدة لم يكن لها أن تُطرح في عصور سابقة، فعلى سبيل المثال، السؤال حول كيفية المواءمة بين ميكانيكا الكَم والنسبية العامة، أو السؤال حول فرصة العثور على لقاح فعّال في القضاء على مرض الإيدز، أو السؤال حول سُبل معالجة ظاهرة الاحتباس الحراري، كلها أسئلة لا يُمكن تصوّر مجرّد طرحها قبل تراكم المعرفة العلمية ووصولها إلى مستوى أتاح لمثل هذه الأسئلة أن تُطرح في القرن العشرين.

ثاني سمات المعرفة العلمية هي أنها معرفة **نسبية**، والنسبية هنا لها وجهان، أحدهما متعلق بمدى صحة المعرفة العلمية، والآخر مرتبط بمدى حجمها. في ما يتعلّق بالوجه الأول، نستطيع القول

إنّ المعرفة العلمية نسبية، بمعنى أنها ليست يقينية، إذ لا مكان في العلم لليقين المعرفي، وإنما تزداد درجة احتمال صحة أي فرضية علمية مع كل دليل إضافي يدعم صحتها، ومن دون الوصول أبدًا إلى درجة اليقين[3]. في ما يتعلّق بالوجه الثاني، نستطيع القول أيضا إنّ المعرفة العلمية نسبية، بمعنى أنها ليست تامة، فالعلم يكافح الجهل مع كل زيادة في مقدار التراكم المعرفي، لكن الجهل لا حدود له، وبالتالي ستظل المعرفة العلمية منقوصة مهما تعاظم مقدارها.

عجزُنا عن التيقُّن من صحة أي فكرة لا يقتضي حرماننا من تبنّي صحتها، وبخاصة حين تكون الفكرة مسنودة بأدلّة. هنا تكمن السمة الثالثة للمعرفة العلمية بوصفها معرفة **تجريبية**، بمعنى أنها معرفة متعلقة بمعطيات الواقع من جهة، وقابلة لاختبار مدى صحتها استنادًا إلى نتائج التجربة من جهة أخرى. من الضروري هنا أن نتذكر أن مفهوم التجربة يقتضي منطقيًّا قدرًا من الشك في صحة الفكرة أو الفرضية الخاضعة للتجربة، وإلَّا لَمَا كان هناك معنى لإجراء التجربة من الأساس. كما أن من الضروري أيضًا ملاحظة الدور الإيجابي للشك في تعزيز المعرفة العلمية من جانب، والتذكير بنسبيتها من جانب آخر، ذلك أن الشك يقي من فرط السذاجة المتمثلة في قبول صحة فرضية قبل خضوعها للاختبار، ويقي كذلك من الثقة المفرطة والمتمثلة في التيقّن من صحة فرضية بعد اجتيازها للاختبار، إنّ أقصى ما تتيحه لنا التجربة بوصفها

معيارًا للتحقق من صحة فرضية، هو القبول بصحة الفرضية حتى إشعار آخر، أي إلى حين يثبت العكس.

السمة الرابعة للمعرفة العلمية تشير إلى كونها معرفة **موضوعية**، أي إنها معرفة لا ترتكز على أهواء شخصية أو دوافع أيديولوجية، بل على مقاربة نقدية تهدف إلى الوصول إلى الحقيقة. إنّ الموضوعية بهذا المعنى لا تستمد قوتها من إخلاص العلماء ونزاهتهم عند قيامهم بالبحث العلمي، بل هي مستمدة من طبيعة البحث العلمي نفسه، ذلك أنه بحث يتصف بقدر من الشفافية بحيث يستطيع الجميع التحقق من نتائج التجربة من خلال إعادة إجرائها، وهذا ما يسميه كارل بوبر «المظهر الاجتماعي للمنهج العلمي»[4]. لعلنا لا نبالغ إذا قلنا إن هذه الخاصية تؤدي دور صمام الأمان ضد القصور الأخلاقي للنفس البشرية في ميدان العلم، فهي أشبه بإنذار لكل باحث، ومفاد هذا الإنذار: لا تعبث بنتائج البحث، لأنّ عبثك سيُكتشَف إنْ لم تكن نزيهًا!

نأتي أخيرًا إلى السمة الخامسة للمعرفة العلمية، وهي أنها معرفة **منهجية** بوصفها نتاج طريقة تتصف بالدقة والوضوح، إن ما يجعل هذه الطريقة تتصف بالدقة هو استفادة العلم من لغة الرياضيات، وما يجعلها طريقة تتصف بالوضوح هو استفادة العلم من لغة المنطق. لهذا، هي أفضل الطرق المتاحة لتراكم المعرفة العلمية. لا يعني هذا بطبيعة الحال أن الطريق إلى الحقيقة لا يمرّ إلّا من بوابة العلم، ولكنه يعني أن الطريق الأمثل إلى اختبار مدى صحة هذه

الحقيقة لا يمرّ إلا من بوابة العلم، أو كما يقول الفيزيائي وفيلسوف العلم الأرجنتيني، ماريو بُنخي Bunge: «لا يحتكر العلم الحقيقة، ولكنه يحتكر الوسائل التي من خلالها نفحص مدى صحة تلك الحقيقة»[5]. هذه الطريقة هي المنهج العلمي.

1. 3. المنهج العلمي عمليًّا

هل سبق أن أشرت في حديثك ذات مرة إلى «المنهج العلمي» فاستوقفك أحدهم ليعترض قائلًا: «بل المناهج العلمية، فهناك أكثر من منهج»؟! لتحاشي مثل هذه الاعتراضات غير الجوهرية، حين نشير في هذا الكتاب إلى «المنهج العلمي»، فإننا لا نقصد به أكثر من مجرّد طريقة لتعزيز المعرفة العلمية من حيث الكم أو من حيث الكيف، أي من خلال إضافة حقيقة علميّة أو من خلال حلّ مشكلة عمليّة. من جهة أخرى، حين نشير إلى «مناهج علمية»، فإننا نشير إلى تعدّد التصوّرات حول منطق العلم، لكن ليس في هذا التعدّد اختلافٌ حول مفهوم «المنهج العلمي» بوصفه طريقة لتعزيز المعرفة العلمية.

استعنّا بتحديد أهمّ سمات المعرفة العلمية للاقتراب من مفهوم «العلم»، ونستعين هنا بقصّة حقيقية للاقتراب من طبيعة المنهج الذي يسلكه العلم لإنتاج تلك المعرفة، فهي قصة تعكس ملامح المنهج العلمي بصورة عمليّة. في كتابه الشهير «فلسفة العلوم الطبيعية»، يشير فيلسوف العلم كارل همبل Hempel إلى قصة الطبيب المجري

سيملوايز[6]. تدور أحداث القصة، من حيث الزمان، في منتصف القرن التاسع عشر، وتدور من حيث المكان في أحد مستشفيات مدينة فيينا. أما موضوعها فيتعلّق بحُمّى النِّفاس التي قد تصاب بها النساء بعد الولادة أو الإجهاض. لم تكن العلّة المؤدية إلى هذه الحالة المَرضية معروفة في تلك الحقبة، وقد لاحظ الطبيب سيملوايز اختلافًا جوهريًّا بين جناحيِ الولادة في المستشفى الذي كان يعمل فيه، فبينما كانت نسبة الوفيات بحمى النفاس مرتفعة في الجناح الأول، بقيت هذه النسبة منخفضة في الجناح الثاني.

حاول سيملوايز أن يجد سببًا لهذا الاختلاف في نسبة الوفيات بين الجناحين، فبدأ باستعراض عدد من الأسباب الشائعة في تلك الفترة، وسرعان ما وصل إلى استنتاج مفاده أنّ جميع تلك الأسباب لا يمكن أن تكون صحيحة، وذلك لتعارضها مع الحقائق على أرض الواقع. فعلى سبيل المثال، كان أحد تلك الأسباب الشائعة يشير إلى أنّ تغيرات مناخية وبيئية أدّت إلى تفشّي الوباء في الجناح الأول، غير أنّ سيملوايز لم يكن ليقبل بهذا السبب المغلوط، فقد كان من الواضح تعذُّر الجمع بين ارتباط الوباء بتغيرات مناخية يتعرض لها جميع سُكان مدينة فيينا من جهة، وبين اختيار هذا الوباء ضحاياه بعناية فائقة إلى درجة تركيزه في النساء في الجناح الأول من جهة أخرى! من ضمن الأسباب الشائعة أيضًا تلك المتعلقة بنوع الطعام المقدَّم إلى المرضى في الجناح الأول والتكدُّس الكبير في أروقته. لكنّ سيملوايز لم يكن ليقبل بهذين السببين، فمن

جانب، لا وجود لاختلاف في نوع الطعام المقدّم إلى المرضى في كلٍّ من الجناح الأول والجناح الثاني، ومع ذلك هناك تفاوت في نسبة الوفيات بينهما، ومن جانب آخر، لا يعاني الجناح الأول تكدّسًا في أعداد المرضى، بل إنّ التكدّس كان في ازدياد بين صفوف المرضى في الجناح الثاني نظرًا إلى السمعة السيئة التي اكتسبها الجناح الأول جرّاء ارتفاع نسبة الوفيات فيه.

في المستشفى، كانت هناك غرفة معزولة في كل جناح مخصصة للمرضى الذين شارفوا على الموت، وقد اعتاد الراهب زيارة المرضى في تلك الغرف المعزولة لتقديم القربان المقدس إليهم وفقًا للطقوس المسيحية. لاحظ سيملوايز أن مسار دخول الراهب إلى الغرفة المعزولة في الجناح الأول مختلف عن مسار دخوله إلى الغرفة المعزولة في الجناح الثاني، ففي الحالة الأولى يجتاز الراهب صفوف المرضى كي يصل إلى الغرفة المعزولة، في حين أنه في الحالة الثانية يدخل إلى الغرفة المعزولة بشكل مباشر عن طريق باب خارجي. تساءل سيملوايز: هل ارتفاع نسبة الإصابة بحمى النِّفاس في الجناح الأول مرتبط بأسباب نفسية؟ إذا كانت في زيارة الراهب دلالة على اقتراب شبح الموت، فهل أدّى انتباه النساء في الجناح الأول لدخول الراهب إلى خلق حالة من الرعب ساهمت في زيادة نسبة الوفيات؟ لاختبار مدى صحة هذه الفرضية، اتفق سيملوايز مع الراهب على تغيير مسار دخوله إلى الغرفة المعزولة في الجناح الأول، بحيث لا تتمكّن النساء في الجناح الأول من ملاحظة وجوده، ولكن مع

مرور الوقت، لم يطرأ أي تغيير على نسبة الوفيات، وبالتالي اتضح خطأ هذه الفرضية ذات الطابع النفسي.

أخيرًا، استطاع سيملوايز العثور على الخيط المؤدي إلى حلّ المعضلة بعد وفاة أحد زملائه الأطباء المتخصصين في تشريح الجثث، فقد ورد في تقرير حالة الوفاة أن الطبيب أُصيب عن طريق الخطأ بجرح في ذراعه بواسطة مشرط كان في يد أحد طلّاب التشريح. لاحظ سيملوايز تشابهًا كبيرًا بين الأعراض المرضيّة التي عاناها الطبيب قبل وفاته وتلك الأعراض المصاحبة لحمى النفاس. تنبغي الإشارة هنا إلى أن ما يسمى بنظرية جرثومية المرض، والتي تشير إلى أن الميكروبات تقف وراء عديد من الأمراض، لم تكن تحظى في تلك الحقبة بقبول كبير في الأوساط الطبية، ومع ذلك قدّر سيملوايز أنّ العِلّة وراء حمى النفاس تكمن في دخول نوع معيّن من الجراثيم في جسم المريض. لفحص صحة هذا الافتراض، أقنع سيملوايز إدارة المستشفى بإصدار تعليمات صارمة حول ضرورة أن يقوم جميع أعضاء الجهاز الطبي بغسل اليدين بسائل معقِّم قبل إجراء الفحوصات الاعتيادية على النساء ضمن إجراءات عمليات الولادة. لم يمضِ وقت طويل بعد هذا الإجراء حتى تراجعت نسبة الوفيات في الجناحين، فاستنتج سيملوايز أنه ربما يكون قد عثر على العِلّة وراء حمّى النفاس، وقد ساهم في دعم صحة فرضيته ما لاحظه من اختلاف جوهري بين الجناحين، فعلى العكس من القابلات اللواتي يعملن في الجناح الأول، لم يكن يتضمّن تدريب

القابلات العاملات في الجناح الثاني التعامل مع عمليات التشريح، وهو ما يفسِّر على ضوء الفرضية انخفاض نسبة الوفيات في الجناح الثاني بالقياس إلى الجناح الأول.

في ثنايا هذه القصة تكمن بعض أهم عناصر المنهج العلمي: الملاحظة، والفرضية، والتجربة. سنتوقف في ما يلي عند هذه العناصر تباعًا.

1 . 4 . الملاحظة

تبدأ قصة سيملوايز -كما رأينا- بملاحظته ارتفاع نسبة الوفيات في الجناح الأول، ثم تنتقل القصة إلى محاولات قام بها هذا الطبيب للعثور على العِلّة وراء ارتفاع تلك النسبة، ونريد هنا أن نتوقف -بشكل عام- عند هذا السلوك العلمي الذي يجمع بين الملاحظة وردّ الفعل تجاهها.

قبل كتابة هذه السطور، قمت من مكتبي لأقف أمام النافذة، فشاهدت النخلة في وسط الحديقة. حاسة البصر أشبه بوظيفة حاسوبية لها مدخل ومخرج: مدخلها وقائع في العالم الخارجي، ومخرجها معطيات في الذهن. هناك شيء ما يقف في وسط الحديقة، وحين أصبح موضوعًا لحاسة البصر، أفضت هذه الحاسة إلى نتيجة ذهنية، وهي أن هذا الشيء هو نخلة. لا تختلف الملاحظة عن المشاهدة من حيث أنّ لها أيضًا موضوعًا متعلّقًا بالواقع ونتيجة متعلّقة بالذهن، لكن الملاحظة حالة خاصة من المشاهدة، فهي

تضيف عنصرًا إضافيًّا إليها، وهو الغرض من المشاهدة. لنفترض أنني لم أكتفِ بمشاهدة النخلة في الحديقة، بل جعلت أكرر مشاهدتها في أوقات محددة ولمدة عام كامل، وفي كل مرة أدوِّن كل ما أشاهده من تغيّرات قد تطرأ على النخلة. لن نكون في هذه الحالة أمام عملية مشاهدة صرفة، بل نحن أمام مشاهدة لغرض محدد، وهذه هي الملاحظة.

يتعدّد نوع الملاحظة بتعدّد الغرض من المشاهدة. لو كانت مشاهداتي وتدويناتي لتلك النخلة، مثلًا، هي لغرض عمل لوحة فنية تعكس أطوار شكل النخلة خلال الفصول الأربعة، فإننا نكون هنا أمام ملاحظة فنية، في حين لو كان الغرض نابعًا من فضول في معرفة كيفية تأقلم النخلة مع ظروف مناخية متغيرة، فهذه ملاحظة علمية. لكن ما الذي يميّز الملاحظة العلمية عن غيرها من أنواع الملاحظة؟

قد يلاحظ الشاعر غروب الشمس فيكتب قصيدة، وقد يلاحظ التاجر زيادة الطلب على بضاعته فيرفع السعر، وقد يلاحظ الشرطي تمايل سيارة في وسط الشارع فيأمر صاحبها بالتوقّف. في كل مثال من هذه الأمثلة تتطلّب الملاحظة ردّ فعل من قِبَل المتلقّي، والملاحظة العلمية ليست استثناء. لكنّ الملاحظة العلمية تمتاز بأمرين على الأقل: أحدهما متعلق بنوع الإثارة، والآخر متعلق بنوع الاستجابة. تثير الملاحظة العلمية سؤالًا يحتاج إلى جواب، والتعامل مع الملاحظة من هذا النوع ليس أمرًا يسيرًا كما قد يبدو

من الوهلة الأولى، والسبب في ذلك يعود إلى طبيعة استجابة العالِم تجاه الموقف الذي أمامه، فهو ليس كالشاعر يدفعه جمال المنظر إلى التعبير عمّا يجول في خاطره، وليس كالتاجر يدفعه الجشع إلى انتهاز فرصة تملأ جيبه، وليس كالشرطي تدفعه وظيفته إلى أداء واجبه. إنّ ما يميّز سلوك العالِم هو أنه سلوك مدفوع بالفضول العلمي تجاه سؤال يحتاج إلى جواب، والفضول من هذا النوع -مع الأسف- ليس خاصية عامة يشترك فيها جميع البشر، وإذا كانت الظواهر المحفّزة على التساؤل تبلغ من الوضوح في بعض الأحيان بحيث لا تستدعي أكثر من امتلاك حواس سليمة لملاحظتها، فإنّ محاولة العثور على جواب تتطلّب إلى جانب الفضول جهدًا ذهنيًّا.

في القصة التي أوردناها عن همبل، كان جميع الأطباء على علم بارتفاع نسبة الوفيات بين النساء في الجناح الأول، لكن وحده سيملوايز مَن قاده الفضول إلى التوقف مليًّا عند هذه المشكلة ومحاولة العثور على سبب لها. هنا تحديدًا يكمن الفارق بين سلوكه المهني بوصفه طبيبًا وسلوكه العلمي بوصفه باحثًا.

بالطبع، لا يقتصر الدافع إلى الاكتشاف العلمي على الفضول وحده، فهناك أيضًا عوامل اقتصادية وعسكرية وصحية وبيئية وحتى نفسية يقوم كلٌّ منها بدور في توجيه البحث العلمي نحو أهداف عمليّة محددة، لكن لا تعارض بين عامل الفضول العلمي وتلك العوامل مجتمعة. كما أنّ الفضول العلمي في حد ذاته لا يقتصر على طرح أسئلة تمليها الضرورة، فقد يتعلق أحيانًا بأسئلة ليست

على قدر كبير من الأهمية، وفي هذه الحالة قد لا ترتبط أهمية هذا النوع من الفضول بنتائجه بقدر ارتباطها بابتكار الطريقة المؤدية إلى تلك النتائج، ولعلّ في قصة الزيارة التي قام بها طاليس إلى مصر أبرز مثال على ذلك. عاش الفيلسوف الإغريقي طاليس في الفترة ما بين القرنين السابع والسادس قبل الميلاد، ولقبه الذي اشتُهر به هو «أبو الرياضيات الإغريقية». تحكي القصة أنه شاهد الأهرام في زيارته للجيزة في مصر، فأخذ يسأل المارّة عن طول أكثر الأهرام ارتفاعًا، وبينما يئس من قدرة الآخرين على الإجابة على سؤاله، لم ييأس من قدرته على العثور على إجابة. أحضر طاليس عصًا فقاس طولها وركزها في الأرض في يوم مشمس، ثم انتظر حتى تساوى طول العصا مع ظلها، فقدّر أنّ في هذه اللحظة يتساوى كل جسم مع ظله، فسارع إلى قياس طول ظلّ الهرم ليعثر على الإجابة!

حين يتعلق الأمر بالمنهج العلمي، فإنّ الانتقال من ملاحظة مشكلة إلى محاولة التعامل معها يُعدّ شرطًا ضروريًّا لإنتاج معرفة علمية، وهذه هي وظيفة عنصر آخر من عناصر المنهج العلمي بشكل عام، وعناصر التفسير العلمي بشكل خاص، ونعني به عنصر الفرضية.

1 . 5 . الفرضية

كما سبق أن رأينا، في محاولة منه العثور على سبب ارتفاع نسبة الوفيات في الجناح الأول، قدّم الطبيب سيملوايز عددًا من

الأسباب المحتملة، مثل نوع الطعام المقدّم إلى المرضى، أو الرعب النفسي للمرضى جرّاء مشاهدة الراهب، أو غيرهما من الأسباب التي قام سيملوايز بالتعامل مع كل منها على حدة. يشير كل سبب من هذه الأسباب إلى «فرضية»، ونريد هنا أن نتوقف عند هذا المفهوم العلمي بشيء من التفصيل.

إذا كانت الملاحظة تثير سؤالًا، فإنّ الفرضية هي الجواب المقترح، وإذا كانت الملاحظة تشير إلى مشكلة، فإنّ الفرضية هي الحل المقترح. يعود ارتباط الاقتراح بالفرضية إلى حقيقة أنّ الفرضية مفهوم يقتضي منطقيًّا قدرًا من الجهل، ذلك أنّ الفرضية تخمين، والتخمين اصطلاحًا، يشير إلى حُكم لسنا موقنين من صحته. تشغل الفرضية بهذا المعنى البسيط حيّزًا لا بأس به من حياتنا اليومية، فلا يكاد يمرّ يوم من دون أن نخمّن جوابًا على سؤال أو حلًّا لمشكلة.

لكن إذا كانت الفرضية مجرّد تخمين، فما الذي يمنح فرضية ما صفة العلمية ويحجب هذه الصفة عن فرضية أخرى؟ تمتاز الفرضية العلمية بأمرين اثنين: ارتباط موضوعها بالعلم، وقابلية التحقق من صحتها. هناك فرضيات تدور حول موضوع علميّ، لكنها غير خاضعة لمعيار التحقق من صحتها، وهناك في المقابل فرضيات خاضعة لمعيار التحقق من صحتها، لكنها لا تدور حول موضوع علميّ. وحدها الفرضية العلمية التي تجمع بين الأمرين.

تجمع الفرضية العلمية أيضًا بين أمرين آخرين، ذلك أنها تدخل في البُنية المنطقية لكلّ من التفسير العلمي والتنبؤ العلمي. لتوضيح

هذه النقطة، دعنا نفترض أن كتابًا كان أمامي على الطاولة، ثم دفعته بيدي فسقط على الأرض. أحتاج لتفسير سقوط الكتاب إلى (أ) قانون فيزيائي (مثل قوانين نيوتن) ليقوم بدور الفرضية، و(ب) الأخذ في الاعتبار دفعي الكتاب بيدي ليقوم بدور الشرط الأوليّ. من (أ) و(ب) بوصفهما مقدمتين، أستطيع الاستدلال منطقيًّا على النتيجة المنبثقة منهما، وهي سقوط الكتاب على الأرض. لنحاول الآن إعادة صياغة هذا السيناريو الافتراضي على النحو التالي: أمامي الآن كتاب على الطاولة. أحتاج إلى التنبؤ بسقوط الكتاب لو أنني دفعته بيدي نحو الأرض إلى (ج) قانون فيزيائي (مثل قوانين نيوتن) ليقوم بدور الفرضية، و(د) الأخذ في الاعتبار افتراض دفعي الكتاب بيدي ليقوم بدور الشرط الأوليّ. من (ج) و(د) بوصفهما مقدمتين، أستطيع الاستدلال منطقيًّا على النتيجة المتوقعة والمنبثقة منهما، وهي سقوط الكتاب على الأرض. في الحالة الأولى، نحن أمام تفسير مفاده: «سقط الكتاب على الأرض لأني دفعته بيدي»، وفي الحالة الثانية، نحن أمام تنبؤ مفاده: «إذا دفعت الكتاب بيدي نحو الأرض، فإنه سيسقط». حين نريد وصف حدث بعد وقوعه، نحتاج إلى فرضية لغرض التفسير، وحين نريد وصف حدث قبل وقوعه (أو قبل علمنا بوقوعه)، نحتاج أيضًا إلى فرضية لغرض التنبؤ.

عند تقديم فرضية علمية هناك سؤالان، دَفَعَ التطور الذي لحق فلسفة العلم في القرن العشرين إلى ضرورة التمييز بينهما: (1) كيف

عثرنا على الفرضية؟ و(2) هل الفرضية صحيحة؟ ينتمي السؤال الأول إلى ما يسمى «سياق الاكتشاف»، وينتمي السؤال الثاني إلى ما يسمى «سياق التبرير»[7]. يخضع سياق الاكتشاف إلى عوامل نفسية أو ظروف موضوعية يغلب على بعضها عنصر المصادفة، في حين أن سياق التبرير تحكمه قوانين المنطق والمنهج العلمي. فعلى سبيل المثال، كان العالم الهندي الشهير رامانوجان يزعم أنّه توصّل إلى اكتشافاته في ميدان الرياضيات بفضل الإلهة ناماكال، ولكن صحة تلك الاكتشافات لا تتأثر بصدق ذلك الزعم أو بُطلانه، وبالمثل، لعلّ قصة سقوط التفاحة كانت وراء اكتشاف نيوتن للرابط بين حركة الأجسام على الأرض وحركة الأجرام السماوية، ولكن قانون الجذب العام لا يعتمد في صحته على مدى صحة تلك القصة[8]. ينبغي عدم الخلط بين السياقين، فالعثور على فرضية هو نتاج عملية إبداعية، والإبداع لا يخضع لقواعد صارمة. أما التحقق من صحة الفرضية فأشبه ما يكون بعملية حسابية، ذلك أنه يخضع لقواعد منطقية كما سنرى في الفصل التالي.

تنبغي الإشارة هنا أيضًا إلى العلاقة بين الفرضية والنظرية. لا تختلف الفرضية عن النظرية من حيث الوظيفة الإبستمولوجية، فكلتاهما تساهم في تراكم المعرفة العلمية. لكن من حيث البُنية، تتّصف الفرضية بالبساطة، في حين تمتاز النظرية بالتعقيد بوصفها بناء نسقيًّا من علاقات تقف على أطرافها مفاهيم وقضايا، وتشير بعض هذه القضايا بدورها إلى فرضيات علمية. هذا يعني أن مفهوم

«النظرية» أوسع من مفهوم «الفرضية»، فالنظرية بناء بذاته، وأمّا الفرضية فقد تكون معزولة وقد تحتلّ مكانًا في البناء النظري. لم تكن قوانين كِبلر حول حركة الأجرام السماوية، مثلًا، سوى فرضيات معزولة عند اكتشافها، ثم دخلت لاحقًا ضمن نسق نظري بوصفها مُبرهنات قام نيوتن باشتقاقها رياضيًّا بواسطة قانونيْن أكثر شمولية من قوانين كبلر. نجد هذه العلاقة الرياضية الاشتقاقية كذلك بين «قانون بويل» والنظرية الحركية للغازات، إلى جانب عديد من الأمثلة الأخرى التي يزخر بها تاريخ العلم الحديث.

بالرغم من اشتراك الفرضية والنظرية في الدور الإبستمولوجي المتمثِّل في زيادة رصيدنا من المعرفة العلمية، وبالرغم من حاجتنا إلى التجربة للتحقق من صحتهما، فلا تقف الفرضية على قدم المساواة مع النظرية من حيث حجم ثقتنا بصحتها، فالفرضية التي تشير إلى نتائج تناقض النتائج المنبثقة من نظرية راسخة أدعى إلى الشك في صحتها. هذا لا يعني رفضها بالضرورة، بل يعني فقط أنّها فرضية تحتاج إلى أدلّة إضافية توازي في قوتها على الأقل قوة تلك الأدلّة التي تدعم صحة النظرية الراسخة.

من جانب آخر، وبالرغم من مظاهر التشابه بين الفرضية والنظرية، مثل الخضوع للتجربة والقيام بوظيفة إبستمولوجية، قد تلعب الفرضية دورًا مساعدًا لتمكين نظرية من إثبات صحتها أو حمايتها من التزييف بواسطة التجربة، وتسمى في هذه الحالة «فرضية مُخصّصة» أو «فرضية تحايلية»، ومن بين أشهر الفرضيات

من هذا النوع في تاريخ العلم الحديث هي فرضية «الثابت الكوني» التي أضافها أينشتاين إلى نظريته النسبية العامة كي تنسجم النظرية مع الرأي السائد آنذاك حول الكون الساكن.

أخيرًا، فإن البحث عن دليل على صحة فرضية ما، يحاكي تقديم سبب لاعتناق رأي ما، فالرأي غير المدعوم بأسباب لا ينبغي أن يؤخذ على محمل الجد. بالمثل، لا تستحق الفرضية غير المدعومة بأدلة عناء التوقف عندها طويلًا. من أجل ذلك، يكمن الدافع وراء الانتقال من تقديم الفرضية إلى اختبار مدى صحتها في روح المسؤولية التي يتحلّى بها العلماء تجاه البحث المخلص عن الحقيقة. لكن كيف لنا أن نختبر مدى صحة فرضية ما؟ هنا يأتي دور الحديث عن التجربة بوصفها عنصرًا من عناصر المنهج العلمي.

1. 6. التجربة

حين يجري الحديث عن التجربة العلمية، تحيلنا الأذهان عادة على مكان مغلق فيه أدوات مخبرية، كالأنبوب والمجهر، وكائنات حيّة، كالفئران والطيور. لكن ليس ارتباط التجربة العلمية بالمختبر ضرورة في حد ذاتها، إنّما يحدّد هذا الارتباط طبيعة الفرضية قيد التجربة. في قصة سيملوايز، لم يكن هذا الطبيب في حاجة إلى مختبر للتحقق من صحة فرضياته، ولا ينتقص هذا من حقيقة أنه كان يقوم بتجربة علمية حين اتفق مع الراهب على تغيير مسار دخوله من الجناح الأول إلى الجناح الثاني. تُجرى تجارب كثيرة خارج

المختبر، وتُجرى تجارب أخرى داخل الذهن فحسْب، وفي الحالتين لا ينتقص مكان إجراء التجربة من عِلميّتها. إنّ ما يجعل تجربة ما علميّة هو ارتباطها بفحص فرضية علميّة، وهذه -كما ذكرنا- تمتاز بأنّ موضوعها علميّ وتتيح لنا التحقق من صحتها. هناك بالطبع تجارب علمية رديئة، لكنّ الرداءة لا تنفي صفة العلميّة عن التجربة، فالعلميّة ليست مرادفة للإحكام أو الكمال، تمامًا مثلما أنّ لقب «عالِم» ليس لقبًا شرفيًّا.

سبق أن أشرنا إلى أنّ الفرضية، بوصفها تخمينًا، تقتضي قدرًا من الجهل بمعطيات الواقع. هذا بالضبط ما يجعل إجراء أي تجربة ذا معنى أو قيمة، إذْ لا فائدة تُرجى من إجراء تجربة للتحقق من صحة ما نحن موقنون به. لا أحد، مثلًا، يجري تجربة للتحقق من صحة العبارة: «إما أن يكون طائر الفينيق موجودًا أو لا يكون موجودًا»، أو التحقق من العبارة: «طائر الفينيق موجود وغير موجود في الوقت نفسه»، فالعبارة الأولى صادقة بالضرورة المنطقية، والعبارة الأخرى كاذبة بالضرورة المنطقية. كي تكتسب التجربة معنى، ينبغي أن تكون الفرضية ممكنة، أي أن تكون درجة احتمال صحتها بين المستحيل واليقين، أكبر من صفر وأقلّ من واحد.

ليست التجربة العلمية مجرّد ملاحظة، فبينما تكتفي ملاحظة معطيات الواقع بما تنقله الحواس إلى أذهاننا، تتدخّل التجربة في مجريات الواقع من خلال إخضاع معطياته إلى شروط محددة بغرض التحقق من مدى صحة تخميناتنا عن العالم من حولنا. هذا يعني أنّ

كل تجربة تشتمل على ملاحظة، لكن العكس غير صحيح. لنعد مرة أخرى إلى مثال النخلة: لو لم أكتفِ بملاحظتها وذهبت إلى حدّ التحكّم في نوع التربة وحجم الغذاء ودرجة تعرّضها لأشعة الشمس، فإننا في هذه الحالة أمام عملية ضبط متغيّرات لكل منها علاقة بتخمين علمي (فرضية) حول معطيات محددة لما يجري في الواقع، وهذا الضبط هو جوهر «التجربة العلمية»[9].

حين يصعب التحقق من صحة الفرضية بصورة مباشرة، فمن الممكن التحقق من صحتها بصورة غير مباشرة. هذا ما نجده، مثلًا، في قصة الطبيب سيملوايز. حين أراد التحقق من صحة الفرضية التي مفادها أنّ الرعب النفسي الذي كانت تعانيه النساء في الجناح الأول جرّاء مشاهدة الراهب عند دخوله المستشفى هو المسؤول عن ارتفاع نسبة الوفيات في ذلك الجناح، لم يقم سيملوايز بفحص هذه الفرضية بشكل مباشر. بدلًا من ذلك، اتفق سيملوايز مع الراهب على تغيير مسار دخول هذا الأخير إلى المستشفى بحيث لا تراه النساء في الجناح الأول، وبعد أن لاحظ إخفاق هذا التغيير في تقليل نسبة الوفيات في الجناح الأول، استبعد فرضية الرعب النفسي. بمعنى آخر، لم يفحص سيملوايز صحة الفرضية نفسها، بل قام بفحص ما يترتّب على التسليم بصحتها، فإذا سلّمنا بأنّ الرعب من رؤية الراهب يقف بالفعل وراء ارتفاع نسبة الوفيات، فهذا يعني أن حجب هذه الرؤية عن المرضى من النساء سيؤدي إلى تقليل نسبة الوفيات بين صفوفهن، ونظرًا إلى أنّ نسبة الوفيات

بقيت مرتفعة مع ذلك، فهذا يعني أن فرضية الرعب النفسي غير صحيحة. يستند هذا الاستدلال إلى قواعد المنطق كما سنرى لاحقًا (انظر الفصل الثاني، المبحث 8.2).

القسم الأول

أدوات العلم

العلم -كما ذكرنا- له منهجه الخاص في حل المشكلات وتراكم المعرفة، ويتضمّن هذا المنهج أدوات يستعين بها العلم في تحقيق أغراضه. أبرز هذه الأدوات ثلاث: المنطق، والرياضيات، وإجراء التجارب. سنتناول بشيء من التفصيل هذه الأدوات على التوالي في الفصول الثلاثة القادمة، وسنبين طبيعة كل أداة على حدة، ثم نبيّن أوجه استخدامها لتلبية أغراض العلم.

الفصل الثاني

المنطق

مكتبة
t.me/soramnqraa

2 . 1 . طبيعة المنطق

للمنطق تاريخ طويل. نشأ نشأتين مستقلتين قبل الميلاد، واحدة في اليونان، وأخرى في الهند. كانت النشأة اليونانية على يد أرسطو هي الأشد تأثيرًا واتّساعًا، وقبل حلول القرن التاسع عشر، كان الاعتقاد السائد هو أن منطق أرسطو بلغ درجة من الكمال بحيث لم يعُد في حاجة إلى إضافة أو تعديل. أسفر النصف الثاني من القرن التاسع عشر عن ثورة في هذا الميدان فنتج منها ما يُعرَف اليوم بالمنطق الجديد، وهو منطق رياضي كان من بين أبرز مَن أسهموا في تدشينه جورج بوول Boole وأغسطس دي مورغن De Morgan وغوتلوب فريجه Frege وتشارلز بيرس Peirce. هو منطق جديد بالقياس إلى منطق أرسطو، لكن جذوره التاريخية ضاربة في القدم وممتدة عبر العصور، منها ما يعود إلى ما قبل الميلاد كما في مقاربة المدرسة الرواقية للمنطق، ومنها ما يعود إلى أفكار الفيلسوف الألماني غوتفريد لايبنز Leibniz في القرن السابع عشر للميلاد،

وبخاصة مشروعه الفلسفي المتعلق بالحاجة إلى إنتاج لغة كُليّة تبلغ من الوضوح بحيث تستطيع حل أي خلاف فكري بين طرفين. هذا عن تاريخ المنطق باختصار، لكن ماذا عن طبيعته؟

في كتابهما المعنون: «معنى المعنى» المنشور في عام 1923، قدّم تشارلز أوغدن Ogden وإيفور ريتشاردز Richards ما يُعرف باسم «المثلّث السيميائي» لتوضيح طبيعة المعنى في علم الدلالة[1]. يستند المثلث السيميائي إلى التقسيم الثلاثي الكانطي للعالم: عالم اللغة، وعالم الذهن، وعالم الوجود. لا تختلف طبيعة المنطق عن طبيعة المعنى من حيث ارتباط كل منهما بهذه العوالم الثلاثة.

يرتبط المنطق ارتباطًا وثيقًا باللغة، ولهذا الارتباط مظاهر متعددة وعلى قدر مختلف من الأهمية. أولًا، يبدو هذا الارتباط جليًّا من الناحية الاشتقاقية، فمن المعروف أن مصطلح «المنطق» في الإغريقية مشتقّ من كلمة «لوغوس»، وهذه من ضمن معانيها معنى «كلمة» أو «خطاب». ثانيًا، نلاحظ هذا الارتباط بين المنطق واللغة أيضًا حين نتذكّر أنّ المنطق القديم نشأ بواسطة عملية تجريد لعلاقات تعبّر عنها اللغة الطبيعية، وهي علاقات ثابتة بين رموز متغيرة. مثلًا، حين نقارن بين الجملة المركّبة: «اليوم هو يوم الأربعاء أو اليوم هو يوم الخميس»، والجملة المركَّبة: «تنجح في هذا الاختبار أو تُفصل من الجامعة»، فإن الجملتين تختلفان من حيث المضمون، لكنهما تشتركان من حيث الشكل المنطقي الذي تعبّر عنه العلاقة «س أو ص». أخيرًا، لا يختلف المنطق عن أي ميدان آخر من حيث

استخدامه اللغة للتعبير عن مضمونه، سواء كانت اللغة المستخدمة لغة طبيعية أو لغة اصطناعية.

هناك أيضًا ارتباط وثيق بين المنطق والذهن، ونلاحظ هذا الارتباط في أصل كلمة «لوغوس» حين تأتي أيضًا بمعنى «تفكير» أو «حُكم» أو «فهْم». الأهمّ من ذلك أنّ أحد أبرز الأغراض المعلنة من تأسيس المنطق قبل أكثر من ألفي عام هو ضمان اتّباع قواعد التفكير السليم وتجنّب الوقوع في المغالطات، كما أن المنطق كان يُنظر إليه إلى عهد قريب بوصفه العلم الذي يدرس قوانين العقل أو التفكير السليم. من جانب آخر، هناك مصطلحات منطقية لم تزَل تحمل العبق السيكولوجي، مثل «البديهية» التي تفرض نفسها على الذهن، أو مثل «الاستدلال» الذي ننتقل بواسطته من حالة ذهنية إلى أخرى.

بالرغم من غياب الارتباط الاشتقاقي بين كلمة «منطق» وكلمة «وجود»، يكثر استخدام تعبير «منطقي» لوصف كلام يبدو صادقًا أو مطابقًا للمعطيات في عالم الوجود المادي، ويكثر كذلك استخدام تعبير «غير منطقي» لوصف كلام يبدو إما كاذبًا في عالم الوجود المادي وإما صادقًا في عالم الخيال فحسب. لا شك في أن كلا الاستخدامين يفتقر إلى الدقّة، لكنْ في كليهما مؤشر إلى ما بين المنطق والوجود من اتصال وثيق[2]. يكفي أن نتذكّر أن مؤسس المنطق نفسه صاغ قوانينه الأساسية (قانون الهوية وقانون عدم التناقض وقانون الثالث المرفوع) بواسطة مفردات تشير إلى عالم

الوجود، والمنطق أيضًا -كما سنرى لاحقًا في هذا الفصل- يُعدّ أداة ضرورية في المنهج العلمي الذي يرمي إلى سبر أغوار الطبيعة وإنتاج معرفة موثوقة حول أنحاء مختلفة من عالم الوجود.

بالرغم من ارتباط المنطق ارتباطًا وثيقًا بهذه العوالم الثلاثة، فليس في وسع أي منها منفردًا أن يحدّد طبيعة المنطق؛ ليس المنطق لغة صرفة، ولا ذهنًا خالصًا، ولا وجودًا بالفعل. إذا كان المنطق يتوسّل اللغة، فإنّ غايته تذهب إلى أبعد ممّا في وسع اللغة نفسها تقديمه. وإذا كان المنطق يحدد كيف ينبغي أن نفكّر، فإنّ قوانينه مستقلة عن كلٍّ من القوانين السيكولوجية التي تحكم الذهن (أو العقل) والقوانين الفيزيائية التي تحكم الدماغ. وإذا كان في وسع المنطق أن يحدد ما هو مستحيل الحدوث في عالم الوجود، فإنّه لا يملك أن يحدد ما هو قطعي الحدوث في الشق المادّي من هذا العالم.

بوصفه ميدانَ بحثٍ، لعلّ أبرز ما يميّز المنطق هو ما يتّصف به من شموليّة. يختصّ المنطق بما هو مشترك بين العلوم جميعها، فإذا كان لكل علم قوانينه الخاصة، فإنّ قوانين المنطق تبلغ من العمومية بحيث تخضع لها كل القوانين الأخرى، وإذا كان لكل علم أشياؤه الخاصة التي يُحيل عليها، فإنّ المنطق يُحيل على العلاقات المجردة بين الأشياء بصرف النظر عن ماهيّتها. هناك قوانين فيزيائية وأحيائية واقتصادية وغيرها، تختلف جميعها من حيث مضمونها، لكنها تخضع للقانون المنطقي المتعلّق بعدم التناقض. يحيل علم الفيزياء على أشياء مادية أو ظواهر طبيعية من قَبيل الذرة والإلكترون والطاقة

والحركة وغيرها، كما يحيل علم الأحياء على الخلية والكائنات الحية وغيرها، ويحيل علم الاقتصاد على رأس المال والأيدي العاملة ونُدرة الموارد وغيرها، في حين لا يحيل المنطق على أيٍّ من هذا كلّه، بل يحيل على ما يصل بين هذه الأشياء من علاقات ضرورية من شأنها تحديد إمّا ما هو ممكن، وإمّا ما هو مستحيل. حين يقرر المنطق ما هو ممكن منطقيًّا، تقع على عاتق العلوم الأخرى مهمة تحديد ما إذا كان الممكن منطقيًّا ممكنًا بالفعل أيضًا، وحين يقرر المنطق ما هو مستحيل منطقيًّا، فليس في وسع العلوم الأخرى سوى صرف النظر عن احتمال وجوده بالفعل. مكتبة سُر مَن قرأ

يُعنى المنطق بدراسة القواعد التي تحكم الاستدلال السليم، وسنتوقف في هذا الفصل عند عدد من المفاهيم المنطقية، نبدؤها بمفهوم «القضية».

2. 2. الجملة والقضية

الجملة، منطوقة كانت أو مكتوبة، كينونة حسيّة (فيزيائية) لها امتداد في المكان والزمان، ولا يدرس النحويون الجملة بهذا المعنى، فالنحو يختص بدراسة بُنية الجملة بوصفها كينونة مجرّدة، لا بوصفها كينونة حسّية. هذا لا يعني بطبيعة الحال عدم وجود علاقة بينهما، فالجملة، من حيث أنها مجموعة من الرموز، هي الوسيلة التي نعبّر من خلالها عن الجملة المجرّدة، وهذه الأخيرة نَسَق من علاقات نحوية من شأنها تجسيد محتوى موضوعي معيّن. هذا المحتوى

الموضوعي، حين تكون له قيمة صواب محددة، إما صادقة وإمّا كاذبة، هو ما نسمّيه «قضية»[3]. استنادًا إلى هذا التعريف، لنرَ ما إذا كان أيّ ممّا يلي يشير إلى «قضية»:

(1) كم الساعة؟

(2) انتظر قليلًا!

(3) س + 2 > 5 (حيث س تنتمي إلى مجموعة الأعداد الصحيحة).

(4) الحجر كائن حيّ.

لا تعبّر الجملتان في (1) و(2) عن قضية، للسبب نفسه، فالجملة الأولى جملة استفهامية، والجملة الثانية جملة أمر، وهما بذلك لا تشيران إلى محتوى موضوعي يُمكن الحكم عليه بأنه صادق أو كاذب. أما الجملة في (3)، فبالرغم من أنها تشير إلى رموز وأعداد، فإن في وسعنا ترجمتها إلى جملة تصريحية، مفادها أن «إضافة عدد مجهول إلى العدد اثنين يساوي نتيجة أكبر من حيث القيمة من العدد خمسة». لكنها، مع ذلك، جملة لا تعبّر عن قضية بحسب التعريف أعلاه، إذْ ليس لها قيمة صواب محددة من دون معلومات إضافية حول العدد المجهول (س)، فهي صادقة حين تكون قيمة (س) أكبر من 3، وهي كاذبة حين تكون قيمة (س) أصغر من أو تساوي 3، ومن دون تحديد أيٍّ من القيمتين، لا تعبّر هذه الجملة عن قضية ذات قيمة صائبة محددة[4]. وحدها الجملة في (4) تعبّر عن قضية بحسب التعريف أعلاه، وهي في هذا المثال قضية كاذبة.

ليست العلاقة بين الجملة والقضية علاقة واحد إلى واحد، فقد تعبّر الجملة الواحدة عن أكثر من قضية، وقد تُعبّر أكثر من جملة عن القضية نفسها. أبرز مثال على الحالة الأولى هو الإبهام، في حين أن الترجمة هي أبرز مثال على الحالة الثانية. لنقف عند كل مثال على حدة.

الإبهام ظاهرة دلالية، ويعني تعدُّد المعنى. قد يكون الإبهام في الجملة نتيجة احتوائها على لفظة لها أكثر من معنى، وهو في هذه الحالة إبهام لفظي، مثلًا، «اشتريت السهم» جملة مبهمة لاحتوائها على لفظة «سهم»، فهي قد تشير إلى عود يُرمى به عن القوس، وقد تشير إلى حصة من رأس مال شركة. من جهة أخرى، قد يكون الإبهام في الجملة نتيجة تعدّد العلاقات الممكنة بين عناصرها، وهو في هذه الحالة إبهام تركيبي، مثلًا، «أبي يحبّني أكثر منك»، جملة مبهمة، ذلك أن تعدد معناها نتيجة تعدد العلاقة بين بعض عناصرها، فمن جهة، قد تعني «أبي يحبني أكثر من حبّك إياي»، ومن جهة أخرى، قد تعني «أبي يحبني أكثر من حُبّه إياك». إنّ ما يترتّب على هذا النوع من الأمثلة هو أنّ الجملة المبهمة لا تعبّر عن قضية لها قيمة صدق محددة، ومع إزالة الإبهام عن الجملة من خلال تحديد معانيها المختلفة، قد نكون أمام أكثر من قضية ولكل منها قيمة صدق محددة.

نأتي الآن إلى الحالة المعاكسة التي تعبّر من خلالها أكثر من جملة عن القضية نفسها. تنتمي كل جملة من الجُمل الخمس التالية إلى لغة

مختلفة، أي إنها جُمل مختلفة من حيث الشكل، لكنها تشترك جميعًا في التعبير عن المضمون نفسه:

(5) العلم جميل من دون شك.

Science is beautiful, without a doubt.

La science est belle sans doute.

Znanost je lepa, brez dvoma.

La ciencia es bella sin duda.

جوهر الترجمة هو محاولة استبدال رموز بأخرى مع الاحتفاظ بالمعنى، وما يترتّب على ذلك هو تماثل كل الجُمل في هذه القائمة من حيث قيمة الصدق للقضية المشتركة بينها، فإمّا أن تكون جميعها صادقة وإما أن تكون جميعها كاذبة.

يُقسّم البلاغيون والنحويون عناصر الجملة إلى مسند إليه ومسند، ويقابل هذا التقسيم الثنائي ما نجده في المنطق الأرسطي من تحليل عناصر البنية الداخلية للقضية إلى عنصرين أساسيين: موضوع ومحمول. أما الموضوع فهو ما تتحدث عنه الجملة، وأما المحمول فهو ما تنسبه الجملة إلى الموضوع في حالة التأكيد وتحجبه عنه في حالة النفي. مثلًا، في القضية التي تعبّر عنها جملة «الجو جميل»، وكذلك في القضية التي تعبّر عنها جملة «ليس الجو جميلًا»، تشير كلمة «الجو» إلى الموضوع وتشير كلمة «جميل» إلى المحمول.

2 . 3 . التصنيف الثلاثي للقضايا

استنادًا إلى التقسيم الثنائي التقليدي لبنية القضية إلى موضوع ومحمول، تخضع القضية إلى تصنيف ثلاثي. لننظر إلى الأمثلة التالية:

(6) الأخ الأصغر أصغر من أخيه الأكبر.

(7) ليس الأخ الأصغر أصغر من أخيه الأكبر.

(8) الأخ الأصغر أصغر من أخيه الأكبر بفارق سنة واحدة فقط.

تعبّر الجملة في (6) عن قضية لا نحتاج لتحديد صدقها إلى تجاوز حدود اللغة نفسها، فالمعنى الوارد في الموضوع «الأخ الأصغر» يتضمن المعنى الوارد في المحمول «أصغر سنًّا من أخيه الأكبر». نظرًا إلى أن محمولها لا يتضمّن معلومة جديدة بالقياس إلى ما تضّمنه موضوعها، تتّصف هذه القضية بأنها عقيمة من الناحية المعرفية، ونظرًا إلى أنها لا تحتاج إلى أكثر من تحليل معناها لتحديد قيمة صدقها، تُسمّى قضية **تحليلية**. هي قضية صادقة على الدوام بحيث ينتج من نفيها قضية **تناقضية**، وبالتالي، قضية كاذبة دائمًا، وهذا ما تعبّر عنه الجملة في (7)، وبشكل عام، ينتج من نفي أي جملة تعبّر عن قضية تحليلية جملة أخرى تعبّر عن قضية متناقضة، والعكس صحيح. في المقابل، لا يؤدي نفي الجملة في (8) إلى تناقض، ذلك أنها لا تعبّر عن قضية تحليلية. تشير هذه الجملة إلى قضية لا يشتمل فيها مضمون موضوعها على كل ما احتواه محمولها

من مضمون، ولهذا نحتاج لتقرير قيمة صدقها إلى تجاوز حدود اللغة؛ لسنا هنا، كما في المثالين السابقين، أمام علاقة بين مفردات اللغة، بل أمام علاقة بين ما تشير إليه اللغة من أشياء تقع خارج نطاق اللغة نفسها. هذا يعني اعتماد قيمة صدق القضية في (8) على معطيات العالم الخارجي (أي خارج نطاق اللغة)، وبالقدر الذي تنسجم فيه هذه المعطيات مع مضمون الجملة، في إمكاننا تقرير ما إذا كانت القضية صادقة أو كاذبة، وهي لهذا السبب قد تضيف شيئًا جديدًا من الناحية المعرفية، وتسمى قضية **عارضة (أو تركيبية)**[5].

قد يدفعنا هذا التصنيف الثلاثي لنوع القضية إلى الاعتقاد بأنّ تقرير ما إذا كانت القضية صادقة أو كاذبة يعتمد دائمًا على معنى الجملة. لا شك في أن المعنى عامل جوهري من الناحية المنطقية، ولا نتبنّى هنا موقفًا صوريًّا متطرّفًا بحيث ننكر أي دور للمعنى، لكننا نريد التأكيد فحسب على أنّ تقرير ما إذا كانت القضية صادقة أو كاذبة لا يقتضي بالضرورة أن تشير كل مكونّات الجملة إلى معانٍ محددة. يبدو هذا أشد وضوحًا حين نضع في الاعتبار تقسيم القضية من حيث بُنيتها الخارجية إلى قضية بسيطة وقضية مركّبة. تمتاز اللغات الطبيعية بشكل عام باحتوائها على مجموعة من الروابط التي تصل بين جملة وأخرى، منها كما في اللغة العربية: رابط الوصل «و»، ورابط الفصل «أو»، ورابط الشرط «إذا.. إن..». حين يصل رابط من هذا النوع بين جملة وأخرى، وحين تعبّر كل جملة على حدة عن قضية بسيطة، فإن ما ينتج من هذا الربط هو جملة مركّبة تعبّر

عن قضية مركّبة. مثلًا، تعبّر جملة «الجو غائم» عن قضية بسيطة، وتعبّر جملة «الجو بارد» عن قضية بسيطة أيضًا، في حين تعبّر جملة «الجو غائم والجو بارد» عن قضية مركّبة[6]. على ضوء هذا التقسيم الثنائي، لنتأمّل الجملتين التاليتين:

(9) إما أن يكون الجو باردًا أو لا يكون الجو باردًا.

(10) الجو بارد وليس الجو باردًا.

تشير كلتا الجملتين هنا إلى قضية مركّبة، في (9)، القضية صادقة دائمًا، وتسمى «تحصيل الحاصل»[7]، في حين أن القضية في (10) قضية متناقضة وهي، لهذا، كاذبة دائمًا، وذلك بصرف النظر عن معنى القضية البسيطة التي هي قِوام القضية المركّبة في الحالتين. هذا ما سيتضح لو أننا استعضنا عن القضية البسيطة «الجو بارد» بأي متغيّر يحجب معناها، مثل الرمز (س):

(11) إما أن يكون (س) أو لا يكون (س).

(12) (س) وليس (س).

لو وضعنا في مكان (س) جملة تعبّر عن أي قضية، فسينتج عن (11) جملة تعبّر عن قضية مركّبة وصادقة دائمًا، وسينتج من (12) جملة تعبّر عن قضية مركّبة وكاذبة دائمًا. يبدو واضحًا أن معنى أي قضية تحل مكان (س) غير ضروري لتحديد قيمة الصدق للقضية المركبة في الحالتين على حد سواء. نلاحظ مع ذلك أن استبعاد معنى القضية البسيطة بواسطة المتغيّر (س) لا يعني استبعاد أي معنى آخر

ضمن القضية المركّبة في الحالتين؛ هناك وحدات لغوية ثابتة مثل: «إما.. أو..»، «و»، «ليس». هذه وما شابهها من وحدات لغوية يُمكن الاستعاضة عنها برموز أيضًا، لكنها مع ذلك ثوابت منطقية لها معنى محدد، هي ثوابت لأن إسهام كل منها في معنى أي جملة ثابت ولا يتأثر بقيمة المتغيّر في الجملة، وهي منطقية لأن معنى كلٍّ منها يؤثر في قيمة صدق القضية المركّبة.

2. 4. الاستدلال

قد ترتبط القضايا بعلاقات فيما بينها. أحد أشكال هذا الارتباط متعلّق بقيمة الصواب لهذه القضايا، بحيث تؤثر قيمة الصواب لقضية أو أكثر في قيمة الصواب لقضية أخرى أو أكثر. هذا التأثير من حيث قيمة الصواب هو ما نسميه استدلالًا، أي إننا نستدلّ على قيمة الصواب لقضية أو أكثر استنادًا إلى قيمة الصواب لقضية أخرى أو أكثر. يُعنى المنطق -كما سبق أن ذكرنا- بدراسة قواعد الاستدلال السليم، وقبل أن ننتقل إلى الحديث حول سلامة الاستدلال من الناحية المنطقية الصرفة، سنتوقف هنا عند مفهوم الاستدلال من حيث هو علاقة خاصة بين قضية أو أكثر بقضية أخرى أو أكثر.

حين نتأمّل العلاقة بين القضية: «لا تختلف فلسفة أفلاطون عن فلسفة أرسطو»، والقضية: «يختلف الأنبياء عن الفلاسفة»، فإنّ من الواضح أنّ كلّ قضية منهما مستقلّة منطقيًّا عن الأخرى،

بحيث لا تؤثر قيمة الصواب لأي منهما في قيمة الصواب للقضية الأخرى. هذا يعني أن العلاقة بينهما ليست علاقة استدلال، بمعنى آخر: إذا كانت القضية الأولى صادقة، فليس ضروريًّا أن تكون القضية الأخرى صادقة أيضًا، والعكس صحيح كذلك. في المقابل، هناك علاقة استدلال بين القضية: «قتل قابيلُ هابيلَ»، والقضية: «مات هابيلُ»، ذلك أن قيمة الصواب لإحداهما تؤثر في قيمة الصواب للقضية الأخرى، فإذا كانت القضية الأولى صادقة، فإنّ من الضروري أن تكون القضية الثانية صادقة أيضًا، وإذا كانت القضية الثانية كاذبة، فإن من الضروري أن تكون القضية الأولى كاذبة أيضًا.

على ماذا يعتمد الاستدلال في هذا المثال الأخير؟ لنضع السؤال نفسه في صيغة أكثر مباشرة: ما الذي يجعل صدق القضية: «قتل قابيلُ هابيلَ» مُلزمًا لصدق القضية: «مات هابيل»؟ من الواضح أن الأمر يتعلق بالعلاقة بين معنى كلمة «قتل» ومعنى كلمة «مات»، وهي علاقة يمكن النظر إليها من اتجاهين: فمعنى كلمة «قتل» يندرج تحت معنى كلمة «مات»، في حين أن معنى كلمة «مات» يشتمل على معنى كلمة «قتل». بمعنى آخر، القتل حالة خاصة من الموت، فالموت يشير إلى نهاية حياة فحسب، في حين أن القتل يزيد على معنى نهاية الحياة معنى يدلُّ على إنهائها. لهذا، تكمن الإجابة على السؤال المطروح في أنّ علاقة الاستدلال بين القضيتين تعتمد على علاقة دلالية بين مفردتين، ويسمى هذا النوع من الاستدلال

استلزامًا دلاليًّا، هو استلزام (أو اقتضاء) لأن صدق قضية يستلزم صدق قضية أخرى، وهو دلالي لاعتماد الاستلزام على المعنى.

هناك حالة خاصة من الاستلزام الدلالي، ونعني بها ما يُعرف باسم «الافتراض المُسبق». لتوضيح هذا المفهوم ووجه اختلافه عن مفهوم الاستلزام الدلالي، لنفترض أننا قرأنا خبرًا في الصحيفة يقول: «اعترف الوزير بفوز شركة نجله بمناقصة الوزارة». هذا خبر يشير إلى قضية تفترض مُسبقًا صدق قضايا أخرى: «هناك وزير»، و«هذا الوزير أب»، و«لدى هذا الوزير ابن واحد على الأقل»، و«هذا الابن لديه شركة»، و«هناك مناقصة عرضتها الوزارة»، و«فازت شركة ابن ذلك الوزير بالمناقصة». لاحظ أن كل هذه القضايا ستظلّ صادقة حتى لو أننا نفينا صحة الخبر بقولنا: «لم يعترف الوزير بفوز شركة نجله بمناقصة الوزارة». هنا يكمن الفرق الجوهري بين الافتراض المسبق والاستلزام الدلالي، ولنوضح هذا الفرق بمثال لكل منهما. بحسب الاستلزام الدلالي، صدق القضية: «انتحر الملك»، يستلزم صدق القضية: «مات الملك»، لكن نفي القضية بحيث تكون: «لم ينتحر الملك»، لا يستلزم صدق القضية: «مات الملك». في المقابل، وبحسب الافتراض المسبق، صدق القضية: «بحثت فاطمة عن أخيها»، يستلزم صدق القضية: «لفاطمة أخ»، ونفي القضية بحيث تكون: «لم تبحث فاطمة عن أخيها»، يستلزم أيضًا صدق القضية: «لفاطمة أخ». بعبارة مختصرة، يعتبر النفي أداة للتمييز بين الاستلزام الدلالي والافتراض المسبق، بحيث يُلغي النفي وجود الاستلزام

في حالة الاستلزام الدلالي، ويُبقي على وجود الاستلزام في حالة الافتراض المسبق.

سبق أن رأينا في المبحث السابق أنّ النفي هو أحد الثوابت المنطقية، وهو لهذا السبب يلعب دورًا في الاستدلال المنطقي، أي الاستدلال الذي لا يعتمد على معنى المفردات المتغيرة في أي قضية، بل على معنى الثوابت المنطقية فحسب. هناك -مثلًا- علاقة استدلالية بين القضية: «الطقس جميل»، والقضية: «ليس الطقس جميلًا»، فلو سلّمنا أنّ إحداهما صادقة، فينبغي بالضرورة المنطقية أن نستدلّ على أن القضية الأخرى كاذبة، والعكس صحيح كذلك.

تلعب الثوابت المنطقية دورًا مهمًّا في تصنيف الأنساق المنطقية في علم المنطق الحديث، فاعتمادًا على عددها أو مضمونها، في وسعنا التمييز بين نسق منطقي وآخر. فعلى سبيل المثال، يكمن الفرق الجوهري بين المنطق القضوي والمنطق الحملي في عدد الثوابت المنطقية المستخدمة في كليهما. لكن ما يعنينا في هذا المقام هو دور هذه الثوابت في الاستدلال المنطقي. لو أضفنا -مثلًا- إلى أداة النفي «ليس» ثابتًا منطقيًّا كرابط الفصل «أو»، ففي وسعنا عقد علاقة استدلالية منطقية بين القضية المركبة: «المفتاح في السيارة أو المفتاح في البيت»، والقضية البسيطة: «ليس المفتاح في السيارة»، من جهة، والقضية البسيطة: «المفتاح في البيت»، من جهة أخرى، فالتسليم بصدق القضيتين الأولى والثانية يستلزم منطقيًّا التسليم بصدق القضية الأخيرة. حين نفحص السبب وراء هذا الاستلزام

المنطقي، فإننا لا نجده كامنًا في مضمون الجُمل الثلاث، بل نجد السبب مرتبطًا بمعاني الثوابت المنطقية المستخدمة في هذه العلاقة الاستدلالية. للتحقق من ذلك، يكفي أن نستعيض عن كل قضية بسيطة في هذا المثال برمز لا يحمل من المعنى أكثر من دلالته على قضية بسيطة من دون تحديد مضمونها. لنرمز إلى القضية: «المفتاح في السيارة»، بالرمز س، ولنرمز إلى القضية: «المفتاح في البيت»، بالرمز ص. في وسعنا الآن ترجمة المثال السابق على النحو التالي: إذا كانت «س أو ص» صادقة، وإذا كانت «ليست س» صادقة، فإن هذا يستلزم منطقيًّا أن تكون «ص صادقة»[8].

هذا الاستلزام الذي هو قِوام الحجة المنطقية يسمى استنباطًا، فالاستنباط علاقة استدلال بين مجموعة من القضايا التي تقوم بدور مقدمات الحجة من جهة، وقضية تقوم بدور النتيجة أو الاستنتاج المنبثق من تلك المقدمات من جهة أخرى، بحيث من المستحيل منطقيًّا أن تكون المقدمات صادقة والنتيجة كاذبة. يُقارن الاستنباط عادة بالاستقراء، وهذا الأخير استدلال يُسفر عن نتيجة محتملة لا قطعية. نظرًا إلى المشكلات الفلسفية المتعلقة بالاستقراء، سنرجئ الحديث عن هذا النوع من الاستدلال إلى القسم الثالث من هذا الكتاب، وأما هنا فسنكتفي بتسليط الضوء على مفهوم الاستنباط لتوافقه مع أغراض هذا الفصل والمتعلقة بتبيان العلاقة بين المنطق والمنهج العلمي.

2 . 5 . الاستنباط

في بداية هذا الفصل، حين تناولنا طبيعة المنطق، قلنا إنّ في وسع المنطق أن يحدد ما هو مستحيل الحدوث في عالم الوجود، لكنّه لا يملك أن يحدد ما هو قطعي الحدوث في الشق المادّي من هذا العالم. يكمن السبب وراء هذه الحقيقة في مفهوم الاستنباط.

كما سبق أن أشرنا، يشير مفهوم الاستدلال الاستنباطي إلى علاقة استلزام بين المقدمات والنتيجة، بحيث إذا كانت المقدمات صادقة، فإن صدق هذه المقدمات يقتضي بالضرورة المنطقية صدق النتيجة المنبثقة منها. ينبغي التوقف هنا عند أداة الشرط «إذا» لتفادي أي التباس أو غموض، ذلك أن شرط الاستنباط السليم لا يقتضي مُسبَّقًا أن تكون المقدمات صادقة بالفعل على أرض الواقع، بل يفترض صدق هذه المقدّمات فحسب، فالاستنباط السليم غير متعلق بمعطيات العالم الخارجي. إنّ سلامة الاستنباط تتعلق فحسب بالعلاقة المجرّدة بين المقدمات والنتيجة، وهي علاقة استلزام تجعل التسليم بصدق المقدمات متضمّنًا القطع بصدق النتيجة، وبذلك فمن شأن علاقة الاستلزام ضمان استحالة أن تكون النتيجة كاذبة في حال التسليم بصدق المقدمات. لتوضيح ذلك، ينبغي افتراض أن تكون المقدمات إما صادقة وإما كاذبة على أرض الواقع، وكذلك الحال مع النتيجة، وبذلك فإن لدينا أربعة احتمالات فقط:

(13) الاحتمال 1: مقدمات صادقة ونتيجة صادقة.

الاحتمال 2: مقدمات كاذبة ونتيجة صادقة.

الاحتمال 3: مقدمات كاذبة ونتيجة كاذبة.

الاحتمال 4: مقدمات صادقة ونتيجة كاذبة.

الاحتمال الأخير هو الاحتمال الوحيد غير الممكن بواسطة الاستدلال الاستنباطي السليم، في حين أن جميع الاحتمالات الثلاثة الأخرى جائزة منطقيًّا. لنأخذ مثالًا على كل احتمال على حدة، ولنبين الاختلاف بين الاستنباط السليم والمغالطة الاستنباطية في كل مثال، وسنبدأ بالاحتمال الأول:

(14) مقدمات صادقة ونتيجة صادقة.

استنباط سليم	مغالطة استنباطية
كل العرب بشَرَ	كل المسيحيين بشَرَ
طه حسين عربي	نيوتن بشر
طه حسين بشَرَ	نيوتن مسيحي

لن نفترض هنا صدق المقدمات لأن الاحتمال الأول يشير إلى حقيقة أن المقدمات صادقة بالفعل على أرض الواقع، وكذلك الحال مع النتيجة في كلٍّ من المثالين أعلاه، لذلك سنكتفي بالسؤال التالي: هل يقتضي صدق المقدمات صدق النتيجة في كلا المثالين؟ من الواضح أن الإجابة هي «نعم» في حالة الاستنباط السليم، ذلك أننا أمام استلزام يتصف بخاصية التعدّي، فالقول بأن طه حسين

ينتمي إلى المجموعة التي تضم كل العرب، وهذه المجموعة بدورها تنتمي إلى مجموعة البشر، يقتضي منطقيًّا أن ينتمي طه حسين إلى مجموعة البشر. لا ينطبق الأمر نفسه على المغالطة الاستنباطية، ذلك أن القول بأن كل المسيحيين بشر ونيوتن بشر لا يقتضي بالضرورة أن يكون نيوتن مسيحيًّا أيضًا، وكونه مسيحيًّا بالفعل يعود إلى أسباب ليس من بينها صدق المقدمات. لعل هذه النقطة الأخيرة تكون أكثر وضوحًا من خلال المثال البسيط التالي: إذا كانت مجموعة الأعداد الطبيعية {1، 2، 3، ...} تنتمي إلى مجموعة الأعداد الصحيحة {...، 3، 2، 1، 0، -1، -2، -3، ...}، وإذا كانت س تنتمي إلى مجموعة الأعداد الصحيحة، فليس من الضروري أن تنتمي س أيضًا إلى مجموعة الأعداد الطبيعية، على سبيل المثال، إذا كانت س = -2، فإن س تنتمي إلى الأعداد الصحيحة ولا تنتمي إلى الأعداد الطبيعية.

لننتقل الآن إلى الاحتمال الثاني حيث المقدمات كاذبة والنتيجة صادقة:

(15) مقدمات كاذبة ونتيجة صادقة.

استنباط سليم	مغالطة استنباطية
كل العرب كائنات فضائية	كل الألمان مسلمون
كل الكائنات الفضائية بشر	هتلر مسلم
كل العرب بشَر	هتلر ألمانيّ

في هذا الاحتمال الثاني، لدينا مقدمات كاذبة ونتيجة صادقة على أرض الواقع، ولذلك لا بدّ من البدء في عملية تقييم كل حجة في المثالين أعلاه من خلال افتراض صدق المقدمات أولًا، ثم التحقق ثانيًا ممَّا إذا كان صدق المقدمات يقتضي بالضرورة صدق النتيجة. لعلّ القارئ يلاحظ أنّ الاستنباط السليم في المثال أعلاه يشير من جديد إلى علاقة استلزام تتصف بخاصية التعدّي، وبالتالي فإن افتراض صدق المقدمات يقتضي بالضرورة صدق النتيجة. من جهة أخرى، نظرًا إلى أننا أمام حُجة ذات مقدمات كاذبة ونتيجة صادقة على أرض الواقع، ومع ذلك سليمة من الناحية المنطقية، ونظرًا إلى أنّ النتائج تُبنى على المقدمات، فإن ما يترتّب على ذلك هو أنّ القول الشائع بأن «كلّ ما بُنيَ على باطل فهو باطل» قول غير صحيح من الناحية المنطقية، ولعل من الأنسب أن نقول: كل ما بُنيَ على باطل فهو جائز منطقيًّا، حقًّا كان أو باطلًا (سيتأكد القارئ من ذلك بنفسه حين يقارن بين الاستنباط السليم في الاحتمال الثاني والاستنباط السليم في الاحتمال الثالث أدناه). أما المغالطة الاستنباطية في الجدول أعلاه فلا يؤدي افتراض صدق مقدماتها إلى القطع بصدق نتيجتها للسبب نفسه في حالة الاحتمال الأول.

نأتي الآن إلى الاحتمال الثالث حيث المقدمات كاذبة والنتيجة كاذبة:

(16) مقدمات كاذبة ونتيجة كاذبة.

استنباط سليم	مغالطة استنباطية
العدد 1 أكبر من العدد 3	العدد 3 أكبر من العدد 5
العدد 3 أكبر من العدد 5	العدد 1 أكبر من العدد 5
العدد 1 أكبر من العدد 5	العدد 1 أكبر من العدد 3

لا يختلف السبب وراء سلامة الاستنباط في هذا الاحتمال الثالث عن السبب وراء سلامة الاستنباط في الاحتمالين السابقين، فنحن من جديد أمام علاقة استلزام متعدٍّ تجعل من افتراض صدق المقدمات ضمانًا لصدق النتيجة، حتى وإن كانت المقدمات كاذبة والنتيجة كاذبة على أرض الواقع. أما المغالطة الاستنباطية في هذا الاحتمال فلا يؤدي افتراض صدق مقدماتها إلى ضمان صدق نتيجتها، وللتأكد من هذه الحقيقة يكفي أن نتأمل شكل هذه المغالطة من خلال الرموز (س)، و(ص)، و(ع)، بحيث تكون المقدمة الأولى: س > ص، والمقدمة الثانية: ع > ص، والنتيجة: ع > س. إذا كانت س = 3، ص = 5، ع = 1، فإن افتراض صدق المقدمات سيكون مقترنًا بوجود نتيجة كاذبة كما في المثال أعلاه (1 > 3)، لكن عند إجراء تبادل في قيم كل من (س) و(ع)، بحيث تكون كل من س = 1، ع = 3، مع بقاء قيمة ص ثابتة، فإن افتراض صدق المقدمات في هذه الحالة سيكون مقترنًا بوجود نتيجة صادقة (3 > 1)، ومن ذلك نستنتج أن افتراض صدق المقدمات في المغالطة أعلاه لا يضمن صدق النتيجة، فقد تكون النتيجة صادقة حينًا، وكاذبة حينًا آخر. لننتقل الآن إلى الاحتمال الرابع والأخير:

(17) مقدمات صادقة ونتيجة كاذبة.

استنباط سليم	مغالطة استنباطية
	كل مربّع رباعي الأضلاع كل مستطيل رباعي الأضلاع كل مستطيل مربّع

كما سبق وأشرنا، وكما هو مبين في الجدول، هذا الاحتمال الرابع والأخير هو الاحتمال الوحيد غير الممكن في حالة الاستنباط السليم، والسبب في ذلك يعود إلى مفهوم الاستنباط السليم نفسه، فهو مفهوم يشير إلى استحالة أن تكون النتيجة كاذبة عند افتراض صدق المقدمات. لهذا، توصف الحجة الاستنباطية بأنها صائنة للصدق truth-preserving، أي إنها تضمن الانتقال بقيمة الصدق من المقدمات إلى النتيجة. أما المغالطة الاستنباطية في هذا الاحتمال الأخير، فبالرغم من أنّ مقدماتها صادقة بالفعل، جاءت نتيجتها كاذبة. بل حتى حين تأتي نتيجتها صادقة بالفعل، لا تملك هذه المغالطة ضمان صدق هذه النتيجة من الناحية المنطقية. في وسعنا -مثلًا- أن نستبدل القضية الصادقة «كل مربع مستطيل» بالقضية الكاذبة «كل مستطيل مربع»، ومع ذلك لن تضمن هذه المغالطة صدق النتيجة استنادًا إلى صدق المقدمات، وذلك للسبب نفسه في مثال المغالطة الاستنباطية في الاحتمال الأول أعلاه، حيث المقدمات صادقة والنتيجة صادقة.

من المفيد أن نتذكّر دائمًا أن المنطق غير معنيّ بصدق المقدمات أو بصدق النتيجة على أرض الواقع، بل إن التقييم المنطقي لسلامة أي حجة غير معني حتى بمحتوى الحجة نفسها، فكما سبق أن رأينا عند تناولنا للتصنيف الثلاثي للقضايا، تلعب الثوابت المنطقية دورًا مهمًّا في تحديد سلامة الاستدلال المنطقي. فعلى سبيل المثال، الاستنباط السليم في الحجة المتعلقة بالاحتمال الأول أشار إلى أن «كل العرب بشر، وطه حسين عربي، ولذلك فإن طه حسين بشر». هذه الحجة لها الشكل المنطقي التالي:

(18) كل س هي ص

ع هي س

ع هي ص

ما لدينا في (18) لا يشير إلى حجة، بل إلى الشكل المنطقي لاستنباط سليم، وبذلك فإن التعويض المباشر عن قيم كل من س، و ص، و ع بقضايا معينة، سيحيل هذا الشكل المنطقي مباشرة إلى حجة سليمة من الناحية المنطقية، وذلك بصرف النظر عن محتوى تلك القضايا أو مدى صدقها على أرض الواقع. من جهة أخرى، المغالطة المنطقية في الحجة المتعلقة بالاحتمال الأول، على سبيل المثال، أشارت إلى أن «كل المسيحيين بشر، ونيوتن بشر، ولذلك فإن نيوتن مسيحيّ». لهذه الحجة الشكل المنطقي التالي:

(19) كل س هي ص
ع هي ص
ـــــــــــــ
ع هي س

بالمثل، ما لدينا في (19)، لا يشير إلى مغالطة استنباطية، بل إلى الشكل المنطقي لمغالطة استنباطية، وأي حجة ينطبق عليها هذا الشكل سيكون في وسعنا الحُكم عليها مباشرة بوصفها مغالطة استنباطية، وذلك بصرف النظر عن محتواها أو مدى صدق قضاياها على أرض الواقع.

2. 6. أربعة أشكال منطقية

سنعرض فيما يلي أربعة أشكال (أو صُوَر) منطقية، يقود اثنان منها إلى استنباط سليم، ويقود الاثنان الآخران إلى مغالطة استنباطية. يكمن اهتمامنا هنا بهذه الأشكال الأربعة في ارتباط بعضها بالعلاقة بين المنطق والمنهج العلمي كما سنرى لاحقًا.

إحدى السمات المشتركة بين هذه الأشكال المنطقية جميعها احتواؤها على الصيغة المنطقية التالية: س ← ص، وهي تقوم بدور المقدمة في كل من هذه الأشكال. يشير الرمز "←" إلى علاقة الاستلزام التي سبق أن أشرنا إليها، وبالتالي يُمكن ترجمة هذه المقدمة بقولنا "س تستلزم ص"، أو "إذا س، فإن ص"[9]. أمّا المتغيران (س) و (ص) فيسمى الأول «المقدّم»، ويسمى الثاني «التالي»، ويمكن التعويض عن كلٍّ منهما بأي قضية، وإذا أردنا نفي

إحداهما فإننا نضيف رمز النفي «¬»، فمثلًا: ¬س تعني «ليست س». لنتأمل الآن الشكل المنطقي الأول من بين الأشكال الأربعة:

(20) الشكل المنطقي لاستنباط سليم: تأكيد المقدّم

س ← ص

س

―――――

ص

في (20)، المقدمة الأولى هي «إذا كانت س صادقة، فإن ص أيضًا صادقة»، والمقدمة الثانية تفيد بأن «س صادقة»، وأما النتيجة فتفيد بأن «ص صادقة». كل حجة لها هذا الشكل المنطقي هي حجة استنباطية سليمة، والسبب وراء تسمية هذا الاستدلال الاستنباطي بتأكيد المقدّم هو أن المقدّم س في المقدمة «س ← ص» تم تأكيده في المقدمة الأخرى. تنبغي الإشارة هنا إلى الاستخدام الواسع لهذا الشكل المنطقي في ميادين البحث التي تقوم على مفهوم الإثبات أو البرهان كما هي الحال في ميدان الرياضيات (انظر الفصل الثالث).

لننتقل الآن إلى الشكل المنطقي الثاني:

(21) الشكل المنطقي لاستنباط سليم: نفي التالي

س ← ص

¬ ص

―――――

¬ س

في (21)، جاءت المقدمة الثانية نافية لصدق التالي ص في المقدمة الأولى، ولذلك يُعرف هذا الاستدلال الاستنباطي باسم

«نفي التالي»، وكل حجة تتقيّد بهذا الشكل المنطقي هي حجة استنباطية سليمة. لعلّ القارئ يتذكّر قصة الطبيب سيملوايز التي عرضناها في الفصل السابق، فكما سنبيّن في هذا الفصل، أغلب الحجج التي لجأ إليها ذلك الطبيب في فحص فرضياته جسّدت هذا الشكل المنطقي، ولا غرابة في ذلك، فهذا الشكل المنطقي هو الأساس الذي يقوم عليه مبدأ «قابلية التزييف» في فلسفة العلم. سنقف عند تفاصيل هذا المبدأ والشكل المنطقي المتعلق به في القسم الثالث، وأما الآن فسننتقل إلى الشكل المنطقي الثالث، الذي يشير إلى مغالطة استنباطية:

(22) الشكل المنطقي لمغالطة استنباطية: نفي المقدّم

س ← ص

¬ س

―――――

¬ ص

جاءت هنا المقدمة الثانية نافية لصدق المقدّم س في المقدمة الأولى، ولذلك يُعرف هذا الاستدلال بمغالطة «نفي المقدّم». هي مغالطة لأنّ افتراض صدق مقدماتها لا يضمن صدق نتيجتها. فعلى سبيل المثال، لو كانت س تشير إلى القضية «كان اليوم يوم عيد»، ولو كانت ص تشير إلى القضية «اليوم هو يوم عطلة رسمية»، فإن الشكل المنطقي في (22) سيعبّر عن الحجة التالية: «إذا كان اليوم يوم عيد، فإن اليوم يوم عطلة رسمية»، لكن «لم يكن اليوم يوم عيد»، وبالتالي «ليس اليوم يوم عطلة رسمية». هذه الحجة تعبّر عن مغالطة استنباطية، إذْ قد لا يكون

اليوم هو يوم عيد ومع ذلك فإنه يوم عطلة رسمية، فأسباب العُطل الرسمية لا تقتصر على مناسبة العيد. نأتي أخيرًا إلى الشكل المنطقي الرابع، الذي يشير أيضًا إلى مغالطة استنباطية:

(23) الشكل المنطقي لمغالطة استنباطية: تأكيد التالي

س ← ص

ص

س

في (23)، جاءت المقدمة الثانية مؤكدة على صدق التالي ص في المقدمة الأولى، ولهذا تسمى مغالطة «تأكيد التالي». كل حجة لها هذا الشكل المنطقي تعبّر عن مغالطة منطقية، ومن اليسير التحقق من ذلك من خلال العثور على مثال يناقض نتيجة أي حجة تتخذ من تأكيد التالي شكلًا لها. لو استعضنا -مثلًا- عن س بالقضية «كان اليوم يوم عيد»، ولو استعضنا عن ص بالقضية «اليوم يوم عطلة رسمية»، فإننا نحصل على مغالطة تأكيد التالي: إذا «كان اليوم يوم عيد»، فإن «اليوم يوم عطلة رسمية»، و«اليوم يوم عطلة رسمية» فعلًا، ولذلك فقد «كان اليوم يوم عيد». هذه الحجة تعبّر عن مغالطة استنباطية، إذْ ليس من الضروري أن يكون اليوم يوم عيد لمجرد أن اليوم هو يوم عطلة رسمية، ذلك أن أيام العُطل الرسمية -كما أشرنا- لا تقتصر على مناسبة العيد. بالرغم من أن الشكل المنطقي في (23) يشير إلى مغالطة استنباطية، فإنّ له دورًا في اختبار الفرضية العلمية كما سنرى في هذا الفصل.

2 . 7. الشكل المنطقي والمحتوى التجريبي

يميّز المناطقة بين صلاحية الحجة validity ووجاهتها soundness. تشير الصلاحية إلى سلامة الحجة من الناحية المنطقية الصرفة، في حين تشير الوجاهة إلى سلامة الحجة من الناحيتين المنطقية والواقعية. تعتمد صلاحية الحجة على شرط جوهري واحد فقط، وهو أن تقوم على استنباط سليم، أي إنّ من المستحيل أن تكون نتيجتها كاذبة عند افتراض صدق مقدماتها. أما وجاهة الحجة فلها شرطان: أن تحقق شرط الصلاحية السابق، وأن تكون مقدماتها صادقة بالفعل (أي متوافقة مع معطيات الواقع). لنتأمل بعضًا من الأمثلة كما في الجدول التالي:

(24)

الحجة الأولى	الحجة الثانية
كل الطيور قطط كل الطيور نمور كل القطط نمور	كل إنسان فان سقراط فان سقراط إنسان
الحجة الثالثة	**الحجة الرابعة**
كل الآباء أذكياء آينشتاين أب آينشتاين ذكي	كل الحيوانات كائنات حية الأسود حيوانات الأسود كائنات حية

كل الحجج الثلاث الأولى غير وجيهة. الحجة الأولى غير وجيهة لإخلالها بالشرطين معًا، فمن جهة، لا تقوم هذه الحجة على استنباط سليم، ذلك أن افتراض صدق المقدمات لا يستلزم صدق النتيجة، ومن جهة أخرى، لا تعبّر أيّ من المقدمتين عن قضية صادقة بالفعل. أما الحجة الثانية، فبالرغم من تحقيقها لشرط تطابق صدق المقدمات مع معطيات الواقع، إلّا أنها مع ذلك حجة غير وجيهة لإخلالها بشرط الاستنباط السليم، أي إنّ افتراض صدق مقدماتها لا يستلزم صدق النتيجة. على العكس من الحجة الثانية، حقّقت الحجة الثالثة شرط الاستنباط السليم، لكنها مع ذلك حجة غير وجيهة لاحتوائها على المقدمة الكاذبة «كل الآباء أذكياء». أخيرًا، وحدها الحجة الرابعة التي حقّقت الشرطين معًا، الاستنباط السليم وصدق المقدمات بالفعل، ولهذا هي حجة وجيهة.

على ضوء هذين المفهومين، الصلاحية والوجاهة، في وسعنا رصد أربعة استنتاجات على الأقل. أولًا، صلاحية الحجة شرط ضروري لكنه غير كافٍ لضمان وجاهتها. ثانيًا، وجاهة الحجة حالة خاصة من صلاحيتها، فكل حجة وجيهة هي حجة صالحة منطقيًّا، في حين أن العكس غير صحيح. ثالثًا، كل حجة وجيهة لها نتيجة صادقة بالفعل. أخيرًا، هناك فرق واضح بين ما هو منطقي وما هو واقعي، وسبق أن أكدنا على هذه النقطة عند حديثنا عن طبيعة المنطق في بداية هذا الفصل، حيث قلنا إنّ المنطق لا يملك أن يحدد ما هو قطعي الحدوث في الشق المادّي من هذا العالم، والدلالة على

هذه الحقيقة هنا، هي أنّ وجاهة أي حجة لا تقتصر على ما يُمليه الاستنباط السليم فحسب، إذْ ينبغي أيضًا التحقق من المعطيات في العالم المادّي لضمان صدق المقدّمات.

هناك -إذًا- فرق بين الشكل المنطقي والمحتوى التجريبي، ويحسن بنا هنا أن نتوقف عند بعض جوانب العلاقة بينهما. لنتأمل الشكل المنطقي التالي:

(25) س ← ص

س

ص

لعل القارئ يلاحظ أننا أمام الشكل المنطقي للاستنباط المعروف بتأكيد المقدّم، وبالتالي فأي حجة تتخذ من (25) شكلًا لها هي حجة سليمة من الناحية المنطقية. لكن عدد الحجج التي لها هذا الشكل المنطقي لامُتناهٍ، ذلك أن عدد القضايا التي من الممكن أن تحلّ مكان كلّ من المتغيّرين (س) و(ص) لامحدود أيضًا، ومن هنا نستنتج التالي: قد تشترك حجتان أو أكثر في الشكل المنطقي نفسه مع اختلاف كلّ منها من حيث محتوى القضايا (أي من حيث المحتوى التجريبي لكل منها). على سبيل المثال، تشترك الحجج التالية جميعها في الشكل المنطقي كما في (25) أعلاه، وتختلف فيما بينها من حيث المحتوى التجريبي لكلٍّ منها:

(26)

إذا جاء يوم الجمعة، استراح المسلم جاء يوم الجمعة استراح المسلم	إذا جاء يوم السبت، استراح اليهودي جاء يوم السبت استراح اليهودي	إذا جاء يوم الأحد، استراح المسيحي جاء يوم الأحد استراح المسيحي

في وسعنا أيضًا التغيير من قيمة س من حجة إلى أخرى مع الاحتفاظ بقيمة ص ثابتة في كل حجة، وفي هذه الحالة فإننا لا نحصل على حجج تختلف في محتواها التجريبي وتتحد في شكلها المنطقي فحسب، بل نحصل كذلك على تبريرات متعددة للنتيجة نفسها. لننظر -على سبيل المثال- إلى الجدول التالي:

(27)

إذا شربت قهوة، نمت متأخرا شربت قهوة نمت متأخرا	إذا حلّ الصيف، نمت متأخرا حلّ الصيف نمت متأخرا	إذا حلّ رمضان، نمت متأخرا حلّ رمضان نمت متأخرا

حين تتعلق نتيجة الحجة بظاهرة طبيعية، فإننا نكون أمام تفسيرات متعددة للظاهرة نفسها، بحيث تشترك التفسيرات جميعها في شكلها المنطقي وتختلف في محتواها التجريبي. نظرًا إلى أن عدد القضايا المعبّرة عن المحتوى التجريبي للشكل المنطقي لامتناهٍ، فإنّ عدد التفسيرات الممكنة للظاهرة نفسها لامتناهٍ أيضًا. من هنا

تبرز أهمية استبعاد التفسيرات الخاطئة من جهة، واختيار التفسير الأنسب من بين التفسيرات الصحيحة من جهة أخرى. أما استبعاد التفسيرات الخاطئة فمَهَمَّة تقع على عاتق التجربة العلمية (انظر الفصل الرابع)، وأما اختيار التفسير الأنسب فمسألة تُعدّ من أهم المسائل الشائكة في فسلفة العلم (انظر القسم الثالث).

2 . 8. المنطق والفرضية العلمية

يتضح دور المنطق في اختبار الفرضية العلمية من خلال قصة الطبيب سيملوايز كما سردناها في الفصل السابق، ونريد هنا توضيح هذا الدور مستعينين بأمثلة من تلك القصة. كما سنرى بعد قليل، أهم شكلين منطقيين من ضمن الأشكال المنطقية الأربعة التي سبقت الإشارة إليها هما (1) حجة نفي التالي و(2) مغالطة تأكيد التالي. لنذكّر القارئ بهذين الشكلين المنطقيين:

(28)

حجة نفي التالي	مغالطة تأكيد التالي
س ← ص ¬ ص ――― ¬ س	س ← ص ص ――― س

كما رأينا في الفصل السابق، اختبر سيملوايز إحدى فرضياته بطريقة غير مباشرة، ونعني بها الفرضية التي مفادها أنّ الرعب النفسي جرَّاء مشاهدة الراهب قرب الجناح الأول هو المسؤول

عن ارتفاع نسبة الوفيات في ذلك الجناح. يُمكن التعبير عن هذه الطريقة غير المباشرة -كما في (29) أدناه- من خلال حجة منطقية مكونة من مقدمتين ونتيجة، بحيث تشير المقدمة الأولى إلى علاقة شَرطية بين مضمون الفرضية وما تقتضيه (أي ما تتنبّأ بحدوثه)، وتشير المقدمة الثانية إلى نتيجة التجربة بعد فحص صحة التنبؤ أو ما تقتضيه الفرضية، وتشير نتيجة الحجة المنطقية إلى الحكم على مدى صحة الفرضية نفسها:

(29)

مقدمة أولى (علاقة شَرطية): إذا كانت رؤية المرضى للراهب تؤدي إلى ارتفاع نسبة الوفيات في الجناح الأول، فإن حجب هذه الرؤية عن المرضى سيقلل من نسبة الوفيات في الجناح الأول.

مقدمة ثانية (نتيجة التجربة): لم يقلل حجب رؤية الراهب من نسبة الوفيات في الجناح الأول.

نتيجة (الحكم على الفرضية): لا تؤدي رؤية المرضى للراهب إلى ارتفاع نسبة الوفيات في الجناح الأول.

في (29)، نحن أمام تجسيد للشكل المنطقي لحجة نفي التالي، حيث يؤدي القبول بصدق المقدمتين إلى ضرورة القبول بصدق النتيجة المنبثقة منهما. نظرًا إلى أن نتيجة التجربة جاءت منافية لصحة ما يترتب على افتراض صحة الفرضية، يصبح من اللازم منطقيًّا القطع بخطأ الفرضية.

من جهة أخرى، قام سيملوايز أيضًا بفحص صحة الفرضية التي مفادها أنّ انتشار نوع معين من الجراثيم في الجناح الأول هو السبب وراء ارتفاع نسبة الوفيات بين المرضى في ذلك الجناح. لننظر إلى كيفية اختبار مدى صحة هذه الفرضية:

(30)

مقدمة أولى (علاقة شَرطية): إذا كان انتشار نوع معين من الجراثيم هو المسؤول عن ارتفاع نسبة الوفيات في الجناح الأول، فإن غسل اليدين بسائل معقِّم سيقلل من نسبة الوفيات في هذا الجناح.

مقدمة ثانية (نتيجة التجربة): قلل غسل اليدين بسائل معقّم من نسبة الوفيات في الجناح الأول.

نتيجة (الحكم على الفرضية): انتشار نوع معين من الجراثيم مسؤول عن ارتفاع نسبة الوفيات في الجناح الأول.

جاءت نتيجة التجربة هنا مؤيِّدة لصحة ما تقضيه الفرضية، وجاءت نتيجة الحُكم على الفرضية مؤيدة لصحتها. لكن ليس في وسعنا مع ذلك القطع بصحة الفرضية لسبب بسيط، وهو أننا في هذه الحالة أمام تجسيد للشكل المنطقي لمغالطة تأكيد التالي، حيث لا يؤدي القبول بصدق المقدمتين إلى ضرورة القبول بصدق النتيجة المنبثقة منهما. هذا يعني أن صحة الفرضية تبقى ممكنة، فليس في وسعنا القطع بصحتها من دون استبعاد كل الأسباب المحتملة

الأخرى التي تقف وراء نتيجة التجربة، وهذا أمر مستحيل. لهذا، من المستحيل القطع بصحة الفرضية من دون الوقوع في مغالطة منطقية.

لعلّ من المفيد هنا أن نلاحظ ما ينطوي عليه هذان المثالان من تأكيد على ما سبق أن ذكرنا حول نسبية المعرفة العلمية، فعندما يتعلق الأمر بهذا النوع من المعرفة، في وسعنا أن نكون واثقين بأننا على خطأ، لكن من المستحيل أنْ نكون موقنين من أننا على صواب[10]، وهنا إنما يكمن درس عميق في التواضع المعرفي.

بالرغم من عدم قدرتنا منطقيًّا على الجزم بصحة فرضية ما، فإن في إمكاننا على الأقل أن نقبل بصحتها من الناحية البراجماتية (العملية)، وكلما استطعنا الحصول على أدلة إضافية تدعم صحة الفرضية، زادت ثقتنا بصحة الفرضية من دون أن تصل هذه الثقة إلى درجة اليقين الذي لا يقبل الشك. إنّ الأمر هنا لا يختلف عن اختبار صحة أي قانون، ذلك أن كل قانون هو في جوهره فرضية. لننظر -على سبيل المثال- إلى القانون التالي، وهو قانون ينتمي إلى ميدان الاقتصاد:

(31) عند معدل ثابت من العرض، إذا زاد الطلب، زادت الأسعار (مع افتراض باقي العوامل الأخرى ثابتة).

لفحص مدى صحة هذا القانون، في إمكاننا ملاحظة ما إذا كان ساريًا على معطيات مغايرة، وهذا بالضبط ما يقتضيه أي قانون عام من الناحية الاصطلاحية. حين تأتي النتيجة منافية لصحة

التعميم الذي يقتضيه القانون، يصبح القانون خاطئًا من الناحية المنطقية الصرفة، في حين لو جاءت النتيجة مؤيدة لصحة التعميم، يصبح القانون صحيحًا من دون أن نكون موقنين بصحته، وذلك للسبب نفسه في حالة الفرضية الصحيحة.

2. 9. المنطق والتفسير العلمي

إلى جانب إسهامه في عملية اختبار مدى صحة الفرضيات العلمية، يُسهم المنطق أيضًا في بنية التفسير العلمي من جهة، وتقييم جودته من جهة أخرى. سنرجئ الحديث عن بنية التفسير العلمي إلى أن نصل إلى القسم الثالث من هذا الكتاب، وسنكتفي هنا بالإشارة إلى إسهام المنطق في تقييم جودة التفسير العلمي.

التفسير العلمي عبارة عن حجة لها مقدماتها ونتيجتها، بحيث تقوم المقدمات بدور أداة التفسير، وتقوم النتيجة بدور موضوع التفسير. لعلّ القارئ يتذكر المثال البسيط الذي أوردناه في الفصل السابق (المبحث 1 .5) حول سقوط الكتاب من فوق الطاولة، حيث ذكرنا أننا نحتاج لتفسير هذا الحدث إلى (أ) فرضية مثل قانون الجاذبية، و(ب) شرط أوَّلي مثل دفع الكتاب باليد نحو الأرض، ومن خلال (أ) و(ب) بوصفهما مقدمتين، نستطيع الاستدلال منطقيًّا على النتيجة المنبثقة منهما، وهي سقوط الكتاب على الأرض. بشكل عام، حين نفحص العلاقة بين المقدمات والنتيجة، أي بين أداة التفسير وموضوعه، يبرز دور المنطق في تقييم جودة التفسير

العلمي. لتوضيح هذا الدور المهم، سنستعرض فيما يلي بعض الشروط اللازم توافرها في أي تفسير علمي.

الشرط الأول والذي ينبغي توافره في أي تفسير علمي هو أن يكون ذا محتوى تجريبي، فقد سبق أن أشرنا في معرض حديثنا عن طبيعة المعرفة العلمية إلى الطابع التجريبي لهذا النوع من المعرفة، وذلك بوصفها معرفة متعلقة بمعطيات الواقع. لكنّ القول بضرورة أن يكون التفسير العلمي ذا محتوى تجريبي لا يعني أن تكون كل قضية ضمن التفسير العلمي خاضعة للتحقق من صدقها بشكل مباشر، ومن ضمنها القضية المعبرة عن الفرضية العلمية، إذْ يكفي أن تستلزم القضية غير القابلة للاختبار قضية أخرى قابلة للاختبار، وعلاقة الاستلزام هذه -كما رأينا سابقًا- علاقة منطقية تتيح اختبار الفرضية العلمية بطريقة غير مباشرة. ينبغي التأكيد هنا أيضًا على النقطة التالية، وهي أنّ علاقة الاستلزام هذه لا تتعارض مع حقيقة أن المنطق غير معني بمحتوى التفسير العلمي، وإنما هو معنيٌّ فقط بالعلاقات التي تربط بين قضايا هذا التفسير، كالعلاقة بين أداة التفسير وموضوع التفسير، أو كالعلاقة بين الفرضية والتنبؤات المنبثقة منها.

يشير الشرط الثاني واللازم توافره في أي تفسير علمي إلى ضرورة ألّا يكون التفسير دائريًّا، ونعني بالتفسير الدائري ذلك الذي يجعل من الظاهرة المُراد تفسيرها موضوعًا للتفسير من جانب، ودليلًا على صحة التفسير من جانب آخر. لنعطي مثالًا

كي يتضح ماذا نعني بالتفسير الدائري: لنفترض أن حريقًا شبّ في منزل، وطُلب منك أن تقدّم تفسيرًا لنشوب الحريق، فأجبت على النحو التالي: يكمن سبب الحريق في تماس كهربائي، فعندما يحدث تماس كهربائي في مبنى معين، يشبّ الحريق في ذلك المبنى. هذا تفسير مقبول من الناحية الشكلية، فقد احتوى على أداة تفسير مكوَّنة من فرضية وتعميم، واحتوى على موضوع التفسير المتعلق بنشوب الحريق. لكن ماذا لو طُلب منك مجددًا أن تأتي بدليل على صحة التفسير الذي قدّمته فورًا؟ لو أجبت بأن الدليل على صحة فرضية التَّماس الكهربائي هو نشوب الحريق في المنزل، فستكون قد أتيت بتفسير دائري، ذلك أنك تعاملت مع نشوب الحريق بوصفه هدفًا للتفسير تارة، وبوصفه دليلًا على صحة هذا التفسير تارة أخرى، إنك في هذه الحالة لم تزِد على القول بأن الحريق نشب في المنزل بفعل تماس كهربائي، والدليل على وجود التماس الكهربائي هو نشوب الحريق في المنزل! إنّ من شأن المنطق مساعدتنا على تجنب الوقوع في شرك التفسير الدائري، فهذا النوع من التفسير الرديء يصلح لتفسير كل شيء، وهو لهذا السبب تحديدًا لا يفسّر في واقع الأمر أي شيء.

أخيرًا، الشرط الثالث واللازم توافره في أي تفسير علمي هو قابلية هذا التفسير للتزييف، بمعنى أن يسمح لنا التفسير باختبار مدى صحته عن طريق اختبار ما يقتضيه من تنبؤات لما سيحدث على أرض الواقع، وذلك في حال التسليم بصحة التفسير نفسه.

كثيرة هي الأمثلة على ذلك، منها استعانة العالم الإنكليزي إدموند هالي بقوانين نيوتن للتنبؤ بموعد ظهور أحد المُذنبات، إذ أكّد أن الموعد سيكون في أواخر عام 1758، وقد ظهر المذنَّب فعلًا في الخامس والعشرين من ديسمبر من ذلك العام، والمذنَّب يُعرف اليوم باسم «مذنب هالي» تخليدًا لذكرى هذا العالم الإنكليزي. ينبغي التمييز هنا بين الرجم بالغيب والتنبؤ العلمي، فالأول لا يقوم على علاقة منطقية، في حين أن الثاني ثمرة علاقة الاستلزام المنطقية، وهنا يكمن في إسهام المنطق في تمكيننا من فحص ما يترتب على التسليم بصحة أي تفسير أو نظرية من خلال مجموعة من التنبؤات القابلة للتزييف في حال كانت خاطئة، أو القابلة لترجيح صحتها في حال تجاوزت معيار التجربة.

الفصل الثالث

الرياضيات

3 . 1 . الرياضيات بوصفها لغة

لكل لغة أبجدياتها، ولغة الرياضيات ليست استثناء من هذه القاعدة. بينما لا تختلف لغة الرياضيات عن اللغات الطبيعية من حيث قابلية الترجمة منها وإليها، فإنّ هناك في المقابل عددًا من الاختلافات الدقيقة فيما يختصّ بهذه القابلية. فمن جهة، كلّ عملية ترجمة بين اللغات الطبيعية تقوم على افتراض ضمني مفاده أنّ كلّ ما يُمكن التعبير عنه بأي لغة معينة قابلٌ للتعبير عنه بأي لغة أخرى، وإذا صرفنا النظر عن مدى جودة هذا التعبير، فإنّ ما يترتّب على صحة هذا الافتراض هو أنّ قابلية الترجمة من أيّ لغة طبيعية هي عملية متكافئة مع قابلية الترجمة إليها، وهذا التكافؤ هو ما تفتقر إليه لغة الرياضيات، ذلك أنّ كل ما يُمكن التعبير عنه بلغة الرياضيات يُمكن التعبير عنه بواسطة لغة طبيعية، ولكن ليس كلّ ما يُمكن التعبير عنه بلغة طبيعية يُمكن التعبير عنه بواسطة لغة الرياضيات.

من جهة أخرى، إذا كانت الترجمة بين لغة طبيعية وأخرى عبارة عن عملية استبدال رُموز برُموز أخرى مع الاحتفاظ بالمعنى، فإنّ الاستعاضة عن رُموز لغة طبيعية برُموز رياضية يجعل المعنى أشدّ اختزالًا وأكثر دقّة، في حين أن الاستعاضة عن الرموز الرياضية برموز لغة طبيعية له تأثير معاكس في المعنى نفسه. لنقارن، على سبيل المثال، بين الجملة العربية في (1) والمعادلة الرياضية في (2):

(1) «نتيجة حاصل جمع الأعداد الطبيعية المتتالية، ابتداء من العدد واحد وانتهاء عند أي عدد طبيعي، يساوي نصف نتيجة حاصل ضرب أكبر عدد في تلك المجموعة في العدد الذي يليه مباشرة».

(2)
$$\sum_{r=1}^{n} r = \frac{n(n+1)}{2}$$

تتشابه (1) و(2) من حيث تعبير كلٍّ منهما عن القضية نفسها، ولكنهما تختلفان من حيث طريقة التعبير، فالمعادلة الرياضية في (2) أشدّ اختزالًا وأكثر دقّة في تجسيدها للقضية التي عبّرت عنها الجملة في (1). لنتوقف عند هذه المعادلة الرياضية للتعرّف على ما اشتملت عليه من رموز رياضية. لنفترض أني أردت معرفة النتيجة من حاصل جمع الأعداد التسعة الأولى من ضمن مجموعة الأعداد الطبيعية. في إمكاني في هذه الحالة أن ألجأ إلى الطريقة المباشرة كما في (3)، حيث أقوم بجمع الأعداد المطلوبة الواحد تلو الآخر:

$$1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6 + 7 + 8 + 9 \quad (3)$$

بدلاً من كتابة كلّ الأعداد المُراد جمعها، يستخدم الرياضيّون التعبير الموجز التالي:

$$\sum_{r=1}^{9} r \quad (4)$$

الحرف الإغريقي Σ يسمى «سيغما» ويشير هنا إلى مجموع أعداد (أو حدود) متتالية تبدأ بالحدّ الأدنى والمتمثل في العدد 1 كما هو مُبين في أسفل الحرف، وتنتهي بالحدّ الأعلى والمتمثل في العدد 9 كما هو مُبين في أعلى الحرف، وأمّا الحرف r فيشير إلى الحدّ العام الذي يُستعاض عنه بقيمة كل عدد خاضع لعملية الجمع[1]، ولهذا فإن التعبير الرياضي في (4) أشبه ما يكون بآلة تقوم بإنتاج الأعداد المُراد جمعها، ابتداء من الخطوة التي تكون فيها قيمة r مساوية للعدد 1، مرورًا بقيمة r عندما تكون مساوية للعدد 2، وهكذا إلى أن نصل إلى قيمة r عندما تكون مساوية للعدد 9. نظرًا إلى أن التعبير الرياضي في (4) هو مجرد إعادة صياغة لما لدينا في (3)، فإن في الإمكان الربط بينهما من خلال علاقة التساوي كما في (5) أدناه:

$$\sum_{r=1}^{9} r = 1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6 + 7 + 8 + 9 \quad (5)$$

في إمكاننا أيضًا أن نعمِّم العلاقة في (5) بحيث تشمل حاصل جمع أعداد متتالية تبدأ بالعدد 1 وتنتهي بأي عدد طبيعي، فبدلًا من تحديد الحدّ الأعلى للأعداد المتتالية بالعدد 9، نستطيع الاستعاضة عنه بالحرف n، بحيث يشير الحدّ الأعلى n إلى أي عدد طبيعي:

$$\sum_{r=1}^{n} r = 1 + 2 + 3 + \cdots + n \qquad (6)$$

ينبغي ملاحظة الاختلاف بين (5) و(6)، فبينما هناك نتيجة محددة للمعادلة في (5)، وهي النتيجة 45، فإنّ المعادلة في (6) تفتقر إلى نتيجة محددة ما دامت قيمة n غير محددة، وبمجرّد إعطاء قيمة للحد الأعلى n، يُمكن الحصول على نتيجة محددة للمعادلة في (6). فعلى سبيل المثال، عندما تكون $n = 20$، فهذا معناه أننا نبحث عن نتيجة حاصل جمع الأعداد الطبيعية المتتالية من العدد 1 إلى العدد 20. بطبيعة الحال، كلما كانت قيمة n كبيرة، ازداد العبء في حساب النتيجة من خلال عملية جمع الأعداد المتتالية بطريقة مباشرة، ومن هنا تبرز أهمية المعادلة الرياضية في (2) أعلاه، والتي نُشير إليها مجددًا في (7):

$$\sum_{r=1}^{n} r = \frac{n(n+1)}{2} \qquad (7)$$

ما لدينا في (7) عبارة عن طريقة مختصرة للحصول على نتيجة حاصل جمع حدود متتالية تبدأ بالعدد 1 كحد أدنى وتنتهي بأي عدد طبيعي n، فإذا كان هذا العدد يساوي 20، مثلًا، فإن المعادلة

في (7) تشير إلى أن نتيجة جمع الأعداد المتتالية من 1 إلى 20 تساوي $\frac{20 \times 21}{2}$، أي 210.

3 . 2 . البرهان الرياضي

ترتكز لغة الرياضيات على لغة المنطق من حيث أن الاستدلال الرياضي قائم على مفهوم «الاستلزام المنطقي»، ويبدو هذا واضحًا في ما يُعرف بالبرهان الرياضي. سنختار المعادلة الرياضية في (7) مثالًا على ذلك، ولنبدأ من خلال طرح السؤال التالي: كيف لنا أن نتيقّن من صحة هذه المعادلة الرياضية؟ في وسعنا اختبار صحة المعادلة لمرّات عدة، بحيث يشير الحدّ الأقصى n في كلّ مرّة إلى قيمة مختلفة، لكن لاحظ أنّ هناك عددًا غير متناهٍ من القيم التي من الممكن أن تحتلّ مكان n في المعادلة، وبالتالي لن يكون في مقدورنا التيقّن من صحة المعادلة من خلال هذه الطريقة الاستقرائية[2]. لكن هناك، في المقابل، طريقة أخرى نستطيع من خلالها الإجابة على السؤال المطروح، ونعني بها البرهان الرياضي، بحيث نقوم باشتقاق المعادلة المطلوبة بواسطة الخطوات التالية[3]:

1. سبق أن أشرنا في (7) أعلاه إلى المعادلة التالية التي تشير إلى جمع أعداد متتالية تبدأ بالعدد 1 كحد أدنى وتنتهي بالمتغير n كحد أقصى:

$$\sum_{r=1}^{n} r = 1 + 2 + 3 + \cdots + n$$

2. لكن لاحظ أن في وسعنا صياغة هذه المعادلة بطريقة معكوسة، بحيث نبدأ بالحد الأقصى n وننتهي بالعدد 1:

$$\sum_{r=1}^{n} r = n + (n-1) + (n-2) + \cdots + 1$$

3. لو قمنا بجمع المعادلتين في (1) و(2)، بحيث نجمع كلّ حدّ في المعادلة الأولى مع الحدّ المقابل له في المعادلة الثانية، فإننا نحصل على:

$$2\sum_{r=1}^{n} r = (1+n) + (2+n-1) + (3+n-2) + \cdots + (n+1)$$

4. حين نحسب حاصل عملية الجمع للحدود بين كل قوسين، فإن المعادلة تكون على النحو التالي:

$$2\sum_{r=1}^{n} r = (n+1) + (n+1) + (n+1) + \cdots + (n+1)$$

5. هذا يعني أننا أمام حاصل جمع $(n+1)$ لعدد n من المرات، أي $(n+1)\,n$، وبالتالي:

$$2\sum_{r=1}^{n} r = n(n+1)$$

6. أخيرًا، وبانتقال العدد 2 إلى الجهة الأخرى من المعادلة، تنتهي عملية اشتقاق المعادلة المطلوبة:

$$\sum_{r=1}^{n} \mathrm{r} = \frac{n(n+1)}{2}$$

في كل خطوة من خطوات البرهان الرياضي السابق، استخدمنا لغتين مختلفتين، لغة طبيعية ولغة رياضية، ولم يكن استخدامنا للغة الطبيعية إلا أداة مساعدة لتوضيح السبب وراء الانتقال من خطوة إلى أخرى، لكنها مع ذلك أداة غير ضرورية لإثبات صحة البرهان الرياضي. نلاحظ أيضًا أن البرهان الرياضي اتصف بسلاسة الانتقال بين خطوة وأخرى، ولنتوقف قليلًا عند الكيفية التي تمّ من خلالها هذا الانتقال السلس بين معادلة رياضية وأخرى.

بدأ البرهان بخطوة بدهيّة لا تقبل الاختلاف فيها، فكلّ ما تشير إليه المعادلة الرياضية في الخطوة الأولى هو أن حساب حاصل جمع الأعداد المتتالية من 1 إلى أي عدد طبيعي يتأتّى عن طريق جمع هذه الأعداد الواحد تلو الآخر، ابتداء من العدد 1 وانتهاء بآخر عدد في المتتالية. انتقل البرهان الرياضي بعد ذلك إلى خطوة بدهية أخرى، فالمعادلة الرياضية في الخطوة الثانية ليست سوى إعادة تنظيم للمعادلة الرياضية الأولى، أي إنها مجرّد صياغة مختلفة (لكن متكافئة) للمعادلة السابقة. حين ننتقل إلى الخطوات المتبقية من البرهان، فسنلاحظ أنّ جميع المعادلات الرياضية ليست سوى

حصيلة تطبيق قواعد رياضية بسيطة مثل الجمع والقسمة وغيرهما من العمليات الرياضية.

لو عدنا مجددًا إلى خطوات البرهان أعلاه، فسنلاحظ أن القبول بصحة الخطوة الأولى يستلزم القبول بصحة الخطوة الثانية، والقبول بصحة الخطوتين الأولى والثانية من جهة، وبسلامة عملية الجمع من جهة أخرى، يستلزمان القبول بصحة الخطوة الثالثة، وهكذا إلى أن نصل إلى الخطوة الأخيرة. من ذلك يتضح أن علاقة الاستلزام المنطقي هي التي تجعلنا موقنين بصحة المعادلة الرياضية الأخيرة في البرهان السابق. لكن إذا كانت لغة الرياضيات خاضعة للغة المنطق بهذا الشكل، فإن المعادلات الرياضية تبدو كأنها عبارة عن قضايا تحليلية يؤدي إنكار صحتها إلى تناقض ذاتي (انظر الفصل الثاني). في المقابل، سبق أن أشرنا إلى أن القضايا التحليلية لا تأتي بشيء جديد من الناحية المعرفية، فهي أشبه بالقول: «إذا كانت س صادقة، فإن س صادقة»، ومع ذلك لا يُمكن إنكار حقيقة أن لغة الرياضيات تأتي بأشياء جديدة في واقع الأمر. فعلى سبيل المثال، بالرغم من أن المعادلة الرياضية الأخيرة في البرهان السابق ليست سوى حصيلة سلسلة من الاقتضاء المنطقي بين معادلة وأخرى، فإنها مع ذلك جاءت بشيء جديد من الناحيتين المعرفية والعملية. هنا تحديدًا يبرز سؤال إبستمولوجي عميق حول لغة الرياضيات، وقد طرح الفيلسوف الألماني «كانط» هذا السؤال في كتابه الشهير «نقد العقل الخالص»، ومحتوى السؤال: كيف في إمكان المعرفة

الرياضية أن تكون قَبلية وثرية في آن واحد؟ بمعنى آخر، إذا كانت المعرفة الرياضية غير مرتبطة بمعطيات الواقع بشكل مباشر، فكيف في وسعها مع ذلك أن تضيف شيئًا جديدًا إلى معرفتنا بتلك المعطيات؟

يشهد التطور الكبير الذي لحق بفلسفة الرياضيات في القرن العشرين على مدى عمق هذا السؤال، لكن إجابة «كانط» على السؤال الذي طرحه هو بنفسه لم تكن مُوفَّقة، وسنتوقف عند تفاصيل هذه السؤال الكانطي في القسم الثالث من هذا الكتاب.

3 . 3 . مفاهيم رياضية

قلنا إن الرياضيات لغة، وسنلقي الضوء هنا على بعض المفاهيم الأساسية التي تشكّل أبجديات اللغة الرياضية[4]: القيمة، والمتغير، والدالة. سيحتلّ مفهوم الدالة الحيّز الأكبر وذلك لاشتماله على مفهومي القيمة والمتغير.

يُشكل مفهوم القيمة البنية الأساسية للغة الرياضيات، وأبرز الأمثلة على هذا المفهوم هي القيم العددية[5]، مثل: 1، أو 66.7، أو 0.8، ولا يقتصر مفهوم القيمة في الرياضيات على الأعداد، بل يشمل أيضًا جميع الأشكال الهندسية، مثل: المثلث والمربع والدائرة، بالإضافة إلى القياسات العددية المرتبطة بتلك الأشكال، مثل: المساحة والحجم والطول والعرض، ومع تطوّر الرياضيات واتساع نطاق تطبيقاتها العملية، دخلت قيم جديدة في هذا الميدان كبعض

الرموز الخاصة، إلى جانب قيم الصواب المنطقية، مثل: «صادقة» أو «كاذبة».

إلى جانب مفهوم القيمة، هناك أيضًا مفهوم **المتغير**، وتكمن الحاجة إلى هذا المفهوم الرياضي في إتاحته أكبر قدر من التعميم أو التجريد. على سبيل المثال، سبق أن أشرنا إلى الحرف n بوصفه الحدّ الأعلى لمتتالية من الأعداد الطبيعية، وكان الغرض من استخدام هذا الحرف هو تحقيق أكبر قدر من التعميم بحيث لا تقتصر القيمة المرتبطة بهذا الحرف على مقدار محدد. لهذا، فنحن أمام متغير رياضي، اخترنا له اسمًا اعتباطيًّا مثل: n، وله قيمة تحددها علاقة التساوي بين هذا الحرف وعدد معيّن، فإذا كانت n تساوي 5، مثلًا، فإن اسم المتغير هو n وقيمته 5، وأما المتغير نفسه فيشير إلى الزوج المكون من الاسم والقيمة، أي من الحرف n والعدد 5.

نأتي، أخيرًا، إلى مفهوم **الدّالة**، والذي يشير -بشكل عام- إلى إسناد قيمة واحدة فقط إلى كل عنصر من عناصر مجموعة محددة. تسمى عناصر هذه المجموعة مُعاملات الدالة، وتُشكّل جميعها نطاق الدالة، في حين تُشكل كلّ القيم المحتملة التي تقوم الدالة بإسنادها إلى معاملاتها مدى الدالة. لننظر، على سبيل المثال، إلى ما لدينا في (8)، حيث يعبّر الرسم التوضيحي في (8) عن مفهوم الدالة:

(8)

نطاق الدالة: أعداد	الدالة f	مدى الدالة: أعداد
$1 \rightarrow$		$\rightarrow 2$
$-7 \rightarrow$	$x + 1$	$\rightarrow -6$
$3.4 \rightarrow$		$\rightarrow 4.4$

الأعداد 1 و7- و3.4 هي مَداخل الدالة، والأعداد 2 و6- و4.4 هي مَخارج الدالة. تُشكل المَداخل معاملات الدّالة وتُسمى مجتمعة نطاق الدالة، في حين تُشكل المَخارج القيم العددية التي تقوم الدالة بإسنادها إلى معاملاتها وتقع ضمن مدى الدالة. أمّا الدالة نفسها، والتي يُرمز لها أحيانًا بالرمز f، فتقوم بإسناد قيمة عددية واحدة فقط إلى كلّ مُعامل على حدة، وتكون كيفية الإسناد مرهونة باسم الدالة (أو بالقاعدة التي تشير إليها). في هذا المثال تحديدًا، تشير الدالة إلى مجرّد إضافة العدد 1 إلى كلّ معامل من معاملاتها، فعندما يحتلّ أي معامل مكان المتغيّر x، تقوم الدالة بإسناد قيمة واحدة فقط إلى هذا المعامل بعد إضافة العدد 1 إليه. بعبارة أخرى، قيمة الدالة f (x+1) هي 2 عندما تكون قيمة x هي 1، وقيمة الدالة نفسها هي 6- عندما تكون قيمة x هي 7-، وهكذا هي الحال مع كل معامل ضمن نطاق الدالة.

ينبغي الإشارة هنا إلى أن مفهوم الدالة غير مقتصر على تلك الدّوال التي يشير نطاقها أو مداها إلى مجموعة معينة من الأعداد، فهذا المفهوم كما ذكرنا يعني إسناد قيمة واحدة فقط إلى كل عنصر

من عناصر مجموعة محددة، وليس في هذا التعريف ما يمنع من أن تُشير مَداخل الدالة أو مَخارجها إلى أسماء دول أو أشخاص أو حتى إلى جُمل أو قضايا. على سبيل المثال، كلّ مما يلي في (9) يصلح أن يكون أيضًا مثالًا على مفهوم الدالة:

(9)

مدى الدالة: مُدن	اسم الدّالة	نطاق الدالة: دُول
طهران ←	عاصمة x	← إيران
القاهرة ←		← مصر
باريس ←		← فرنسا
روما ←		← إيطاليا

مدى الدالة: تواريخ	اسم الدّالة	نطاق الدالة: أشخاص
4 مايو 1980 ←	تاريخ وفاة x	← تيتو
28 أبريل 1945 ←		← موسوليني
5 مارس 1953 ←		← ستالين

مدى الدالة: قضايا	اسم الدّالة	نطاق الدالة: قضايا
ليس الطقس باردًا ←	نفي x	← الطقس باردٌ
المسألة سهلة ←		← ليست المسألة سهلة

في كل مثال مما سبق، تُسند الدالة قيمة واحدة فقط إلى كلّ معامل من معاملاتها، وهذا كل ما يلزم لتحقيق مفهوم الدالة. بالتالي، نحن أمام شرطين: الشرط الأول هو ألّا يتعذّر إسناد قيمة إلى أي مُعامل ضمن نطاق الدالة، والشرط الثاني هو أن تكون هناك قيمة واحدة فقط ضمن مدى الدالة لكلّ مُعامل. هذا يعني أن تعبير «أُخت x» لا يصلح أن يكون اسمًا لدالة، ذلك أنه تعبير يُخلّ بالشرط الأول، فليس كلّ شخص لديه أخت، كما أنه تعبير يُخلّ بالشرط الثاني، فليس كل شخص لديه أخت واحدة فقط. بالمثل، الجذر التربيعي لأي عدد حقيقي ($\pm\sqrt{x}$) لا يشير إلى دالة، لأن إسناد قيمة إلى أي عدد سالب ضمن مجموعة الأعداد الحقيقية غير ممكن، وهذا مُخلّ بالشرط الأول، كما أن هناك قيمتين (سالبة وموجبة) لكل عدد موجب، وهذا مخلّ بالشرط الثاني.

هناك أيضًا دوال تتطلب أكثر من معامل واحد لإعطاء قيمة محددة، مثل دالة الجمع التي تُسند قيمة واحدة فقط إلى معاملين. يُشار إلى هذه الدالة بالرمز + ويُعبّر عنها بأكثر من طريقة، مثل: جمع (x,y)، أو $+(x,y)$، أو x + y، والتعبير الأخير هو الأكثر انتشارًا[6]. لعل القارئ قد لاحظ أن الرمز الرياضي Σ، والذي سبق أن أشرنا إليه، ليس سوى دالة جمع ثنائية تكرارية، بحيث يتم أولًا تطبيق دالة الجمع على عددين في المتتالية، ثم على النتيجة وعدد ثالث، وهكذا إلى آخر عدد في المتتالية. فعلى سبيل المثال، ما يلي في (10) يشير إلى خطوات جمع الأعداد المتتالية من 1 إلى 5:

(10)

$$\sum_{r=1}^{5} r$$

$+ (1, 2) = 3$
$+ (3, 3) = 6$
$+ (6, 4) = 10$
$+ (10, 5) = 15$

نلاحظ هنا أمرين: الأمر الأول هو أن الدالة في (10) تتطلّب عددين (أو عاملين) في كل عملية جمع، ولهذا فهي دالة ثنائية، والأمر الثاني هو أنها دالة تقوم في كل خطوة باسترجاع قيمتها لتكون هذه القيمة عاملًا في الخطوة التي تليها، ولهذا هي دالة تكرارية أو مرجعية.

3 . 4. الوصف الرياضي للظاهرة الطبيعية

كثيرًا ما توصف الرياضيات بأنها لغة الطبيعة. هناك -على الأقل- ثلاث زوايا مختلفة يمكن النظر من خلالها إلى الرياضيات بأنها بحقّ لغة الطبيعة. أولًا، تعدّ الرياضيات أداة لوصف الظواهر الطبيعية بصورة أشدّ دقة من وصف تلك الظواهر بأي لغة أخرى. ثانيًا، تعدّ الرياضيات أيضًا أداة ناجحة لسبر أغوار الطبيعة وتطويعها لخدمة الإنسان ومحيطه، وذلك من حيث إسهامها في تراكم المعرفة العلمية من خلال التنبؤ والاكتشاف والاختراع. أخيرًا، هناك تماثل

مثير للانتباه بين ما يُنتجه العقل الإنساني في ميدان الرياضيات وما يكتشفه العلم لاحقًا في ميدان الطبيعة. سنتناول في ما تبقى من هذا الفصل كل زاوية من هذه الزوايا الثلاث على حدة، مبتدئين هنا بالوصف الرياضي للظاهرة الطبيعة.

لا يقتصر الوصف الرياضي على ظواهر الطبيعة، بل يشمل أي بُنية من الأشياء التي ترتبط فيما بينها بعلاقات مجرّدة، سواء أشارت هذه البُنية إلى ظاهرة طبيعية كحالة الطقس، أو سلوك اجتماعي كالنظام الاقتصادي، أو مشكلة إدارية كتنظيم حركة المرور، أو حتى مجرد لُعبة كالشطرنج. كل مثال من هذه الأمثلة، وغيرها كثير، يعدّ مجالًا تُستخدم فيه لغة الرياضيات لخلق نموذج يحاكي الواقع بالقدر المطلوب، وهذا المجال التطبيقي لميدان الرياضيات هو ما يُعرف باسم «النمذجة الرياضية». سنكتفي هنا بمثال بسيط على استخدام الرياضيات كأداة لوصف الظواهر الطبيعية، وسنقتصر على ظاهرة الحركة.

يشير مفهوم الحركة إلى ظاهرة طبيعية، وهو مفهوم يشير إلى الانتقال من مكان إلى آخر خلال مدة زمنية معينة. لنفترض أن قائد سيارة بدأ رحلته من المكان x_1 إلى المكان x_2، ولنفترض أن مسار الرحلة عبارة عن خط مستقيم من جهة الجنوب إلى جهة الشمال. إذا أردنا معرفة مقدار التغير في المكان (Δx) الذي نتج من هذه الرحلة، فإننا نحسب قيمة الفارق بين قيمة x_2 وقيمة x_1:

$$\Delta x = x_2 - x_1$$

يشير الحرف الإغريقي Δ (دِلْتا) إلى مفهوم التغير الكمي، وما إن نقوم بتحديد قيمة كلّ من المتغيرين x_1 و x_2 حتى تُسفر هذه المعادلة الرياضية البسيطة عن قيمة محددة. مع ذلك، لا تمثل هذه المعادلة وصفًا رياضيًّا لمفهوم التغير في المكان إلّا بعد إضافة وحدة طول مناسبة، وسوف نختار، على سبيل المثال، وحدة «الكيلومتر» (km). عند المكان x_1، لم يبدأ قائد السيارة رحلته بعد، ولذلك فإن x_1 يساوي 0 كيلومتر، وبعد أن يصل إلى المكان x_2، يكون قد قطع مسافة معينة، ولتكن 300 كيلومتر شمالًا. هذا يعني أنّ المسافة الكلية تساوي مقدار التغير في المكان:

$$\begin{aligned}\Delta x &= x_2 - x_1\\ &= 300 - 0\\ &= 300\ km.\end{aligned}$$

لكن التغير في المكان يحدث خلال مدّة زمنية، وسنختار «الساعة» (h) كوحدة للزمن. عند الزمن t_1، لم يبدأ قائد السيارة رحلته بعد، ولذلك فإن t_1 يساوي 0 ساعة، وعند زمن نهاية الرحلة t_2، يكون قائد السيارة قد أمضى مدة زمنية معينة، ولتكن 4 ساعات. هذا يعني أنّ مقدار التغير في الزمن (Δt) يساوي:

$$\begin{aligned}\Delta t &= t_2 - t_1\\ &= 4 - 0\\ &= 4\ h.\end{aligned}$$

تشير العلاقة بين التغير في المكان والتغير في الزمن إلى مفهوم السرعة، فالسرعة هي تغير في المكان بالنسبة إلى التغير في الزمن.

يُترجم التعبير «بالنسبة إلى» بلغة الرياضيات من خلال عملية القسمة الحسابية، ذلك أن مفهوم القسمة يشير إلى توزيع قيمة محددة على أجزاء متساوية، في مثالنا هذا، توزيع قيمة التغير في المكان Δx على فترات متساوية من التغير في الزمن Δt، أي $\frac{\Delta x}{\Delta t}$، هو مقدار السرعة. حين نضع اتجاه الحركة في الاعتبار، فإننا نتحدث عندها عن السرعة الاتجاهية للسيارة، وهي تساوي في مثالنا:

$$\begin{aligned}\bar{v} &= \frac{\Delta x}{\Delta t}\\ &= \frac{300}{4}\\ &= 75\, km/h \quad (\text{شمالًا})\end{aligned}$$

الرمز $\bar{v}$ يشير إلى متوسط سرعة السيارة طوال الرحلة (أي سرعتها المتوسطة)، وأما سرعة السيارة عند لحظة معينة أثناء الرحلة فتسمى السرعة اللحظية، ويُرمز لها بالرمز v. يُمكن التعبير عن العلاقة بين هاتين السرعتين على الوجه التالي: السرعة اللحظية في أيِّ لحظة زمنية هي السرعة المتوسطة خلال فترة زمنية بالغة القِصَر. لكن كيف نقوم بحساب السرعة اللحظية (v) في مثالنا؟ إن الإجابة على هذا السؤال تعتمد على الإجابة على سؤال آخر: هل كانت سرعة السيارة ثابتة طوال الرحلة أم متغيرة؟ إذا قطعت السيارة مسافات متساوية خلال فترات زمنية متساوية، أي إذا كانت السرعة ثابتة، فإن متوسط السرعة $\bar{v}$ طوال فترة الرحلة مساوٍ للسرعة اللحظية v عند أي لحظة زمنية ضمن فترة الرحلة، وهذا ما يعنيه مفهوم «الثبات» من الأساس. لننظر، على سبيل المثال، إلى

الجدول التالي الذي يحتوي على قيم مختلفة للمسافة المقطوعة أثناء الرحلة عند فترات زمنية مختلفة:

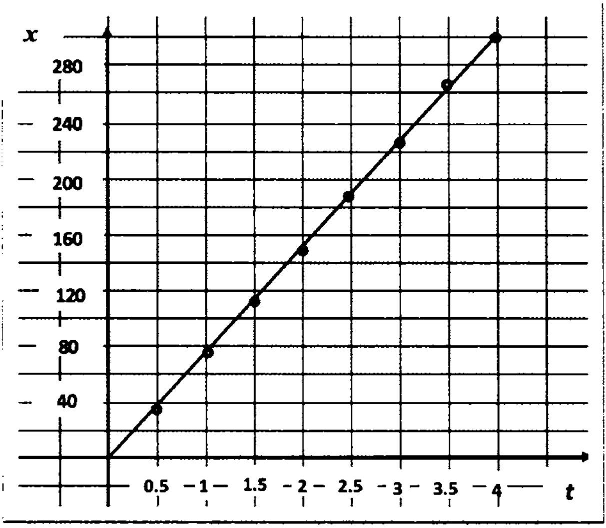
المسافة x (km)	الزمن t (h)
37.5	0.5
75	1
112.5	1.5
150	2
187.5	2.5
225	3
262.5	3.5
300	4

لو تأملنا القيم في هذا الجدول، فسنلاحظ ثبات نسبة التغير في المكان Δx إلى التغير في الزمن Δt، أي إنّ سرعة السيارة بقيت ثابتة. هذا يعني عدم وجود اختلاف بين متوسط سرعة السيارة طوال الرحلة وسرعتها اللحظية، وبالتالي:

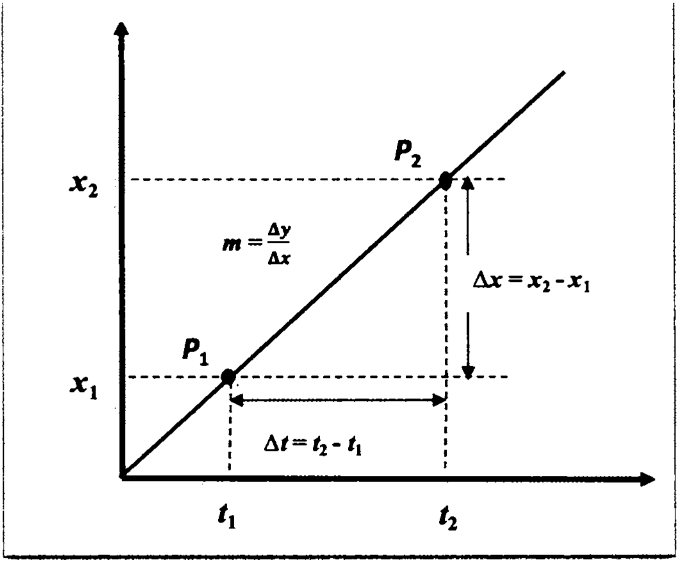
$$\bar{v} = v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

ولهذا فإن نتيجة $\frac{\Delta x}{\Delta t}$ تساوي 75 كيلومترًا في الساعة لأي قيمة من قيم المسافة عند أي قيمة زمنية تقابلها، فمثلًا، $\frac{37.5 - 0}{0.5 - 0}$ تساوي 75 كيلومترًا في الساعة، وكذلك ستكون النتيجة مع جميع القيم الأخرى في الجدول أعلاه، وبشكل عام، تخضع قيم المسافة

وقيم الزمن في الجدول أعلاه إلى المعادلة ($x = 75t$)، وهي المعادلة التي تصف الخط المستقيم في الرسم البياني التالي:



لو صرفنا النظر عن المضمون الفيزيائي لهذا الرسم البياني واقتصرنا على مضمونه الرياضي، فسنجد أننا أمام خط مستقيم له ارتفاع وامتداد جهة اليمين. أما مقدار الارتفاع فيحدّده المحور العمودي (x)، وأما مقدار الامتداد فيحدّده المحور الأفقي (t)، والتغير في مقدار الارتفاع بالنسبة إلى التغير في مقدار الامتداد يسمى «ميل الخط المستقيم» ويُرمز له بالرمز m. لننظر، على سبيل التوضيح، إلى كيفية حساب ميل الخط المستقيم كما في الرسم البياني التالي، مع إهمال الإشارة إلى أي قيم محددة للمحورين x وt، والاكتفاء بالإشارة إلى أي نقطتين تقعان على الخط المستقيم، ولنسمّهما P_1 و P_2:



كما هو موضح أعلاه، إحداثيّا النقطة P_1 هما (t_1, x_1)، وإحداثيّا النقطة P_2 هما (t_2, x_2)، ومقدار التغير في ارتفاع الخط المستقيم يساوي مقدار المسافة الرأسية بين النقطة P_1 والنقطة P_2، في حين أن مقدار التغير في امتداد الخط المستقيم يساوي مقدار المسافة الأفقية بين النقطة P_1 والنقطة P_2. أما ميل الخط المستقيم m فيساوي نتيجة قسمة المسافة الرأسية على المسافة الأفقية:

$$m = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1}$$

لو طبّقنا هذه المعادلة الرياضية على الجدول أعلاه، فسنجد أن مقدار ميل الخط المستقيم يساوي 75، والمضمون الفيزيائي لهذا العدد في مثالنا أعلاه هو أن السيارة تقطع مسافة 75 كيلومترًا في كل

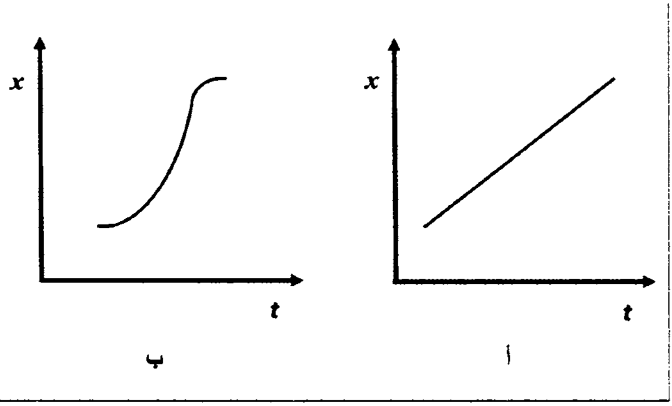
ساعة من الزمن الكلي للرحلة، وهو -كما رأينا- المقدار $\frac{\Delta x}{\Delta t}$ والمساوي أيضًا لكل من السرعة المتوسطة $\bar{v}$ والسرعة اللحظية v. من ذلك كله نستنتج أنه عند ثبات السرعة خلال فترة زمنية محددة، فإن:

ميل الخط المستقيم m= السرعة المتوسطة $\bar{v}$

= السرعة اللحظية $v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$

ينبغي الملاحظة التالية في ما يتعلق بميل الخط المستقيم. نظرًا إلى أن مقدار المَيْل يساوي $\frac{\text{المسافة الرأسية}}{\text{المسافة الأفقية}}$، فإن ميل الخط المستقيم يقلّ في المقدار كلما اقترب من المحور الأفقي ويزداد كلما اقترب من المحور الرأسي. هناك بطبيعة الحال حدّان لميل الخط المستقيم، فحين يقل ميل أي خط مستقيم إلى درجة تطابقه مع المحور الأفقي، فإن مقدار ميل هذا الخط يساوي صفرًا، لأن المسافة الرأسية تساوي صفرًا. من جهة مقابلة، حين يزداد ميل أي خط مستقيم إلى درجة تطابقه مع المحور الرأسي، فإن مقدار ميل هذا الخط غير مُعرّف، لأن المسافة الأفقية تساوي صفرًا والقسمة على صفر تؤدي إلى نتيجة غير مُعرّفة.

لننتقل أخيرًا إلى الاحتمال الآخر والمتعلق بالحالة التي تكون فيها سرعة السيارة متغيرة طوال الرحلة، وهو احتمال أكثر واقعية، ولننظر في هذه الحالة إلى كيفية حساب مقدار السرعة اللحظية v، وهو المقدار الذي يُمكن لقائد السيارة معرفته باستمرار من خلال النظر إلى عدّاد السرعة أمامه. لنقارن أولًا بين الرسمين البيانيين (أ) و(ب):



في (أ)، يشير الخط المستقيم إلى سرعة ثابتة، وكما سبق أن رأينا، نستطيع حساب مقدار السرعة اللحظية من خلال حساب مقدار ميل الخط المستقيم، حيث نقوم باختيار أي نقطتين تقعان على الخط لإيجاد قيمة $\frac{\Delta x}{\Delta t}$، وقيمة الميل هذه تساوي قيمة كل من السرعتين اللحظية والمتوسطة. لكن، في (ب)، يشير المنحنى إلى سرعة متغيرة، أي إن مقدار ميل المنحنى في تغيّر مستمر، وبالتالي فإن السرعة اللحظية متغيرة كذلك. لهذا السبب، لا بدّ من إيجاد طريقة لحساب مقدار ميل المنحنى عند نقطة معينة، وقد تمّ فعلًا اكتشاف هذه الطريقة على أيدي رياضيين عظام في القرن السابع عشر من أمثال الألماني غوتفريد لايبنتز وإسحق نيوتن، وملخص هذه الطريقة هو حساب مقدار ميل المنحنى عند نقطة محددة من خلال حساب مقدار ميل الخط المستقيم الملامس للمنحنى عند تلك النقطة تحديدًا، وهذا المقدار هو مقدار السرعة اللحظية عند تلك النقطة.

على ضوء هذا المثال، رأينا كيف تكون الرياضيات أداة لوصف

ظاهرة طبيعية مثل ظاهرة الحركة، ولم يكن ذلك ليكون ممكنًا لولا ترجمة مفاهيم فيزيائية إلى لغة الرياضيات أولًا، ثم إخضاعها، ثانيًا، لقوانين الرياضيات. بطبيعة الحال، تكون الاستفادة من لغة الرياضيات بالقدر الذي يتيح فيه أي علم ترجمة مفاهيمه إلى لغتها، وهنا يكمن السبب وراء الاستفادة القصوى لعلم الفيزياء من لغة الرياضيات، ذلك أن المفاهيم الفيزيائية هي أكثر المفاهيم التي تمتاز بقابلية الترجمة إلى لغة الرياضيات.

من الضروري، قبل أن نختم هذا المبحث، أن نؤكد على النقطة التالية، وهي أن الترجمة إلى لغة الرياضيات ليست مجرّد استعاضة عن كلمات برموز رياضية للتعبير عن المفاهيم نفسها. فلو كان الأمر كذلك، لما تجاوز إسهام الرياضيات في التقدم العلمي حدّ الاقتصاد في عدد الورق! سننتقل الآن إلى التعرّف على بعض ملامح هذا الإسهام الذي يتجلّى من خلال التنبؤ والاكتشاف والاختراع.

3 . 5 . إسهام الرياضيات في التقدم العلمي

من المعروف أن الوصف الرياضي لبعض الظواهر الطبيعية يتيح (من ضمن أشياء أخرى) التنبؤ بسلوك هذه الظاهرة في المستقبل، وقد رأينا فورًا أن ظاهرة الحركة تحكمها قوانين نستطيع من خلالها حساب سرعة جسم عند زمن محدد. لكن بالرغم من فائدة هذا النوع من التنبؤ العلمي، فإنه لا يضيف شيئًا جديدًا إلى معرفتنا حول ما هو موجود في عالم الطبيعة. فعلى سبيل المثال،

حين نستخدم معادلة: المسافة-السرعة-الزمن، لمعرفة مكان جسم متحرك، فإن هذا يقتضي من الناحية المنطقية معرفتنا بوجود الجسم المتحرك وجهلنا بإحداثيات المكان الذي يحتلّه هذا الجسم. بالمثل، حين نستخدم القانون الثالث لكبلر لحساب المسافة التي تفصل بين الشمس وكوكب معيّن، فإن استخدام هذا القانون يقتضي منطقيًّا معرفتنا بوجود ذلك الكوكب. هل يعني ذلك أن التنبؤ العلمي فقير أنطولوجيًّا بحيث لا يضيف شيئًا إلى معرفتنا بعالم الموجودات؟ إن الإجابة بالنفي على هذا السؤال تستمدّ شرعيتها من تاريخ العلم، والأمثلة على ذلك لا تُحصى، لكن سنكتفي هنا بمثالين: اكتشاف كوكب نبتون، واكتشاف البوزيترون.

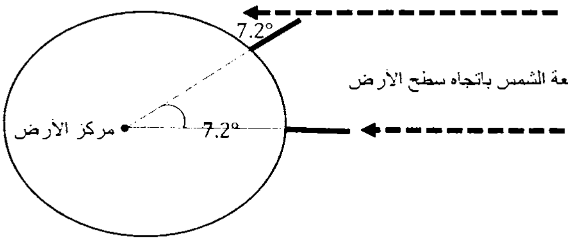
جاء اكتشاف كوكب نبتون من خلال تنبؤ علمي قائم على حساب رياضي، وهو التنبؤ العلمي الذي قام به الرياضي الفرنسي أورباين لو فيريير من خلال الورقة والقلم! بعد أن انتهى «لو فيريير» من تقدير المكان المحتمل للكوكب الجديد، قام بإرسال النتيجة إلى مرصد برلين، حيث وصلت الرسالة إلى هناك في 23 سبتمبر من عام 1846 ليتمّ اكتشاف كوكب نبتون بعد ساعات من وصول الرسالة.

في عام 1928، نشر الفيزيائي البريطاني باول ديراك بحثا تنبّأ من خلاله بوجود جُسيم يشبه الإلكترون في خواصه الفيزيائية، إلّا أنه، على العكس من الإلكترون، له شحنة موجبة، وبعد مرور أربع سنوات اكتشف الفيزيائي الأميركي كارل أندرسون ذلك الجُسيم والمعروف الآن باسم البوزيترون.

كل تنبؤ علمي ناجح هو اكتشاف في جوهره، لكن قد يُطلب الاكتشاف العلمي بصورة مباشرة ومن خلال لغة الرياضيات أيضًا. استخدام الإنسان لغة الرياضيات لاكتشاف محيطه المادي يعود إلى تاريخ طويل، ولعل من المناسب هنا أن نورد قصة الرياضي الإغريقي إراتوستينس الذي نشأ في ليبيا وعاش في مصر ليتقلّد مسؤولية إدارة مكتبة الإسكندرية في القرن الثالث قبل الميلاد. سيتذكّر القارئ إشارتنا في الفصل الأول إلى طاليس وكيف قام بمعرفة طول الهرم من خلال عصًا مركوزة في سطح الأرض. لقد قام إراتوستينس بركز عصًا أيضًا في سطح الأرض، لكن لا لكي يحسب طول الهرم، بل لكي يحسب محيط الكرة الأرضية!

كان إراتوستينس على علم بكروية الأرض من خلال الحجج التي قدّمها أرسطو من قبل[7]، وكان قد قرأ أيضًا عن ظاهرة سقوط أشعة الشمس بشكل عمودي على مدينة أسوان في جنوب مصر في اليوم الموافق لتاريخ الحادي والعشرين من شهر يونيو، بحيث يختفي الظل في ساعة الظهيرة تحديدًا. إلى جانب ذلك، كان إراتوستينس أيضًا على علم بطول المسافة التي تفصل بين مدينة الإسكندرية ومدينة أسوان، حيث تقدّر بحوالي 5000 إستادا (كلمة «إستادا» هي جمع لكلمة «إستاديوم»، أي ملعب رياضي، وهي وحدة قياس إغريقية وتقدّر بحوالي 160 مترًا، وهو الطول التقريبي لملعب رياضي من ضمن الملاعب التي عرفتها الحضارة الإغريقية)، وبذلك يكون طول المسافة بين الإسكندرية وأسوان

حوالي 800 كيلومتر. في الوقت الذي تعامدت فيه أشعة الشمس مع سطح الأرض على مدينة أسوان، قام إراتوستينس بركز عصًا في سطح الأرض في مكانه في الإسكندرية، ثم قام بقياس درجة الظلّ ليجدها مساوية لحوالي 7.2 درجة. لننظر إلى هذا الشكل التوضيحي:

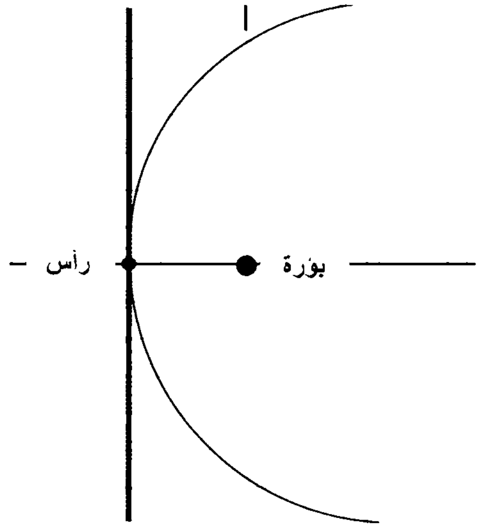


يوضح الشكل أعلاه الاختلاف بين درجتي سقوط أشعة الشمس على مكانين مختلفين من سطح الكرة الأرضية، ولتكونا مدينتي أسوان والإسكندرية، بحيث يكون هذا السقوط عموديًّا على عصًا مركوزة في الأرض في أسوان (أي 0 درجة)، ومنحرفًا بدرجة 7.2 على عصًا مركوزة في الأرض في الإسكندرية. لو تخيّلنا امتداد كل عصًا على حدة بحيث يشكل كل امتداد خطًّا مستقيمًا يصل سطح الأرض بمركزها، فإن الدرجة التي تفصل بين المدينتين تساوي في المقدار درجة الظل في الإسكندرية، أي 7.2 درجة. هذه هي طريقة التفكير التي توصل من خلالها إراتوستينس إلى مقدار محيط الأرض، وذلك باستخدامه للمعادلة النسبية التالية:

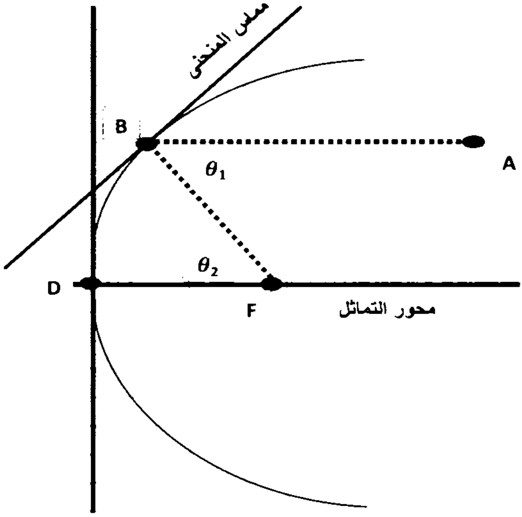
$$\frac{7.2}{360}=\frac{800}{x}$$

حيث المسافة الفاصلة بين أسوان والإسكندرية تساوي 800 كيلومترًا، والدرجة الفاصلة بينهما تساوي 7.2 درجة، ومجموع زوايا الدائرة يساوي 360 درجة. في ظل توافر هذه المعطيات، استطاع إراتوستينس حساب العدد المجهول x في المعادلة والذي يشير إلى مقدار محيط الأرض، وحصل على نتيجة مقدارها أربعون ألف كيلومتر، وهو مقدار يكاد يتطابق مع المقدار الصحيح في عصرنا الحديث!

أخيرًا، وإلى جانب إسهام الرياضيات في الاكتشاف العلمي، ينبغي الإشارة أيضًا إلى حقيقة أن الفضل في ظهور بعض الاختراعات العلمية يعود بشكل مباشر إلى الرياضيات، فبعض الأشكال الهندسية تتميّز بخواص دفعت إلى توظيفها عمليًّا لتسفر عن قائمة من الاختراعات العلمية، مثل الشكل التالي:

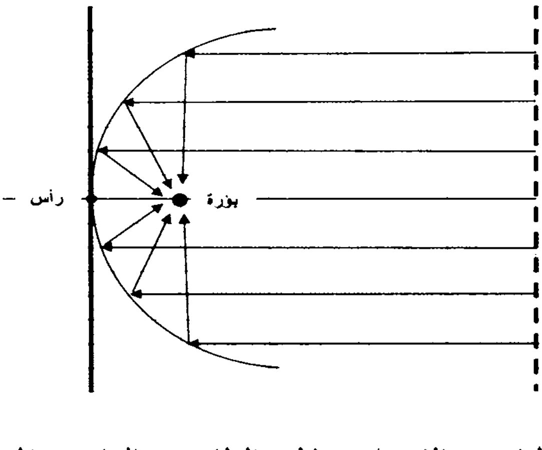


هذا الشكل هو من بين الأشكال المخروطية، ويُعرف باسم «القطع المكافئ». تسمى النقطة التي يبلغ فيها المنحنى أشد درجات الانحناء بالرأس، وإلى جانب الرأس بمقدار مسافة محددة تكمن بؤرة القطع المكافئ، والخط المستقيم الذي يمرّ بالرأس والبؤرة يسمى محور التماثل، وهو خط متعامد مع خط مستقيم آخر يمر بالرأس ويسمى الدليل. تعتمد إحداثيات كل من الرأس والبؤرة في أي منحنى على معادلة رياضية محددة، ولكن ما يهمنا هنا هو الخاصية الانعكاسية التي يمتاز بها هذا الشكل الهندسي، ولتوضيح هذه الخاصية، لننظر إلى الرسم البياني التالي:



في الرسم أعلاه، الخط المستقيم $\overline{AB}$ موازٍ لمحور التماثل، وبالتالي الزاوية θ_1 مساوية في المقدار للزاوية θ_2، وتنطبق هذه الخاصية على

كل خطين مستقيمين يوازي أحدهما محور التماثل ويمر الآخر بنقطة البؤرة (النقطة F في الرسم أعلاه). بمعنى آخر أكثر تحديدًا، كل الخطوط المستقيمة التي تلامس المنحنى من الداخل تصنع زوايا متساوية مع البؤرة، كما أنّ كل خط مستقيم يصل البؤرة بأي نقطة على المنحنى يكون متعامدًا مع خط ملامس للمنحنى عند تلك النقطة. إنّ ما ينتج من ذلك هو أننا لو تخيّلنا أن منحنى القطع المكافئ عبارة عن مرآة مقعّرة تصطدم بسطحها أشعة مستقيمة، فإن كل شعاع سيرتدّ في اتجاه البؤرة:



يتعلق التفسير الفيزيائي لهذه الظاهرة بالقانون المعروف والذي ينص على أن زاوية السقوط تساوي زاوية الانعكاس (حيث θ_1 تساوي مقدار كل من زاويتي السقوط والانعكاس)، ويمكن إثبات ذلك رياضيًّا من خلال رسم خط ملامس للنقطة التي يتّصل عندها الخط المستقيم بالمنحنى (أي نقطة B في الرسم أعلاه)، لكن الجدير بالذكر هو أن هذه الخاصية الانعكاسية لمنحنى

القطع المكافئ هي الأساس النظري الذي بُنيت عليه عديد من الاختراعات العلمية مثل المناظير والأطباق اللاقطة، وعندما نقلب اتجاه الإشعاع في الرسم البياني بحيث ينطلق من البؤرة في اتجاه سطح المنحنى لينعكس بخط مستقيم وموازٍ لمحور التماثل، فإن في هذه الحالة نكون أمام الأساس النظري لاختراعات علمية أخرى، مثل: الكشّاف الضوئي والمصابيح الأمامية للسيارة وغيرها كثير.

3. 6. لغة الرياضيات ولغة الطبيعة

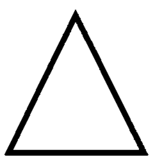
لنفترض أن مجموعة من الأشخاص ركبوا سفينة ليبحروا إلى جزيرة بعيدة، ثم اكتشفوا بعد وصولهم قبيلة بدائية تعيش في الجزيرة ويتحدّث أفرادها لغة غير مفهومة، ومع حاجتهم إلى التواصل مع سُكّان الجزيرة، استطاع الزائرون الجُدد اختراع لغة إشارة للتواصل مع أفراد القبيلة، وقد نجحوا فعلًا في التواصل معهم إلى حدّ معقول. حتى هذه اللحظة، لا يبدو هذا السيناريو مستحيلًا، فكل ما هنالك هو أن الزائرين الجُدد قاموا باستحداث إشارات لها دلالات مستوحاة من مراقبتهم لسلوك سُكان الجزيرة. لنفترض، الآن، أننا قمنا بتغيير سيناريو القصة قليلًا بحيث يكون استحداث لغة الإشارة سابقًا على وصول أولئك الأشخاص إلى الجزيرة، وبالتالي، سابقًا على معرفتهم بوجود سُكان على ظهرها، ولنفترض أن السبب وراء استحداثهم للغة الإشارة هو لمجرد

قضاء الوقت أثناء وجودهم على ظهر السفينة، وبمجرد وصولهم إلى الجزيرة واكتشافهم وجود قبيلة يتحدث أفرادها لغة غير مفهومة، نراهم وقد اكتشفوا شيئًا آخر أكثر غرابة، وهي أن لغة الإشارة التي اخترعوها على ظهر السفينة لمجرّد قضاء الوقت هي بعينها اللغة التي يفهمها سُكان الجزيرة!

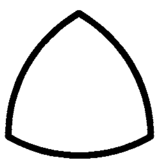
إن بعض مظاهر العلاقة بين لغة الرياضيات والعالم الطبيعي هي إلى السيناريو الثاني أقرب منها إلى السيناريو الأول، فهناك عديد من المفاهيم والبِنى الرياضية دخلت ميدان الرياضيات قبل حلول القرن العشرين، وذلك بفضل جهود علماء الرياضيات خلال تعاملهم مع مشكلات رياضية صرفة، ثم يأتي القرن العشرين ليكتشف الفيزيائيون أن تلك المفاهيم والبنى الرياضية هي اللغة التي هم في حاجة إليها للتعبير عن قوانين الطبيعة. إنّ الأمر أشبه بمعجزة، ليس بالمعنى الميتافيزيقي الذي يشير إلى أمر خارق لقوانين الطبيعة، بل بمعنى أنها حقيقة مُحيّرة كتب عنها بعض الباحثين كما سنرى بعد قليل، وسندعم هذه الحقيقة من خلال ثلاثة أمثلة.

يتعلق المثال الأول بالهندسة اللّاإقليدية، فمن المعروف أنّ هندسة إقليدس كانت مهيمنة لأكثر من عشرين قرنًا، وقد بلغت هذه الهيمنة إلى الحدّ الذي جعل فيلسوفًا بقامة «كانط» يرتكب خطأ فادحًا في بناء نظرية معرفية اعتمادًا على مبادئ الهندسة الإقليدية[8]. من ضمن تلك المبادئ خمس مُسلّمات، حيث تشير المُسلّمة الخامسة والأخيرة إلى أنه إذا كانت هناك نقطة وخط مستقيم، بحيث لا

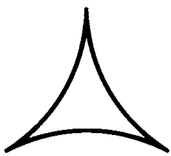
تقع النقطة على الخط المستقيم، فإنّ هناك خطًّا مستقيمًا واحدًا فقط يمرّ بتلك النقطة من دون أن يتقاطع أبدًا مع الخط الأول[9]. بدت مُسلّمة التوازي هذه في حاجة إلى إثبات بحيث تكون مُبرهنة مشتقة من المُسلمات الأخرى، وحاول كثيرون على مرّ العصور العثور على هذا الإثبات، ومن ضمنهم ابن الهيثم وعمر الخيّام، ولكنّ الجميع أخفق في ذلك، ثم يأتي القرن التاسع عشر ليُفسح المجال لنوعين من الهندسة اللاإقليدية، أي تلك الهندسة التي تقوم على نفي صحة المُسلمة الخامسة بدلًا من افتراض صحتها. كان من ضمن رواد تلك الهندسة الجديدة الروسي لوباتشيفسكي والمجري بولياي والألماني ريمان. لتوضيح الاختلاف بين الهندسة الإقليدية والهندسة اللاإقليدية، يكفي أن نشير إلى أن مجموع الزوايا الداخلية للمثلث يساوي 180 درجة في نظام إقليدس الهندسي، في حين أن مجموع هذه الزوايا في الهندسة اللاإقليدية إما أكبر أو أصغر من 180 درجة، فهي أكبر من 180 درجة في الهندسة اللاإقليدية الإهليليجية، وأصغر من 180 درجة في الهندسة اللاإقليدية التي تعرف باسم هندسة القطع الزائد:



مجموع الزوايا = 180°
(هندسة إقليدس)



مجموع الزوايا > 180°
(هندسة إهليليجية)



مجموع الزوايا < 180°
(هندسة القطع الزائد)

الجدير بالذكر هنا أن الهندسة اللاإقليدية بشقّيْها (الإهليليجي والقطع الزائد) أثبتت أن المُسلمة الخامسة لإقليدس مستقلة عن المُسلّمات الأخرى، وهو ما يُفسّر السبب وراء فشل المحاولات العديدة لاشتقاقها من باقي المُسلمات الأخرى، فإذا كانت مُسلّمة التوازي تنص على أن هناك خطًّا مستقيمًا واحدًا فقط يمر بنقطة مرسومة فوق خط مستقيم آخر، فإن هذه المُسلّمة صحيحة فقط في حالة السطح المستوي (أي درجة انحناء السطح تساوي صِفرًا). أما إذا كان السطح منحنيًا نحو الخارج (أي درجة الانحناء موجبة)، فإن في الإمكان الاستعاضة عن مُسلّمة التوازي بمُسلّمة أخرى تنص على عدم وجود مثل هذا الخط (كما في الهندسة الإهليليجية)، وأما إذا كان السطح منحنيًا نحو الداخل (أي درجة الانحناء سالبة)، فإن في الإمكان الاستعاضة عن مُسلّمة التوازي بمُسلمة أخرى تنص على وجود أكثر من خط مستقيم يمر بتلك النقطة (كما في هندسة القطع الزائد).

نحن نرى -إذًا- أنّ نشأة الهندسة اللاإقليدية جاءت استجابة لمشكلة رياضية صرفة، كما أن مفهوم «الفضاء المُنحني» ظلّ مفهومًا رياضيًّا محضًا إلى أن جاء ألبرت أينشتاين ليقدم نظريته النسبية العامة في الربع الأول من القرن العشرين، ومنذ تلك اللحظة وجد هذا المفهوم الرياضي له مكانًا في العالم الطبيعي، وذلك من خلال إعادة النظر في مفهوم الجاذبية بوصفها «قوة» من المنظور الفيزيائي الكلاسيكي، واعتبارها بدلًا من ذلك مجرّد أثر لانحناء المكان-

الزمان، في المنظور الفيزيائي الحديث، وبذلك تشير النظرية النسبية العامة إلى أن الفضاء الكوني الفسيح من حولنا، ليس فضاء إقليديًّا، بل هو فضاء لاإقليدي.

لننتقل إلى مثال آخر على هذا التماثل الغريب بين ما يُنتجه العقل الإنساني في بادئ الأمر وما يكتشفه العلم لاحقًا في ميدان الطبيعة، ومثالنا هذا يتعلق بمجموعة الأعداد المُركّبة، والمقصود بالعدد المُركب هو العدد الذي له الشكل الرياضي التالي:

$$a + bi$$

مثلًا، المتغير التالي x عدد مركب:

$$x = a + bi$$

يُسمّى العدد i «الوحدة التخيّلية» ويساوي الجذر التربيعي للعدد سالب واحد ($i = \sqrt{-1}$)[10]، في حين يشير المتغيران a وb إلى عددين حقيقيّين، حيث يسمى a «الجزء الحقيقي للعدد المُركب x»، ويسمى b «الجزء المُتخيّل للعدد المُركب x». ليست مجموعة الأعداد المُركّبة سوى امتداد لمجموعة الأعداد الحقيقية، فكلّ عدد حقيقي هو عدد مُركب تساوي قيمة الجزء المُتخيل له (أي b) صِفرًا. كما هي الحال مع الهندسة اللاإقليدية، دخلت الأعداد المركبة إلى ميدان الرياضيات لحلّ مشكلات خاصة بهذا الميدان، ويرجع الفضل في ذلك إلى الإيطالي كاردانو، أحد علماء الرياضيات في القرن السادس عشر، وذلك أثناء معالجته للمعادلات الجبرية من الدرجة الثالثة.

لتوضيح أهمية مفهوم العدد المُركب لإيجاد حلول رياضية لا تتأتّى من خلال الاعتماد على مفهوم العدد الحقيقي فقط، يكفي أن نشير إلى المثال البسيط التالي: من المعروف أن لكل عدد موجب جذرين تربيعيين، أحدهما موجب والآخر سالب، فمثلًا، العدد 25 هو نتيجة $(5)^2$ أو $(-5)^2$، وبالتالي العددان 5 و-5 هما الجذران التربيعيان للعدد 25. لكن ماذا لو كان العدد سالبًا؟ بمعنى آخر، هل هناك عدد حقيقي يكون تربيعه مساويًا لعدد سالب؟ في واقع الأمر، لا وجود لعدد حقيقي بهذه الخاصية، لكن إذا استعنّا بالأعداد المُركبة، فإن في الإمكان إيجاد قيمة للجذر التربيعي لأي عدد سالب، وذلك من خلال استخدام الوحدة المُتخيلة i التي قيمتها $\sqrt{-1}$ كما أشرنا أعلاه، فعلى سبيل المثال[11]:

$$-25 = -1 \times 25$$

$$\sqrt{-25} = \sqrt{-1 \times 25}$$

$$\sqrt{-25} = \sqrt{-1}\sqrt{25}$$

$$\sqrt{-25} = 5\sqrt{-1}$$

$$\sqrt{-25} = 5i$$

على ضوء ما تقدّم، يتضح أن الحاجة إلى تطوير النظام العددي بحيث يشمل الأعداد المُركبة لم تكن سوى استجابة لحلّ مشكلات متعلقة بالرياضيات في القرن السادس عشر، ومع ذلك فقد أصبحت الأعداد المركبة فيما بعد لغة رياضية لا غنى عنها في

ميادين علمية شتى، مثل نظرية الكم التي تُعنى بالسلوك الفيزيائي للجسيمات على مستوى الذرة وما دون ذلك، ونظرية التحكم التي تُعنى بسلوك الأنظمة الميكانيكية، وديناميكا السوائل (أو الموائع) التي تُعنى بوصف جريان السوائل والغازات، وغيرها كثير من النظريات العلمية.

مثالنا الأخير على القضية موضع النقاش يتعلق بما يُسمى «المصفوفات»، والمصفوفة الرياضية عبارة عن تنظيم لمجموعة من الأعداد الحقيقية أو المُركبة بحيث تكون مُوزّعة على صفوف وأعمدة، ولكلّ مصفوفة رُتبة تُقدّر بحسب عدد الصفوف والأعمدة التي تحتويها. فعلى سبيل المثال، فيما يلي ثلاث مصفوفات مع رُتبة كل واحدة منها:

$$\begin{pmatrix} 3 & 2 \\ 7 & 1 \end{pmatrix}$$

مصفوفة برتبة 2 x 2

$$\begin{pmatrix} 5 & 7 & 4 \\ 1 & 8 & 5 \\ 5 & -3 & 9 \end{pmatrix}$$

مصفوفة برتبة 3 x 3

$$\begin{pmatrix} 7 \\ 6 \\ 9 \end{pmatrix}$$

مصفوفة برتبة 1 x 3

عرف البابليون والصينيون وغيرهم المصفوفات منذ القدم كوسيلة فعّالة للتعامل مع المعادلات الخطية المتجانسة. بقيت المصفوفات مع ذلك رُكنًا معزولًا في ميدان الرياضيات إلى أن ظهرت نظرية الكم الفيزيائية في بدايات القرن العشرين. لتوضيح هذه النقطة، ينبغي أولًا أن نشير في عُجالة إلى إحدى أهم خصائص المصفوفات، وهي أنها غير خاضعة لقانون التبادل المتعلق بعملية الضرب، فلو كان لدينا مصفوفتان، ولنسمّهما A وB، فإن[12]:

$$A \times B \neq B \times A$$

مثال:

$$\begin{pmatrix} 2 & 3 & 1 \\ 5 & 1 & 4 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 1 & 3 \\ 0 & 1 \\ 2 & 9 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 4 & 18 \\ 13 & 52 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} 1 & 3 \\ 0 & 1 \\ 2 & 9 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 2 & 3 & 1 \\ 5 & 1 & 4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 17 & 6 & 13 \\ 5 & 1 & 4 \\ 49 & 15 & 38 \end{pmatrix}$$

هذا يعني أن الترتيب الذي تُجرى من خلاله عملية الضرب ضروري في حالة المصفوفات، وذلك على العكس مما هو سائد وخاضع لقانون التبادل، مثل: $6 \times 7 = 7 \times 6$. لاحظ أيضًا ما يترتب على ذلك، فالفرق بين نتيجة 6×7 ونتيجة 7×6 يساوي صفرًا، في حين أنّ هذا غير صحيح في حالة المصفوفات:

$$(A \times B) - (B \times A) \neq 0$$

بعد أن أشرنا إلى المصفوفات بما يكفي لتوضيح المثال الذي نحن بصدده، نريد الآن الحديث عن كيفية انتقال المصفوفات من مكانها المعزول في ميدان الرياضيات لقرون من الزمن إلى أن احتلت مكانًا مرموقًا في ميدان الفيزياء مع ظهور نظرية الكم في بدايات القرن الماضي.

في صيف عام 1925، كان الفيزيائي الألماني فيرنر هايزنبيرغ يبلغ من العمر 24 عامًا، وكان على وشك الانتهاء من كتابة ورقة

علمية حول نظرية الكم، وهي الورقة التي كانت سببًا في حصوله على جائزة نوبل في عام 1932. حدّد هايزنبيرغ الهدف من ورقته تلك منذ البداية، وهو ضرورة تأسيس نظرية الكم على علاقات بين قيم كمية قابلة للرصد أو الملاحظة. لبلوغ هذا الهدف، حاول هايزنبيرغ الاستعاضة عن قيم كمية غير قابلة للملاحظة مثل موقع إلكترون عند زمن محدد بقيم كمية قابلة للملاحظة مثل الإشعاع الذي يطلقه الإلكترون على شكل فوتونات. نظرًا إلى أن الوصف الرياضي لمثل هذا الإشعاع الإلكتروني يتطلّب الإشارة إلى علاقات حركية، مثل: التردد والسعة على مستوى الإلكترون، توصل هايزنبيرغ إلى معادلة رياضية تصف كيفية إجراء عملية الضرب على القيم الكمية للسعة والتردد. لكنه لاحظ صعوبة تتمثل في عدم خضوع عملية الضرب هذه لقانون التبادل الرياضي، فعلى سبيل المثال، لو كان لدينا قيمتان p و q، حيث تشير p إلى القيمة المكافئة لقيمة مكان الإلكترون عند زمن معين، وتشير q إلى القيمة المكافئة للطاقة الحركية للإلكترون عند ذلك الزمن، فإنّ حاصل ضرب القيمتين لا يخضع لقانون التبادل الرياضي: $p \times q \neq q \times p$.

حين انتهى هايزنبيرغ من كتابة ورقته العلمية، قدّمها إلى أستاذه وصديقه الفيزيائي الألماني ماكس بورن، وقد وصف هذا الأخير ما حدث بعد قراءته لتلك الورقة من خلال محاضرته الشهيرة ضمن مراسم حصوله على جائزة نوبل في عام 1954، حيث جاء فيها ما يلي:

«لم أستطِع التوقف عن التفكير في معادلة هايزنبيرغ عن كيفية إجراء عملية الضرب على العلاقات الحركية، وبعد أسبوع كامل من التفكير الشديد والمحاولات المستمرة، تذكّرت فجأة ما سمعته من أستاذي، البروفيسور روسانس، حول نظرية جبرية معروفة لدى المشتغلين في ميدان الرياضيات، وتسمى المصفوفات..».

لقد تمكّن ماكس بورن وآخرون من ترجمة معادلة هايزنبيرغ إلى لغة المصفوفات التي لم يكن هذا الأخير على دراية بها، وأسفر ذلك عن نشأة ما يُعرف اليوم بميكانيكا المصفوفات، وهي إحدى اللغات الرياضية للتعبير عن نظرية الكم. بحسب ميكانيكا المصفوفات، حاصل ضرب المصفوفة المتعلقة بمكان الإلكترون والمصفوفة المتعلقة بالطاقة الحركية للإلكترون لا يخضع لقانون التبادل، أي إن:

$$(p \times q) - (q \times p) \neq 0$$

شكّل هذا الاكتشاف الخطوة الأولى التي انطلق منها هايزنبيرغ ليضع قانونه الشهير في عام 1927 والمتعلق بمبدأ «اللّايقين»، حيث ينص على أن التحديد التام لمكان إلكترون عند زمن معين يجعل من التحديد التام لطاقته الحركية عند الزمن نفسه أمرًا مستحيلًا، والعكس صحيح.

لقد حاولنا من خلال ما تَقدّم من أمثلة التأكيد على حقيقة هذا التماثل الغريب بين ما يُنتجه العقل الإنساني وما يكتشفه لاحقًا في

واقعه المادي، وكأنما لغة الرموز التي يبتكرها الرياضيون للتعامل مع مشكلات لا علاقة لها بالعالم المادّي تأبى إلّا أن تكون أيضًا لغة التخاطب بين الإنسان والطبيعة! لقد عبّر الفيزيائي المجري يوجين فيغنر عن هذه العلاقة المُحيّرة بين الرياضيات والفيزياء في مقال شهير يعود إلى عام 1960، وحمل عنوان: «التأثير غير المعقول للرياضيات في العلوم الطبيعية»، ومهما يكن من أمر العلاقة بين لغة الرياضيات والظواهر الطبيعية، فإن هذه العلاقة المُحيرة تشير إلى عمق التداخل بين الرياضيات والفيزياء، وأمّا الطبيعة فأشبه بلغة لها بُنية ومعنى، وإذا كانت الرياضيات هي بُنية الطبيعة، فإنّ الفيزياء هي معناها.

الفصل الرابع

التجربة العلمية

مكتبة
t.me/soramnqraa

4 . 1 . من الفرضية إلى التجربة

كما أشرنا في الفصل الأول، فالانتقال من الفرضية إلى التجربة يمثّل انتقالًا من تقديم إجابة على سؤال محدد إلى التحقق من مدى صحة تلك الإجابة، ونريد في ما يلي أن نلقي نظرة عامة على ما ينطوي عليه هذا الانتقال من متطلّبات، مرجئين التفاصيل إلى المباحث التالية من هذا الفصل.

لنفترض أننا نبحث في طبيعة العلاقة بين مزاولة الرياضة ووزن الجسم، بحيث نصل إلى فرضية مفادها التالي: يؤدي المشي بانتظام إلى انخفاض وزن الجسم. ما هي طبيعة المتطلّبات اللازم توافرها عند تصميم تجربة لفحص مدى صحة هذه الفرضية؟

أولًا، تشير الفرضية إلى مجموعة كل الأفراد المزاولين لرياضة المشي بانتظام، ونظرًا إلى تعذّر إجراء تجربة على أفراد هذه المجموعة بأكملها، فلا بدّ من انتقاء عيّنة لإجراء التجربة على نطاق محدود،

بحيث تكون العيّنة مرآة صادقة -قدر المستطاع- لأفراد المجموعة بأكملها. لهذا، تخضع المعاينة لعملية ضبط تفاديًا لأي تحيّز عند انتقاء أفراد العيّنة.

ثانيًا، ليس في وسعنا إثبات صحة الفرضية بشكل مباشر، فكما سبق أن رأينا في الفصلين السابقين، حتى حين يدعم عدد لامتناهٍ من نتائج التجربة صحة الفرضية، لا يكفي ذلك لإثبات صحتها. نظرًا إلى عدم قدرتنا على اختبار الفرضية بشكل مباشر، تبرز الحاجة إلى التعامل مع الفرضية بوصفها فرضية بديلة من فرضية أخرى تقف على النقيض منها. تسمى هذه الفرضية الأخيرة فرضية صفرية، فإذا كانت الفرضية البديلة تشير إلى وجود علاقة بين رياضة المشي وانخفاض وزن الجسم، فإنّ الفرضية الصفرية تشير إلى نفي وجود مثل هذه العلاقة. بمعنى آخر، بينما تشير الفرضية البديلة إلى أن الفارق في معدّل وزن الجسم قبل مزاولة رياضة المشي وبعدها لا يساوي صفرًا، تشير الفرضية الصفرية إلى أن هذا الفارق يساوي صفرًا، ومن هنا جاءت تسميتها بالفرضية الصفرية. تكمن أهمية الفرضية الصفرية في قدرتها على تجاوز القصور في الفرضية البديلة من حيث الدقة وقابلية الاختبار. فمن جهة، تمتاز الفرضية الصفرية بأنها فرضية دقيقة، ودلالة ذلك أن التنبّؤات المبنية عليها دقيقة، فهي تشير إلى أنّ نتيجة التجربة ستكشف عن عدم وجود علاقة بين رياضة المشي وانخفاض وزن الجسم، ومن جهة أخرى، تمتاز الفرضية الصفرية بقابلية الاختبار بشكل مباشر، إذ يكفي أن

تأتي نتيجة التجربة مكذِّبة لها كي يكون في وسعنا رفضها، وبالتالي، القبول بصحة الفرضية البديلة بشكل غير مباشر.

ثالثًا، نظرًا إلى أن الفرضية تشير إلى متغيّرين، رياضة المشي ووزن الجسم، ينبغي ضبط هذين المتغيرين من حيث تحديد مستوى القياس المطلوب لكل منهما. تعقد الفرضية أيضًا علاقة عِلّية بين هذين المتغيّرين، ولهذا ينبغي ضمان استبعاد أي متغيرات أخرى قد تساهم في التأثير في العلاقة بينهما. كما سنرى لاحقًا من خلال هذا الفصل، هناك متغيّرات معلومة قبل إجراء التجربة، وهذه يمكن تحييد مفعولها من خلال ضبط العيّنة قيد الاختبار، كما أن هناك متغيرات مجهولة قبل إجراء التجربة، وتساهم المعاينة العشوائية في تقليل أثرها في العلاقة العلّية بين المتغيّرين قيد التجربة.

رابعًا، نظرًا إلى أنّ المتغيّرين قيد التجربة متغّيران كمّيّان بحيث يُمكن تعيين عدد محدد لكل منهما، يتطلّب تصميم تجربة للتحقق من صحة الفرضية أدوات إحصائية لعرض نتائج التجربة وتحليلها وتفسيرها. كما سنرى لاحقًا، يلعب علم الإحصاء دورًا مهمًّا في تحليل نتائج التجربة العلمية وتفسيرها، وبخاصة حين تشير الفرضية العلمية إلى علاقة إحصائية بين متغيّرين أو أكثر.

أخيرًا، كل تجربة علمية هي في صميمها نموذج يحاكي الواقع، وبفضل هذه المحاكاة نستطيع أن نستدلّ على ما يحدث في بيئة طبيعية (الواقع) من خلال مراقبة ما يحدث في بيئة اصطناعية (النموذج). لكنّ النموذج -مع ذلك- ليس بديلًا من الواقع،

ذلك أن المحاكاة نسبية، وكلما ازداد مقدار ضبط التجربة العلمية من حيث التصميم والإجراء، ازدادت درجة المحاكاة من دون أن تصل إلى درجة مطلقة. في مثالنا هذا، يكمن النموذج في اختيارنا لعيّنة تحاكي في صفات أفرادها صفات أفراد المجموعة بأكملها، كما يكمن النموذج أيضًا في تحكّمنا في مقدار المؤثر (رياضة المشي) لرصد مقدار النتيجة (وزن الجسم). لا تقتصر محاكاة الواقع على أخذ عيّنة تجريبية. فعلى سبيل المثال، لو كان سؤال البحث يدور حول ما إذا كان سوء الأحوال الجوية يقف وراء حادث سقوط إحدى الطائرات، فإن تصميم تجربة بهذا الشأن يأخذ بعين الاعتبار خلق بيئة اصطناعية تحاكي في ظروفها الظروف المصاحبة لوقوع الحادث، وهذا ما تتيحه تقنية الحاسوب في عصرنا الحديث. قد تشير إحدى الفرضيات عن حادث الطائرة إلى شدة الرياح ودرجة التآكل المعدني لجسم الطائرة بوصفهما عاملين ساهما معًا في إحداث فجوة كبيرة في جسم الطائرة، وفي هذه الحالة قد يُستعان بالنموذج لعزل هذين العاملين واختبار مدى تأثيرهما في جسم الطائرة.

بعد أن ألقينا نظرة عامة على بعض متطلّبات الانتقال من الفرضية إلى التجربة، ننتقل الآن إلى الحديث عمّا يتخلّل هذه المتطلّبات من تفاصيل، وسنبدأ أولًا بضبط المتغيّرات (المبحث 2.4)، ثم نستعرض بعض المفاهيم والأدوات الإحصائية (المبحث 3.4)، ثم ننتقل إلى تحليل نتائج التجربة العلمية وتفسيرها (المبحث

4.4). أخيرًا، سنختتم هذا الفصل بالحديث حول أهم مظاهر دور التجربة من حيث علاقتها بالمعرفة العلمية (المبحث 5.4).

4. 2. ضبط المتغيّرات

في الفصل الأول (المبحث 6.1)، أشرنا إلى التجربة العلمية بوصفها عملية ضبط متغيّرات لكل منها علاقة بتخمين علمي (فرضية) حول معطيات محددة لما يجري في الواقع، وفي الفصل الثالث (المبحث 3.3) توقفنا عند مفهوم «المتغير» بوصفه مفهومًا رياضيًّا. نريد هنا التوسّع قليلًا في الحديث عن هذا المفهوم قبل الانتقال إلى تبيان علاقته بالتجربة العلمية.

يُعبَّر عن المتغير الرياضي برمز يشير إلى أي قيمة ضمن مجموعة محددة من القيم. فعلى سبيل المثال، يتألف التعبير الرياضي 6 س من قيمة ثابتة، وهي العدد 6، وقيمة متغيّرة، وهي الرمز س. حين نضع هذا التعبير الرياضي ضمن معادلة رياضية، ولتكن 6 س = 12، فإن س في هذه الحالة تشير إلى عدد مجهول، لكنها لا تشير إلى متغيّر، ذلك أن لها قيمة محددة ويمكن حسابها بالطريقة المعهودة لنحصل على قيمة تساوي 2. من جهة أخرى، حين نضع التعبير الرياضي 6 س ضمن معادلة رياضية على النحو التالي: 6 س = ص، فإننا في هذه الحالة أمام متغيّرين، أحدهما متغيّر مستقلّ، والآخر متغيِّر تابع، بحيث تعتمد قيمة المتغيّر التابع على قيمة المتغيّر المستقلّ. مثلًا، إذا كانت س ترمز إلى متغيّر مستقلّ، فإنّ أي قيمة تتخذها

ضمن المعادلة السابقة من شأنها تحديد قيمة المتغيّر التابع ص، فلو كانت س = 3، فإن ص = 18، ولو كانت س = 5، فإن ص = 30، وهكذا دواليك. لاحظ أن ليس من الضروري أن تكون س هي المتغير المستقل وأن تكون ص هي المتغير التابع، فالعكس أيضًا ممكن، ذلك أنّ ما هو جوهري في التعبير الرياضي 6 س = ص، هو أن نسبة ص إلى س (أو $\frac{ص}{س}$) تساوي دائمًا قيمة ثابتة، وهي 6 في هذا المثال.

لو تأمّلنا قانون بويل، مثلًا، فسنجد أيضًا علاقة بين متغيرين يحكمهما مقدار ثابت. يصف هذا القانون طبيعة العلاقة بين ضغط غاز ما وحجمه. بحسب قانون بويل: عند ثبات درجة الحرارة، حاصل ضرب ضغط الغاز في حجمه يساوي مقدارًا ثابتًا. لو أشرنا إلى ضغط الغاز بواسطة الرمز ض، وأشرنا إلى مقدار حجم الغاز بواسطة الرمز ح، وأشرنا إلى المقدار الثابت بواسطة الرمز ث، فإن القانون يشير إلى المعادلة التالية: ض X ح = ث. إذا ازداد ضغط الغاز، قلّ حجمه، وإذا ازداد حجم الغاز، قلّ ضغطه. بمعنى آخر، نحن أمام متغيّرين، حين يلعب أحدهما دور المتغير المستقل، يلعب الآخر دور المتغيّر التابع، بحيث تكون العلاقة بينهما علاقة عكسية ومساوية في مقدار حاصل ضرب طرفيها لمقدار ثابت.

حين نجري تجربة للتحقق من قانون بويل، فإننا نصبّ اهتمامنا على متغيرين (الضغط والحجم)، وهذا يستدعي ضرورة استبعاد أي تأثير لمتغيرات أخرى على معطيات التجربة. تسمى هذه المتغيّرات

الأخرى وسائط وينبغي تثبيت مقاديرها لاستبعاد تأثيرها في مقادير المتغيرات موضع اهتمام التجربة. لهذا، حين نعزل غازًا معينًا، فإننا نأخذ منه عيّنة محددة لتدوين مقادير ضغط الغاز وحجمه تحت درجة حرارة ثابتة، وبذلك نستبعد تأثير التغير في مقدار الحرارة في نتيجة التجربة. في ميدان العلوم الطبيعية مثل الفيزياء والكيمياء، عدد الوسائط التي ينبغي تثبيتها لاستبعاد تأثيرها في نتيجة التجربة أقلّ بكثير من عددها في العلوم الأخرى كعلم الأحياء أو في سائر العلوم الاجتماعية والإنسانية، وهنا يكمن أحد أسباب التفاوت الكبير بين النتائج الباهرة لاستخدام التجربة العلمية في العلوم الفيزيائية والنتائج المتواضعة لاستخدامها في العلوم الإنسانية.

بحسب قانون بويل، لسنا في واقع الأمر أمام علاقة بين عِلّة ومعلول، فالتأثير بين الضغط والحجم -كما رأينا- تأثير متبادل، ولهذا فإنّ العلاقة بينهما علاقة تناظرية. حين تكون العلاقة بين متغيّرين علاقة من طرف واحد، أي علاقة لاتناظرية، بحيث يؤثر المتغيّر المستقل في المتغيّر التابع، نكون أمام علاقة عِلّية يقوم من خلالها المتغيّر المستقل بدور العِلّة (أو المؤثر)، ويقوم المتغير التابع بدور المعلول (أو النتيجة). تهدف أغلب التجارب العلمية إلى محاولة التحقق من وجود هذه العلاقة العلّية اللّاتناظرية بين متغّيرين، مثلًا، حين نجري تجربة على تأثير الأكسجين في الحديد، أو تأثير التدخين في صحة الإنسان، أو تأثير الإدمان على وسائل التواصل الاجتماعي في التحصيل الدراسي عند المراهقين، فإننا في

كل مثال من هذه الأمثلة أمام متغيّر مستقلّ يقوم بدور العِلّة أو المؤثر (الأكسجين، التدخين، الإدمان) ومتغيّر تابع يقوم بدور المعلول أو النتيجة (الحديد، الصحة، التحصيل الدراسي)، والهدف من التجربة هو التحقق من وجود هذه العلاقة العِلّية.

إنّ هذا التحقق من وجود علاقة عِليّة يحتاج بدوره إلى ضبطٍ من دونه لا نستطيع الزعم بأن نتيجة التجربة تشير إلى تأثير المتغيّر المستقل في المتغّير التابع، إذ قد يأتي التأثير من متغيّرات أخرى، وهذا الاحتمال هو جوهر الفرضية الصفرية. لهذا فإنّ السؤال الجوهري عند تصميم تجربة علمية: إلى أي درجة في وسعنا الزعم أنّ ما يقف خلف نتيجة التجربة يقتصر فقط على المؤّثر الذي تقترحه الفرضية البديلة؟ هذا السؤال -كما نلاحظ- نسبيّ، ذلك أننا لا نستطيع التيقّن من أنّ المؤثّر المقترح هو وحده المسؤول عن نتيجة التجربة، فالمؤثر متغّير من ضمن متغيّرات أخرى، بعضها معلوم وأكثرها مجهول، ولهذا يتعذّر حصرها بشكل تام. هنا يأتي دور عملية ضبط المتغيّرات، لا من أجل الجزم بوجود علاقة عِلّية بين مؤثر ونتيجة، بل من أجل الإسهام في ضمان الظروف الموضوعية اللازمة لجعل الجزم بعدم وجود مثل هذه العلاقة أقلّ احتمالًا.

حين تُجرى تجربة لفحص مدى فعالية دواء جديد في مكافحة أحد الأمراض، تقوم المعاينة عادة على تقسيم عيّنة المرضى المصابين بالمرض إلى مجموعتين: مجموعة تجريبية ومجموعة ضابطة. يُقدّم الدواء الجديد إلى أفراد المجموعة التجريبية، في حين يُقدّم دواء

وهمي لا مفعول له إلى أفراد المجموعة الضابطة. لكن لا يكفي هذا الإجراء لضمان موضوعية التجربة، فإلى جانب المتغيّر المستقل (تناول الدواء)، هناك أيضًا متغيّرات أخرى ينبغي ضبطها قبل إجراء التجربة. لنفترض -مثلًا- أن تجربة الدواء الجديد أُجريت برعاية إحدى الشركات المصنِّعة لهذا الدواء، وعند عمليّة فرز المرضى إلى مجموعتين، احتوت المجموعة التجريبية على نسبة كبيرة ممّن هم دون سن الثلاثين، في حين ضمّت المجموعة الضابطة نسبة كبيرة ممّن تجاوزوا سن السبعين. يبدو واضحًا هنا انحياز القائمين على التجربة إلى مصلحة الشركة الراعية في محاولة منهم لإثبات فعالية الدواء الجديد.

لتفادي مثل هذا التحيّز في التعامل مع عيّنة التجربة، ينبغي ضبط متغيّرات معلومة يُخشى تأثيرها في نتيجة التجربة، مثل عمر المريض، أو نوع جنسه، أو مستوى حالته الصحية، أو غيرها من متغيّرات. حين يكون عدد المرضى الخاضعين للتجربة قليلًا، يسهل ضبط المعاينة بواسطة إجراء مطابقة بين أفراد المجموعة التجريبية وأفراد المجموعة الضابطة من حيث مقدار العمر ونوع الجنس وغيرهما. في المقابل، حين يكون عدد المرضى الخاضعين للتجربة كبيرًا، يُستعاض عن المطابقة بين فرد وآخر في كل مجموعة بأدوات إحصائية تستهدف الصفات العامة لكل مجموعة، كمثل ضمان اشتراك المجموعتين في معدّل متقارب من حيث العمر ونوع الجنس وغيرهما. في كلتا الطريقتين، المطابقة الفردية والتمثيل الإحصائي،

تهدف عملية الضبط إلى عزل المتغيّر المستقلّ (الدواء الجديد) عن المتغيّرات الأخرى لفحص تأثيره في المتغيّر التابع (الحالة الصحية للمرضى).

إلى جانب المتغيّرات المعلومة قبل إجراء التجربة، هناك أيضًا متغيّرات مجهولة وقد تؤثّر كذلك في نتيجة التجربة العلمية. لتوضيح هذه النقطة، لنعد إلى مثالنا السابق. حين تُجرى المطابقة بين أفراد المجموعة التجريبية والمجموعة الضابطة، نكون بذلك قد استبعدنا (أو قلّصنا من) التأثير المحتمل لمتغيرات معلومة كعمر المريض ونوع جنسه وحالته الصحية وغيرها، لكننا لا نستطيع الزعم مع ذلك أنْ لا وجود لأي اختلاف بين أفراد المجموعتين عدا اختلافهم من حيث المتغيّر المستقل، وهو في مثالنا هذا يشير إلى تناول الدواء الجديد. قد تكون هناك اختلافات مجهولة بين أفراد المجموعتين، وقد يلعب أيٌّ من هذه الاختلافات دور المتغيّر المستقل فيؤثر في نتيجة التجربة. لتقليص تأثير مثل هذه المتغيّرات المجهولة، يُلجأ عادة إلى المعاينة العشوائية عند فرز أفراد العيّنة إلى المجموعة التجريبية والمجموعة الضابطة، وبفضل تقنية الحاسوب، يمكن فرز كل فرد إلى إحدى المجموعتين، بحيث لا يعلم الخاضعون للتجربة ولا القائمون عليها إلى أي مجموعة سينتمي كل فرد من أفراد العيّنة. بهذه الطريقة نكون قد قمنا بتوزيع المتغيّرات المجهولة (إن وُجدت) بطريقة عشوائية بين المجموعتين، وبالتالي، نكون قد استبعدنا (أو قلَّصنا من) تأثيرها في نتيجة التجربة.

4 . 3 . مفاهيم إحصائية

يتيح علم الإحصاء -كما ذكرنا- أدوات نستطيع من خلالها ضبط متغيِّرات التجربة، لكنّ الدور الأكبر لهذا العلم في تصميم التجربة العلمية يتعلّق بما يتيحه من أدوات لتحليل نتائج التجربة وتفسيرها. سنتوقف هنا عند بعض المفاهيم الإحصائية على سبيل التمهيد وقبل الانتقال إلى تبيان دور علم الإحصاء في تحليل نتائج التجربة العلمية وتفسيرها.

حين نكون أمام مجموعة من البيانات العددية، فإنّ أهم سؤالين من الناحية الإحصائية: (1) ما قيمة العدد الذي من شأنه تمثيل كل أعداد المجموعة؟ و(2) إلى أي مدى تنتشر هذه البيانات من حيث المسافة فيما بينها ومن حيث مسافة كلّ منها عن ذلك العدد الذي يمثّلها جميعًا؟ بينما تكمن الإجابة على السؤال الأول في العثور على قيمة كمية لتمركز البيانات، تكمن الإجابة على السؤال الثاني في العثور على قيمة كمية لانتشار البيانات. سنتوقف عند كلا السؤالين تباعًا فيما يلي.

لنفترض أننا أمام مجموعة البيانات العددية التالية:

3 6 9 9 11 12 13

ما قيمة العدد الذي يمثّل كل أعداد هذه المجموعة؟ بمعنى آخر، كيف نقيس النزعة المركزية لهذه المجموعة من البيانات العددية؟ يستخدم الإحصائيون ثلاثة مقاييس لقياس هذه النزعة

المركزية: المنوال، والوسيط، والمتوسط الحسابي (أو المعدّل)[1]. يشير **المنوال** إلى أكثر أعداد المجموعة تكرارًا، وبالنظر إلى المجموعة أعلاه، فقيمة المنوال تساوي 9. أمّا **الوسيط** فهو العدد الذي يتوسّط المجموعة، وبالنظر إلى المجموعة أعلاه، يبدو واضحًا أن العدد 9 يقع في وسط المجموعة بحيث توجد ثلاثة أعداد على يساره وثلاثة أعداد على يمينه[2]. لهذا، فقيمة الوسيط لهذه المجموعة تساوي 9. أخيرًا، يُحسب **المتوسط** الحسابي بواسطة المعادلة التالية:

$$\mu = \frac{\Sigma x_i}{n}$$

يرمز الحرف الإغريقي μ «ميو» إلى المتوسط الحسابي، ويشير المتغيّر x_i إلى كل قيمة عددية في المجموعة، ويشير n إلى عدد القيم الإجمالي للمجموعة. أما الحرف الإغريقي في صورته الكبرى Σ «سيغما»، فقد سبق أن تطرّقنا إليه في الفصل الثالث بوصفه دالة جمع ثنائية تكرارية، ووظيفته هنا هي جمع كل قيم البيانات في المجموعة. إذا نظرنا إلى مجموعة البيانات العددية أعلاه كمثال على حساب المتوسط الحسابي، فإن البسط في المعادلة يشير إلى مجموع قيم البيانات العددية، ويساوي 63، في حين أنّ المقام يشير إلى عدد القيم الإجمالي للمجموعة، ويساوي 7، وبالتالي، فقيمة المتوسط الحسابي μ تساوي 9. نظرًا إلى أن المنوال = الوسيط = المتوسط في مثالنا هذا، يوصف توزيع البيانات بأنه توزيع طبيعي، وسنتوقف عند هذا المفهوم لاحقًا.

بماذا تفيد معرفة مقدار المتوسط الحسابي؟ إلى جانب أهميته في حساب مقادير إحصائية أخرى، يتيح حساب المتوسط الحسابي لأي مجموعة التعرّف على الطبيعة العامة للمنتمين إليها من خلال التعرّف على بعدهم عن أو قربهم من النزعة المركزية في المجموعة. فعلى سبيل المثال، في هولندا يبلغ المتوسط الحسابي لطول الذكور في عمر 19 سنة ما يقارب 184 سم، في حين أنّ متوسط الطول لنفس الفئة في اليمن يعادل 164 سم. في ظل إحاطتنا بالمعدّل الحسابي لكل من هاتين الإحصائيتين، إذا رأينا شابًّا هولنديًّا في عمر التاسعة عشرة ويبلغ طوله 174 سم فإننا لن نعتبره طويل القامة، في حين أن شابًّا يمنيًّا من الفئة العمرية نفسها وبمقدار الطول نفسه سيكون بالنسبة إلينا مفرطًا في طول القامة. بالمثل، حين يحصل ابنك على درجة 90 من 100 في اختبار ما، فإن ردّ فعلك على هذه النتيجة ينبغي أن يكون خاضعًا لشرط معرفتك بالمتوسط الحسابي لنتائج جميع الطلاب في الاختبار، إذا كان المتوسط يساوي 80، فإن من الواضح أن ابنك طالب استثنائي في تفوّقه، وأمّا إذا كان المتوسط هو 96، فلا يبدو أن هناك معنى للاحتفال! الأهم من ذلك كلّه، يتيح حساب المتوسط الحسابي أيضًا التنبؤ أو التخطيط للمستقبل؛ معرفة المتوسط الحسابي لانتشار عدوى مرضية خلال فترة زمنية محددة من شأنه المساعدة على التنبؤ بعدد الذين سيصابون بهذه العدوى خلال فترة زمنية لاحقة، كما أن الإحصاءات التي تحتوي على المتوسط الحسابي لعدد المواليد وعدد الوفيات ودخل الفرد وغيرها تساهم في رسم

سياسات مستقبلية للتعليم والإسكان والاقتصاد وغيرها من فضاءات سكانية.

لكن إلى أي مدى من الدقة يعبّر المتوسط الحسابي عن النزعة المركزية لمجموعة من البيانات؟ بمعنى آخر، متى نستطيع أن نثق بقدرة المتوسط الحسابي على أن يعكس الطبيعة العامة لسائر أعضاء المجموعة؟ لنقارن بين هاتين المجموعتين من البيانات:

7	5	3	1	−1	−3	−5
28	0	−3	−4	−4	−5	−5

تشترك المجموعتان في قيمة المتوسط الحسابي (المتوسط = 1 في الحالتين)، ومع ذلك تختلف المجموعتان من حيث انتشار بيانات كلّ منهما، فتوزيع البيانات في المجموعة الأولى ذو تباين ضئيل ونزعة منتظمة، في حين أنّ التوزيع في المجموعة الأخرى ذو تباين ملحوظ ونزعة شاذة إيجابيًّا (أي منحرفة في اتجاه يمين المتوسط). هنا تكمن أهمية قياس التباين في توزيع البيانات بوصفه مؤشرًا على مدى دقة المتوسط الحسابي في التعبير عن النزعة المركزية لتلك البيانات. لهذه الحقيقة الإحصائية تبعات لا تقلّ أهمية، ولعلّ من المناسب هنا أن نورد ما كتبه تشارلز ويلان عن هذه النقطة[3]:

> «من الواضح أن المتوسط الحسابي غالبًا ما يحتوي على بعض المشكلات، وهي أنه عرضة للتشويه بسبب «القيم المتطرفة»، وهي بيانات تكون بعيدة عن المركز. لتوضيح

هذا المفهوم، تخيل أن هناك عشرة أشخاص من الطبقة المتوسطة جالسين على مقاعد في حانة في مدينة سياتل، يتقاضى كل واحد من هؤلاء الأشخاص دخلًا سنويًّا بمقدار 35 ألف دولار، وهذا يعني أنّ متوسط الدخل السنوي للمجموعة يساوي أيضًا 35 ألف دولار. لنفترض أن بيل غيتس دخل الحانة وعلى كتفه ببغاء (ليس للببغاء علاقة بالمثال، لكنه يضيف بعض المرح). لنفترض أيضًا أن الدخل السنوي لبيل غيتس هو مليار دولار. حين يجلس بيل على المقعد الحادي عشر، يرتفع متوسط الدخل السنوي لرواد الحانة إلى حوالي 91 مليون دولار. من الواضح أن أيًّا من الأشخاص العشرة الأصليين لم يصبح أكثر ثراءً... إذا كنتُ سأصف رواد هذه الحانة بأن لديهم متوسط دخل يبلغ 91 مليون دولار في السنة، فإن هذا الوصف سيكون صحيحًا من الناحية الإحصائية، لكنه مع ذلك مضلِّل بشكل كبير. هذه ليست حانة يتردد عليها أصحاب الملايين، إنها حانة يجلس فيها مجموعة من الأشخاص ذوي الدخل المحدود نسبيًّا إلى جانب بيل غيتس وببغائه...».

كيف نقيس مدى انتشار البيانات لأي مجموعة؟ هناك عدّة مقاييس ممكنة، منها المدى والتباين والانحراف المعياري. يشير **المدى** إلى أبسط مقياس لحجم انتشار البيانات، وتُحسب قيمته

بواسطة طرح أدنى قيمة عددية في المجموعة من أعلى قيمة عددية، وبالنظر إلى المجموعتين أعلاه، فإن قيمة مدى المجموعة الأولى هي حاصل طرح 5- من 7، وتساوي 12، في حين أن مدى المجموعة الأخرى يساوي 33. هذا يعني أن مدى انتشار بيانات المجموعة الثانية يقارب ثلاثة أضعاف مدى انتشار بيانات المجموعة الأولى. أمّا **التباين** فيرمز إليه بالرمز σ^2، وأما **الانحراف المعياري** فيرمز إليه بالرمز σ، وكلاهما يعبّر عن وصف كمّي للتشتّت أو الانتشار في مجموعة من القيم (أو البيانات) حول المتوسط الحسابي، بحيث تقلّ قيمة التشتّت بالقدر الذي تكون فيه تلك القيم قريبة من المتوسط الحسابي، وتزداد قيمته بالقدر الذي تكون تلك القيم بعيدة عنه. لكن كيف نترجم كلًّا من هذين المفهومين إلى قيمة كمية محددة؟

لنعد إلى المجموعة الأولى من البيانات العددية لاستخدامها كمثال على طريقة تحديد كلٍّ من التباين والانحراف المعياري:

$$-5 \quad -3 \quad -1 \quad 1 \quad 3 \quad 5 \quad 7$$

قيمة المتوسط الحسابي لهذه المجموعة كما ذكرنا تساوي 1، ونريد أن نقول الآن إنّ مقدار التباين بين كل قيمة عددية والمتوسط الحسابي يساوي مقدار مربّع المسافة بينهما. لكن لماذا يكون مقدار التباين هو مقدار مربع المسافة بدلًا من المسافة بشكل مباشر؟ لنفترض أننا جعلنا مقدار التباين بمقدار المسافة بشكل مباشر، ولنحسب الآن كم تبعد كل قيمة عددية عن المتوسط الحسابي. في وسعنا طرح كل عدد في المجموعة من المتوسط الحسابي:

$$-5 - 1 = -6$$

$$-3 - 1 = -4$$

$$-1 - 1 = -2$$

$$1 - 1 = 0$$

$$3 - 1 = 2$$

$$5 - 1 = 4$$

$$7 - 1 = 6$$

لحساب مقدار التباين لأعداد المجموعة كافة، يتعين حساب متوسط هذه الفوارق مجتمعة. هذا يعني أننا نريد حساب حاصل جمع كل هذه الفوارق ثم قسمة النتيجة على عدد القيم الإجمالي للمجموعة. لكن حاصل جمع هذه الفوارق يساوي 0، فقيمة الفوارق على يسار المتوسط الحسابي ستلغي قيمة الفوارق على يمينه. هنا يكمن السبب في ضرورة تحديد مقدار التباين بمقدار مربّع المسافة، فالتباين هو معدّل مربّع المسافة بين كل قيمة عددية والمتوسط الحسابي. لنحسب الآن مقدار التباين في البيانات العددية للمجموعة أعلاه بحسب المعادلة التالية:

$$\sigma^2 = \frac{\Sigma(x_i - \mu)^2}{n}$$

$$\sigma^2 = \frac{(-6)^2 + (-4)^2 + (-2)^2 + (0)^2 + (2)^2 + (4)^2 + (6)^2}{7}$$

$$\sigma^2 = 16$$

أما مقدار الانحراف المعياري σ فليس سوى الجذر التربيعي لمقدار التباين بحسب المعادلة التالية:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\Sigma(x_i - \mu)^2}{n}}$$

$$\sigma = 4$$

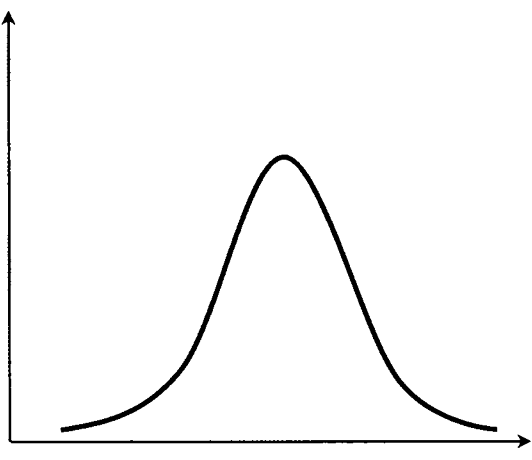
قبل أن نتساءل حول معنى هذه النتيجة، ينبغي أن نتوقف عند قيمة المقام والتي تساوي n. يستند مثالنا هذا إلى أن مجموعة البيانات العددية مجموعة كليّة وليست مجرّد عينة. لكن التعامل مع عيّنة بدلًا من مجموعة من جهة، وجهلنا بمقادير إحصائية تتعلق بالمجموعة الكلية من جهة أخرى، هما السائدان في واقع الأمر، وحين يكون الأمر كذلك، ينبغي أن تكون القسمة على $n - 1$ بدلًا من n بوصفه قيمة المقام في كل من معادلة التباين ومعادلة الانحراف المعياري[4]. من جانب آخر، يشير التعبير الرياضي $n - 1$ إلى ما يعرف بدرجة الحرية، ويرمز إلى هذه الدرجة بالرمز DF. يعبّر مصطلح «درجة الحرية» عن مفهوم إحصائي يفيد بعدد المعلومات المستقلة واللازمة لحساب قيمة محددة. حين نجري قرعة بواسطة إلقاء عملة معدنية، فإنّ ما نعلمه مسبّقًا هو وجود احتمالين فقط لنتيجة القرعة: إمّا شعار وإما كتابة. لمعرفة نتيجة القرعة، يكفي أن نعرف النتيجة السلبية لأحد الاحتمالين: مثلًا، إذا لم تكن النتيجة كتابة، فإنها حتمًا شعار، والعكس صحيح. هذا يعني أن درجة الحرية تساوي ١، لأننا سنحتاج في هذه الحالة إلى معلومة واحدة

فقط للاستدلال على النتيجة. بالمثل، حين نرمي قطعة نرد، فإننا نعلم مسبّقًا بوجود 6 احتمالات فقط للنتيجة: إما 1، أو 2، أو 3، أو 4، أو 5، أو 6. لو ألقيت قطعة النرد من دون أن أتيح لك معرفة النتيجة، فإنّك ستحتاج إلى 5 معلومات مستقلة كي تستدل على النتيجة. فعلى سبيل المثال، لو كنت تجهل أن قطعة النرد أسفرت بعد رميها عن العدد 4، فإنك تستطيع الاستدلال على هذه النتيجة إذا توافرت لديك المعلومات الخمس التالية: لم تكن النتيجة 1، ولم تكن النتيجة 2، ولم تكن النتيجة 3، ولم تكن النتيجة 5، ولم تكن النتيجة 6. هذا يعني، بحسب التعريف، أن درجة الحرية عند رمي قطعة النرد تساوي 5. بشكل عام، حين يساوي عدد الاحتمالات المستقلة n، فإن $n - 1$ هي درجة الحرية[5].

لنعد الآن إلى نتيجة الانحراف المعياري في مثالنا السابق: ماذا نفهم، مثلًا، من أنّ مقدار الانحراف المعياري في مجموعة البيانات يساوي 4؟ إذا كانت البيانات العددية في هذه المجموعة خاضعة لتوزيع طبيعي، فإنّ أغلب هذه البيانات تقع ضمن نطاق يمتدّ من حدّ أدنى بمقدار 3- إلى حدّ أعلى بمقدار 5. كما نلاحظ هنا، أن قيمة الحدّ الأدنى هي حاصل طرح قيمة الانحراف المعياري من قيمة المتوسط الحسابي (1 − 4 = 3-)، في حين أن قيمة الحدّ الأعلى هي حاصل جمع قيمة المتوسط وقيمة الانحراف (1 + 4 = 5). يُسمّى هذا النطاق «مستوى سيغما الأول»، ويعادل انحراف معياري واحد على يسار المتوسط وانحراف معياري واحد على

يمينه. هنا تكمن أهمية حساب الانحراف المعياري بوصفه وصفًا كميًّا لمدى انتشار البيانات في مجموعة، فبفضله نستطيع تحديد أين تقع معظم البيانات ضمن توزيعها حول المتوسط، وهذه نقطة إحصائية جوهرية بالنسبة إلى إجراء التجربة العلمية كما سنرى لاحقًا.

أشرنا فورًا إلى افتراض أن البيانات العددية في المجموعة خاضعة لـ«توزيع طبيعي»، لكن ماذا نعني بمفهوم «التوزيع الطبيعي»؟ وما علاقته بالانحراف المعياري؟ لو أخذت عيّنة عشوائية من الطلّاب في إحدى المدارس لتقيس ثلاثة متغّيرات عند كل طالب: طول القامة، وضغط الدم، والمعدّل الدراسي، ثم وضعت كل النتائج المتعلقة بكل متغيِّر في جدول ورسمت منحنى لكل جدول، فإنك على الأرجح ستلاحظ أن جميع المنحنيات الثلاثة تشترك في الشكل التالي:



نظرًا إلى أن شكل المنحنى هذا هو الشكل المعتاد الذي يعبّر عن مثل هذه المقاييس وغيرها كثير، يُعرف هذا المنحنى باسم «المنحنى الطبيعي»، وتوزيعه لقيم كل متغيّر من المتغيرات الثلاثة بهذا الشكل يسمى «التوزيع الطبيعي» لقيم المتغيّر. بطبيعة الحال، هناك فرق جوهري بين البيانات التي جمعتها حول أي متغيّر وشكل هذا المنحنى، فالبيانات مجرّد قيم محددة على شكل نقاط منفصلة الواحدة عن الأخرى، في حين أن المنحنى خط متّصل ويضم عددًا لامتناهيًا من النقاط. نحن -إذًا- أمام منحنى ذي شكل مثالي يتجاوز معطيات الواقع، لكن هذا التجاوز مشروع حين يكون الهدف مرتبطًا بتطويع معطيات الواقع إلى لغة الرياضيات، وبخاصة حين نتعامل مع فرع من فروع الرياضيات التطبيقية كعلم الإحصاء.

لو تأمّلنا المنحنى الطبيعي أعلاه، فسنلاحظ أنه يشبه الناقوس من حيث الشكل، فهناك تماثل بحيث لو رسمنا خطًّا طوليًّا يمرّ بقمّته ليقسمه إلى نصفين، فستكون المساحة تحت المنحنى في جهة متساوية مع المساحة في الجهة الأخرى، وعلى هذا الخط الطولي الذي يقسم المساحتين بالتساوي يقع المتوسط الحسابي لكل قيم المتغيّر. سنلاحظ أيضًا أنّ له قمّة واحدة فقط، وهذا يعني أن هناك قيمة محددة للمتغيّر تكرّرت أكثر من غيرها، فمثلًا، لو كانت هذه القيمة تشير إلى طول قامة بمقدار 169 سم، فإنّ عدد الأشخاص الذين يشتركون في هذا المقدار من طول القامة ضمن المجموعة

التي أُخذت منها العينة أكبر من عدد الأشخاص الذين يشتركون في أي مقدار آخر لطول القامة. هذا هو «المنوال» كما أشرنا إليه سابقًا، وهو قيمة تتردّد أكثر من غيرها ضمن مجموعة محددة من القيم. فعلى سبيل المثال، المنوال يساوي 169 في مجموعة البيانات التالية:

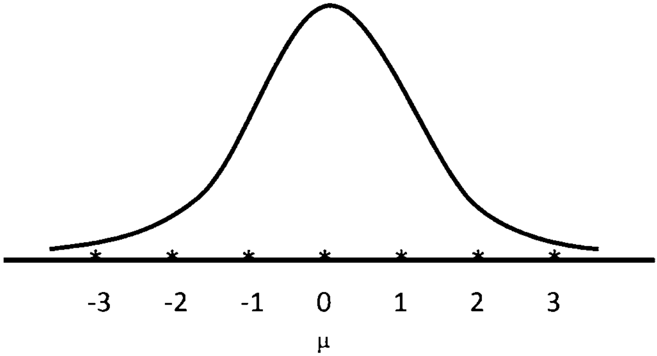
163 168 169 169 170 172 173

في هذا المثال أيضًا، يشترك كلٌّ من الوسيط والمتوسط الحسابي مع المنوال في القيمة نفسها (= 169)، وبذلك نصل إلى التعميم التالي: حين يخضع أي متغيّر لتوزيع طبيعي، فإنّ المتوسّط = الوسيط = المنوال. هذه نتيجة متوقعة حين نتذكّر أنّ المنحنى الطبيعي ذو شكل متماثل، وبالتالي، فكل قيمة تقع على مركزه تعبّر عن هذا التماثل.

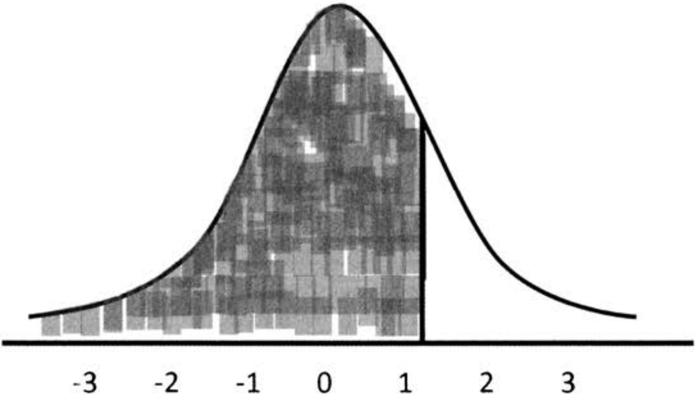
لو تأمّلنا من جديد المنحنى الطبيعي أعلاه، فسنلاحظ أنّ طرفيْه ممتدّان إلى ما لا نهاية، ويسمى كل منهما ذيل المنحنى. لو افترضنا أن هذا المنحنى الطبيعي يصف البيانات المتعلقة بمتغيّر محدد في عينة عشوائية، وليكن هذا المتغيّر طول القامة لكل فرد من أفراد العيّنة، فإنّ في وسعنا الحصول على قدر لا بأس به من المعلومات حول طبيعة هذه البيانات بمجرَّد النظر إلى شكل المنحنى، مثلًا، يبدو واضحًا أن الاعتدال في طول القامة يتمركز تحت قمة المنحنى وهو السائد بين أفراد العينة، في حين تمثّل القيم المتطرفة في طول القامة

وقصرها أقلّيّة تقع تحت ذيلِي المنحنى. بمعنى آخر أكثر تحديدًا، يمثّل المنحنى الطبيعي منحنى كثافة (أي إن المحور العمودي يشير إلى دالة كثافة الاحتمال)، وهذا يعني أن مقدار المساحة الكلية في أسفله تمتدّ من 0 إلى 1، وهذا بالضبط هو مقياس الاحتمال، لهذا، تشير المساحة أسفل المنحنى إلى احتمال العثور على قيمة محددة للمتغيّر (طول القامة) ضمن نطاق معيّن من القيم، وفي مثالنا هذا، فإن فرصة العثور على شخص معتدل القامة ضمن المجموعة التي أُخذت منها العينة لها درجة احتمال تفوق درجة احتمال العثور على شخص مفرط في طول قامته أو قصرها.

للتمكين من حساب درجة الاحتمال بدقة، لا بدّ من تحويل التوزيع الطبيعي إلى توزيع طبيعي معياري. يشير مفهوم «التوزيع الطبيعي المعياري» إلى حالة خاصة من التوزيع الطبيعي، بمعنى أنّ كل توزيع طبيعي معياري هو بالضرورة توزيع طبيعي، في حين أنّ العكس غير صحيح. يبدو هذا واضحًا حين نلاحظ أن الاختلاف بين المفهومين لا يكمن في وصف التوزيع بأنه «طبيعي»، بل بوصفه بأنه «معياري». تختلف التوزيعات الطبيعية من حيث مقدار المتوسط الحسابي ومقدار الانحراف المعياري لكل توزيع، وأما التوزيع الطبيعي المعياري فيتّخذ قيمة ثابتة لكلٍّ من هذين المقدارين بحيث يكون معيارًا لأي توزيع طبيعي آخر، فمقدار المتوسط الحسابي في التوزيع الطبيعي المعياري يساوي صفرًا ($\mu = 0$)، ومقدار انحرافه المعياري يساوي واحدًا ($\sigma = 1$)، بهذا الشكل:



تحتلّ قيمة 0 مركز المنحنى، وهي قيمة المتوسط الحسابي لأي توزيع طبيعي معياري ($\mu = 0$)، وتبعد كل قيمة عن أخرى من ضمن قيم المتغيّر (وتسمى قيم Z) بمقدار انحراف معياري واحد ($\sigma = 1$). لهذا، يُمكن حساب مسافة كل قيمة من قيم المتغيّر (قيمة Z) عن المتوسط الحسابي بواسطة قيمة الانحراف المعياري، فمثلًا، قيمة Z بمقدار 2.5 تعني أن هذه القيمة تبعد انحرافين معياريين ونصفًا عن المتوسط الحسابي من جهة اليمين ($2.5\ \sigma$)، وقيمة Z بمقدار 1.4− تعني أن هذه القيمة تبعد انحرافًا معياريًّا واحدًا وأربعة أعشار عن المتوسط الحسابي من جهة اليسار ($1.4\ \sigma$). من جهة أخرى، فإن كل قيمة من قيم Z مقترنة بمساحة على يسارها وتحت المنحنى، ويُمكن التعرّف على مقدار المساحة بواسطة جدول قيم Z. لنضرب مثالًا على ذلك. لنفترض أننا نريد معرفة مقدار المساحة على يسار النقطة التي تكون عندها قيمة Z مساوية لمقدار 1.12، أي المساحة تحت المنحنى ضمن نطاق ($Z < 1.12$)، وهي المساحة المظلّلة في الشكل التالي:

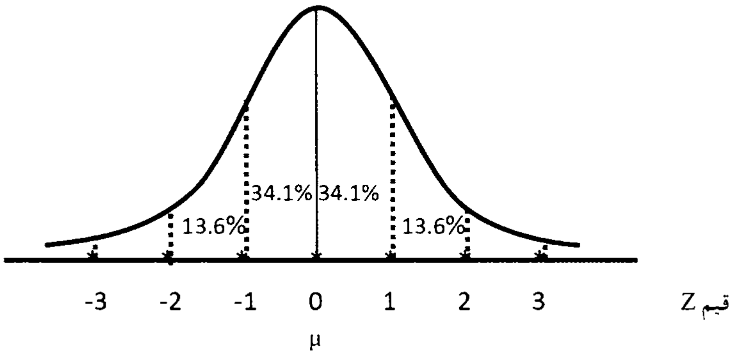


لتحديد مقدار المساحة المظللة على يسار Z حين تساوي 1.12، نستعين بجدول قيم Z. تحتلّ قيم Z كلًّا من الصف الأول والعمود الأول من الجدول، في حين تحتلّ قيم المساحات باقي صفوف الجدول وأعمدته. بينما يحتوي الصف الأول على الأجزاء المئوية من قيمة Z، يحتوي العمود الأول على باقي أجزاء قيمته، وتلتقي القيمتان في الجدول عند المساحة المطلوبة والمقترنة بقيمة Z. في مثالنا هذا، قيمة Z تساوي 1.12، وهذا يعني أن قيمة المساحة المطلوبة تقع بين تقاطع قيمة 1.1 والجزء المئوي 0.02، وتساوي 0.8686 كما هو مبيّن في الجدول التالي:

z	0	0.01	[redacted]	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0	0.5000	0.5040	0.5080	0.5120	0.5160	0.5199	0.5239	0.5279	0.5319	0.5359
0.1	0.5398	0.5438	0.5478	0.5517	0.5557	0.5596	0.5636	0.5675	0.5714	0.5753
0.2	0.5793	0.5832	0.5871	0.5910	0.5948	0.5987	0.6026	0.6064	0.6103	0.6141
0.3	0.6179	0.6217	0.6255	0.6293	0.6331	0.6368	0.6406	0.6443	0.6480	0.6517
0.4	0.6554	0.6591	0.6628	0.6664	0.6700	0.6736	0.6772	0.6808	0.6844	0.6879
0.5	0.6915	0.6950	0.6985	0.7019	0.7054	0.7088	0.7123	0.7157	0.7190	0.7224
0.6	0.7257	0.7291	0.7324	0.7357	0.7389	0.7422	0.7454	0.7486	0.7517	0.7549
0.7	0.7580	0.7611	0.7642	0.7673	0.7704	0.7734	0.7764	0.7794	0.7823	0.7852
0.8	0.7881	0.7910	0.7939	0.7967	0.7995	0.8023	0.8051	0.8078	0.8106	0.8133
0.9	0.8159	0.8186	0.8212	0.8238	0.8264	0.8289	0.8315	0.8340	0.8365	0.8389
1	0.8413	0.8438	0.8461	0.8485	0.8508	0.8531	0.8554	0.8577	0.8599	0.8621
[redacted]	0.8643	0.8665	0.8686	0.8708	0.8729	0.8749	0.8770	0.8790	0.8810	0.8830
1.2	0.8849	0.8869	0.8888	0.8907	0.8925	0.8944	0.8962	0.8980	0.8997	0.9015
1.3	0.9032	0.9049	0.9066	0.9082	0.9099	0.9115	0.9131	0.9147	0.9162	0.9177
1.4	0.9192	0.9207	0.9222	0.9236	0.9251	0.9265	0.9279	0.9292	0.9306	0.9319
1.5	0.9332	0.9345	0.9357	0.9370	0.9382	0.9394	0.9406	0.9418	0.9429	0.9441
1.6	0.9452	0.9463	0.9474	0.9484	0.9495	0.9505	0.9515	0.9525	0.9535	0.9545
1.7	0.9554	0.9564	0.9573	0.9582	0.9591	0.9599	0.9608	0.9616	0.9625	0.9633
1.8	0.9641	0.9649	0.9656	0.9664	0.9671	0.9678	0.9686	0.9693	0.9699	0.9706
1.9	0.9713	0.9719	0.9726	0.9732	0.9738	0.9744	0.9750	0.9756	0.9761	0.9767
2	0.9772	0.9778	0.9783	0.9788	0.9793	0.9798	0.9803	0.9808	0.9812	0.9817
2.1	0.9821	0.9826	0.9830	0.9834	0.9838	0.9842	0.9846	0.9850	0.9854	0.9857
2.2	0.9861	0.9864	0.9868	0.9871	0.9875	0.9878	0.9881	0.9884	0.9887	0.9890
2.3	0.9893	0.9896	0.9898	0.9901	0.9904	0.9906	0.9909	0.9911	0.9913	0.9916
2.4	0.9918	0.9920	0.9922	0.9925	0.9927	0.9929	0.9931	0.9932	0.9934	0.9936
2.5	0.9938	0.9940	0.9941	0.9943	0.9945	0.9946	0.9948	0.9949	0.9951	0.9952
2.6	0.9953	0.9955	0.9956	0.9957	0.9959	0.9960	0.9961	0.9962	0.9963	0.9964
2.7	0.9965	0.9966	0.9967	0.9968	0.9969	0.9970	0.9971	0.9972	0.9973	0.9974
2.8	0.9974	0.9975	0.9976	0.9977	0.9977	0.9978	0.9979	0.9979	0.9980	0.9981
2.9	0.9981	0.9982	0.9982	0.9983	0.9984	0.9984	0.9985	0.9985	0.9986	0.9986
3	0.9987	0.9987	0.9987	0.9988	0.9988	0.9989	0.9989	0.9989	0.9990	0.9990
3.1	0.9990	0.9991	0.9991	0.9991	0.9992	0.9992	0.9992	0.9992	0.9993	0.9993
3.2	0.9993	0.9993	0.9994	0.9994	0.9994	0.9994	0.9994	0.9995	0.9995	0.9995
3.3	0.9995	0.9995	0.9995	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9997
3.4	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9998

لحساب المساحة على يمين قيمة Z، كل ما ينبغي أن نفعله هو طرح مقدار المساحة على يسار هذه القيمة من المساحة الكلية تحت المنحنى والتي تساوي ١، وبذلك: 1 − 0.8686 = 0.1314.

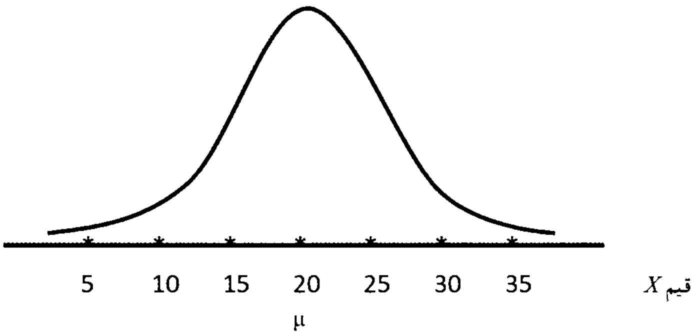
لو عدنا إلى الجدول، فإننا سنرى -كما هو متوقع- أنّ مقدار المساحة المقترنة بقيمة Z عند المتوسط الحسابي ($Z = \mu = 0$) تساوي 0.50 (50 ٪)، وهي نصف المساحة تحت المنحنى. سبق أن أشرنا إلى حقيقة أن درجة الاحتمال تزداد بالقرب من المتوسط الحسابي، وتقل بالبعد عنه. في وسعنا الآن أن نكون أكثر دقة في وصفنا لهذه الحقيقة من خلال تقسيم المساحة تحت المنحنى إلى أكثر من نطاق، بحيث يكون كل نطاق مقرونًا بدرجة احتمال محددة كما هو مبين في الشكل التالي:



درجة احتمال العثور على قيمة للمتغير Z ضمن نطاق ($-1\sigma < Z < 1\sigma$) تعادل 68.2 ٪، في حين أن درجة الاحتمال ضمن نطاق كلّ من ($1\sigma < Z < 2\sigma$) و ($-2\sigma < Z < -1\sigma$) تعادل 27.2٪. مدى كلا النطاقين هو ($-2\sigma < Z < 2\sigma$)، ودرجة الاحتمال المتعلقة بهذا النطاق تتجاوز نسبة 95 ٪. هذا يعني أن درجة احتمال العثور على قيمة متطرفة لهذا المتغيّر خارج هذا النطاق، أي تحت ذيل المنحنى في الجهة الموجبة والجهة السالبة، تقل عن 5 ٪، تحديدًا، هناك قيم موجبة للمتغيّر Z أكبر من القيمة الحرجة 2σ ولها درجة احتمال بمقدار 2.3 ٪، كما أن هناك قيمًا سالبة لهذا المتغيّر أقل من القيمة الحرجة -2σ ولها درجة احتمال بمقدار 2.3 ٪. كما سنرى لاحقًا، لهذه الحقيقة تطبيقات عمليّة عند إجراء تجربة علمية، فقد جرت العادة على تحديد نطاق بين قيمتين على المحور السيني بمقدار 95 ٪ ويسمى «نطاق الثقة»، بحيث إذا جاءت درجة احتمال الحصول على نتيجة التجربة ضمن هذا النطاق، عُدَّت النتيجة غير جوهرية من الناحية الإحصائية، وبالتالي، غير كافية لرفض الفرضية الصفرية.

كما جرت العادة على تحديد نطاق سلبي على يسار نطاق الثقة، وآخر إيجابي على يمينه، يمثّلان القيم المتطرفة للمتغيّر ومقدارهما معًا 5 ٪. تشير هذه النسبة إلى مستوى الدلالة σ، بحيث إذا قلّ مجموع درجات احتمال الحصول على نتيجة التجربة وقيم أخرى بقدرها وأشد تطرّفًا منها عن هذا المستوى، عُدّت النتيجة جوهرية من الناحية الإحصائية، وبالتالي، كافية لرفض الفرضية الصفرية. يسمى هذا المجموع لدرجات احتمال القيم المتطرّفة للمتغير «قيمة p» في ظل افتراض صحة الفرضية الصفرية.

أخيرًا، يتيح حساب المساحة المقترنة بقيمة Z بهذا الشكل حساب المساحة تحت أي منحنى طبيعي، بشرط أن نقوم بتحويل التوزيع الطبيعي إلى توزيع Z، أي إلى توزيع طبيعي معياري. لنضرب مثالًا على كيفية إجراء مثل هذا التحويل. لنفترض أن لدينا منحنى طبيعيًّا قيمة متوسطه الحسابي μ هي 20، وقيمة انحرافه المعياري σ هي 5:



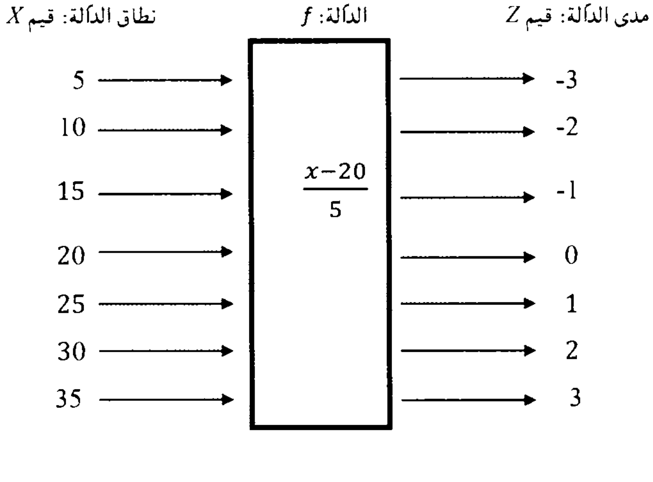
لتحويل هذا التوزيع الطبيعي إلى توزيع Z الطبيعي المعياري، نستخدم المعادلة التالية:

$$Z = \frac{x - \mu}{\sigma}$$

حين نضع قيمة كلٍّ من μ وσ في هذه المعادلة، نحصل على الدالّة التالية:

$$\frac{x - 20}{5}$$

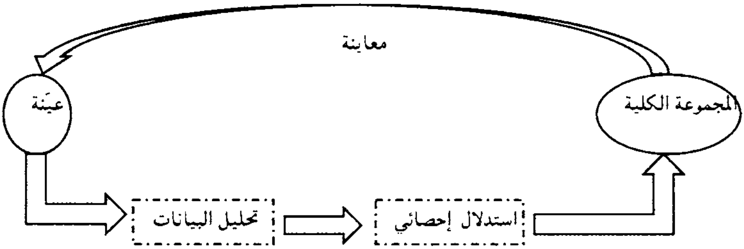
في وسعنا الآن استخدام هذه الدّالة لتحويل كل قيمة من قيم X إلى ما يقابلها ضمن قيم Z:



4 . 4 . تحليل النتائج وتفسيرها

كل تجربة علمية في حاجة إلى جمعٍ لبيانات ذات علاقة بالفرضية قيد البحث. حين تكون هذه البيانات قابلة للقياس الدقيق، يبرز

دور علم الإحصاء في إضفاء معنى على هذه البيانات، ذلك أنه يتيح لنا أن نستدلّ من طبيعة العيّنة قيد التجربة على طبيعة المجموعة التي أُخذت منها تلك العيّنة. بمعنى آخر، بفضل ما يتيحه علم الإحصاء من أدوات تحليلية، فكل ما يُمكن قوله عن عيّنة البحث يُمكن قوله بقدر معقول من الثقة عن سائر المجموعة التي تنتمي إليها تلك العيّنة. يمكن توضيح ذلك من خلال المخطّط التالي:



من ضمن أهم الأدوات الإحصائية وأشهرها ما يُعرف باسم «اختبار t» t-test، وهو اختبار إحصائي يعقد مقارنة بين مجموعتين من حيث قيمة المتوسط الحسابي لكل منهما لتحديد ما إذا كان هناك فرق جوهري بين القيمتين. هناك ثلاثة أنواع لهذا الاختبار، ولكل منها طريقته في حساب الفرق بين متوسّطي المجموعتين: (1) اختبار t لعينة واحدة، و(2) اختبار t لعيّنتين مستقلّتين، و(3) اختبار t لعيّنتين مرتبطتين[6]. تشترك الأنواع الثلاثة في افتراضين مسبقين قبل إجراء الاختبار: الأول، هو أنّ قيمة المتغيِّر المراد تحديد المتوسط الحسابي المتعلق به قيمة كميّة (قابلة للقياس)[7]، والثاني، هو أنّ المجموعة التي أُخذت منها العيّنة ذات توزيع طبيعي. في

واقع الأمر، هذا الافتراض الأخير غير ذي أهمية في ظل ما يُعرف باسم «مبرهنة الحد المركزي» central limit theorem، فبصرف النظر عن طبيعة التوزيع الخاص بأي مجموعة، وهو عادة مجهول، حين نأخذ عددًا لا بأس به من العينات من هذه المجموعة، فإن قيم المتوسط الحسابي لكل العيّنات ستكون خاضعة لتوزيع طبيعي.

لأغراض هذا الفصل، سنتجاوز كثيرًا من التفاصيل ونكتفي بمثال واحد نريد من خلاله توضيح دور الإحصاء في تحليل نتائج التجربة العلمية، وسنختار مثالًا سبق أن أشرنا إليه إشارة سريعة، ونعني به ذلك المتعلق بفرضية مفادها أنّ مزاولة رياضة المشي بانتظام تؤدي إلى انخفاض وزن الجسم. كيف في وسعنا التحقق من صحة هذه الفرضية؟

لنبدأ بجعل مضمون الفرضية أكثر تحديدًا من خلال تحديد مضمون المتغيّر المستقل. يشير المتغيّر المستقل إلى «مزاولة رياضة المشي بانتظام»، وفي وسعنا جعله أكثر تحديدًا على النحو التالي: «مزاولة رياضة المشي بمعدّل 150 دقيقة في الأسبوع لمدة 60 يومًا». أما المتغيّر التابع فيشير إلى «وزن الجسم»، ومن الممكن قراءته بدقة قبل إجراء التجربة وبعد الانتهاء منها بواسطة مقياس لوزن الجسم.

نختار أولًا عيّنة عشوائية، ويمكن ضبط المتغيّرات المستقلة الأخرى بحيث لا تؤثر في نتيجة التجربة، كأنْ نُخضع المشاركين في التجربة إلى نظام غذائي موحّد أثناء إجرائها. بطبيعة الحال، كلما

كان عدد أفراد العيّنة كبيرًا، زادت نسبة تمثيلها لأفراد المجموعة بأكملها، لكن لجعل مثالنا أشد بساطة، سنكتفي بعيّنة مكوّنة من 15 شخصًا فقط.

نظرًا إلى ضرورة قراءة وزن الجسم لكل فرد في العيّنة قبل إجراء التجربة وبعد الانتهاء منها، فإنّنا في واقع الأمر أمام عيّنتين مرتبطتين، أفراد العيّنة قبل إجراء التجربة هم أنفسهم أفراد العيّنة بعد إجراء التجربة. يكمن الاختلاف بينهما في الفارق الزمني بين القراءتين، وبهذا تقوم العيّنة نفسها بدورين: دور المجموعة الضابطة قبل إجراء التجربة، ودور المجموعة التجريبية بعد إجراء التجربة.

سيتذكّر القارئ من المبحث (2.4) أننا نختبر هنا الفرضية الصفرية بشكل مباشر كي نتحقق من مدى صحة الفرضية البديلة بشكل غير مباشر. تنص الفرضية البديلة في مثالنا على التالي: «تؤدي مزاولة رياضة المشي بمعدّل 150 دقيقة في الأسبوع ولمدة 60 يومًا إلى انخفاض وزن الجسم». لهذا، تنص الفرضية الصفرية على التالي: «لا تؤدي مزاولة رياضة المشي بمعدّل 150 دقيقة في الأسبوع ولمدة 60 يومًا إلى انخفاض وزن الجسم».

نظرًا إلى أننا أمام عيّنتين مرتبطتين، يتعيَّن علينا استخدام اختبار t الخاص بهذا النوع. سبق أن ذكرنا أنّ الهدف من هذا الاختبار هو تحديد ما إذا كان هناك فرق جوهري بين المتوسط الحسابي للعينة الأولى والمتوسط الحسابي للعينة الثانية. لتحقيق هذا الهدف،

سيسفر إجراء اختبار t -كما سنرى لاحقًا- عن قيمة محددة للمتغيّر t، وبعقد مقارنة بين هذه القيمة ومستوى الدلالة المطلوب لهذه التجربة، سنتحقق من مدى صحة الفرضية الصفرية. سنحدد مستوى الدلالة المطلوب في تفسير قيمة t بمقدار 0.05 (أي 5 ٪)، وهذا يعني أن مستوى الثقة الخاص بهذه التجربة يبلغ مقدار 95 ٪.

لنفترض الآن أن بيانات التجربة جاءت على نحو ما هو مبيّن في الجدول التالي:

مشارك	وزن الجسم- كيلو غرام (قبل)	وزن الجسم- كيلو غرام (بعد)	الفارق
1	69	68	−1
2	105	101	−4
3	81	83	+2
4	75	76	+1
5	95	89	−6
6	86	86	0
7	86	87	+1
8	71	70	−1
9	78	81	+3
10	79	75	−4
11	78	79	+1
12	59	60	+1
13	60	61	+1
14	83	79	−4
15	96	93	−3

كما هو واضح من الجدول، عدد الأفراد المشاركين في التجربة يساوي 15، ولنرمز إلى هذا العدد بالرمز n. بالتالي:

$$n = 15$$

في التجربة التي أمامنا، عدد المشاركين n يساوي 15، ولهذا فإن درجة الحرية DF تساوي 14. بواسطة قيمة، إلى جانب قيم الفارق في وزن الجسم لكل حالة بحسب الجدول أعلاه، نستطيع تحديد المعدّل أو المتوسط الحسابي $\bar{x}$ لعدد الفروقات في وزن الجسم على النحو التالي:

$$\bar{x} = \frac{1 + 4 + .. + .. -4 - 3}{15} = -0.86$$

على ضوء ما تقدّم، نستطيع الآن حساب الانحراف المعياري s في هذه الفروقات من حيث وزن الجسم على النحو التالي:

$$s = \sqrt{\frac{(-1 + 0.86)^2 + (-4 + 0.86)^2 + .. + .. + (-3 + 0.86)^2 + (-3 + 0.86)^2}{15 - 1}} = 2.69$$

إذا كان الانحراف المعياري يقيس التشتّت لمجموعة من القيم بالنسبة إلى المعدّل، فإنّ الخطأ المعياري s_e يقيس التشتّت لمجموعة من المعدّلات. نظرًا إلى أنّ الخطأ المعياري يساوي نسبة الانحراف المعياري s لعيّنة إلى الجذر التربيعي لعدد عناصرها $\sqrt{n}$، تُحسب قيمته هنا على النحو التالي:

$$s_e = \frac{s}{\sqrt{n}} = \frac{2.69}{\sqrt{15}} = 0.69$$

أخيرًا، قيمة t هي نسبة الفارق بين المعدّل التقديري (0.86−) والمعدّل الذي تفترضه الفرضية الصفرية (0) إلى الخطأ المعياري:

$$t = \frac{\bar{x} - 0}{s_e} = \frac{-0.86}{0.69} = -1.24$$

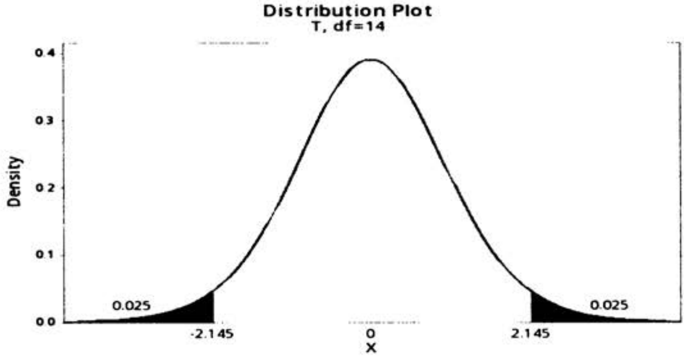
جاءت كل الخطوات السابقة في اختبار t لحساب قيمة t: بفضل البيانات حصلنا على المعدّل التقديري، وبواسطة هذا المعدّل حصلنا على الانحراف المعياري، وبواسطة الانحراف المعياري حصلنا على الخطأ المعياري، ثم أخيرًا حسبنا قيمة t بفضل معرفة قيمة كل من المعدل التقديري والخطأ المعياري.

سيتذكّر القارئ أنّ الهدف المباشر من إجراء اختبار t هو الحصول على قيمة t للتحقق من مدى صحة الفرضية الصفرية؛ فبينما تشير الفرضية الصفرية إلى أن الاختلاف في المتوسط الحسابي بين عيّنتين (أو بين عيّنة ومجموعة) يساوي صفرًا، ينتهي اختبار t بإيجاد قيمة t التي هي بمنزلة مقياس لحجم هذا الاختلاف. بطبيعة الحال، كلما كانت قيمة t بعيدة عن الصفر، قلّ احتمال صحة الفرضية الصفرية، والعكس صحيح. من جهة أخرى، من المستبعد أن تساوي قيمة t صفرًا بالضبط بعد إجراء تجربة أو حتى بعد إجراء أي عدد من تجارب أخرى مشابهة، وهذه الحقيقة في حدّ ذاتها لا تكفي لرفض الفرضية الصفرية، فهناك دائمًا احتمال أن يرجع مصدر الاختلاف

بين المتوسّطين إلى عوامل وليدة الصدفة ولا علاقة لها بالمتغير المستقل قيد الاختبار.

لهذا، يبرز السؤال الجوهري التالي: كم ينبغي أن تتطرّف قيمة t في بعدها عن الصفر بحيث نستطيع أن نرفض القبول بصحة الفرضية الصفرية؟ تعتمد الإجابة على هذا السؤال على توزيع t.

يعدّ توزيع t شبيهًا بتوزيع z الذي سبق أن أشرنا إليه في المبحث السابق، كلاهما توزيع طبيعي ذو منحنى ناقوسيّ الشكل وقيمة متوسطه الحسابي تساوي صفرًا، غير أنّ منحنى t ذو ذيل أثقل على جانبيه وقمّته أصغر من قمة منحنى z. يعتمد توزيع t على حجم العيّنة n، ذلك أن شكل منحنى t يتأثر بدرجة الحرية $n - 1$، فكلما زاد حجم العيّنة (وبالتالي، كلما زادت درجة الحرية)، زاد اقتراب منحنى t من منحنى z [8]. الأهم من ذلك كلّه أن المساحات تحت منحنى t شبيهة بالمساحات تحت منحنى z من حيث أنها مساحات تشير إلى احتمالات. سيتذكر القارئ من المبحث السابق أن درجة الاحتمال في العثور على قيمة محددة للمتغير z ضمن نطاق ($-2\sigma < Z < 2\sigma$) تبلغ أكثر من 95 ٪، وهذا يعني أن القيم المتطرفة لهذا المتغيّر تحت ذيل المنحنى في الجهة الموجبة والجهة السالبة لها درجة احتمال تقل عن 5 ٪. يخضع توزيع t إلى المنطق نفسه، في وسعنا تحديد نطاق الثقة في العثور على قيم محددة للمتغير t بمقدار 95 ٪ كما في المنحنى التالي الذي يشير إلى توزيع t عند درجة حرية بمقدار 14:



كما هو موضح في هذا الشكل، يقع نطاق الثقة (95 ٪) في المنطقة غير المظلّلة، وتحديدًا بين قيمتين حرجتين: قيمة موجبة عند t بمقدار 2.145، وقيمة سالبة عند t بمقدار 2.145-. في وسعنا الآن الإجابة على السؤال المطروح أعلاه: تكون قيمة t متطرفة في بعدها عن الصفر بما يكفي لرفض الفرضية الصفرية حين تقع تحت ذيل المنحنى في أيّ من المنطقتين المظلّلتين، أي إذا كانت أكبر من 2.145، أو إذا كانت أصغر من 2.145-. لكن قيمة t كما قمنا بحسابها أعلاه تساوي مقدار 1.24- (ليست الإشارة السالبة ذات أهمية هنا)، أي إنها تقع ضمن نطاق الثقة بين المنطقتين المظلّلتين، ولو نظرنا إلى جدول توزيع t، فسنلاحظ أن قيمة p لهذا المقدار من قيمة t عند درجة حرية بمقدار 14 تتراوح ما بين 0.2 و 0.3 (تبلغ بالضبط 0.236):

One-tail	0.25	0.2	0.15	0.1	0.05	0.025	0.01	0.005
Two-tail	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
df								
1	1	1.37638192	1.96261051	3.07768354	6.31375151	12.7062047	31.820516	63.6567412
2	0.81649658	1.06066017	1.38620656	1.88561808	2.91998558	4.30265273	6.96455673	9.9248432
3	0.76489233	0.97847231	1.24977811	1.63774435	2.35336343	3.18244631	4.54070286	5.84090931
4	0.74069708	0.94096458	1.18956685	1.53320627	2.13184679	2.77644511	3.74694739	4.60409487
5	0.72668684	0.91954378	1.15576734	1.47588405	2.01504837	2.57058184	3.36493	4.03214298
6	0.7175582	0.90570329	1.13415693	1.43975575	1.94318028	2.44691185	3.1426684	3.70742802
7	0.71114178	0.89602964	1.11915913	1.41492393	1.89457861	2.36462425	2.99795157	3.4994833
8	0.70638661	0.88888952	1.10814544	1.39681531	1.85954804	2.30600414	2.89645945	3.35538733
9	0.70272215	0.88340386	1.0997162	1.38302874	1.83311293	2.26215716	2.82143793	3.24983554
10	0.69981206	0.87905783	1.09305807	1.37218364	1.81246112	2.22813885	2.76376946	3.16927267
11	0.69744533	0.87552998	1.08766638	1.36343032	1.79588482	2.20098516	2.71807918	3.10580652
12	0.69548287	0.87260929	1.08321142	1.35621733	1.78228756	2.17881283	2.68099799	3.05453959
13	0.6938293	0.87015153	1.07946874	1.35017129	1.7709334	2.16036866	2.65030884	3.01227584
14	0.69241707	0.86805478	1.07628024	1.34503037	1.76131014	2.14478669	2.62449407	2.97684273

قيمة المتغير t

القيمة الحرجة للمتغير t

بناء على هذه النتائج، نستنتج أنّنا لا نستطيع رفض الفرضية الصفرية، لم تسفر نتيجة التجربة عن دليل كافٍ لدعم الفرضية البديلة، وبالتالي، لا تؤدي مزاولة رياضة المشي بمعدّل 150 دقيقة في الأسبوع ولمدة 60 يومًا إلى انخفاض وزن الجسم.

4. 5. ثلاثة مظاهر لدور التجربة العلمية

التجربة العلمية -في جوهرها- طريقة للتحقق من صدق قضية تركيبية، وبحسب مضمون هذه القضية، تساهم التجربة إمّا في تراكم المعرفة العلمية، وإمّا في تعزيزها، وإمّا في الحفاظ على علميّتها. هناك -إذًا- ثلاثة مظاهر على الأقل لدور التجربة من حيث علاقتها بالمعرفة العلمية: مظهر تراكمي، ومظهر تعزيزي،

ومظهر وقائي. سنستعرض بإيجاز في هذا المبحث الأخير هذه المظاهر الثلاثة تباعًا.

حين نجري تجربة للتحقق من صحة فرضية ما، هناك أكثر من احتمال لنتيجة التجربة: قد تأتي النتيجة مؤكدة على صحة الفرضية، وقد تأتي نافية لها، وقد تأتي لا مؤكّدة ولا نافية. ينطوي كل احتمال من هذه الاحتمالات الثلاثة على عدم يقين بدرجات متفاوتة حول نتيجة التجربة[9]، لكن وحده الاحتمال الأول الذي من شأنه الإسهام في تراكم المعرفة العلمية حين تشير الفرضية إلى اكتشاف جديد. على سبيل المثال، وكما رأينا في الفصل السابق، اكتشاف البوزيترون جاء نتيجة إجراء تجربة على هدي نظرية[10]، وهنا يكمن دور التجربة في الإسهام في تراكم المعرفة العلمية.

حين تُجرى تجربة للمفاضلة بين فرضية وأخرى (أو نظرية وأخرى) من دون أن تتضمّن هذه المفاضلة اكتشافًا جديدًا، أو حين تُجرى التجربة لمجرّد إضافة دليل جديد إلى صحة نظرية راسخة، فإنّ التجربة هنا تسهم في تعزيز المعرفة العلمية. على سبيل المثال، العديد من التجارب العلمية التي أُجريت خلال عقود من الزمن وجاءت نتائجها مؤكدة على صحة نظريات راسخة مثل نظرية الكم أو النظرية النسبية (العامة والخاصة) أسهمت في تعزيز المعرفة العلمية حول عالم ما دون الذرّة.

نصل أخيرًا إلى المظهر الثالث لدور التجربة في علاقتها بالمعرفة العلمية. على العكس من المظهرين السابقين، يتّصف المظهر الوقائي

بأنّه مظهر كيفي، لا كمّي، ذلك أن مقدار كلّ من تراكم المعرفة العلمية وتعزيزها يزداد بقدر الأدلة الإضافية التي تتيحها التجربة، في حين أنّ المظهر الوقائي يحافظ فحسب على بقاء المعرفة العلمية علميّةً بحيث لا تتلوّث بنتاج العلم الزائف. لا غرابة في أن تكون التجربة العلمية هي الخط الفاصل بين العلم واللّاعلم، فالدليل التجريبي الإيجابي هو ما تفتقر إليه كل الفرضيات غير العلمية، وهذه لا تقتصر على الفرضيات نتاج علم زائف، بل تتعدّاها إلى فرضيات مُحكمة رياضيًّا لكنّها غير ناضجة تجريبيًّا.

القسم الثاني

جذور العلم

في آخر كتابه الشهير والذي حمل عنوان: «قصة الفلسفة»، كتب ديورانت يقول إنّ العلوم أخذت تفرّ من الفلسفة الواحد تلو الآخر، «وبقيت الفلسفة وحدها كأمّ مهجورة نضبت حيويتها وتركها أولادها»[1]. لو نظرنا إلى ما يقوله ديورانت من زاوية العلم، فإنّ في إمكاننا القول إنّنا أمام انعتاق العلم من إسار الفلسفة، وهذا هو الفصل الأخير من «قصة العلم» قبل أن يعود التقارب من جديد بين الفلسفة والعلم مع ظهور فلسفة العلم الحديث.

لا يخلو ما يقوله ديورانت من صحة، فكثيرًا ما توصف الفلسفة بأنها أُمّ العلوم، وهو وصف يستند إلى حقائق تاريخية، لعلّ أشدّها وضوحًا ما يتّصل بأسماء العلوم، فالفيزياء -على سبيل المثال وكما هو معروف- كانت تُعرف بفلسفة الطبيعة قبل استقلالها عن الفلسفة[2]. مع ذلك، لا يبدو ما يقوله ديورانت دقيقًا، وبخاصة حين نلاحظ اقتصاره في كتابه على فلاسفة الإغريق ومن جاء بعدهم من فلاسفة الغرب، وهنا تحديدًا يكمن مصدر

القصور في الدقّة، فإذا كانت الفلسفة هي أمّ العلوم، وإذا كانت الحضارة الإغريقية هي مهد الفلسفة، فإنّ النتيجة المنطقية تشير إلى أنّ العالم القديم لم يعرف العلم قبل ظهور الفلسفة عند الإغريق. بطبيعة الحال، لا تستقيم هذه النتيجة مع الحقائق التاريخية، فما من باحث موضوعي معاصر يُنكر استفادة الإغريق أنفسهم من علوم المصريين والبابليين وغيرهم، بل لم ينكر الإغريق القدماء أنفسهم فضل الحضارات المجاورة عليهم[3].

كيف لنا -إذًا- أن نوائم بين أسبقية العلم على الفلسفة الإغريقية من جهة، واعتبار هذه الفلسفة الرّحم الذي خرج منه العلم من جهة أخرى؟ هناك مسلكان -على الأقل- من شأن كل واحد منهما على حدة تحقيق المواءمة المطلوبة، لكن ليس من دون ثمن في الحالتين: فإما أنْ ندافع عن وجود فلسفة سابقة، ليس على ظهور الفلسفة الإغريقية فحسب، بل على نشأة العلم القديم أيضًا، وإما أن ندافع عن وجود اختلاف جوهري بين مفهوم العلم في حضارات الشرق القديم ومفهوم العلم ما بعد ظهور الفلسفة الإغريقية. بعبارة أخرى، يدفعنا المسلك الأول إلى إعادة النظر في تاريخ ظهور الفلسفة، في حين يدفعنا المسلك الآخر إلى البحث عن جوهر الاختلاف بين العلم ما قبل الفلسفة الإغريقية والعلم ما بعدها، وسنسلك في هذا القسم هذا المسلك الأخير.

الفصل الخامس

العلم في الحضارات القديمة

5 . 1 . مقدمة

إن المتأمّل في تاريخ العلم القديم يلاحظ -على الأقل- أمرين: الأمر الأول هو مزاولة الأقدمين لعلوم الطب والرياضيات والفلك على وجه الخصوص، والأمر الثاني هو تمازج تلك العلوم مع السحر والدين والتنجيم. في هذا الفصل، سندلل على هذين الأمرين تباعًا، حيث سنعرض نماذج من العلم كما عرفته حضارات الشرق القديم في بابل ومصر والهند والصين (المبحث 2.5)، ثم نعرض بعض مظاهر التمازج بين العلم واللّاعلم في تلك الحضارات (المبحث 3.5)[1]. أخيرًا، سنختتم هذا الفصل بمحاولة لتبيان أغراض العلم القديم بشكل عام، ووظيفته في خدمة الأسطورة بشكل خاص (المبحث 4.5).

5 . 2 . نماذج من العلم القديم

يكفي أن نتأمّل صفحة السماء لفترات محدودة كي نلاحظ وجود ظواهر تحدث بشكل دوري ومنتظم، كمثل حركتي الشمس والقمر. بالطبع، لم تكن هذه الحقيقة غائبة عن الإنسان البدائي، لكن استخدام لغة الأرقام للتّنبؤ بمسار مثل تلك الظواهر يعتبر قفزة كبرى إلى الأمام، وأوّل من قام بتلك القفزة هم البابليون[2]. اشتهر البابليون منذ القدم برصد حركة الأجرام السماوية على مدى قرون من الزمن، وهذا ما تدلّل عليه مجموعة الألواح الصلصالية الشهيرة والمعروفة باسم «إنوما آنو إنليل»، ويمتدّ تاريخ تدوينها منذ مملكة بابل القديمة (من 1894 إلى 1595 قبل الميلاد) حتى مملكة بابل الوسطى (من 1595 إلى 1155 قبل الميلاد). اعتمد البابليون في حساباتهم الفلكية على النظام العددي السّتيني، وهو ما سنتطرّق إليه أدناه، كما استخدموا التقويم القمري-الشمسي واستطاعوا التنبّؤ بموعد حدوث عديد من الظواهر الكونية[3].

إلى جانب علم الفلك، كشف علماء الآثار أيضًا عن تقدّم البابليين في ميدان الرياضيات، ومن مظاهر هذا التقدّم معرفتهم بنظرية فيثاغورث قبل أن يعرفها الإغريق القدماء بأكثر من ألف سنة[4]، كما أنّ كتاب بطليموس الشهير والذي عُرف عند العرب بعنوان «المجسطي» له جذور بابلية، ليس من حيث الملاحظات المتعلقة بالسماء ومسار النجوم فحسب، بل من حيث الأساس الرياضي أيضًا[5]. يضاف إلى ذلك تقديم البابليين حلولًا للمعادلات

الجبرية من الدرجة الأولى والدرجة الثانية والدرجة الثالثة، كما استخدموا استخدامًا محدودًا لما يوازي المفهوم الحديث للعدد «صفر» في حساباتهم[6]. أهمّ من ذلك كله هو أنّ البابليين كانوا أول من استحدث القيمة المكانية للأعداد، أي استخدام مجموعة محدودة من الرموز تتحدد قيمتها استنادًا إلى الترتيب الذي يحتله أيّ منها ضمن عدد محدد، فعلى سبيل المثال، يتكون نظامنا العشري من عشرة رموز فقط، هي ٠، 1، 2، 3، 4، 5، 6، 7، 8، 9، والقيمة العددية لأي منها تعتمد على قيمة الرمز المكانية ضمن عدد محدد: العدد 61، مثلًا، يتكون من رقمين في نظامنا العشري، 1 و6، والقيمة العددية لكليهما تعتمد على المكان الذي يشغله كل منهما: 1 في خانة الآحاد و6 في خانة العشرات، ومجموع القيمتين يشير إلى العدد 61:

$$61 = (6 \times 10) + (1 \times 1)$$

بالمثل، يتبع النظام العددي الستيني لدى البابليين المبدأ نفسه، مع اختلاف قيمة القاعدة، فبينما هي 10 في النظام العشري، هي 60 في النظام الستيني: هذا يعني أنّ أقصى رقم في أي خانة عددية في النظام العشري هو الرقم 9، في حين أنّ أقصى رقم في أي خانة عددية في النظام الستيني هو 59. إذا أردنا أن نشير إلى الرقم 61 في النظام الستيني البابلي من خلال أرقام نظامنا العشري، فإنّ العدد 61 في النظام العشري يُمكن التعبير عنه في النظام الستيني هكذا 1,1، حيث الرقم الأول في خانة الآحاد يساوي ١، والرقم الثاني في خانة الستينات يساوي 60:[7]

$$1,1 = (1 \times 60) + (1 \times 1)$$

ينبغي الإشارة هنا إلى أنّ تقسيم الدائرة إلى 360 درجة، والساعة إلى 60 دقيقة، والدقيقة إلى 60 ثانية، كلها مشتقة من النظام العددي الستيني، كما أنّ اعتماد البابليين على هذا النظام العددي في علم الفلك كان خطوة موفقة لما يمتاز به هذا النظام من مرونة كسرية، فالعدد 60 يقبل القسمة على الأعداد التالية: 1، 2، 3، 4، 5، 6، 10، 12، 15، 20، 30، 60.

فيما يتعلق بميدان الطب، كان الطبيب يسمى «الآشو» أو «الآسو» في حضارة بابل، وهي أصل الكلمة العربية «الآسي»، أي الطبيب[8]، وشاهدها قول المتنبي واصفًا الأسد وهو يطأ الأرض بقدميه: «يطأ الثرى مترفّقا من تيهه، فكأنه آسٍ يجسّ عليلا». كانت مهنة «الآشو» هي المهنة الوحيدة التي ورد ذكرها في قانون حمورابي الشهير[9]، كما نال الأطباء البابليون شهرة تعدّت حدود مملكة بابل، فقد أرسل في طلبهم ملوك أجانب عند الحاجة ومن باب الاستعارة، وبعضهم تمّ إغراؤه في الإقامة الدائمة في محاولة لإثنائه عن العودة إلى بابل[10]. امتازت الوصفات الطبية البابلية، كما هي الحال مع تنبؤاتهم الفلكية وتشريعاتهم المدونة في قانون حمورابي، بشكل منطقي موحّد: «إذا س، فإنّ ص»، فعلى سبيل المثال، تبدأ أغلب الوصفات الطبية بعبارة: «إذا كان المريض يعاني من كذا أو كذا»، حيث يرد هنا تشخيص مفصّل للحالة الطبية، ثم تتبعها عبارة: «فإنّ علاجه يكون بكذا وكذا»، حيث يرد هنا وصف مفصّل لطريقة العلاج. فيما يتعلق بالتشخيص، احتفظ البابليون بما يسمى «الدليل

التشخيصي»، حيث ترد فيه قائمة بالأعراض المرضية المرتبطة بأحد أعضاء الجسم، سواء كانت أعضاء خارجية، مثل: الأذن والرأس والعينين وغيرها، أو أعضاء داخلية، مثل: الرئة والحنجرة والمعدة وغيرها، إضافة إلى الأعراض المرضية المرتبطة بحالات الصرع والحمل وغيرهما[11]. أما فيما يتعلق بالعلاج، فهناك نصّان بابليّان يرجع تاريخهما إلى الفترة ما بين القرنين الثامن والسابع قبل الميلاد، أحدهما موضوعه خصائص النباتات، والآخر موضوعه خصائص الأحجار، وكلاهما كان وسيلة لتحضير العقاقير العلاجية[12].

كما هي الحال في حضارة بابل، اهتمّ القدماء من المصريين والهنود والصينيين بعلوم الفلك والرياضيات والطب على وجه الخصوص، ففي علم الفلك عُرف عن هذه الحضارات اهتمامها برصد السماء ومراقبة حركة الأجرام السماوية ووضع التقاويم الشمسية والقمرية، وكما هي الحال في بابل، ارتبطت مهمة رصد السماء في الأغلب بطبقة اجتماعية تملك مهارات خاصة وتأتمر بأمر السلطة السياسية.

في ميدان الرياضيات، استخدم المصريون نظامًا عدديًا عشريًا وعرفوا الأعداد الكسرية، كما طوّروا تقنياتهم الخاصة للتعامل مع العمليات الحسابية وقياس الأحجام والمساحات الهندسية، وأما الهنود، وبالرغم من تركيزهم في الشعر كأداة للتعبير عن معرفتهم الرياضية، امتازوا بتطوير نظام القيمة المكانية للأعداد في النظام العشري بحيث يمكن التعبير عن أي عدد طبيعي من

خلال استخدام عشرة رموز عددية فقط، وهو النظام السائد حاليًّا، وأما الصينيون فقد بقيت مساهماتهم في ميدان الرياضيات محدودة وحديثة عهد نسبيًّا[13].

أخيرًا، وفي ميدان الطب، كشفت البرديّات الفرعونية عن معرفة طبية مصرية بتشخيص الأمراض وطرق علاجها، إضافة إلى قائمة طويلة من التعليمات الموجهة إلى الأطباء حول كيفية التعامل مع كل حالة مرضية على حدة، كما دلّت مهارة الفراعنة في عمليات التحنيط وما يتخللها من استخراج للأعضاء الداخلية للجسم عن معرفة متقدمة في علم التشريح، دأب الفراعنة على إزالة الكبد والرئتين والمعدة والأمعاء من الجثة ثم الاحتفاظ بها في جرّات مخصصة للدفن إلى جانب الجسم المحنّط، كما برعوا في إزالة الدماغ عبر الأنف، لكن ما يثير الغرابة هو عدم احتفاظهم بالدماغ كما هي الحال مع الأعضاء الأخرى[14]. في الهند، وبالرغم من التمازج بين ما هو طبي وخرافي فيها، احتوت نصوص الأيورفيدا على معارف الهنود الطبية من تشخيص للأمراض وكيفية علاجها بواسطة الأعشاب والمعادن[15]، وفي الصين ضمّ النص الطبي القديم والذي حمل عنوان «القانون الداخلي للإمبراطور الأصفر» الأسس الفلسفية للنظرية الطبية عند الصينيين القدماء، ومن ضمنها النظر إلى جسم الإنسان بوصفه كونًا مصغّرًا أو «مايكروكوزم»، كما تعامل مع أسباب الأمراض وطرق علاجها، إضافة إلى اشتهار الطب الصيني القديم بتقنية الإبر التي لا تزال تستخدم في عصرنا الحاضر[16].

5. 3. تمازج العلم واللاعلم

بعد أن استعرضنا نماذج من المعرفة العلمية في بعض حضارات العالم القديم، سنقف هنا عند بعض مظاهر التمازج بين العلم واللّاعلم في تلك الحضارات، ولنبدأ بعقد مقارنة بين الجملتين التاليتين:

(1) إذا سقط كأس مصنوع من الزجاج في اتجاه الأرض من مكان شاهق، فإنّ الكأس سينكسر.

(2) إذا وقع كوكب الزهرة خلف القمر، فإنّ الملك لن يكون له خصوم.

لا نجد غرابة ولا صعوبة في قبول صحة مضمون الجملة في (1)، فالعلاقة بين سقوط الكأس وانكساره جزء من تجربتنا الحياتية حتى مع جهلنا لتفاصيلها، وهي تفاصيل لو أردنا من باب الفضول أن نسأل فيزيائي عنها فلن يعجز عن شرحها لنا من خلال الإشارة إلى مفاهيم «الجاذبية» و«الضغط» و«الترابط الجزيئي» وغيرها. حين ننتقل الآن إلى الجملة في (2)، وهي جملة مدوّنة في أحد الألواح الصلصالية البابلية[17]، يبدو الأمر مختلفًا حتى مع الاعتراف بوجود تشابه بين الجملتين شكلًا ومضمونًا! من حيث الشكل، كلتا الجملتين في (1) و(2) خاضعة لعلاقة الاستلزام المنطقية «إذا س، فإنّ ص»، ومن حيث المضمون، كلتاهما تشير إلى تنبّؤ بوقوع حدث معين: انكسار الكأس وانعدام وجود خصوم للملك.

لكننا مع ذلك لسنا على استعداد بقبول صحة (2) بقدر قبولنا بصحة (1)، والأهمّ من ذلك أن نسأل: لماذا؟ تحتاج الإجابة الشافية على هذا السؤال إلى الدخول في تفاصيل مشكلات التفسير العلمي في فلسفة العلم الحديث، وهذا موضوع سنرجئه إلى القسم الثالث من هذا الكتاب. سنكتفي هنا بالقول إنّ العلاقة بين القضيتين «س» و«ص» هي علاقة تفسيرية تحتوي على ترابط سببي فاعل في (1) وتفتقر إلى مثل الترابط في (2). لتوضيح هذه النقطة، يكفي أن نشير إلى أنّ العلاقة «إذا س، فإنّ ص» متكافئة منطقيًّا مع العلاقة «ص لأنّ س»، ولهذا، حين نريد التنبّؤ، نقول، مثلًا: «إذا سقط الكأس، فإنّه سينكسر»، وحين نريد التفسير، نقول: «انكسر الكأس لأنّه سقط». نجد في حالتي التنبؤ والتفسير ترابطًا سببيًّا فاعلًا بين سقوط الكأس وانكساره، وهذا النوع من الترابط هو ما تفتقر إليه العلاقة بين موقع كوكب الزهرة وخصوم الملك. نحن في هذه الحالة الأخيرة أمام تمازج بين ملاحظة علمية ونبوءة خرافية، بين حدث فلكي وحدث سياسي. نحن -باختصار- أمام مثال صارخ على التمازج بين علم الفلك وعلم التنجيم.

إذا ما نظرنا في الحضارة الصينية، فإننا نجد أمرًا مشابهًا. فعلى سبيل المثال، في المجلد السادس والعشرين من «كتاب هان»، وهو المجلد الخاص بعلم الفلك أثناء عهد سلالة هان التي حكمت الصين في الفترة ما بين 202 قبل الميلاد إلى غاية 221 ما بعد الميلاد، ترد هذه الفقرة في مقدمة المجلد[18]:

«مصدرها (أي مصدر الظواهر الكونية) على الأرض، ولكنها تكشف عن نفسها عاليًا في السماء. إذا أخطأت السّلطة هنا، فإنّ النّذير سيظهر هناك، كمثل الظل يتبع الشيء، أو كمثل الصدى يستجيب للصوت. لهذا فإنّ الحاكم المستنير يهتمّ بتلك الظواهر».

ليست الظواهر الكونية -إذًا- سوى نتيجة لما يجري على الأرض، وليس بالضرورة أن تأتي هذه النتيجة على شكل نذير، بل قد تجيء بوصفها بُشرى، فعلى سبيل المثال، تقول إحدى العبارات على لوح صلصالي بابلي: «إذا بدا كوكب الزهرة أحمرَ اللون عند أول ظهوره، فسيكون موسم الحصاد ناجحًا، وسيشعر ملك أكاد بالبهجة»[19].

لا يقتصر هذا التمازج على ما بين علم الفلك وعلم التنجيم، بل يتعدّاه أيضًا إلى ما بين علم الطب والسحر، فكثيرًا ما تُنسب الأمراض إلى أعمال السحر والشعوذة في الحضارات القديمة، وكثيرًا ما كان علاجها يتوسّل الاستعانة بإقامة الطقوس الدينية واستخدام مجموعة من التعويذات الخاصة بكل مرض. على سبيل المثال، لا الحصر، يقول أحد الباحثين المتخصصين في تاريخ الطب القديم في الحضارة الهندية: «لم تكن أسباب المرض تُنسب إلى وظائف فيسيولوجية، بل إلى كائنات خارجية أو إلى قوى ذوات طبيعة شيطانية تدخل إلى جسد الضحية وينتج منها المرض، والتخلص من تلك القوى الشريرة يتضمّن عادة طقوسًا تقام بعناية فائقة»[20].

سبق أن أشرنا في المبحث السابق إلى مهنة الطبيب أو «الآشو» في حضارة بابل، لكن إلى جانبها كانت هناك أيضًا مهنة «طارد الأرواح الشريرة»، أو ما يسمى في تلك الحضارة «الآشيبو». بالرغم من أن الجدل بين الباحثين لا يزال قائمًا حول مدى تعامل البابليين مع مهنتيِ الطب والسحر بوصفهما مهنتين منفصلتين الواحدة عن الأخرى، وبالرغم من أن الدلائل النصيّة تشير إلى انفصالهما على الأقل في مرحلة تاريخية مبكرة من حضارة بلاد الرافدين، فإنّ الخط الفاصل بينهما بدأ في الاضمحلال مع نهاية الألفية الثانية قبل الميلاد، حيث نجد بداية تمازج مهنيّ بين «الآشو» و«الآشيبو»[21]، ولا يختلف الأمر عمَّا نجده في الحضارة الفرعونية من تمازج بين الطب والسحر، حيث كانت الإشارة إلى التعويذة والرقية والتميمة حاضرة بشكل كبير في النصوص الطبية المصرية القديمة[22].

5. 4. أغراض العلم القديم

بعد أن استعرضنا، أولا، نماذج من العلم القديم، وبعد أن استعرضنا، ثانيا، أمثلة على التمازج بين العلم واللّاعلم في بعض الحضارات القديمة، نصل الآن إلى الحديث حول أغراض العلم القديم، وسنبين هنا كيف كان العلم القديم يقوم بوظيفة جوهرية تتمثّل في خدمة الأسطورة.

لا جدال في أن العلم القديم لا يختلف عن العلم الحديث من حيث أنّ لكليهما أغراضًا عمليّة صرفة، فعلى سبيل المثال، المعرفة

الطبية المدونة على أوراق البردي في الحضارة الفرعونية لا تختلف عن تلك التي نجدها في أحدث مرجع في علم الطب الحديث من حيث أنّ الغرض منهما هو التداوي والشفاء من الأمراض. بالمثل، لا اختلاف بين الحسابات الفلكية المدونة على الألواح الصلصالية البابلية والمعادلات الرياضية التي تتضمّنها أحدث النظريات الفلكية من حيث أنّهما تشتركان في إتاحة القدرة على التنبّؤ بالظواهر الكونية. يُضاف إلى هذا وذاك الجانب العملي لعلم الرياضيات، فقد شهدت الحضارات القديمة تطوّرًا ملحوظًا لعلم الرياضيات نتيجة الحاجة إلى حساب الضرائب وتقسيم الأراضي والمعاملات النقدية وغيرها من حاجات عمليّة وروتينية.

من حيث الجانب العملي الصرف -إذًا- ليس هناك اختلاف جوهري بين العلم القديم والعلم الحديث، لكن ماذا عن الجانب النظري؟ للعلم الحديث، كما هو معروف، إطار نظري يحتوي على مفاهيم وافتراضات أولية، من دونها لا يكون العلم ممكنًا. على سبيل المثال، يضمّ الإطار النظري العام للعلم الحديث مفهوم «الطبيعة» بوصفها موضوعًا للبحث، إلى جانب فرضية ميتافيزيقية تشير إلى أنّ العالم الفيزيائي نظام مغلق سببيًّا، وفي ظل هذا الإطار النظري، لا يمكن الحديث عن العلم في ظل غياب مفهوم «الطبيعة»، كما لا يمكن الإشارة إلى قوانين الطبيعة من دون افتراض مفاده أنّ كلّ حدث فيزيائي له أسباب فيزيائية فحسب. لو نظرنا إلى العلم القديم في ظل هذا الإطار النظري الحديث، لكانت النتيجة تشويهًا

كبيرًا للعلم القديم، فعلى سبيل المثال، لا وجود في العلم القديم عند البابليين لمفهوم «الطبيعة» بوصفها موضوعًا للبحث، كما أنّ ما سبق أن أشرنا إليه من تمازج بين الظواهر الكونية والأحداث السياسية في الحضارات القديمة يفيد بغياب فرضية الانغلاق العِلّي للعالم الفيزيائي في الإطار النظري للعلم القديم. لقد دفع هذا الاختلاف الجوهري في الإطار النظري بين العلم القديم والعلم الحديث إلى سؤال في غاية الأهمية: «أي نوع من العلم هذا الذي لا يتخذ من الطبيعة موضوعًا للبحث؟»[23].

يبدو من الواضح أن البابليين، وبالرغم من خلو إطارهم النظري لعلم الفلك من مفهوم «الطبيعة»، كانوا يتعاملون مع العالم الخارجي بوصفه عالمًا من الإشارات المشفّرة التي ينبغي فكّها للتعامل مع الواقع وكل ما يتصل به من أحداث، وهم إذا كانوا مثل العلماء المحدثين في قدرتهم على ملاحظة نظام كوني تتكرر فيه ظواهر محددة، فإنّهم أيضًا مثل العلماء المحدثين في محاولتهم لوصف تلك الظواهر والتنبؤ بحدوثها من خلال استخدام أدوات رياضية. لكنهم على العكس من العلماء المحدثين لم يكونوا مدفوعين في دراستهم لتلك الظواهر بفضول علمي لفهم أسباب حدوثها، بل لاستقبال ما تحتويه من رسائل إلهية تحتوي على نذير تارة، وعلى بشرى تارة أخرى.

في معرض حديثنا عن نماذج من العلم القديم، أشرنا إلى مجموعة الألواح الصلصالية الشهيرة والمعروفة باسم «إنوما آنو

إنليل»، وهي إشارة جاءت في سياق التدليل على شهرة البابليين منذ القدم برصد حركة الأجرام السماوية على مدى قرون من الزمن. كان هذا الرصد، مع ذلك، مقرونًا على الدوام بأحداث دنيوية، لا سيّما الأحداث السياسية، وقد سبق أن رأينا مثالًا على ذلك من خلال الجملة التالية: «إذا وقع كوكب الزهرة خلف القمر، فلن يكون للملك خصوم». لننظر، أيضًا، إلى هذه الفقرة الواردة في نصوص الحقبة الآشورية الحديثة والمعروفة باسم «التقارير»، وهي مكتوبة في الفترة ما بين 680 إلى 627 قبل الميلاد[24]:

«لقد راقبنا السماء مرتين أو ثلاث مرات هذه الليلة بحثًا عن كوكب المريخ لكننا لم نرَه، فقد غاب. لعلّ مولاي جلالة الملك يتساءل: هل في غيابه هذه الليلة إشارة ينبغي معرفتها؟ سأجيبه: لا يبدو أنّ ثمة إشارة».

إلى الحقبة التاريخية نفسها تنتمي هذه الفقرة أيضًا[25]:

«إذا غاب كوكب الزهرة من ناحية الغرب في اليوم 15 من الشهر الحادي عشر، ثم ظلّ غائبًا لمدة ثلاثة أيام ليعاود الظهور من جديد من ناحية الشرق في اليوم 18 من الشهر الحادي عشر، ستحلّ كوارث بالملوك، وسيجلب الإله «أداد» الأمطار، وسيجلب الإله «إيا» السيول، وسيبعث ملك برسالة تحية إلى ملك آخر».

ليست هذه -وغيرها كثير- سوى أمثلة على ظاهرة نجدها منتشرة في نصوص الحضارتين الآشورية والبابلية ومن قبلهما

الحضارة السومرية، وهي ظاهرة تدلّ بوضوح على اختلاف جوهري في الإطار النظري بين العلم القديم والعلم الحديث، فإذا كان العالم الفيزيائي من منظور العلم الحديث موضوعًا للبحث في ذاته بغرض فهم ظواهره واكتشاف قوانينه، فإنّه من منظور العلم القديم لا يعدو أن يكون مجرّد بيئة يجري من خلالها البحث عن إشارات إلهية، إمّا انتظارًا لبشرى سارّة، وإما إشفاقًا من نذير مشؤوم، وإمّا لمجرّد تلبية الحاجة إلى كيفية إدارة أعمال دنيوية، لا سيّما تلك المتعلقة بالشأن السياسي.

مكتبة
t.me/soramnqraa

5 . 5. خاتمة

لكلّ الحضارات القديمة أساطيرها حول الكون والحياة والإنسان، والعلم القديم، إلى جانب أغراضه العمليّة المعروفة، كان له غرض جوهريّ في خدمة الأسطورة، فالإشارات الإلهية التي تملأ الكون تستمدّ شرعيتها من إطار أسطوري، والبحث عنها هي الوظيفة الأساس للعلم القديم. لقد أسهمت هذه الوظيفة في إعاقة التأمل الفلسفي في طبيعة العلم، ففي حضارات الشرق القديم شكّلت الأسطورة الإطار النظري لفهم الكون في الوقت الذي لم يكن فيه العلم سوى أداة عملية وخاضعة لمتطلّبات هذا الإطار، كما لم يكن الغرض من سبر أغوار الطبيعة محاولة لفهم الطبيعة في ذاتها، بل كانت محاولة لقراءة الإشارات أو الرموز الكامنة خلف الظواهر الطبيعية، بعبارة أخرى أكثر تحديدًا، لم تكُن الطبيعة تمثّل موضوعًا

للبحث والاكتشاف، بل كانت تمثّل الوسط الذي يجري كلاهما من خلاله. لا غرابة -إذًا- من عدم وجود شواهد في حضارات الشرق القديم على قيام ثورة ضد الأسطورة بوصفها أداة معرفية.

تبدو الصورة مختلفة في الحضارة الإغريقية، حيث كان الشعر في المقام الأول يقوم بأداء وظيفة خدمة الأسطورة، وحين لم تعُد الأسطورة تلبّي حاجة العقل الناقد إلى تفسير نشأة الكون، نشأت الفلسفة الإغريقية لتلبية تلك الحاجة، وسنتتبّع مسار هذا الانتقال من الأسطورة إلى الفلسفة في الفصل القادم، ثم نتابع في الفصل السابع بلوغ هذا الانتقال أوج نضوجه في فلسفة أرسطو، حيث أضحى العلم لأوّل مرة موضوعًا للفلسفة، وسنرى في الفصل الثامن كيف أسهم التأثير الكبير لفيزياء أرسطو على وجه الخصوص في قيام العلم، لا في خدمة الأسطورة كما هي الحال في حضارات الشرق القديم، بل في خدمة الفلسفة.

الفصل السادس

من الأسطورة إلى الفلسفة

6 . 1 . الأسطورة في الحضارة الإغريقية

لا تحظى كلمة «أسطورة» بدلالة إيجابية من الناحية المعرفية، فعادة ما تشير هذه الكلمة في كثير من اللغات الحيّة إلى ما هو غير حقيقي في أفضل الأحوال، أو إلى ما هو تلفيق ودجل في أسوئها. لا تقتصر هذه الدلالة السلبية على وقتنا الحاضر، بل تمتدّ إلى قرون طويلة، وليس أدلّ على ذلك من موقف الفلاسفة الإغريق الأوائل من ملحمتيْ هوميروس أو أشعار هسيود[1]. لكن ما هي الأسطورة في حقيقة الأمر؟

الأسطورة هي حكاية بغرض التفسير، وأما موضوع التفسير فعادة ما يرتبط بالظواهر الكونية وأصل الموجودات وعلاقة الإنسان بالطبيعة من حوله. الأسطورة، بمعنى آخر، هي استجابة لحاجة الإنسان إلى التكيّف الذهني مع محيطه المادي، وقد عبّر عالم الاجتماع الفرنسي دوركايم عن هذه الفكرة بقوله: «ما يكمن في

جوهر الأساطير لا يعبّر عن حاجة عَمَليّة، بل عن حاجة عقلية للفهم»، هي حاجة: «عامة وإنسانية في جوهرها»[2].

سبق أن أشرنا إلى أنّ لكلّ حضارة أساطيرها الخاصة بها، أي منظورها الخاص عن الكون وما يحتويه من كائنات وأشياء، وقد حفظ لنا التاريخ بعضًا من أساطير المصريين والبابليين والصينيين والهندوسيين وغيرهم من الشعوب القديمة، كما انتقلت بعض أساطير الشرق إلى آسيا الصغرى (الأناضول) لتشكّل جانبًا مهمًّا من الثقافة الإغريقية القديمة وتلهم لاحقًا أشهر شعراء تلك الثقافة من أمثال هوميروس وهسيود.

اتصفت آلهة جبل الأوليمب في نظر الإغريق القدماء بالخلود والقوة الخارقة، غير أنّ لها من الصفات الأخرى التي تجعلها إلى الإنسانية أقرب منها إلى الألوهية، فهي آلهة تفرح وتغضب، تُحبّ وتكره، تضحك وتبكي، تصحو وتغفو، تعفو وتنتقم، تساعد وتتآمر، تفي وتخون، تتصالح وتتخاصم، تتزاوج وتُنجب، وإلى غير ذلك من الصفات الإنسانية المألوفة. بل إن كبير الآلهة، زيوس، لم يكن ليفطنَ، وهو ما هو، إلى الحيلة التي حاكتها له زوجته الإلهة هيرا، فبعد أن تبيّن لها محاباة بعلها زيوس للطرواديين في حربهم ضدّ الإغريق، لجأت هيرا إلى هيبنوس (إله النوم) تستنجده في أن يُعينها على إنجاح حيلتها، فكان لها ما أرادت وغلب على زيوس النعاسُ لِتنتهز هيرا الفرصة في ترجيح كفة الإغريق ضد الطرواديين، وقد صوّر هوميروس مشهد تلك الحيلة في ملحمة «الإلياذة» بقوله[3]:

فارتأت مُذْ أعملت فكرتَها لَتعُدّنّ له زينتها
فإذا ما جاءها مُفتتنًا بسناها أنفذت حيلتها
وعلى عينيه إن تلق السبيل سكبت روح السبات المستطيل

لم يكن كبير الآلهة زيوس خالقًا للكون في الأساطير الإغريقية، فبالنسبة إلى هوميروس يُشكّل الكون المسرح الكبير الذي تدور فيه أحداث الأسطورة، ولكننا لا نجد عند هوميروس أدنى إشارة إلى كيفية نشوء الكون، وأما الشاعر الإغريقي هسيود فاكتفى في «أنساب الآلهة» بالإشارة إلى أن بداية الكون كانت فراغًا احتلته الأرض والآلهة لاحقًا، ومع ظهور الآلهة ازداد مقدار الفوضى في الكون جرّاء الحالة المزاجية التي اتصف بها سلوك الآلهة فيما بينهم ومع بني البشر[4]. في قصيدته الشهيرة «الأعمال والأيام»، يشير هسيود إلى مراحل تطور «عُمر العالم»، ابتداء بأفضل العصور وهو العصر الذهبي، مرورًا بالعصر الفضي والعصر البرُنزي والعصر البطولي، وانتهاء بالعصر الحديدي، مُبديًا امتعاضه الشديد من انتمائه إلى أسوأ العصور!

لم تكن «الإلياذة» وغيرها من الملاحم الشعرية سوى بداية عملية تدوين لتراث شفهي امتدّ إلى قرون من الزمن[5]، وقد دأبت الطبقة الأرستقراطية الإغريقية على دعم رواة الأساطير والاعتناء بهم، فالنظام الطبقي لآلهة الأساطير فيه تعزيز للنظام الطبقي بين البشر. عمدت الطبقة التجارية الصاعدة في أثينا أيضًا إلى العناية بأشعار هوميروس على وجه الخصوص لما لها من منافع مادية، فإلقاء

أشعار هوميروس في المناسبات الدينية والاجتماعية كان له جمهور عريض بين الإغريق القدماء، والنقوش التي تصوّر آلهة «الإلياذة» وأبطالها كانت تزخرف المباني والجدران والأواني المنزلية، وبهذا شكّلت أشعار هوميروس الوعي الإغريقي لقرون طويلة. هذا ما يعترف به أفلاطون نفسه بالرغم من بغضه الشديد للأثر الذي تركه هوميروس في حياة الإغريق[6]، حيث نجد في كتاب «جمهورية أفلاطون» إشارة إلى هوميروس بوصفه «مُعلّم اليونان»[7].

إنّ الأسطورة، وبصرف النظر عن بُعدها الخُرافي، تنطوي على تأمّل الإنسان في الظواهر الكونية وأصل الموجودات وعلاقة الإنسان بمحيطه المادي، وبهذا فإن أشعار هوميروس وهسيود بوصفها بداية الأدب الإغريقي القديم لم تُسهم في تخليد التراث الأسطوري الشفهي فحسب، بل أسهمت أيضًا في تمهيد الطريق أمام التأمّل الفلسفي الذي عبّر عنه فلاسفة عصر ما قبل سقراط، «فمن رحِم الأسطورة خرجت الفلسفة، وكلاهما يغذّي حاجات عقلية»[8].

6 . 2 . فلاسفة ما قبل سقراط

اتّخذ معظم فلاسفة عصر ما قبل سقراط من نظرية «العناصر الأربعة» نقطة انطلاق نحو تصوراتهم حول العالم الطبيعي. تشير نظرية «العناصر الأربعة» إلى أن أصل الأشياء كلها يعود إلى عناصر أربعة، وهي نظرية عرفتها الحضارات القديمة في مصر والهند،

ثم انتقلت لاحقًا إلى الحضارة الإغريقية. يرجّح الباحثون تاريخ ظهورها إلى حوالي 1500 سنة قبل الميلاد، وهي بذلك أقدم نظرية فيزيائية موثّقة عرفتها البشرية. أمّا ماهية العناصر الأربعة فتختلف في تفاصيلها بين حضارة وأخرى، ولكن القائمة السائدة هي تلك التي تُشير إلى العناصر التالية: الماء، والنار، والهواء، والتراب (أو الأرض). لقد اقتصر معظم فلاسفة عصر ما قبل سقراط على عنصر واحد من هذه العناصر الأربعة بوصفه الأصل الذي انبثقت منه كلّ الأشياء. على سبيل المثال، أصل الأشياء هو الماء عند طاليس، وهو الهواء عند أنكسيانس، وهو النار عند هيراقليطس. لعلّ من المفيد هنا أن نستبق الأمور للتنبيه إلى الحقيقة التالية، وهي أن العناصر الأربعة ينبغي ألّا تُفهم فهمًا حرفيًّا، فهي إلى كونها مبادئ عامة أو أنواعًا لصفات معينة أقرب من كونها عناصر محددة، وهذا ما سيتضح في العرض التالي لأبرز أفكار فلاسفة عصر ما قبل سقراط، أو مَن يُعرفون بالفلاسفة الفيزيائيين (أو الطبيعيين) وذلك لاعتمادهم على التفسير الفيزيائي للكون بدلًا من التفسير الأسطوري[9].

طاليس هو «الحكيم الأول» كما يُسميه المؤرخ الإغريقي لارتيوس في كتابه الذي حمل عنوان: «حياة أبرز الفلاسفة وآراؤهم»[10]، حيث يورد لارتيوس كثيرًا من الطرائف في حياة طاليس، منها قصة قياس طول الهرم التي سبق أن أشرنا إليها، ومنها نجاحه في التنبؤ بكسوف الشمس في عام 585 قبل الميلاد[11]. هناك أيضًا قصة طريفة أوردها برتراند راسل Russell نقلا عن كتاب «السياسة» لأرسطو[12]، حيث

يذكر أرسطو أنّ الناس لاموا طاليس على فقره بعد أنْ أفنى حياته في الفلسفة التي لم تُغنِ عنه شيئًا، فقام طاليس باستخدام خبرته في تحوّلات الطقس ليتنبّأ بمحصول جيد من الزيتون في العام القادم، ثم جمع ما لديه من مال قليل لتأجير معاصر الزيتون بأثمان منخفضة نظرًا إلى أنّ أحدًا لم يزايد عليه في السعر، وبعد أن حلّ الموسم وجاء الحصاد الوفير من الزيتون كما كان يتوقّع، استطاع أن يكسب مالًا كثيرًا، وبهذا أثبت طاليس للجميع أنّ الفلاسفة قادرون على الثراء إذا أرادوا، لكنّ طموحهم من نوع آخر ولا يكمن في المال!

لكن ما يهمنا هنا هو أن طاليس كان يُرجع أصل كل شيء إلى الماء، ولا يُعرف تحديدًا المقصود بذلك، فمن المعروف أن طاليس لم يكتب شيئًا، وكلّ ما نعرفه عنه يعتمد على ما نقله الآخرون عن حياته وأفكاره، ومما نُقل عنه اعتقاده بأن الأرض تطفو على الماء ولها شكل القُرص من حيث أنها مُسطّحة ودائرية، كما نُقل عنه قوله إنّ العِلّة وراء نشأة الزلازل تعود إلى الحركة العنيفة للماء الذي تطفو الأرض على سطحه. عاش طاليس في الفترة ما بين القرن السابع والقرن السادس قبل الميلاد[13]، وترعرع في مدينة «ميليتوس» الواقعة في إقليم أيونا على الساحل الغربي لآسيا الصغرى (الأناضول، تركيا حاليًّا)، ويعُدّه الباحثون مؤسس المدرسة الميليتوسية التي ينتمي إليها كذلك أنكسمندرس وأنكسمانس.

أمّا **أنكسمندرس** فتلميذ طاليس، وقد كانت نظرته حول نشأة الكون أكثر تجريدًا من أستاذه، فقد كان يرى أن الأساس الذي

تقوم عليه كل الأشياء غير قابل للتحديد فيزيائيًّا، ذلك أنه لامتناهٍ، ولكنه قادر على التشكّل في أي صورة فيزيائية، ومنه إنما انبثقت كل الأشياء، وبهذا يكون أنكسمندرس أوّل فيلسوف إغريقي يُقيم النظرية الفيزيائية على أساس مُجرّد (لا حسّي)[14]. وأمّا **أنكسمانس** فتلميذ أنكسمندرس، وعلى العكس من أستاذه، كان أنكسمانس أكثر تحديدًا في نظرته الطبيعية إلى الكون، ذلك أنّه كان يرى أن أساس كل الأشياء هو الهواء، وبقدر كثافة الهواء تتفرّع منه المواد الأخرى، فكلما زاد الضغط على الهواء تحوّل من حالة مُكثّفة إلى حالة أخرى أكثر كثافة، فمن الهواء إلى الريح، فالسحاب، فالماء، فالتراب، وأخيرًا إلى الصخر ومنه إلى المواد الفيزيائية الأخرى[15].

إلى جانب طاليس وأنكسمندرس وأنكسمانس، هناك أيضًا فيثاغورس وهيراقليطس، وكلاهما ينتمي جغرافيًّا إلى إقليم أيونا، وينتمي تاريخيًّا إلى القرنين السادس والخامس قبل الميلاد. أما **فيثاغورس** فنعرفه جميعًا منذ نعومة أظافرنا من خلال نظريته الشهيرة حول المثلث القائم الزاوية، وبالرغم مما شاب سيرته الذاتية من أساطير نسبها إليه المؤرخون الأوائل، فإنّ المؤكّد أنه ترك وراءه أتباعًا هم إلى الطائفة الدينية أقرب منهم إلى المدرسة الفكرية، فقد اتصفت المدرسة الفيثاغورسية ببعض الطقوس الغريبة المتعلقة بنيل عضوية الانضمام إليها، كما عُرف عنها صرامة قواعد الانضباط المفروضة على أعضائها في سلوكهم اليومي، والتكتّم على المعرفة المكتسبة وإبقاؤها في نطاق أتباع فيثاغورس[16]. كان

الفيثاغورسيون يرون أن «العدد» يحكم الكون، أي أن العلاقات الرياضية هي أساس العالم الطبيعي، وقد بلغ عندهم الهَوَسُ بالأشكال الرياضية الكامنة خلف كل ظاهرة طبيعية إلى حدّ اشتهارهم بشعار «كُلّ شيء عدد».

أمّا **هيراقليطس**، فقد عُرِفَ عنه أسلوبه المبهم والمليء بالألغاز، ولذلك اختلف الباحثون في تفسيراتهم لفلسفته، لكن الرأي السائد هو أن هيراقليطس رأى في النار أصل الأشياء، فالكون بالنسبة إليه لم تخلقه الآلهة، بل هو دائم الوجود على شكل كرة ضخمة من النار التي انبثق منها أصل كل الأشياء، ولهذا فإن مفهوم «النار» يشير إلى دلالات متعددة عند هيراقليطس، مثل الطاقة والحرارة والإشعاع. من جهة أخرى، أمعن هيراقليطس النظر في ظاهرة التغيّر الدائم للأشياء، وهو صاحب العبارة الشهيرة «إنك لا تطأ بقدمك النهر نفسه مرتين»، فبالنسبة إليه، كل شيء في تغيّر دائم، وهذه هي المشكلة التي حاول التعامل معها من خلال «اللوغوس»، ومعناها الحرفي في الإغريقية «الكلمة»، لكنها تعني أيضًا أشياء أخرى، مثل: «الكلام» أو «المنطق» أو «العقل»[17]. أما هيراقليطس فقد منحها معنى فلسفيًّا بوصفها المبدأ الجامع لكل الأشياء، فالنهر، على سبيل المثال، وإنْ كان دائم التغير، فإنه يحتفظ بصورته كنهر بفضل «اللوغوس» الذي هو بمثابة الصورة الأولية لكلّ الأشياء.

إلى جانب فلاسفة إقليم أيونا، هناك أيضًا فلاسفة مدينة إيليا، وهي مستعمرة إغريقية على الساحل الجنوبي-الغربي لإيطاليا.

نشطت المدرسة الإيلية في الفترة ما بين القرنين السادس والخامس قبل الميلاد، وقد شكّلت نقلة راديكالية في التفكير الفلسفي بالقياس إلى فلاسفة إقليم أيونا. إنّ ما يجمع بين فلاسفة المدرسة الإيلية هو إيمانهم بوحدة الكون، وإذا كان شعار الفيثاغورسيين «كل شيء عدد»، فإن شعار الإيليايين هو «كل شيء واحد»، وبهذا شنّ هؤلاء الفلاسفة هجومًا عنيفًا ضد تعدّد الآلهة في الأساطير القديمة، وروّجوا لفكرة الإله الواحد، وهو إله لا يقع في نظرهم خارج الكون، بل هو الكون نفسه! كما رفض هؤلاء الفلاسفة تجارب الإنسان الحسية كوسيلة معرفية وأصرّوا على استخدام العقل بوصفه الأداة المعرفية الوحيدة التي يُمكن الوثوق بها، ولهذا اعتنى فلاسفة المدرسة الإيلية ببناء الحجج العقلية في الدفاع عن آرائهم ومهاجمة آراء خصومهم، ومن ضمن أبرز فلاسفتها كسينوفانس وبرمنيدس وزينون[18].

كان **كسينوفانس** شاعرًا وفيلسوفًا، واشتهر بسخريته الدائمة من آلهة هوميروس وهسيود، مُتهمًا إياهما بعزو أسوأ الصفات والمشاعر البشرية إلى الإلهة، مثل الغضب والمكيدة والانتقام، كما لاحظ كسينوفانس أن الاختلاف في أشكال الآلهة من ثقافة إلى أخرى يرجع إلى الاختلاف بين الصفات البيولوجية بين عِرق وآخر، فكلّ عرق بشري له آلهته التي صنعها على شاكلته، بل إنّ كسينوفانس يذهب إلى أبعد من ذلك ليقول: «لو كانت الثيران والخيول... تستطيع أن ترسم كما يفعل الإنسان، لرسمت

الثيران آلهتها على شكل ثيران، ولرسمت الخيول آلهتها على شكل خيول»[19]! عُرف عن كسينوفانس حدّة الذكاء والنقد المُبطّن، ويُحكى أنّ فيلسوفًا جاءه ذات مرة مُشتكيًا من عدم قدرته العثور على رجل حكيم طوال حياته، فما كان من كسينوفانس إلّا أن أجابه قائلًا: «هذا أمرٌ واردٌ جدًّا، ذلك أن فرصة عثورك على رجل حكيم تعتمد على أن تكون رجلًا حكيمًا»[20]!

أمّا **برمنيدس** فيُعدّ أهم فلاسفة المدرسة الإيلية، وقد عبّر في قصيدته الشهيرة والتي حملت عنوان «في الطبيعة» عن رفضه الوثوق بالمعرفة الحسية، فإذا كانت حواسنا تخبرنا بأنّ الكون يحتوي على أشياء خاضعة للتغيّر، وبالتالي، متعددة، فما ذلك إلّا وهمٌ، لأنّ الوجود الحقيقي هو «الواحد» ولا شيء غيره[21]. لهذا الواحد، بالنسبة إلى برمنيدس، شكل دائري ويمتاز بالخلود الزمني والثبات المكاني، أي إنه غير خاضع للتغيّر أو «الصيرورة»، وبالتالي من المستحيل أن ينبثق الوجود من العدم، ومن المستحيل كذلك أن يحدث العكس[22]. دافع برمينيدس عن هذا الموقف الأنطولوجي مستخدمًا عديدًا من الحجج العقلية، كما يصفه بعض الباحثين المعاصرين بأنه أول فيلسوف يضع خطًّا فاصلًا بين الحجج التي تعتمد في صحتها على الحواس وتلك التي تعتمد في صحتها على العقل، كما أنه من أوائل من استعملوا الاستدلال الاستنباطي في بناء الحجة[23].

تصدّى **زينون** لمن سخروا من نظرية برمنيدس حول «الواحد» وانبرى يُبيّن تهافت نظرية التعددية والقائمة بدورها على نظرية

خضوع الأشياء للتغيّر من حالة إلى أخرى. أشار زينون إلى عدد من المفارقات نتيجة الوثوق بحواسنا كمصدر للمعرفة، وكان الهدف من هذه المفارقات الكشف عن التناقض نتيجة التقسيم اللامتناهي للمكان والزمان، وبالتالي، إثبات أنّ ظاهرة التغير في المكان أو الحركة الفيزيائية ليست إلّا وهمًا[24]. على سبيل المثال، إحدى أشهر المفارقات التي ساقها زينون تلك التي تُعرف باسم «أخيل والسلحفاة»، وهي في جوهرها تجربة ذهنية تقوم على افتراض إجراء سباق بين البطل الأسطوري «أخيل» المعروف بسرعته الفائقة والسلحفاة المعروفة ببطء حركتها، بحيث يبدأ السباق بعد أن يُتاح للسلحفاة مسافة متقدمة على أخيل. إزاء هذه المعطيات الأولية، يؤكّد زينون أنه بالرغم من أن حواسنا تشير إلى أنّ أخيل سيلحق لا محالة بالسلحفاة ويسبقها، فإن أمرًا كهذا لا يعدو أن يكون مجرّد وهم! يُمكن عرض حجة زينون هنا على النحو التالي: قبل بداية السباق، يكون أخيل عند نقطة معينة، ولنسمّها أ، وأما السلحفاة فستكون عند نقطة متقدمة من السباق، ولنسمّها ب. حين يبدأ السباق ويصل أخيل إلى النقطة ب، تكون السلحفاة قد تخطّت تلك النقطة وتقدّمت إلى النقطة ج، وحين يصل أخيل إلى النقطة ج، تكون السلحفاة قد وصلت إلى النقطة د، وهكذا دواليك، ومهما حاول أخيل فلن يستطيع اللحاق بالسلحفاة، فبصرف النظر عن التناقص التدريجي للمسافة بين نقطة وأخرى على طول السباق، فهناك دائمًا عدد لامتناهٍ من النقاط بين نقطتين!

الجدير بالذكر هنا هو أن مفارقة «أخيل والسلحفاة» مثّلت أحد مظاهر مشكلة اللّاتناهي التي تعامل معها فلاسفة الإغريق والمسلمين. أسهمت مفارقات زينون في نشوء ما يسمى «المذهب الذري» في الفلسفة الإغريقية، وهو المذهب الذي سنأتي على ذكره بعد قليل، كما أنّها مفارقات كان لها صدى في الفلسفة الإسلامية من خلال الجدل المعتزلي الشهير بين أبي الهُذيل العلّاف وتلميذه إبراهيم النظّام. من جهة أخرى، لم يكن في وسع السابقين إيجاد حلول شافية لمفارقات زينون قبل تطور ميدان الرياضيات في عصور لاحقة وتعامله مع النهايات الرياضية وحساب التفاضل والتكامل[25].

ما زلنا في طور الحديث عن فلاسفة ما قبل عصر سقراط، وكلّ مَن ذكرنا من فلاسفة حتى الآن حصروا أصل الكون في شيء واحد فقط، غير أنّ العثور على الوحدة الكامنة في الأشياء لا يقتضي بالضرورة أنّ يكون الأصل واحدًا، فقد تُعبّر هذه الوحدة عن مجموعة من العناصر، وهذا ما جنح إليه الفلاسفة من أنصار تعددية أصل الكون، الذين سنأتي على ذكرهم الآن.

من ضمن أشهر أنصار تعددية أصل الكون إمبيدوكليس وأناكسوراس. ينتمي **إمبيدوكليس** تاريخيًّا إلى القرن الخامس قبل الميلاد، وينتمي جغرافيًّا إلى جزيرة صقلية، وقد نَقل المؤرخ الإغريقي لارتيوس بعضًا من تفاصيل حياته في كتابه الذي سبق أن أشرنا إليه، منها أن إمبيدوكليس ينتمي إلى طبقة أرستقراطية،

ومع ذلك كان من المؤمنين بالديمقراطية والمساواة بين الناس، كما كان شاعرًا مجيدًا وخطيبًا بارزًا. نُسب إليه كثير من المعجزات، كما أن شعره يفضح اعتدادًا بالنفس إلى درجة ادّعى فيها أنه إله[26]! تبنّى إمبيدوكليس نظرية العناصر الأربعة، ولكنه أخضع هذه العناصر (أو «الجذور» كما كان يُسميها) إلى قوّتين كونيّتين، سمّاهما المحبّة والنزاع، وكما لاحظ عديد من الباحثين، تكمن هنا الجذور التاريخية في مفهومي التجاذب والتنافر في الفيزياء الحديثة[27]. بحسب إمبيدوكلس، كل الأشياء هي نتاج خليط بمقدار معين لتلك الجذور الأربعة، فعلى سبيل المثال، عظام الإنسان من وجهة نظره هي نتاج خليط بمقدار معين من الجذور الأربعة[28].

أمّا **أناكسوراس** فقد وُلد في مدينة كلازوميناي في إقليم أيونا حوالي عام 500 قبل الميلاد، وقضى نحو ثلاثين عامًا في أثينا متعاطيًا السياسة إلى جانب رجل الدولة الشهير بيركليس، لكنّه أُبعِد قسرًا عن أثينا بتهمة «عُقوق الآلهة» بعد أن أذاع بين الناس أنّ الأجرام السماوية ليست آلهة بل مجرّد صخور صمّاء[29]. كما هي الحال مع إمبيدوكلس، تبنّى أناكسوراس نظرية تعدّد أصل الأشياء، كما أخضع هذا التعدّد لقوّة كونية، لكنّه خالف إمبيدوكلس وذهب إلى القول بأنّ الكون لم يكن نتاج خليط من العناصر الأربعة، بل كان خليطًا مما أسماه «البذور» المتناهية في صغرها[30]. يُرجّح بعض الباحثين المعاصرين أن المقصود بالبذور عند أناكسوراس هي الصفات الفيزيائية المتضادة، مثل الحار والبارد، الأبيض والأسود،

الجاف والرطب، وغيرها من الصفات، بحيث يحتوي أي شيء على بذور متضادة في صفاتها، وما يُميز هذا الشيء عن الأشياء الأخرى هو التفاوت في مقدار نوع البذور (أو الصفات)، على سبيل المثال، الماء البارد هو بارد وحار في الوقت نفسه، وما يجعله باردًا هو أن مقدار البرودة فيه أكبر من مقدار الحرارة[31]. كذلك اختلف أناكسوراس مع إمبيدوكلس حول طبيعة القوّة التي تخضع لها كل الأشياء، فالكون بالنسبة إليه لم ينشأ بفعل إخضاع العناصر الأربعة إلى قوتي المحبة والنزاع كما يدّعي إمبيدوكلس، بل نشأ بفعل قوة العقل بوصفه المُحرك الأول، أي العقل بوصفه المسؤول عن إخضاع الخليط الكوني في صورته الأولى لحركة دائرية نتج منها تفاوت في مقادير الصفات المتضادة، ومن هذا التفاوت نشأت تعددية الأشياء كما نراها من حولنا[32].

أخيرًا، يُعدّ أنصار «المذهب الذرّي» من المدافعين عن نظرية تعدّد أصل الأشياء، ويُعرفون باسم «الفلاسفة الذرّيون»، ومن أشهرهم **ليوقيدس وديمقريطس**، إضافة إلى الروماني **لوكرتيوس**، وقد ذهبوا جميعًا إلى القول بأنّ الكون في جوهره حركة دائمة لذرّات تسبح في الفراغ، وأنّ الأشياء والكائنات مُكونة جميعها من تلك الذّرات. بطبيعة الحال، لم يكن الفلاسفة الذرّيون ليصلوا إلى هذا القول من خلال المنهج العلمي كما نعرفه اليوم، فلم يكن ذلك المنهج متاحًا في زمنهم، وبالتالي فإنّ كلّ ما نستطيع قوله هو أنهم نجحوا في الوصول إلى التخمين الصحيح حول ماهية الكون وما

يحتويه من كائنات وأشياء، ذلك أنه تخمين منسجم مع حقائق العلم الحديث، ولكن إلى حدّ ما فقط، فالذرّة -كما نعلم- لا تشكّل الجزء الأصغر من المادة، بل تضمّ جسيمات أصغر، وهذه بدورها تتألّف من جسيمات أصغر منها حجما[33]. من جهة أخرى، لم يكن المذهب الذري -كما أشرنا في معرض حديثنا عن مفارقة زينون- سوى محاولة لتجاوز ما ينتج من مشكلة اللّاتناهي في الفلسفة الإغريقية.

6. 3. الفكر الأسطوري والفكر الفلسفي

بعد هذا العرض الموجز لأبرز أفكار بعض فلاسفة عصر ما قبل سقراط، لعلّ من المفيد هنا، وقبل الانتقال إلى الفصل التالي، أن نتطرق بإيجاز إلى بعض ملامح التشابه والاختلاف بين الفكر الأسطوري والفكر الفلسفي، أي بين طبيعة التفكير التي نجدها عند شعراء من أمثال هوميروس وهسيود من جهة، وتلك التي نجدها عند من سبق ذكرهم من فلاسفة من جهة أخرى.

لم تكن الفلسفة الإغريقية في بداياتها سوى امتداد طبيعيّ للأسطورة، فكلتاهما تُعبّر عن نظرة الإنسان التأملية في مُحيطه، وكلتاهما تُجسّد استجابة عقلية لتلك النظرة التأملية، غير أنّ الاختلاف بين الأسطورة والفلسفة يكمن في طبيعة هذه الاستجابة، فالأسطورة لجأت إلى عالم الآلهة لتفسير عالم الطبيعة، بحيث أضحى عالم الطبيعة محكومًا بمزاج الآلهة، وبهذا اتّسم النّسق الأسطوري بأنه نسقٌ مفتوح لا يُميّز بين ما هو خارق للطبيعة وما هو طبيعي،

في حين اقتصرت الفلسفة في بداياتها على الاشتغال داخل حدود الطبيعة، كما اعتمدت منذ بداياتها على الحجة العقلية كوسيلة إقناع، وبهذا اتّسم النَّسق الفلسفي بأنه نسقٌ مغلق لا يقبل إلّا ما هو طبيعي أو عقلاني.

بل حتى حين نعثر على الأصل الأسطوري لفكرة فلسفية، فإنّ هذا لا ينفي حقيقة أن الفلسفة في بداياتها دأبت على استبعاد أي دور للآلهة في تفسير الظواهر الطبيعية. على سبيل المثال، سبق أن أشرنا إلى نظرية طاليس حول ظاهرة الزلازل، تلك التي أشار من خلالها إلى أن الأرض تطفو فوق الماء وأنّ العِلّة وراء نشأة الزلازل تعود إلى حركة الماء العنيفة من تحت الأرض. يرجع أصل هذه الفكرة إلى أساطير بعض الحضارات القديمة، ومن ضمنها أساطير الحضارة الإغريقية التي تشير إلى إله البحر الغاضب «بوسيدون». مع ذلك، كان تفسير طاليس لظاهرة الزلازل، وبصرف النظر عن مدى صحته، خِلوًا من أي إشارة إلى دور الآلهة في هذه الظاهرة الطبيعية. من جهة أخرى، تكثر في الأساطير الإشارة إلى حدث طبيعيّ معين في زمن معيّن، في حين أننا نجد عند فلاسفة الطبيعة الأوائل تركيزًا، ليس في أحداث محددة، بل في ظواهر أعمّ وأشمل، مثلًا، إذا كان هوميروس يشير إلى زلزال أصاب مدينة ما، فإنّ طاليس يشير إلى الزلزال بوصفه ظاهرة قد تحدث في أي مكان أو زمان.

في معرض حديثنا حول فلاسفة ما قبل سقراط، لاحظنا اختلافًا واضحًا في الآراء بين فيلسوف وآخر، ودفاعًا عن رأي ضد

آخر، وهو ما يعكس إدراك الفلاسفة الأوائل للحقيقة التالية، وهي أنّ الرؤى الفلسفية، وإنْ كانت تتناول الموضوع نفسه، فإنها مع ذلك تعبّر عن رؤى متنافسة من الناحية الإبستمولوجية، أي إنها رؤى لا يُمكن أن تكون جميعها صحيحة في الوقت نفسه. هذا تحديدًا هو ما تفتقر إليه الأساطير والحكايات الخرافية بشكل عام، فعندما يصف الشاعر أو الرّاوي أمرًا ما، فإنه لا يجد في وصف غيره من الشعراء أو الرواة للأمر نفسه تنافسًا معرفيًّا للوصول إلى الحقيقة، ولهذا فإن معيار عدم التناقض بين الروايات والأوصاف غير وارد على الإطلاق عند شعراء الأساطير ورواة الحكايات الخرافية[34]. ينبغي القول، مع ذلك، إنه بالرغم من اشتغال الفلسفة الإغريقية داخل حدود الطبيعة، فإنها لم تستطِع الانعتاق من النزعة الأسطورية إلى عزو الصفات البشرية إلى قوانين الطبيعة، وهذا ما لمسناه على سبيل المثال عند نظرية إمبيدوكليس حول «المحبة والنزاع» كقوّتين من قوى الطبيعة، ولعلنا نلاحظ هذه النزعة حتى بعد ظهور العلم الحديث فيما يتعلّق بمفهومي التجاذب والتنافر بين الجسيمات الدقيقة.

يُضاف إلى ذلك كلّه الروح النقدية التي اتسمت بها آراء فلاسفة ما قبل سقراط، وبخاصة فيما يتعلق بموقفهم الناقد من الأساطير. نجد هذا الموقف الناقد لاحقًا عند سقراط نفسه، ففي محاورة فايدروس، يوجّه فايدروس سؤالًا إلى سقراط حول ما إذا كان يصدّق بحقيقة القصة التي ترويها الأساطير عن اختطاف

بورياس، إله الريح الشمالية، للأميرة أوريثيا، فيبدأ سقراط إجابته قائلًا: «لست ممن يصدّقون هذه الأساطير، شأني في ذلك شأن العلماء»[35]. لفهم طبيعة هذا الموقف الناقد من الأسطورة، لعلّ من المفيد هنا أن نشير إلى التقسيم الثلاثي القديم والشهير للفضاء الاجتماعي والمرتبط باللّاهوت الإغريقي: هناك فضاء ديني اختصّ به الشعراء وعبّر المسرح الإغريقي من خلاله عن معتقدات العامة من الناس، وهناك فضاء مدني اختصّ به رجال الدولة وعبّرت عنه الهيئات العامة والمتعلّقة بشؤون الحكم وتنظيم الحياة والطقوس الدينية، وهناك فضاء تأمّلي اختصّ به الفلاسفة وعبّرت عنه الآراء والنقاشات الفكرية التي كانت تُدار بعيدًا عن العامّة من الناس وامتازت بقدر أكبر من الحرية في نقد الأساطير الإغريقية[36].

لقد أسهمت نشأة الفلسفة، ليس في تخطّي حواجز التفكير الأسطوري فحسب، بل في جعل العلم نفسه موضوعًا للفلسفة، ومن المفيد أن نؤكد هنا على أنّ العلم الذي نشأ بعد الفلسفة ليس كالعلم القديم السابق عليها. لتوضيح هذه النقطة، لنتأمل ما يلي: إذا كان السؤال الجوهري في الفلسفة يبدأ بكلمة «لماذا»، وإذا كان السؤال الجوهري في العلم يبدأ بكلمة «كيف»، فهل في وسعنا القول إنّ الانتقال من الفلسفة إلى العلم هو في صميمه انتقال من السؤال الأول إلى السؤال الثاني؟ لا يبدو أنّ «نعم» هي الإجابة الصحيحة، ففي الوقت الذي كان فيه الفلاسفة القدماء يخوضون في عِلّة الكون وظواهره، كان عديد من الحرفيّين يعرفون كيفية تشييد المباني وبناء

الطرق وقياس المساحة وحساب الضرائب، كما أنّ العلم القديم، كما سبق أن رأينا، سابق على حضارة الإغريق وزاخر في ميادين الطب والرياضيات والفلك، بل إنّ العلم القديم في جانبه العملي المحض حافظ لقرون عديدة على مساره التاريخي المستقلّ عن مسار الفلسفة. إذا كان هذا هو واقع الحال، فإنّ ما نحن بصدده هنا هو الانتقال التاريخي من فلسفة الإغريق إلى العلم في ثوب حديث، وسنحاول في الفصل القادم تعقّب الخطوط العريضة لهذا الانتقال الذي بدأ فعليًّا بأرسطو وتأثيره الكبير في جعل العلم في خدمة الفلسفة.

الفصل السابع

المنهج العلمي الأرسطي

7 . 1 . البذرة الأفلاطونية

في القسم السابق، أشرنا إلى فلاسفة عصر ما قبل سقراط بوصفهم فلاسفة طبيعيين، وقلنا إن السبب وراء هذا الوصف يعود إلى حقيقة اهتمامهم بالعثور على تفسير طبيعي للكون وما يحتويه من ظواهر طبيعية. بمعنى آخر أكثر تحديدًا، كانت الطبيعة، بالنسبة إلى أولئك الفلاسفة، هي موضوع التفلسف، ومن هنا وَصْفُنا إياهم بأنهم «طبيعيون»، وأما وصفهم بالفلاسفة فَمَرَدّهُ إلى الطريقة التي استندوا إليها في محاولتهم فهم الكون وظواهره، وهي طريقة تعتمد على اشتقاق ظواهر الطبيعة من مبدأ أو مبادئ قليلة ومحددة.

بطبيعة الحال، نقصد بكلمة «اشتقاق» هنا معناها غير التقني، الذي يشير إلى مجرّد إحالة الأشياء إلى أصل مشترك، وليس معناها الرياضي التقني الذي يشير إلى إثبات مبرهنة رياضية بواسطة اشتقاقها من مُسلّمات. ينبغي التأكيد، مع ذلك، على أن هذا النوع الأخير من الاشتقاق كان سائدًا في ميدان الهندسة عند الإغريق

القدماء، وكان له تأثير بارز في أفلاطون وأرسطو بشكل خاص قبل أن يضع له إقليدس أساسه المتين من خلال منهج «الأكسيوماتيك»، وهو نظام رياضي يقوم على اشتقاق المبرهنات الهندسية من جملة من المُسلّمات والتعريفات والافتراضات الأولية.

في كتابه الشهير «الجمهورية»، يشتكي أفلاطون من انشغال علماء الهندسة في التطبيقات العمليّة لعلمهم، «وكأنّ الهدف هو فعل شيء ما، على حين أنّ الهدف الحقيقي للموضوع كله هو المعرفة»، فبالنسبة إلى أفلاطون، ينبغي أن يكون الهدف من هذا العلم أسمى من مجرّد جني الفائدة من تطبيقاته العمليّة، ذلك أنّ الهندسة «خليقة بأن تجذب النفس نحو الحقيقة، وتُولّد الروح الفلسفية»(1).

كان أفلاطون يرى ضرورة وضع الهندسة على أساس متين من شأنه اختزال كل المبرهنات الهندسية عن طريق اشتقاقها من مبادئ قليلة، وهذا ما تحقق لاحقًا على يد إقليدس في كتابه الشهير «العناصر»(2). إلى جانب ذلك، كان أفلاطون يصرّ على ضرورة التحقق من صحة تلك المبادئ، وهنا يقترح أفلاطون الطريقة التي ورثها عن أستاذه سقراط، ونعني بها النقاش الحِجاجيّ (أو الديالكتيك)، فمن خلالها يُمكن التحقق من صحة المبادئ بوصفها «المبادئ الأولى». مكتبة سُر مَن قرأ

هي مبادئ «أولى» بمعنيين: أولًا، تشكّل هذه المبادئ نقطة الانطلاق في عملية الاستدلال من حيث أنها مقدّمات، وثانيًا، تشكّل هذه المبادئ أيضًا الغاية التي تقف عندها عملية التحليل. هذه هي

ما تُعرف بطريقة «التحليل والتركيب»، تحليل طبيعة المحسوسات لاستخراج صورها الجوهرية بوصفها مبادئ أولى، ثم استخدام هذه المبادئ بوصفها مقدمات ضمن عملية التركيب التي يجسّدها البرهان العلمي (المبحث 3.7)، وبهذا يكون الغرض من التحليل اكتشاف المبادئ الأولى، والغرض من التركيب إثبات صحة ما ينتج منها. هذه الطريقة هي البذرة الأفلاطونية لفلسفة العلم عند أرسطو، فهي الخيط الذي التقطه أرسطو ليصل من خلاله إلى منهجه العلمي.

7. 2. أرسطو

أرسطو (أو أرسطوطاليس) هو «المعلّم الأول» كما سمّاه الفلاسفة المسلمون، وينتمي إلى الحقبة الكلاسيكية من الفلسفة الإغريقية، الممتدة من بداية القرن الخامس إلى القرن الثالث قبل الميلاد، وهي الحقبة ذاتها التي ينتمي إليها أفلاطون وسقراط. أمّا هذا الأخير فقد انصبّت فلسفته على ميدان الأخلاق بشكل عام، وإليه يرجع الفضل في ترسيخ النقاش الحِجاجيّ بوصفه أداة حوارية للبحث عن الحقيقة، لكن جُلّ ما نعرفه عن أفكاره وصل إلينا عن طريق أفلاطون في حواراته الشهيرة. وأمّا أفلاطون فهو مؤسس المدرسة التي تُعنى بفلسفته، المعروفة باسم «الأكاديمية»، وكانت بمثابة أول نواة لفكرة «الجامعة»، وقد انضم أرسطو إليها في ريعان شبابه ليمضي فيها قرابة عشرين عامًا. بعد وفاة أفلاطون[3]، غادر أرسطو أثينا ليمكث عدة سنوات في إحدى المدن الإغريقية ويتزوّج فيها،

ثم يرتحل بعد ذلك إلى مسقط رأسه، مملكة مقدونيا، مُلبيًا دعوة الملك المقدوني فيليب الثاني ليكون مُعلِّمًا لابنه الإسكندر الكبير، ثم رجع أرسطو لاحقًا إلى أثينا ليؤسس فيها مدرسته الشهيرة «لوقيون»، وعُرف أتباعها لاحقًا بالمشّائين[4].

سبق أن أشرنا في القسم السابق إلى الروح النقدية التي اتصفت بها آراء الفلاسفة الطبيعيين، والحقّ أن هذه الروح النقدية بلغت مداها عند أرسطو، ذلك أنّ كلّ قارئ لأعماله لا يملك إلّا أن يلحظ هذا الجهد الكبير الذي يوليه أرسطو لآراء من سبقوه، فما إنْ يشرع في عرض قضية ما حتى تراه وقد بدأ أولًا بالحديث عمَّا قاله السابقون حول تلك القضية، ولا يقدّم رأيه الخاص إلّا بعد مناقشة مستفيضة لآراء الآخرين[5]، وهو بذلك يكون قد قدّم خدمة جليلة لدارسي تاريخ الأفكار، فعديد من آراء الفلاسفة الطبيعيين، مثلًا، يرجع الفضل في حفظها من الضياع إلى أرسطو نفسه.

من جهة أخرى، تتصف آراء أرسطو باحتوائها على عديد من الحجج المنطقية، سواء في نقده لأفكار غيره أو في عرضه لأفكاره الخاصة، ولا غرابة في ذلك، فأرسطو كما نعلم هو المؤسس الأول لعلم المنطق، غير أن ما يشوب تلك الحجج هو التفاوت في جودة الأدلة التي يستند إليها أرسطو في بعض الأحيان لدعم آرائه، فتارة نجده يستند إلى نتائج علمية مستمدّة من ميادين، مثل الفلك والرياضيات، وتارة أخرى نجده يلجأ إلى مقولات التراث الإغريقي المستمدة من الأساطير.

لكنّ الغالب على كتابات أرسطو هو ارتكازها على الحجج العقلية الخالصة، وبخاصة تلك الحجة المنطقية، المعروفة باسم «بُرهان الخُلف»، كما أنّه لا يختلف عن أستاذه أفلاطون في اعتماده على طريقة سقراط في النقاش الحِجاجيّ (أو الديالكتيك) كما نجدها في «محاورات أفلاطون»[6]، حتى وإنْ لم يعتمد على تقنية الحوار المباشر لتلك الطريقة[7].

لا نجد آراء أرسطو حول طبيعة البحث العلمي مجتمعة في كتاب واحد، بل نجدها مبعثرة في فقرات تنتمي إلى كتب مختلفة، وعلى هذا فإن أي عرض لنظرية أرسطو العلمية حول المنهج العلمي يعتمد على محاولة بناء تحتمل أكثر من وجه، وهو ما يفسّر الجدل الكبير بين الباحثين المعاصرين حول ماهية تلك النظرية. لتفادي هذه المعضلة، سنعتمد على ما كتبه أرسطو في عرضنا لرؤيته المنهجية، بحيث لا تتعارض التفسيرات التي نوردها هنا مع ما يحظى باتفاق عام بين المتخصصين المعاصرين.

سينصبّ تركيزنا هنا على كتاب «التحليلات الثانية (البرهان)» وكتاب «الطبيعة» بشكل خاص[8]، حيث يشرح أرسطو في الأول فلسفته العلمية، وبخاصة نظريته عن البرهان العلمي (المبحث 3.7)، ويعرض في الثاني منظوره الخاص للمنهج العلمي (المبحث 4.7).

7. 3. نظرية البرهان العلمي

في كتابه «التحليلات الثانية (البرهان)»، يضع أرسطو نظريته عن «البرهان العلمي»، وتكمن جذور هذه النظرية كما أشرنا في طريقة التحليل والتركيب التي التقطها أرسطو من ميدان الهندسة وفلسفة أفلاطون. حين شرح أرسطو تفاصيل الاستدلال المنطقي والمعروف باسم «القياس الأرسطي» في كتابه «التحليلات الأولى (القياس)»[9]، انتقل في كتابه «التحليلات الثانية (البرهان)» إلى «البرهان العلمي»، وهو حالة خاصة من «القياس»، ذلك أنه برهان لا يهدف فقط -كما هي الحال في القياس- إلى إثبات صِدق نتيجةٍ ما استنادًا إلى افتراض صِدق المقدمات، بل يهدف أيضًا إلى البدء بمقدمات صادقة بالفعل (أي متوافقة مع معطيات الواقع)، وهذه المقدمات هي المبادئ الأولى.

لضمان أن ينتج من البرهان العلمي معرفة علمية، يضع أرسطو شروطًا ينبغي للمبادئ الأولى تحقيقها: ينبغي أن تكون هذه المبادئ: (1) صادقة، (2) أوّلية، بمعنى أنها غير خاضعة للبرهان، (3) ضرورية، إلى جانب (4) أن يكون إدراكنا لهذه المبادئ أشدّ من إدراكنا للنتائج المنبثقة منها وسابقًا أيضًا على إدراكنا لتلك النتائج، وبحيث تكون هذه المبادئ الأولى أيضًا عِللًا للنتائج المنبثقة منها[10]. لنتوقف عند كل شرط من هذه الشروط تباعًا لتبيان السبب من وجوده.

أولًا، لماذا ينبغي أن تكون المبادئ الأولى صادقة؟ هذه المبادئ

تقوم بدور المقدمات في البرهان العلمي عند أرسطو، والهدف من هذا البرهان هو إنتاج معرفة علمية، كما أنّ الشكل المنطقي لهذا البرهان هو استدلال استنباطي، وبالتالي فإنّ البدء بمقدمات صادقة يضمن الوصول إلى نتيجة صادقة، ولعلّ القارئ يتذكّر تعريفنا للحجة المنطقية في الفصل الثاني، حيث ذكرنا أنّها حجة يستحيل معها أن تكون المقدمات صادقة والنتيجة كاذبة.

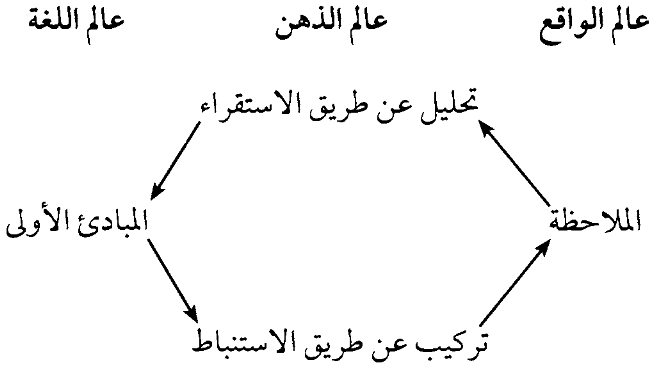
ثانيًا، لماذا ينبغي أن تكون المبادئ الأولى أوليّة من حيث أنها غير خاضعة للبرهان العلمي؟ المبادئ الأولى، بوصفها مقدمات، هي نقطة الانطلاق للبرهان العلمي، ومحاولة إثبات صدق المقدمات بواسطة البرهان نفسه ستقود إلى برهان دائري، وبالتالي، غير مقبول منطقيًّا. هل يعني ذلك أن نكتفي بالتسليم بصدق هذه المبادئ بوصفها مجرّد مُسلّمات نحتاج إلى افتراض صدقها لإثبات صدق ما ينتج منها؟ لا، لأنّ ذلك سيزيل الاختلاف بين القياس المنطقي والبرهان العلمي، ولهذا ينبغي على أرسطو البحث عن طريق آخر غير البرهان العلمي لضمان الوصول إلى مبادئ أولى تتصف باليقين المعرفي. هنا يأتي دور الاستقراء الذي يقود من خلال التحليل إلى تجريد الكُليّات من الجزئيات، وإلى إدراك حدسيّ بالصورة الكامنة في ثنايا عالم مادّي من الظواهر والأجسام المختلطة. هذا يعني أننا أمام عمليّتين في اتجاهين متعاكسين: اتجاه الاستقراء (الحدسي) المؤدي إلى اكتشاف المبادئ الأولى، واتجاه الاستنباط المؤدي إلى إثبات ما ينتج من تلك المبادئ.

ثالثًا، لماذا ينبغي أن تكون المبادئ الأولى ضرورية؟ إنّ هذه المبادئ مقدّمات لبرهان علمي يُفضي إلى نتيجة، حيث المقدّمات تقوم بدور العلّة والنتيجة تقوم بدور المعلول. هذا يعني أن البرهان العلمي يقوم بدور التفسير القائم على تبيان العِلّة وراء المعلول، ولن تكون العلاقة بينهما سببية حين يكون اجتماعهما عَرَضيًّا، بل ينبغي أن يكون الرابط بينهما ضروريًا، وهذا لن يتحقق إلّا عندما تكون مقدّمات البرهان ضرورية[11].

أخيرًا، ما السبب وراء اشتراط أن يكون إدراكنا للمبادئ الأولى أشدّ من إدراكنا للنتائج المنبثقة منها؟ ثقتنا بحقيقة هذه المبادئ ينبغي أن تكون أقوى من ثقتنا بحقيقة النتائج المنبثقة منها، وهذا ما يقصده أرسطو بضرورة أن يكون إدراكنا للمبادئ أشد من إدراكنا لنتائجها[12]. نظرًا إلى أن هذه المبادئ عِلل والنتائج المنبثقة منها معلولات، فإنّ ثقتنا بمعرفة المعلولات نتيجة ثقتنا بصحة العِلل في ظل وجود الاستنباط، ولهذا السبب ليست ثقتنا بحقيقة المبادئ أشد من ثقتنا بحقيقة نتائجها فحسب، بل إنّ هذه المبادئ أيضًا سابقة منطقيًّا على تلك النتائج. صحيح أن النتائج تنتمي إلى عالم المحسوسات وهي لذلك أقرب إلى معرفتنا بوجودها وأسبق من معرفتنا بماهية المبادئ، ولكن هناك -كما يصرّ أرسطو- فرق بين معرفة حقيقة ما ومعرفة السبب في كونها حقيقة، ولا تتحقق المعرفة العلمية إلا في الحالة الثانية[13]. هنا أيضًا يكمن السبب في ضرورة أن تكون المبادئ عِللًا للنتائج

المنبثقة منها، فدور البرهان العلمي هو التفسير الذي غايته تزويدنا بمعرفة علمية.

لعلّ في الإمكان توضيح المنهج الأرسطي الذي يعتمد على طريقة التحليل والتركيب من خلال الاستعانة بما يسمى «المثلث الإشاري» الذي طرحه أوغدن وريتشارد في بدايات القرن العشرين للتعبير عن مفهوم «المعنى» في علم الدلالة. لا تهمّنا هنا من تفاصيل «المثلث الإشاري» سوى ما يشير إليه ضمنًا، ونعني به الثالوث التالي: عالم اللغة، وعالم الذهن، والعالم الخارجي (أي العالم الذي يقع خارج اللغة والذهن معًا). على ضوء هذا التقسيم الثلاثي، في إمكاننا القول إنّ المنهج العلمي عند أرسطو يتكوّن من عمليّتين: من جهة، هناك عملية تحليل تتّجه بواسطة الاستقراء من عالم الواقع، الخاضع للملاحظة، مرورًا بعالم الذهن المؤدّي إلى الإدراك الحدسي بالمبادئ الأولى، وانتهاء بعالم اللغة المسؤول عن صياغة تلك المبادئ على شكل قضايا، من جهة أخرى، هناك عملية تركيب تتّجه بواسطة الاستنباط من عالم اللغة حيث المبادئ الأولى بوصفها مُقدّمات، مرورًا بعالم الذهن المتمثّل في إدراك الاستدلال الاستنباطي، وانتهاء بعالم الواقع والذي تشير إليه النتيجة المنبثقة من المقدمات[14]:



هناك عدد من الملاحظات بشأن هذا المخطط الذي يعكس طبيعة المنهج العلمي عند أرسطو: أولًا، هو منهج يبدأ من ملاحظة معطيات الواقع وينتهي أيضًا عند ملاحظة هذه المعطيات، أي إنه منهج يبدأ بعملية التحليل لمعطيات الواقع وينتهي بتفسير هذه المعطيات. ثانيًا، ليس المقصود بالتحليل هنا معناه المنطقي الضيّق والمتجسّد في القضايا التحليلية أو بالاستدلال الاستنباطي الذي يتضمّن فيه محتوى المقدّمات محتوى النتيجة المنبثقة منها، بل هو التحليل بمفهومه المنطقي الواسع والمتمثّل في تحليل معطيات الواقع والمؤدّي إلى صياغة المفهوم من خلال ملاحظة امتداده[15]. ثالثًا، ليس المقصود بالتركيب هنا مفهومه المنطقي الضيّق والمتجسّد في القضايا التركيبية أو في الاستدلال الاستقرائي الذي يتوسّع فيه محتوى النتيجة إلى أبعد ما يتضمّنه محتوى المقدمات[16]، بل نقصد بالتركيب هنا مجرّد بناء لاستدلال منطقي يشير في نتيجته إلى معطيات الواقع، أخيرًا، الغرض من عملية التحليل هو اكتشاف المبادئ الأولى والتحقق من صحتها قبل استخدامها كمقدّمات

في البرهان العلمي للحصول على معرفة علمية، ونظرًا إلى أن هذا التحقق لا يعتمد على برهان آخر، بل على إدراك حدسي، فإن ما يترتّب على ذلك هو أن أرسطو يُضفي على الإدراك الحدسي أهمية كبرى بوصفه أداة معرفية[17].

بعد هذا العرض الموجز لنظرية البرهان العلمي عند أرسطو، ننتقل الآن إلى الحديث عن الشق الثاني من فلسفته العلمية والمتعلق بمنظوره الخاص للمنهج العلمي.

7. 4. المنظور الأرسطي للمنهج العلمي

يفتتح أرسطو كتابه الشهير «الطبيعة» (أو الفيزياء) بالقول إنه عندما يكون لموضوع البحث مبادئ يخضع لها، فإنّ المعرفة العلمية بموضوع البحث تتأتّى من خلال معرفة تلك «المبادئ الأولى»، وليست الطبيعة استثناء من هذه القاعدة[18]. نلاحظ هنا اختلافًا جوهريًّا بين أرسطو وفلاسفة ما قبل عصر سقراط، فأغلب هؤلاء -كما سبق أن أشرنا- يلجأ إلى عنصر محدد بوصفه المبدأ الأساس الذي انبثقت منه كل الأشياء (مثلًا: الماء عند طاليس، الهواء عند أنكسمانس، النار عند هيراقليطس)، في حين يتعدّى أرسطو عالم الوجود إلى عالم اللغة في وصفه لماهية المبادئ الأولى، حيث تُصاغ هذه المبادئ على شكل قضايا تقوم بوظيفة مقدمات البرهان العلمي كما ذكرنا، وبهذا يكون أرسطو أكثر تجريدًا في إطاره النظري من معظم فلاسفة ما قبل عصر سقراط[19]. نجد هذا المستوى من

التجريد أيضًا حين نقارن بين إمبيدوكلس وأرسطو من حيث تبنّي كل منهما لمفهوم «الأضداد» بوصفها مبادئ أولى، فبينما يُخضع إمبيدوكلس -كما رأينا- العناصر الأربعة لقوّتين متضادتين يُسمّيهما المحبّة والنزاع، لا يكتفي أرسطو باستحداث أضداد جديدة، بل يذهب إلى مستوى أرقى من التجريد من خلال تحليل العناصر الأربعة وإرجاعها إلى مصدر أوّلي. سنعود إلى هذه النقطة وغيرها من مظاهر التجريد في الفكر الأرسطي عند حديثنا عن فيزياء أرسطو في الفصل القادم، فما يهمّنا هنا يدور حول اعتماد أرسطو على الأضداد بوصفها مبادئ أولى، والأضداد هنا خواص متناقضة من قبيل حار في مقابل بارد، رطب في مقابل جاف، وغيرهما. يبرّر أرسطو اعتبار الأضداد مبادئ أولى بقوله[20]:

> «ينبغي للمبادئ الأولى ألّا تكون مشتقة، لا بعضها من بعض، ولا من أي شيء آخر، في حين يكون كل شيء آخر مشتقًّا منها. هذه الشروط متوافرة في الأضداد الأولية، فهي غير مشتقة من أي شيء آخر لأنها أولية، وهي غير مشتقة بعضها من بعض لأنها أضداد».

يعتمد تفسير الظواهر الطبيعية -إذًا- على تبيان أسبابها، وهذا ما يؤكده أرسطو في بداية القسم الثالث من المجلد الثاني لكتابه «الطبيعة»، حيث يقول إنّنا لا نعتقد أننا نعرف شيئًا حتى نتمكّن من معرفة العلّة وراءه[21]. يشير أرسطو أيضًا في كتابه «السماء والعالم» إلى أنّ «الطبيعة لا تترك شيئًا للصدفة»[22]، كما أنّ «العِلّة الواحدة

ينبغي بالضرورة أن يكون لها الأثر نفسه في الشيء نفسه»[23]. سنتوقف لاحقًا عند القائمة الرباعية للعِلل عند أرسطو، والتي أشار إليها ابن سينا بوصفها «علّة عنصرية، وعلّة فاعلية، وعلّة صورية، وعلّة غائية»[24]، أو كما لخصها ابن رشد بقوله: «مادة الشيء، وصورته، وفاعله، وغايته»[25].

بعد تأكيده على ضرورة التوصل إلى المبادئ الأولى للحصول على معرفة علمية حول العالم الطبيعي، ينتقل أرسطو إلى الحديث عن كيفية إتمام ذلك، حيث يقول[26] إنّ الطريقة البدهيّة لدراسة الطبيعة هي أن نبدأ من الأشياء التي تبدو معروفة وواضحة بالنسبة إلينا، ثم ننتقل شيئًا فشيئًا إلى الأشياء التي هي أكثر وضوحًا وأشدّ بداهة في ذاتها[27]. لكن أرسطو يستدرك بالقول إنّ «الأمور البيّنة عندنا ليست هي المعروفة في ذاتها»، فهي تبدو «مختلطة» ولا تكون بيِّنة بالفعل إلّا بعد إخضاعها للتحليل. تهدف عملية التحليل هذه إلى العثور على مبادئ عامة تعكس الجوهر الكامن خلف الظواهر الحسية، وإدراك هذا الجوهر يكون عن طريق الحدس الذي يُصاغ إما بصورة قضية عامة أو تعريف عام، بحيث يشتمل ما هو عام على كل الصفات المرتبطة بتلك الظواهر، ونستطيع عندئذ تفسيرها بواسطة البرهان العلمي. بمعنى آخر أكثر تحديدًا، يشير المنظور الأرسطي للمنهج العلمي إلى علاقة مزدوجة بين الظواهر الحسية والمبادئ الأولى، ذلك أنها علاقة استقرائية في أولها واستنباطية في آخرها: هي علاقة استقرائية في أوّلها لأنها تبدأ باستخلاص

تعميمات من الوقائع الحسية مع تقديم تعريف محدد لكل تعميم، وهي علاقة استنباطية في آخرها لأنها تنتهي باشتقاق منطقي يتخّذ من التعميمات مقدّمات ومن الظواهر الحسية نتائج منبثقة منها[28].

يورد «فيليب فرانك» مثالًا بسيطًا لتوضيح هذا المنظور الأرسطي للمنهج العلمي، وسنعيد صياغته هنا على النحو التالي. لنفترض أني ألقيت قطعة صغيرة من الورق على الأرض. تبدو هذه العملية «معروفة وواضحة» بالنسبة إليَّ، ذلك أني أرى سقوط الورقة بأمّ عيني، ومع ذلك فإنّ العملية تبقى أقل وضوحًا وبداهة في ذاتها، والسبب في ذلك يرجع إلى عدم معرفتي بالمبدأ أو القانون الذي يحكم عملية السقوط. لو قمت بتكرار العملية مئات المرات، فسألاحظ سقوط الورقة على الأرض بشكل مختلف في كلّ مرة، ولكني لن أستطيع العثور على مبدأ السقوط من خلال الاكتفاء بتكرار العملية، بل ينبغي تحليل الظاهرة بطريقة أكثر تجريدًا من خلال الإشارة، مثلًا، إلى مفهوم التسارع أو العجلة، وهو مفهوم بعيد كلّ البعد عن الوضوح بالنسبة إلى حواسنا، ذلك أنه مفهوم يشير إلى المشتق الثاني للمسافة، ولكنه مع ذلك مفهوم يُشكل أحد المبادئ التي نستطيع من خلالها تفسير ظاهرة السقوط، وعندئذ، تكون هذه الظاهرة أكثر وضوحًا وبداهة في ذاتها. بعبارة أخرى، إن معرفتي بسقوط الورقة على الأرض مستمدّ من قدرتي على الملاحظة الحسية المباشرة، وبهذا المعنى فإنّ عملية السقوط تبدو لي «معروفة وواضحة»، ولكن المعرفة العلمية أوسع من مجرّد الملاحظة الحسية

المباشرة، وللتوصل إلى هذه المعرفة العلمية ينبغي تحليل ظاهرة سقوط الورقة. لاحظ أنّ كل شيء قابل للتحليل يقتضي بالضرورة أن يكون مُركّبًا، وبذلك تكون الملاحظات الحسية المباشرة للأشياء من حولنا عبارة عن ظواهر مركبة أو «مختلطة»، وما إنْ نُخضعها للتحليل حتى نصل إلى المبدأ أو المبادئ التي تقف وراء تلك الظواهر، وعندها يكون في وسعنا أن نقول إنّ تلك الظواهر أصبحت أكثر وضوحًا وبداهة في ذاتها، وهنا تحديدًا تتحقق المعرفة العلمية.

بالرغم من أنّ المثال الذي يورده «فيليب فرانك» يبدو واضحًا بما يكفي لتوضيح المنظور الأرسطي للمنهج العلمي، فإنه قد يؤدي -مع ذلك- إلى سوء فهم لهذا المنظور من جانب، وإلى تبسيط مُخِلٍّ من جانب آخر. أمّا فيما يتعلق باحتمال سوء الفهم عند المتلقّي للمثال المذكور، فبالرغم من إشارة «فرانك» إلى مفهوم التسارع أو العجلة كمثال على ما يحتويه المبدأ الذي يقف خلف ظاهرة السقوط، فينبغي التذكير مع ذلك بأنّ المبادئ التي تحدّث عنها أرسطو تختلف اختلافًا كبيرًا عن قوانين الفيزياء الحديثة التي تتضمن مفاهيم العجلة والسرعة والمسافة وغيرها، ذلك أن فيزياء أرسطو -كما سنرى بعد قليل- فيزياء كيفية في مجملها، لا فيزياء كمية. وأمّا فيما يتعلق بالتبسيط المُخلّ للمنهج الأرسطي، فيكفي أن نشير هنا إلى أنّ العلاقة بين الظواهر الطبيعية والقوانين التي تحكمها في ظل منهج العلم الحديث علاقة اشتقاق رياضية صرفة، في حين أنّ العلاقة

بين المبادئ الأولى وظواهر العالم من حولنا علاقة منطقية صرفة بحسب المنظور الأرسطي للمنهج العلمي، فهي كما رأينا علاقة مزدوجة من حيث احتوائها على أبرز نوعين من أنواع الاستدلال المنطقي: الاستقراء والاستنباط[29]. من جانب آخر، سبق أن رأينا أن المنهج الأرسطي يبدأ من الملاحظات الحسية وينتهي عندها، بل إنّ أرسطو نفسه، وفي معرض نقده للفلاسفة السابقين حول منظورهم للأرض من حيث موقعها وحركتها وشكلها، يعيب على الفيثاغورسيين إهمالهم للبحث عن أسباب متوافقة مع الحقائق الحسية ولجوئهم بدلًا من ذلك إلى إخضاع تلك الحقائق عنوة في إطارهم النظري كي تأتي متّفقة مع أحكامهم المسبقة[30]. مع ذلك، لا يبدو أرسطو نفسه بريئًا من هذه «الأحكام المسبقة» حين نفحص الأسس الميتافيزيقية التي تقوم عليها فلسفته حول الطبيعة، وهذا ما سنراه من خلال التعرّف على أهم ملامح فيزياء أرسطو.

الفصل الثامن

فيزياء أرسطو

8. 1. ظاهرة التغيّر (الصيرورة)

تحتلّ نظرية أرسطو حول ظاهرة التغيّر (أو الصيرورة) مكانًا بارزًا في فلسفته حول الطبيعة، بل يمكن القول إنّ هذه الظاهرة تشكّل الموضوع الجوهري للبحث في علم الفيزياء كما يراه أرسطو، ولا غرابة لذلك أن يتصدّى أرسطو لهذه الظاهرة في بداية كتابه حول الطبيعة (أو الفيزياء)، مُحيلًا القارئ إلى أفكار المدرسة الإيلية حول تلك الظاهرة قبل أن يشرع في نقدها. سيتذكر القارئ الإشارة إلى أفكار هذه المدرسة في المبحث (2.6)، وبخاصة موقف برمنيدس الأنطولوجي حول استحالة انبثاق الوجود من العدم، أو انبثاق العدم من الوجود، إلى جانب ما يترتّب على هذا الموقف من إنكار لظاهرة التغيّر بوصفها مجرّد وهم. لقد ركّز أرسطو اهتمامه في المقالة الأولى من كتاب «الطبيعة» لإثبات إمكانية التغيّر ونقض حجج برمنيدس وغيره من الإيليين، وسنكتفي فيما يلي بالإشارة إلى نظريته عن ظاهرة التغيّر كمدخل إلى أفكاره حول الكون والحركة.

في معرض تحليله لظاهرة التغيّر بوصفها انتقالًا من حالة إلى أخرى، يلاحظ أرسطو أنّ كل تغيّر ينطوي على جوهر وصفتين متضادّتين، بحيث يبقى الجوهر ثابتًا أثناء عملية التغيّر، في حين ينتج التغيّر من الانتقال من صفة إلى نقيضها. يضرب أرسطو مثلًا من خلال «سقراط الموسيقيّ»، حيث تشير عملية التغيّر هنا إلى الانتقال من حالة لا يجيد فيها سقراط مهارة العزف إلى الحالة التي يكتسب فيها سقراط هذه المهارة، وفي هذا المثال، يمثّل سقراط الجوهر الذي ظلّ ثابتًا أثناء عملية التغيّر، في حين ينتج التغيّر نفسه من الانتقال من صفة «اللاموسيقيّ» إلى صفة «الموسيقيّ».

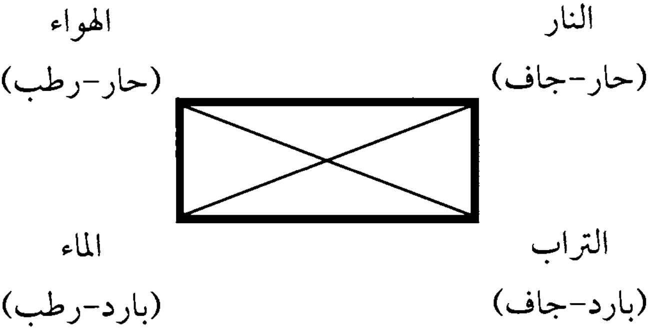
هذا يعني -بحسب ما يرى أرسطو- أن ظاهرة التغيّر تتضمّن ثلاثة مبادئ: مبدأ المادة، ومبدأ الصورة، ومبدأ السلب. يشير مبدأ المادة أو الجوهر إلى ما بقيَ ثابتًا أثناء عملية التغيّر (سقراط في مثالنا)، ويشير مبدأ الصورة إلى ما تمّ اكتسابه أثناء عملية التغيّر (مهارة العزف)، وأما مبدأ السلب فهو النقيض لمبدأ الصورة، ذلك أنه يشير إلى ما تمّ افتقاده أثناء عملية التغيّر (الافتقار إلى مهارة العزف). يستعين أرسطو بهذا التحليل الثلاثي أيضًا في حالات أخرى من ظاهرة التغيّر، كالتغيّر في الشكل مثلًا، فلو تأملنا تمثالًا مصنوعًا من البرُنز (أو النحاس الأحمر)، فنستطيع ملاحظة المبادئ الثلاثة لعملية التغيّر من سبيكة البرُنز إلى تمثال البرُنز، حيث يشير مبدأ المادة إلى سبيكة البرُنز بوصفها الجوهر الذي ظلّ ثابتًا أثناء عملية التغيّر، ويشير مبدأ الصورة إلى شكل التمثال، في حين يشير مبدأ السلب

إلى حالة اللاتشكّل السابقة على اكتساب سبيكة البرُنز شكلًا محددًا، وهي الحالة التي يمكن الرجوع إليها بمجرد تذويب التمثال ليعود إلى سبيكة من البرُنز لا شكل لها.

على ضوء هذا التحليل الثلاثي لظاهرة التغيّر، يمكن القول إنّ الخلق أو التكوين نتيجة إضفاء صورة على المادة، في حين أنّ العدم أو الفناء نتيجة انتزاع تلك الصورة، وهذا يعني، على العكس مما ذهب إليه برمنيدس، إمكانية انبثاق الوجود من العدم، وإمكانية انبثاق العدم من الوجود، لكن يبدو هذا صحيحًا فقط في حالات التغير التي تتضمّن جوهرًا ثابتًا، في حين أنّ هناك حالات أخرى، كما يلاحظ أرسطو، لا يبدو للوهلة الأولى أنّها تتضمّن مثل هذا الجوهر، خصوصًا تلك الحالات المتعلقة بالكائنات الحية. لو تأمّلنا، مثلًا، التغير الذي يطرأ على بذرة حتى تصبح شجرة مكتملة النمو، فإنّ من العسير هنا تحديد الجوهر الذي ظل ثابتًا أثناء هذا التغيّر، فلا البذرة ظلّت باقية في آخر عملية النمو، ولا الشجرة كانت موجودة في أول العملية نفسها! على العكس من مثالنا حول «سقراط الموسيقي»، حيث الجوهر الثابت أثناء عملية التغيّر هو سقراط نفسه، يبدو في مثال الشجرة هذا أنّ الجوهر الثابت أثناء عملية النمو مفقود. للتعرّف على كيفية خروج أرسطو من هذه المعضلة، ينبغي أن نتوقف قليلًا عند منظوره الخاص لنظرية «العناصر الأربعة».

يذهب أرسطو إلى أن كل الأشياء والكائنات في عالمنا السفلي مكونة من خليط من العناصر الأربعة (الماء والتراب والهواء

والنار)[1]، ولكل عنصر من هذه العناصر زوج من الصفات الأولية: الماء بارد ورطب، التراب بارد وجاف، الهواء حار ورطب، النار حارّة وجافّة، والانتقال من عنصر إلى آخر يعتمد على اكتساب صفة من هذه الصفات، وبالتالي فقدان نقيضها. ما يلي مخطط توضيحي لهذه النقطة[2]:



لو عدنا الآن إلى سؤالنا حول ماهية الجوهر الذي بقي ثابتًا أثناء نمو الشجرة، فبإمكاننا القول إنّ هذا الجوهر هو خليط من العناصر الأربعة، ولكن هذه الإجابة تستدعي سؤالًا آخر: إذا كان الجوهر الثابت في عملية نمو الشجرة هو هذا الخليط من العناصر الأربعة، وإذا كان كل تغيّر –بحسب زعم أرسطو– يتضمّن جوهرًا ثابتًا، فما هو الجوهر الثابت حين تتغيّر العناصر الأربعة فيما بينها من عنصر إلى آخر؟ إنّ الجواب الأرسطي على هذا السؤال يكمن في مفهوم «الهيولي»[3]، أو «المادة الأولى» كما سمّاها أتباع أرسطو من فلاسفة القرون الوسطى، وهي مادة لا صورة محددة لها، ولهذا لا وجود لها إلّا من حيث أنّها ممكنة بالقوة، لا بالفعل، ولكنها قادرة على

أن تتشكّل في أي صورة حين تظهر إلى الوجود، وعندها تستحيل من كونها المادة الأولى إلى كونها أي مادة تشغل حيّزًا في الفراغ[4]. هذا التصوّر الميتافيزيقي الأرسطي للمادة الأولى بوصفها «إمكانية محضة»، أي مادة من دون صورة، يقابله -كما سنرى لاحقًا- ما يسميه أرسطو «فعليّة محضة»، أي صورة من دون مادة.

يعكس هذا التمييز الأرسطي بين ما هو ممكن بالقوة وما هو ممكن بالفعل مستوى التجريد في فلسفة أرسطو بالقياس إلى عديد ممن سبقوه من الفلاسفة، وقد سبق أن أشرنا إلى بعض ملامح هذا التفكير المجرّد، والحقّ أنّ أرسطو كان واعيًا بأهمية التجريد في بحثه النظري عن ظاهرة التغيّر على وجه الخصوص، فكما يؤكّد كرومبي Crombie، هناك ثلاثة مستويات من التجريد بالنسبة إلى أرسطو، يعكس كل مستوى منها جانبًا من عالم الوجود ويتّصل كل منها بعلم من العلوم، وهذه العلوم الثلاثة[5]:

> «الفيزياء والرياضيات والميتافيزيقا. موضوع البحث في الفيزياء يشير إلى ظاهرتِي التغير والحركة كما تتجسّدان في الأشياء المادية، والموضوعات التي تهتمّ بها الرياضيات تمّ تجريدها من التغيّر والمادة ولا تنتمي إلى عالم الوجود إلّا بوصفها خصائص (أو صفات) للأشياء المادية، في حين أن موضوع البحث في الميتافيزيقا يشير إلى جوهر الأشياء غير المادية وذوات الوجود المستقلّ».

بعد تحليله لظاهرة التغيّر، ينتقل أرسطو إلى العِلل التي تخضع

لها هذه الظاهرة، وهنا ينبغي الحديث عن نظرية «العِلل الأربع».

سبق أن أشرنا إلى أن تحصيل المعرفة العلمية يعتمد على تبيان العلّة أو السبب وراء حدوث أي ظاهرة، فبالنسبة إلى أرسطو، كما هي الحال مع عديد ممن سبقوه وممن جاؤوا بعده، ليس التفسير العلمي سوى جواب على سؤال يبدأ بـ«لماذا»، أي إنه سؤال تحتاج الإجابة عليه إلى تقديم سبب أو أكثر، غير أنّ أرسطو يصرّ على أنّ الجواب المناسب على مثل هذا السؤال يقتضي الإشارة إلى أربع عِلل كحدّ أقصى[6]. لتوضيح ماهية هذه العِلَل، يشير أرسطو إلى أمثلة متعددة، لعلّ أشهرها ذلك المتعلق بفنّ صُنع التماثيل. حين نرى تمثالًا ونتساءل عن العِلَل الجوهرية التي أدّت إلى وجوده، فإننا نلاحظ، أولًا، أنه مصنوع من سبيكة نحاسية، وهنا تكمن **العِلّة المادّية**، ونلاحظ، ثانيًا، أنّ لهذا التمثال شكلًا أو صورة محددة، وهذه هي **العِلّة الصورية**، ونلاحظ، ثالثًا، مفعول مهارة النحت في التمثال، وهذه هي **العِلّة الفاعليّة**، ثم نلاحظ، أخيرًا، التصميم الذي من أجله وُجد التمثال، وهذه هي **العِلّة الغائية**. يتخذ أرسطو من «العِلَل الأربع» الأساس الذي ينبغي الاعتماد عليه لتفسير، لا ظاهرة التغيّر فحسب، بل جميع الظواهر الطبيعية أيضًا، ولهذا نجده يحثّ طالب العلم الطبيعي على طرح السؤال الذي يبدأ بـ«لماذا»، ثم العثور على العِلّة وراء وجود الظاهرة موضوع البحث من بين هذه العِلَل الأربع: المادّية، والصورية، والفاعليّة، والغائية[7]، مع منح الأولوية التفسيرية للعِلّة الغائية بوصفها العِلّة الأشدّ أهمية[8].

8. 2. المنظور الأرسطي للكون

بعد أن عرضنا آراء أرسطو حول ظاهرة التغيّر وما يتصل بها من نظريات، نوجز هنا منظوره الخاص عن الكون. تكمن تفاصيل هذا المنظور في كتابه الشهير «السماء والعالم»، كما نجد تفاصيل غيرها في كتبه الأخرى، مثل: «الطبيعة» و«الكون والفساد» و«ما بعد الطبيعة» والقسم الأخير من كتاب «التحليلات الثانية (البرهان)».

الكون، بحسب المنظور الأرسطي، كرويّ الشكل وذو حجم متناهٍ، وأما الأرض فدائرية الشكل أيضًا وتقع ثابتة في مركز الكون، ذلك أن مركز الأرض، كما يقول أرسطو، حدث أنْ كان متطابقًا مع مركز الكون، وأما الشمس والقمر والأجرام السماوية الأخرى فتدور جميعها حول الأرض[9].

إذا أردنا الدقة، لم يكن المنظور الأرسطي للكون سوى إضافات قليلة قام بها أرسطو على التعبير الرياضي للفلكي الشهير إيدوكسوس عن المنظور الأفلاطوني الأسطوري حول الكون. نجد هذا المنظور الكوني في «محاورة طيماوس»، وبحسب نموذج إيدوكسوس الفلكي الذي قام بتطويره كاليبوس، فحركة الدوران حول الأرض حركة منتظمة السرعة ومقتصرة على عدد كبير من الأفلاك ترتبط كل مجموعة منها بجرم سماوي وتحمله في حركتها ذات السرعة المنتظمة، فالشمس، على سبيل المثال، تقع ثابتة على الفلك الذي يحملها ويدور بها في سرعة منتظمة حول الأرض، وكذلك هي الحال مع باقي الأجرام السماوية. يشير أرسطو إلى هذا

النموذج الفلكي في كتابه «ما وراء الطبيعة» ويذهب إلى القول إننا إذا أردنا انسجام هذا النموذج مع الوقائع الحسية فلا بدّ من إضافة أفلاك غير متحركة بين كل مجموعة من الأفلاك المتحركة لتفادي تأثير حركة إحداها في الأخرى[10].

يقسّم أرسطو نطاق الكون إلى عالمين: عالم عُلويّ يمتدّ من فلك القمر إلى الأفلاك الأخرى، وعالم سُفليّ يقع ما دون فلك القمر. أمّا العالم العلويّ فيمتاز بالكمال والخلود، فهو عالم لا يلحقه الفساد أو التحلّل، وحركة أفلاكه الدائرية ذات السرعة المنتظمة هي أسمى أنواع الحركات البسيطة، و«المحرّك الأول» لها يكمن في الفلك الأخير، فلك النجوم. يصف أرسطو هذا «المُحرّك الأول» بأنّه ذلك الذي يُحرّك ولا يتحرّك، فمثلما أنّ المادة الأولى «إمكانية محضة»، أي مادة من دون صورة، فإنّ المحرّك الأول «فعليّة محضة»، أي صورة من دون مادة[11].

أما المادة التي تشكِّل قوام كل الأجرام السماوية فهي عنصر «الأثير»، والأثير كما يؤكد أرسطو كلمة إغريقية تعني في أصلها ذلك الذي يجري بحركة دائمة إلى الأبد[12]. حين يتعلّق الأمر بالعالم السفلي، فإنه عُرضة للفساد أو التحلّل، وتخضع حركة الأجسام فيه للحركة المستقيمة، الخفيفة منها إلى أعلى، والثقيلة منها إلى أسفل، وبهذا تكون حركة النار والهواء إلى أعلى، وحركة الماء والأرض (أو التراب) إلى أسفل. إلى جانب ذلك، يتكوّن قوام كلّ الأجسام المركّبة في العالم السفلي من تلك الأجسام البسيطة أو

العناصر الأربعة: الأرض، والماء، والهواء، والنار، وهذه بدورها تعود في أصلها -كما ذكرنا- إلى المادة الأولى أو «الهيولي».

نأتي أخيرًا إلى نظرية أرسطو حول ظاهرة الحركة الفيزيائية، وهي نظرية تنطوي على تفاصيل كثيرة، والجدل بين الشارحين والمفسرين حول النظرية يعود إلى قرون من الزمن ولا يزال مستمرًّا، ولكن ما يعنينا هنا هو تقديم صورة عامة حول هذه النظرية بغرض تبيان المبادئ الميتافيزيقية التي تقوم عليها، فكما سنرى لاحقًا، يكمن التأثير الأرسطي فيمن جاءوا بعده من العلماء في التزامهم بمثل هذه المبادئ، مثلما أن الثورة على فلسفة أرسطو العلمية تكمن في التشكيك في أساسها الميتافيزيقي.

8. 3. ظاهرة الحركة الفيزيائية

يتناول أرسطو ظاهرة «الحركة» بالنقاش المستفيض ابتداء من المقالة الثالثة من كتاب «الطبيعة»، حيث يبدأ المقالة بتعريف الطبيعة بوصفها «مبدأ للحركة والتغير»، ثم يضع تعريفًا للحركة وصفه ديكارت فيما بعد بأنه تعريف «غامض»[13]. الحركة، بحسب تعريف أرسطو، هي «إنجاز ما هو موجود بالقوة بالقدر الذي يكون فيه موجودًا بالقوة»[14]. يعي أرسطو تمامًا صعوبة تعريفه، لهذا نراه يلجأ إلى تبسيطه بعدد من الأمثلة، إحداها هو المتعلق ببناء منزل، ويمكن شرحه على النحو التالي: قبل البدء في البناء، ليس المنزل سوى صورة موجودة بالقوة (لا بالفعل)، وأثناء البناء، هناك

تدرّج في تحويل ما هو موجود بالقوة إلى ما هو موجود بالفعل، وحين يكتمل بناء المنزل، نكون أمام ما هو موجود بالفعل (لا بالقوة). يتبين لنا من خلال هذا المثال أن الحركة تشير إلى عملية تحوّل تدريجي ممّا هو موجود بالقوة إلى ما هو موجود بالفعل. ينتقل أرسطو بعد هذا التعريف إلى نقاش مفهوم «اللامتناهي»[15]، ثم يُتبعه بنقاش حول مفاهيم أخرى لها علاقة مباشرة بظاهرة الحركة، من ضمنها مفهوم «المكان» ومفهوم «الخلاء» (أو الفراغ).

يلفت أرسطو انتباهنا إلى ميلنا إلى اعتبار «المكان» شيئًا مستقلًّا عن الجسم الذي يشغله، فحين نجد مكانًا فيه ماء، مثلًا، ثم نلاحظ اختفاء الماء ليحلّ مكانه الهواء، يسهل القفز إلى استنتاج مفاده أن المكان شيء مستقل عن الماء والهواء، لكن أرسطو يذكّرنا بمعضلة «زينون»: إذا كان المكان شيئًا، وكل شيء في مكان ما، فلا بدّ أن يكون المكان أيضًا في مكان ما، كما سيكون هذا المكان أيضًا في مكان ما، ومن الواضح أنّ في إمكاننا الاستمرار في هذه النتيجة إلى ما لا نهاية! يشير أرسطو أيضًا إلى صعوبة النظر إلى المكان بوصفه مادة الجسم الذي يشغله، كما أن من الصعب أيضًا اعتبار المكان صورة الجسم الذي يشغله، ذلك أن مادة أي جسم وصورته غير منفصلتين عنه، في حين أنّ المكان منفصل عن الجسم. يستعرض أرسطو أيضًا جوانب أخرى من الصعوبة نتيجة النظر إلى المكان بوصفه شيئًا مستقلًّا، منها أننا لو اعتبرنا المكان جسمًا له أبعاد، لكان لزامًا علينا التسليم بوجود جسمين مختلفين في مكان واحد[16]، كما أننا

لو تساءلنا عن العِلّة وراء وجود المكان بوصفه شيئًا مستقلا ينتمي إلى عالم الوجود لما استطعنا العثور عليها من ضمن العِلل الأربع. يخلص أرسطو أخيرًا إلى تقديم تعريفه الخاص ليقول إنّ المكان هو «المحيط المباشر واللّاحركي لما يحتويه»[17]. بمعنى آخر، ليس المكان بالنسبة إلى أرسطو شيئًا مستقلًّا عن الجسم الذي يشغله، بل إنه ليس شيئًا ماديًّا على الإطلاق، إنما هو مجرد الحدّ المحيط إحاطة مباشرة بجسم ما، وهو حدّ يتصف بعدم الحراك. يشرح أرسطو هذه النقطة من خلال الاستعانة بمثال القارب المتحرّك في نهر يجري، إذ لا يصح هنا اعتبار مياه النهر الجارية مكانًا للقارب، بل هي إناء، والإناء متحرّك على العكس من المكان، وأما الذي يصحّ وصفه بالمكان فهو النهر بأسره، أو إذا شئنا الدقة، المكان هنا هو الحد المحيط إحاطة مباشرة بطرفِي النهر.

إذا كان أرسطو لا يعدّ المكان شيئًا مستقلًّا بذاته، فلا غرابة -إذًا- أنْ نجده رافضًا لوجود «الخلاء»، فمن الناحية الاصطلاحية، ليس مفهوم «الخلاء» سوى حالة خاصة من مفهوم «المكان»، ذلك أن الخلاء يشير إلى فضاء لا يحتوي على شيء، وبالنسبة إلى أرسطو لا وجود لمثل هذا الفضاء. يعرض أرسطو -كعادته- الحجج المؤيدة والمعارضة لوجود الخلاء، وبعد فحصها بمجهر العقل، يعرض حججه الخاصة والقاطعة بعدم وجود الخلاء، وتجدر الإشارة هنا إلى إحدى تلك الحجج على وجه الخصوص لِما لها من علاقة مباشرة بظاهرة الحركة. يقول أرسطو إنّ الذين يفترضون وجود

الخلاء مدفوعون إلى هذا الافتراض بحكم وجود ظاهرة الحركة، فمن دون خلاء يصبح انتقال جسم من موضع إلى آخر مستحيلًا، وبالتالي لا حركة من دون خلاء، غير أنّ أرسطو يجادل لإثبات العكس تمامًا: لا حركة مع وجود خلاء!

كيف يدافع أرسطو عن هذا الرأي الذي يبدو مخالفًا للحس السليم؟ من حيث مصدر الحركة، يقسّم أرسطو الحركة المكانية (أو النقلة) إلى طبيعية وقسرية[18]، وهو تقسيم يعتمد على مفهوم «المكان الطبيعي» للجسم المتحرّك، فالحركة الطبيعية هي حركة جسم نحو مكانه الطبيعي، كمثل حركة النار إلى أعلى أو حركة حجر إلى أسفل، في حين أنّ الحركة القسرية هي حركة جسم في اتجاه متباعد عن مكانه الطبيعي، كمثل حركة حجر إلى أعلى بعد قذفه أو إزاحة جسم ساكن من مكانه. هذا يعني أن الحركة الطبيعية سابقة من حيث الوجود على الحركة القسرية، أو بعبارة أخرى أكثر تحديدًا، تقتضي الحركة القسرية لجسم معيّن وجود حركة طبيعية لهذا الجسم، في حين أنّ العكس غير صحيح[19]. يستند أرسطو إلى هذا المفهوم حول الحركة الطبيعية لنفي وجود الخلاء، ذلك أن الجسم الذي يتحرّك حركة طبيعية له مسار يتناسب مع مادة الجسم نفسه، وكما سبق أن ذكرنا، تتحرك الأجسام الخفيفة إلى أعلى والأجسام الثقيلة إلى أسفل، لكن هذا الاختلاف في المسار بين «أعلى» و«أسفل» غير ممكن في ظل وجود الخلاء، «فالخلاء» من حيث هو خلاء -كما يؤكد أرسطو- لا يسمح بوجود مثل هذا الاختلاف.

يبدو لي أنّ من الممكن توضيح ما يريد أرسطو قوله هنا حين نتأمّل مؤشر الوجهة الذي يبيّن خط الأفق الافتراضي أمام طيار يقود طائرته في ظلام دامس، فمع افتراض أن هذا المؤشر هو كل ما لدى الطيار كي يتمكن من وضع أنف الطائرة إلى أعلى خط الأفق أو إلى أسفله، فإنّه لن يستطيع التمييز بين الحالتين عند تعطّل مؤشر الوجهة. بالمثل، لا معنى للاختلاف بين الأشياء في ظل وجود الخلاء، كما يؤكد أرسطو، فالخلاء اصطلاحًا لا يشير إلى وجود شيء، وحتى مع افتراض وجود الخلاء في وسط عالم الأشياء، فلن نتوقّع من هذه الأشياء الحركة، بل السكون، فالحركة تقتضي التمييز بين هنا وهناك، في حين أن السكون لا يقتضي مثل هذا التمييز بالضرورة، وهذا ما يجعل سكون الأشياء، لا حركتها، أكثر تلاؤمًا مع مفهوم «الخلاء»، لكنّ الحركة موجودة مع ذلك، وبالتالي لا وجود للخلاء[20].

ينتقل أرسطو بعد ذلك إلى تحديد أنواع الحركة وتفرّعات كل شكل منها، منطلقًا من مبدأ ميتافيزيقي مفاده أن «لكل متحرّك مُحرّكًا»، ولكن ما يترتّب على هذا المبدأ لا يخلو من مشكلات كان أرسطو مدركًا لها، فمن جهة، لا يبدو هذا المبدأ منسجمًا مع الكائنات الحية التي تتحرك حركة ذاتية، ومن جهة أخرى، وجود محرّك لكل متحرّك يعني افتراض وجود محرّك إلى ما لا نهاية! لتفادي المعضلة الأولى، يقسّم أرسطو مصدر الحركة تقسيمًا ثنائيًّا، فإمّا أن يكون المصدر ذاتيًّا (من داخل الجسم المتحرك)، وإما أن يكون

غير ذاتيّ (من خارج الجسم المتحرّك)، ثم يجادل بأنّ المسؤول عن حركة الجسم المتحرّك ذاتيًّا كالكائنات الحية، مثلًا، يكمن في جزء من أجزائه. أما فيما يتصل بمعضلة اللاتناهي في افتراض وجود محرّك، يجادل أرسطو بضرورة وجود «محرّك أوّل» يتّصف بالثبات والخلود، ثم يقدّم تقسيمًا ثلاثيًّا للحركة لكل منها مُحرّك مسؤول سببيًّا عن وجودها: حركة كيفية، والمسؤول عنها هو المسبّب لظاهرة الاستحالة من هيئة إلى أخرى، وحركة كميّة، والمسؤول عنها هو المسبّب لظاهرتي النمو والاضمحلال، وحركة مكانية، والمسؤول عنها هو المسبّب لانتقال جسم من نقطة إلى أخرى. يرى أرسطو أن الحركة المكانية هي المصدر الأولي لكل الأنواع الأخرى، في حين أن الحركة المكانية الدائرية هي المصدر الأولي للحركة المكانية.

بالرغم من أن فيزياء أرسطو هي فيزياء كيفية في جوهرها، فإنها لا تخلو مع ذلك من إشارات كميّة، وهذا مع ما نراه على سبيل المثال في العلاقة ثلاثية الأركان التي يعقدها أرسطو بين (1) القوة المحركة و(2) القوة المقاومة للحركة و(3) السرعة[21]:

> «إذا حرّك المحرّك (أ) الجسم (ب) لمسافة (ج) خلال زمن (د)، فإن المحرّك (أ) سيحرّك نصف مقدار قوة الجسم (ب) لضعف المسافة (ج) خلال الزمن نفسه، كما أنه سيحرّك نصف مقدار قوة الجسم (ب) لمسافة (ج) خلال نصف مقدار الزمن (د)، وبذلك نكون قد تقيّدنا بقواعد التناسب».

بعبارة أخرى أشد اختصارًا، القوة المحرّكة التي تزيح جسمًا ما لمسافة محددة خلال زمن معين ستزيح نصف هذا الجسم إلى ضعف المسافة في الزمن نفسه أو إلى المسافة نفسها خلال نصف الزمن، وهذا يعني رياضيًّا أنّ مقدار السرعة يتناسب تناسبًا عكسيًّا مع مقدار القوة المقاومة للحركة عند ثبات مقدار القوة المحرّكة. من جهة أخرى، يتناسب مقدار السرعة تناسبًا طرديًّا مع مقدار القوة المحركة عند ثبات مقدار القوة المقاومة للحركة، بحيث سيزيح ضعف مقدار القوة المحركة الجسم نفسه إلى ضعف المسافة خلال الزمن نفسه، لكن في المقابل، كما يلاحظ أرسطو، نصف مقدار القوة المحركة لن يزيح بالضرورة الجسم نفسه إلى نصف المسافة خلال الزمن نفسه، بل قد لا يتحرّك الجسم من مكانه على الإطلاق لعدم وصول القوة المحركة إلى مقدار محدد يسمح لها بإزاحة الجسم[22]. يدلّل أرسطو على ذلك من خلال الإشارة إلى مثال البحّارة المدّادين الذين يقومون بوظيفة سحب السفينة عند المرفأ، فلو كانت القوة المحرّكة قابلة للتجزئة مع الاحتفاظ بطبيعتها بوصفها قوة محرّكة، لاستطاع بحّار واحد فقط سحب السفينة لمسافة معينة، وبهذا لا نستطيع الاستعانة بقواعد التناسب حين تكون القوة المحركة أقل من القوة المقاومة للحركة أو مساوية لها في المقدار.

أخيرًا، وفيما يتعلق بظاهرة سقوط الأجسام على الأرض، يعتمد معدّل سرعة سقوط الأجسام في اتجاه مركز الأرض على الوزن أو الكتلة (لم يكن أرسطو والفيزيائيون الأوائل يفرّقون بين

الوزن والكتلة)، فحسب فيزياء أرسطو، تسقط الأجسام الثقيلة إلى أسفل بسرعة أكبر من سرعة سقوط الأجسام الخفيفة.

بعد هذا العرض الموجز، قد يشعر القارئ بصدمة من حجم الأخطاء التي تتضمّنها فيزياء أرسطو، فأغلب ما أشرنا إليه من آراء لا يتوافق مع مقولات العلم الحديث، لكن لسنا هنا بصدد الوقوف عند عثرات أرسطو، فقد قام آخرون بهذه المهمة قبل قرون من الزمن، ولولا عثرات السابقين لما استطاع اللاحقون امتلاك مسطرة قياس حديثة[23]، ذلك أن المعرفة العلمية معرفة تراكمية تعتمد على المحاولة والخطأ. يُضاف إلى ذلك أنّ الاهتمام بفلسفة أرسطو العلمية لا يكمن في مدى اقترابها أو ابتعادها عن حقائق العلم الحديث، بل في حجم تأثيرها في مسار تطور هذا العلم، وسنقف في المبحث التالي عند هذا التأثير لنرى بعضًا من ملامح خضوع العلم لأحكام الفلسفة.

8. 4. التأثير الأرسطي في مسار العلم الطبيعي

ربما باستثناء أفلاطون، لا يُعرف فيلسوف على مَرّ التاريخ كان له من التأثير ما يوازي ما كان لأرسطو من تأثير لم يزَل مستمرًّا -بشكل أو بآخر- منذ أكثر من ثلاثة وعشرين قرنًا. لهذا التأثير مظاهر عدة، كان أولها نشأة ظاهرة الشرح الفلسفي لكتب أرسطو التي بدأت منذ القرن الأول قبل الميلاد ولم تزل مستمرة إلى عصرنا الحاضر، وقد وصل عدد تلك الكتب التي شاءت الأقدار أن تنجو

من الضياع ما يربو على الثلاثين مُصنّفًا، ومن خلالها إنما تتضح موسوعية أرسطو الذي كتب عن الطبيعة والميتافيزيقا والطبيعة والمنطق والسياسة والبلاغة والمسرح وغيرها كثير من ميادين المعرفة[24].

لقد كشفت مصنفات أرسطو أيضًا عن مدى أصالته كمؤسس لعديد من العلوم المتعلقة بالمنهج العلمي وعلم الأحياء والنقد الأدبي وغيرها من حقول العلم، بل إنّ هناك من ذهب إلى القول إنّ كتاب «العناصر» لإقليدس لم يكن إلّا تجسيدًا عمليًّا لمنطق أرسطو[25]، وإذا كان الفارابي أفلاطونيًّا من حيث المضمون في كتابه الشهير «المدينة الفاضلة»، فإنه أرسطيّ بامتياز في المنهج الذي اتبعه في هذا الكتاب[26]. لعلنا لا نبالغ أيضًا حين نقول إن الاختيار العشوائي لقراءة أي صفحة من صفحات مجلّدات كتاب «الشفاء» لابن سينا ستجعل فلسفة أرسطو على الفور حاضرة في ذهن القارئ[27]، كما لا يمكن فهم تطوّر علم الكلام في تراثنا من المرحلة التقليدية إلى المرحلة الفلسفية من دون وضع التأثير الأرسطي في الاعتبار[28].

ليس من الممكن كذلك إنكار دور فلسفة أرسطو في شهرة عديد من الفلاسفة الشارحين على مدى العصور من أمثال الإسكندر الأفروديسي والحسن بن السمح وابن رشد وتوماس الأكويني، والأهمّ من ذلك كله في سياق هذا القسم حول جذور العلم هو التأثير الأرسطي في العلاقة بين العلم والفلسفة والذي امتدّ إلى مطلع القرن السابع عشر. يتجسّد هذا التأثير الأرسطي في

جعل العلم في خدمة الفلسفة، أي في إخضاع دراسة العالم الطبيعي لمبادئ ميتافيزيقية، وسنقتصر هنا على مثالين، أحدهما يتعلق بمركزية الأرض، والآخر يرتبط بظاهرة الحركة المكانية.

يبدأ أرسطو الفصل الثالث عشر من المقالة الثانية لكتابه المعنون: «السماء والعالم» بالتساؤل حول الأرض من حيث موقعها، ومن حيث ما إذا كانت ثابتة أم متحرّكة، ومن حيث شكلها، ثم ينتقل إلى مناقشة كل نقطة من هذه النقاط الثلاث على حدة، مستعرضًا -كعادته- آراء السابقين من الفلاسفة حولها، ومؤكدًا في الوقت نفسه على عدم وجود إجماع في الرأي حول أيّ منها. أما عن منظور أرسطو نفسه فسبق أن أشرنا إلى أنه يقول بمركزية الأرض وثباتها وكروية شكلها، ولنبيّن هنا كيف دافع أرسطو عن مركزية الأرض.

سيتذكّر القارئ التقسيم الأرسطي للكون إلى عالم علوي وعالم سفلي، والحركة الطبيعية للأجسام في العالم السفلي هي في اتجاه مركز الكون، وأرسطو يقول بأن مركز الأرض حدث أن تطابق مع مركز الكون، وكل ما يقع في المركز يبقى ثابتًا، ذلك أن «الحركة الطبيعية للأرض»، كما يؤكد أرسطو، «هي نحو مركز الكون»، وبما إن الأرض تقع أصلًا في هذا المركز، «من الواضح -إذًا- أن الأرض لا تتحرّك ولا تقع في أي مكان آخر عدا في مركز الكون»[29]. بالرغم من أن أرسطو يلجأ إلى حجج أخرى تعتمد على الملاحظة الحسية، كمثل ملاحظة أن النجوم تبدو ثابتة عند مشاهدتها من الأرض، وكمثل سقوط الأجسام على المكان نفسه الذي انطلقت منه بعد

قذفها إلى أعلى، يبدو واضحًا -مع ذلك- أن المنظور الأرسطي للكون يخضع لمبادئ ميتافيزيقية لا تخلو في بعض جوانبها من مسحة أفلاطونية، فالكون دائري الشكل لأنّ الدائرة هي الشكل الأمثل، وحركة الأجسام طبيعية بالقدر الذي تتّجه فيه نحو مكانها الطبيعي، والثبات في مكان معيّن يعني بلوغ المتحرّك مكانه الطبيعي بحيث لا يحيد عنه إلّا قسرًا.

اتّخذ بطليموس في القرن الثاني بعد الميلاد من المنظور الأرسطي للكون أساسًا لنظامه الفلكي في كتابه الشهير والمعروف عند العرب بعنوان «المجسطي»[30]، وساد هذا النظام من دون منازع طوال القرون الوسطى في الشرق والغرب[31]. يفتتح بطليموس كتابه المذكور بعرض النظام الفلكي من منظور أرسطي، منطلقًا من مجموعة من الأصول التي هي بمنزلة مسلّمات أرسطية المحتوى، منها أنّ الأرض كروية الشكل ومركزية الكون وغير متحرّكة. بعد مرور ما يقارب ثمانية قرون على كتاب «المجسطي»، نجد أبا حيان البيروني منطلقًا من هذه الأصول بعينها في كتابه الشهير «القانون المسعودي»، الذي أثنى فيه على بطليموس ووصفه بأنه «إمام» علماء الفلك[32]. بل حتى حين نرى البيروني يميل في لحظة إبداع حقيقي إلى الأصالة والاستقلال الفكري من خلال تأكيده على أنّ ثبات الأرض أو حَراكِها متكافئان من الناحية الرياضية ويمكن مع أيّ منهما تفسير الظواهر نفسها، نجده مع ذلك يتراجع سريعًا عن نظرية حركة الأرض ليقول: «لكنْ هناك عِلَل أخرى تجعل منها

[أي من حركة الأرض] مستحيلة»[33]، ولنا أن نخمّن طبيعة هذه العِلَل التي يشير إليها البيروني هنا، فهي ليست سوى تلك القائمة من المبادئ الميتافيزيقية التي صاغها أرسطو وجعل بطليموس من نتائجها أصولًا ليبني عليها نظامه الفلكي، لينشغل عديد من علماء الفلك بعدئذٍ، وعلى مدى قرون طويلة، في مجرّد تهذيب هذا النظام وجعله أكثر دقة.

نأتي الآن إلى المثال الآخر حول تأثير فيزياء أرسطو في مَن جاءوا بعده، وهو المثال المتعلق بظاهرة الحركة المكانية. سبق أن أشرنا في القسم (2.3.4) إلى أتباع «المذهب الذرّي» الذين ذهبوا إلى القول بأنّ الكون في جوهره ليس سوى ذرّات تتحرّك بصورة دائمة في الفراغ، وأنّ جميع الأشياء والكائنات فيه مُكونة من تلك الذّرات. في كتابه «السماء والعالم»، يعيب أرسطو على أصحاب هذا القول فشلهم في تفسير الحركة الدائمة للذرات، فإذا كانت هذه الذرات في تصادم دائم كما يزعم ليوقيدس وديمقريطس، فلا بدّ أن تكون حركة كل ذرة حركة قسرية (أي غير طبيعية) بفعل التصادم مع الذرات الأخرى، والحركة القسرية تقتضي ابتداء وجود حركة طبيعية سابقة عليها، وهنا يُخفق أتباع المذهب الذري -كما يرى أرسطو- في تفسير الحركة الأصل للذرات وهي حركتها الطبيعية[34]. في مقابل هذا المذهب الذري، يتبنّى أرسطو، كما ذكرنا، نظرية العناصر الأربعة إلى جانب نظريته الخاصة بظاهرة الحركة، لكن كلتا النظريتين لا تخلو من مشكلات، وأرسطو نفسه

كان مدركًا لذلك. فيما يلي، سنستعرض جانبين من تلك المشكلات تِباعًا، أحدهما متعلق بالحركة الطبيعية، والآخر متعلق بالحركة القسرية.

بالنسبة إلى أرسطو -كما سبق أن أشرنا- فكل الأشياء والكائنات في عالمنا السفلي مكونة من خليط من العناصر الأربعة، وهذا يعني أن قطعة من الحجر، مثلًا، مكونة أيضًا من هذه العناصر الأربعة، وهو ما يدفعنا إلى التساؤل عن العِلّة وراء اتجاه الحركة الطبيعية للحجر إلى أسفل بدلًا من أن يكون اتجاهها إلى أعلى. لنطرح السؤال نفسه بشكل مباشر: إذا كان من ضمن مكونات الحجر النار والتراب، فلماذا لا تكون حركة الحجر الطبيعية إلى أعلى كالنّار بدلًا من كونها إلى أسفل كالتّراب؟ هنا يلجأ أرسطو إلى حجة العنصر الأكثر نسبة بالقياس إلى نسبة العناصر الثلاثة الأخرى والتي يتكوّن منها جسم مركّب كالحجر، وبهذا، تكمن العِلّة وراء اتجاه الحركة الطبيعية للحجر إلى أسفل في حقيقة أنّ عنصر التراب يحتلّ النسبة الكبرى ضمن مكوّناته[35].

حظيت هذه الفكرة -كما يؤكد أحد الباحثين- باهتمام المفكرين في القرون الوسطى مع محاولتهم التفصيل فيها، فمصدر القوة المحركة لجسم ما بالنسبة إليهم يكمن في العنصر الأكثر نسبة من ضمن العناصر الأخرى التي يتشكّل منها ذلك الجسم، في حين يكمن مصدر القوة المقاومة لحركة الجسم في العنصر الذي تخالف حركته الطبيعية حركة الجسم، ويمكن تحديد حركة اتجاه هذا الجسم

استنادًا إلى موقعه ومقدار كل عنصر من العناصر الأربعة التي يتشكّل منها[36]. لتوضيح هذه النقطة، ينبغي أن نتذكّر أن حركتي الماء والتراب نحو الأسفل، في حين أنّ حركتي النار والهواء نحو الأعلى، ولو افترضنا وجود جسم في الهواء بحيث يشكّل كل عنصر من عناصره الأربعة رُبع وزنه، فإنّ حركة هذا الجسم الطبيعية في الهواء ستكون إلى أسفل نظرًا إلى أن نصف وزنه المكوّن من التراب والماء يفوق ربع وزنه المكوّن من النار، وأما ربع وزنه المكوّن من الهواء فلن يؤثر في اتجاه الحركة لوجود الجسم في الهواء. في المقابل، لو كان هذا الجسم في الماء، فإن حركته الطبيعية ستكون نحو الأعلى نظرًا إلى أن نصف وزنه المكوّن من النار والهواء يفوق ربع وزنه المكوّن من التراب، وأما ربع وزنه المكوّن من الماء فلن يؤثر في اتجاه الحركة لوجود الجسم في الماء[37].

فيما يتعلق بالحركة القسرية، شكّلت حركة المقذوفات تحدّيًا لنظرية أرسطو حول الحركة، فبحسب هذه النظرية، لا يحرّك شيء شيئًا آخر إلّا من خلال التلامس، ولا تستمرّ الحركة إلّا مع استمرار هذا التلامس، لكن حين أُمسك بحجر وألقيه بعيدًا، يستمرّ الحجر في حركته حتى بعد مفارقته لراحة يدي، فكيف يمكن تفسير ذلك؟ هنا يلجأ أرسطو إلى القول إنّ الذي يُلقي بحجر لا يمنح الحجر فقط قوة محرّكة، بل يمنح الوسط الذي يتحرّك من خلاله الحجر القوة المحرّكة ذاتها، وهي قوّة تتلاشى تدريجيًّا إلى أن يستعيد الحجر من جديد حركته الطبيعية ليسقط نحو أسفل[38].

بالرغم من النقد اللاذع الذي قدّمه الفيلسوف المسيحي فيلوبونوس ضد نظرية أرسطو حول المقذوفات، وبالرغم من «نظرية الميل» التي تبنّاها ابن سينا كبديل من نظرية أرسطو والتقفها لاحقًا الفلاسفة المسيحيون في أوكسفورد وباريس، ظلّت آراء أرسطو حول الحركة القسرية مؤثرة بين أتباعه في العالم الأوروبي إلى القرن السادس عشر، ذلك أن تأثير فلسفة أرسطو العلمية بلغ من الشدة بحيث دام عقودًا طويلة، لكنه بلغ أيضًا من العمق بحيث دفع عقولًا اتّسمت بالجرأة والاستقلال الفكري إلى التحرّر من زعامته الفكرية، وهي زعامة أدّت كما شاهدنا إلى جعل العلم في خدمة الفلسفة بعد أن كان خادمًا للأسطورة في حضارات الشرق القديم وقبل ظهور الفلسفة الإغريقية، ولعلّ من المناسب أن نختم هذا القسم بما يقوله أحد الباحثين مصوّرًا مكانة أرسطو في القرون الوسطى[39]:

«لقد كان أرسطو أشبه ببطل تراجيدي يحثّ الخُطا بين علوم القرون الوسطى.. فقد شغل مركز المسرح، مُغريًا عقول الرجال بالوعود السحرية لمفاهيمه، ومثيرًا لعواطفهم وللخلاف فيما بينهم، ومُجبرًا إيّاهم في آخر الأمر على الانقلاب عليه بعدما اتّضحت عواقب أفكاره تدريجيًا، ومع ذلك، كان أرسطو نفسه يقدّم إليهم من عمق نظامه الفكري أسلحة استخدموها في الهجوم عليه».

مكتبة
t.me/soramnqraa

القسم الثالث

فلسفة العلم

فلسفة العلم هي تأمّل نقدي في أفضل طريقة ابتدعها الإنسان لإدراك حقيقة العالم من حوله. هي ميدان واسع من ميادين البحث، ولهذه الحقيقة أسباب موضوعية، بعضها على علاقة مباشرة بموضوع البحث في هذا الميدان، ونعني به العلم نفسه. أولًا، هناك سبب تاريخي، فالعلاقة بين العلم والفلسفة تعود جذورها إلى الحضارة الإغريقية ولم تزل مستمرة إلى عصرنا الحاضر، وأمام علاقة بهذا العمر الطويل لا نتوقّع من أي ميدان بحث يختصّ في أي شكل من أشكال هذه العلاقة سوى أن يكون واسعًا من حيث منظوره التاريخي على أقل تقدير. ثانيًا، هناك سبب واقعي، فالمشكلات التي أثارها ويثيرها العلم لا حصر لها، والتعامل مع هذا الكمّ الكبير يجعل من اتساع ميدان فلسفة العلم أمرًا متوقّعًا. أخيرًا، هناك سبب إجرائي، فمن المتعارف عليه تقسيم العلم الحديث إلى فروع متعددة بحسب طبيعة موضوع البحث، ومن الطبيعي أن تتّسع فلسفة العلم بما يكفي للإحاطة بفروع العلم

الحديث. هذا من حيث حجم فلسفة العلم بوصفها ميدانًا للبحث، لكن ماذا عن مضمونها؟

فلسفة العلم فرع من فروع الفلسفة وموضوعها هو العلم، وحين يكون الموضوع متعلّقًا بالعلم على إطلاقه، نكون أمام ما يسمى «فلسفة العلم العامة»، وأمّا إذا ارتبط الموضوع بعلم محدد، فإننا نكون عندئذ أمام فلسفة هذا العلم على وجه الخصوص، على سبيل المثال، هناك فلسفة الفيزياء وفلسفة الأحياء وفلسفة اللسانيات وغيرها من فلسفات تختصّ كل واحدة منها بفرع من فروع العلم، وجميعها فلسفات تقع تحت مظلة فلسفة العلم العامة. بطبيعة الحال، تتعلّق الأسئلة التي تطرحها فلسفة العلم العامة بالعلم من حيث هو علم، في حين تنصبّ الأسئلة في فلسفات العلم الخاصة على العلم من حيث هو فرع من ضمن فروع العلم الأخرى. على سبيل المثال، أسئلة من قبيل: ما طبيعة القانون العلمي؟ أو ما هي العلاقة بين التفسير العلمي والتنبؤ العلمي؟ أو ما الفرق بين العلم الحقيقي والعلم الزائف؟ جميعها أسئلة تنتمي إلى فلسفة العلم العامة، في حين أنّ أسئلة من قبيل: ما الطبيعة الجوهرية للزمان والمكان؟ وهل بات مفهوم الغائية زائدًا عن الحاجة في ظل نظرية التطور؟ وهل ينتمي علم اللغة إلى العلوم الطبيعية أم إلى العلوم المجرّدة؟ هي أسئلة تنتمي -على التوالي- إلى فلسفة الفيزياء وفلسفة الأحياء وفلسفة اللسانيات.

فلسفة العلم فلسفة قديمة وحديثة في آن واحد، هي قديمة

حين ننظر إليها بوصفها اجتهادات تأمّلية في موضوعات تتعلق بالعلم، وهي حديثة حين ننظر إليها بوصفها ميدان بحث جاء استقلاله تتويجًا لتلك الاجتهادات. لهذا السبب، لو أردنا أن نؤرّخ لبداية فلسفة العلم بوصفها اجتهادات فردية حول مشكلات العلم الفلسفية، فسيتعيّن علينا العودة في الزمن إلى حيث أفلاطون وأرسطو على أدنى تقدير، لكن إذا أردنا أن نؤرخ لبداية فلسفة العلم بوصفها ميدانًا أكاديميًّا له أساتذته وطلّابه، وله مجلّاته ومؤتمراته، إلى جانب أقسامه العلمية في الجامعات والمراكز البحثية حول العالم، فلن نحتاج إلى العودة في الزمن إلى أكثر من مئة عام على أقصى تقدير.

سنبدأ هذا القسم الأخير من حيث انتهينا في القسم السابق، حيث سنتتبّع المآل الذي انتهت إليه طريقة التركيب والتحليل الأرسطية بعد قيام الثورة العلمية. يحتوي هذا القسم الأخير من الكتاب على أربعة فصول. سنتوقّف في الفصل القادم عند مفهومي الاستنباط والاستقراء تمهيدًا لعرض مقاربات مختلفة للمنهج العلمي، وهي مقاربات تضمّنت امتدادًا لطريقة التركيب والتحليل الأرسطية من جهة، وانقلابًا على مبادئ أرسطو الميتافيزيقية من جهة أخرى، ثم نتابع ذروة هذا الانقلاب على الميتافيزيقا في فلسفة العلم الحديث مع مطلع القرن التاسع عشر. يبدأ الفصل العاشر بمفهومِي اليقين والاحتمال تمهيدًا لموضوع الفصل والخاص باليقين المعرفي والاستدلال العلمي، ثم ننتقل إلى الفصل الحادي عشر

لمناقشة مشكلات الاستدلال العلمي. أخيرًا، سيختصّ الفصل الثاني عشر والأخير بالتفسير العلمي ومشكلاته.

الفصل التاسع

إرث طريقة التحليل والتركيب

9 . 1 . الاستنباط والاستقراء

كما بيّنّا في الفصل الثاني، تتكون الحجة من طرفين: مقدمات ونتيجة، والاستدلال هو استخلاص نتيجة من مقدمات. حين يكون الاستدلال خاضعًا لقوانين المنطق، نكون أمام استدلال سليم منطقيًّا، وحين يخالف الاستدلال قوانين المنطق، نكون أمام مغالطة منطقية. هناك نوعان رئيسيان من الاستدلال: الاستنباط والاستقراء، ولكل منهما أشكاله الخاصة. أبرز اختلاف بين هذين الاستدلالين يكمن في درجة احتمال نتيجة كلّ منهما؛ نتيجة الاستدلال الاستنباطي يقينية، ونتيجة الاستدلال الاستقرائي محتملة، ولهذا الاختلاف دور مهم في تحديد طبيعة الاستدلال العلمي كما سنرى في الفصل القادم.

نظرًا إلى أن مفهوم «الاستقراء» سيكون جوهريًّا بالنسبة إلى عديد من موضوعات هذا الفصل، لعلّ من المفيد أن نتوقّف قليلًا عنده لمزيد من الإيضاح. أبرز خاصية للاستقراء هو أنه

استدلال توسّعي، بمعنى أن المحتوى المعرفي لنتيجته غير مُتضمَّن كُليًّا في المحتوى المعرفي لمقدّماته، وهذه الخاصية التوسعية ملازمة للاستقراء بصرف النظر عن شكله. لنعطي مثالًا على ذلك من خلال التوقف عند شكلين من أشكال الاستدلال الاستقرائي: الاستقراء التعدادي والاستقراء الاستبعادي.

في الاستقراء التعدادي، نصل إلى تعميم كُلّي استنادًا إلى تعداد جُزئي. على سبيل المثال، استنادًا إلى التعداد الجزئي: «كل مدارات كواكب مجموعتنا الشمسية التي تمّ اكتشافها حتى الآن بيضوية الشكل»، نصل عن طريق الاستقراء إلى التعميم الكلّي: «كل كوكب في مجموعتنا الشمسية، المكتشف منها والذي لمّا يُكتشف بعدُ، له مدار بيضوي الشكل». الاستقراء التعدادي استقراء لأنه استدلال توسّعي من حيث أن المحتوى المعرفي للتعميم يذهب إلى أبعد من المحتوى المعرفي للملاحظة الحسية، وهو استقراء تعدادي لأن الملاحظة الحسية قائمة على مجرّد تعداد معطيات الواقع، ولهذا السبب يُعرف الاستقراء التعدادي أيضًا بالاستقراء البسيط.

إذا كان الاستقراء التعدادي بسيطًا، فإن الاستقراء الاستبعادي مُركّب، ذلك أنه يبدأ باستنباط بغرض الاختبار وينتهي باستقراء بغرض الاختيار. مثلًا، حين نكون أمام فرضيّتين مختلفتين تُفسّر كل منهما الظاهرة نفسها، فبإمكاننا اختيار إحداهما استنادًا إلى قدرة أي منهما على التنبؤ بظواهر جديدة، وهذا يحتاج إلى التسليم بصحة كل منهما على حدة كي نختبر مدى صحة ما ينتج منهما.

هذه الخطوة الاختبارية هي خطوة استنباطية. لنفترض أن التسليم بصحة الفرضية الأولى أدّى إلى تنبّؤ خاطئ، في حين أدّى التسليم بصحة الفرضية الثانية إلى تنبّؤ صحيح. بإمكاننا في هذه الحالة استبعاد الفرضية الأولى والاحتفاظ بالفرضية الثانية. لكن ما الذي يبرّر احتفاظنا بالفرضية الثانية؟ قد يقول قائل إن الإجابة مباشرة: فالفرضية الثانية استطاعت، ليس تفسير ظاهرة محددة فحسب، بل ذهبت أيضًا إلى حدّ التنبؤ بظاهرة جديدة. لا شك في أن هذه الإجابة سليمة من الناحية العمليّة، لكنها ليست سليمة من الناحية المنطقية، ولعلّ القارئ يتذكّر مغالطة تأكيد التالي التي سبق أن أشرنا إليها في الفصل الثاني، فهي السبب وراء عدم قدرتنا على تبرير الاحتفاظ بالفرضية الثانية، ذلك أن صدق المقدمات في هذه الحجة لا يقتضي بالضرورة صدق النتيجة المنبثقة منها. هنا تحديدًا يكمن مظهر من مظاهر مشكلة الاستقراء التي سنتوقّف عندها بشيء من التفصيل حين نصل إلى مشكلات الاستدلال العلمي (الفصل الحادي عشر). ما يهمنا هنا هو التأكيد فقط على أن كلا النوعين من الاستقراء، التعدادي والاستبعادي، يحتفظ بالخاصية التوسعية للاستقراء.

9. 2. المقاربة الاستقرائية-الاستنباطية

في أي نظرية حول طبيعة المنهج العلمي، حين نمنح الاستدلالين الاستقرائي والاستنباطي قدرًا متقاربًا من الأهمية، نكون أمام ما يُمكن أن نطلق عليه اسم «المقاربة الاستقرائية-

الاستنباطية»، وهي مقاربة ذات تاريخ طويل، ذلك أن جذورها تكمن في طريقة «التحليل والتركيب» الأرسطية، التحليل المستمدّ من فلسفة أفلاطون، والتركيب المستمدّ من الهندسة الإغريقية، وكما رأينا في القسم السابق، اتّخذ أرسطو من هذه الطريقة أساسًا ليُقيم عليه فلسفته العلمية.

حين نتَتبّع المسار التاريخي للمقاربة الاستقرائية-الاستنباطية، مرورًا بالفلسفة العربية الإسلامية والفلسفة المدرسية المسيحية، فإنّنا نلاحظ احتفاظًا بالخطوط العريضة لفلسفة العلم عند أرسطو. كانت هناك بالطبع تفاصيل تتعلّق بإضافات وتعديلات قيّمة، لكن لم يطرأ تغيير على الملامح العامة للمنهج العلمي الأرسطي في شِقّيه التحليلي والتركيبي، فالشِقّ التحليلي ظلّ مرتبطًا باكتشاف المبادئ الأولى عن طريق الاستقراء، والشق التركيبي ظلّ مرتبطًا بالبرهان العلمي عن طريق الاستنباط. هذا ما نجده عند الفارابي وابن سينا وعلي بن رضوان المصري وابن رشد وغيرهم من الفلاسفة المسلمين، وكذلك عند نظرائهم من الفلاسفة المسيحيين في القرن الثالث عشر من أمثال روبرت غروستست وألبرتوس ماغنوس وتوماس الأكويني وروجر بيكون.

مع الانقلاب الذي قامت به الثورة العلمية على المبادئ الميتافيزيقية الأرسطية، اكتسبت طريقة التحليل والتركيب ثوبًا جديدًا، أصبح الشق التحليلي مرتبطًا باستدلال يبدأ بالنتيجة (أو الظاهرة) وينتهي بأسبابها، في حين سلك الشق التركيبي الاتجاه

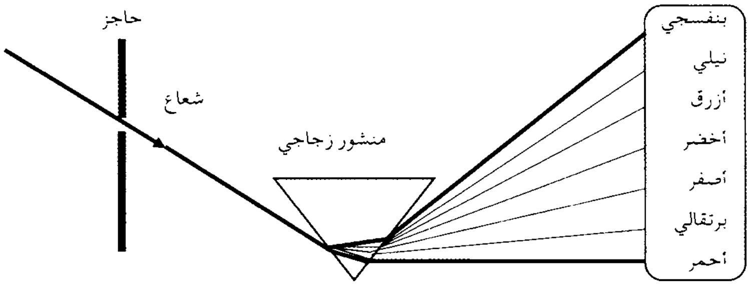
المعاكس بحيث يبدأ بالأسباب (أو الفرضيات) وينتهي بنتيجتها. هذا يعني أنّ الثوب الجديد لطريقة التحليل والتركيب القديمة لا يكمن في شكله، بل في محتواه فحسب، فكل ما هنالك أنّ المبادئ الميتافيزيقية الأرسطية أُستعيض عنها بفرضيات أو قوانين خاضعة للتجربة، مع استثناء نجده في ميتافيزيقا ديكارت التي استعاضت عن مبادئ أرسطو بمبدأ ميتافيزيقي واحد هو وجود الله، غير أنّ طريقة التحليل والتركيب الأرسطية بوصفها مقاربة استقرائية-استنباطية ظلّت حاضرة عند بعض أهمّ أعلام الثورة العلمية في القرن السابع عشر من أمثال جاليليو وديكارت ونيوتن.

حين كان جاليليو يكتشف قوانين فيزيائية من خلال إجراء تجارب عملية، كان يقوم بعملية التحليل من خلال استقراء تلك القوانين استنادًا إلى ملاحظة معطيات الواقع، وحين كان يفسّر معطيات الواقع مستعينًا بالبرهان العلمي، كان يقوم بعملية التركيب من خلال استنباط تلك المعطيات استنادًا إلى قوانين عامة. نجد عند ديكارت أيضًا طريقة التحليل والتركيب حاضرة، وفي «مقال في المنهج»، أبرز مثال على طريقة التحليل وهو اتخاذ ديكارت الشك المنهجي للوصول إلى مبدأ «أنا أفكر، إذًا أنا موجود»، كما أن أبرز مثال على طريقة التركيب عند ديكارت هو في تأسيسه للهندسة التحليلية من خلال استنباط الحقائق الهندسية من معادلات جبرية. أما نيوتن فلعلّ أبرز مثال يجمع بين التحليل والتركيب هو ما نجده في أشهر تجاربه في ميدان البصريات. في هذه التجربة، قام نيوتن أولًا

باستقراء مبدأ عام حول طبيعة الضوء، وهذا هو الشق التحليلي، ثم قام ثانيًا باستخدام هذا المبدأ لاستنباط تنبّؤ للتحقق من صحة المبدأ نفسه، وهذا هو الشق التركيبي.

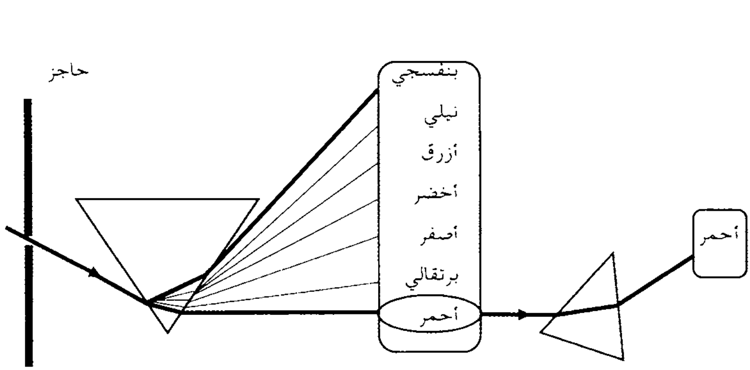
لنختم هذا العرض الموجز للمقاربة الاستقرائية-الاستنباطية بشرح لهذه التجربة مستعينين بما كتبه جون لوسي Losee حول تفاصيلها[1].

صنع نيوتن ثَقبًا صغيرًا في حاجز خشبي كي يمر من خلاله ضوء الشمس على شكل شعاع ضوئي إلى داخل غرفة مظلمة، ثم وضع منشورًا زجاجيا في طريق الشعاع ومن خلفه جدار أبيض. كما هو متوقع، انحرف الشعاع الضوئي مرتين خلال مروره بالمنشور الزجاجي قبل أن يُسفر عن ألوان الطيف كما في الشكل التالي:



ينبغي التذكير هنا بأنّ ظاهرة تَحللِ الضوء الأبيض إلى ألوان الطيف بعد مروره بمنشور زجاجي كانت ظاهرة معروفة قبل مجيء نيوتن، لكنها كانت تفتقر إلى تفسير، فلم يكن معروفًا على وجه التحديد ما إذا كان مصدر ألوان الطيف يكمن في الضوء الأبيض نفسه أو في خصائص ثانوية للمنشور الزجاجي.

استنادًا إلى تحليله لنتائج التجربة، وصل نيوتن إلى الاستنتاج التالي: يتكون الضوء من أشعة ذات ألوان مختلفة لكل منها درجة انحراف مغايرة خلال مرورها بمنشور زجاجي. هذا استنتاج استقرائي بامتياز، ذلك أنه حصيلة استدلال ينتقل من نتيجة التجربة حول ضوء محدد إلى تعميم حول طبيعة الضوء بشكل عام. للتحقق من هذا التعميم، ينتقل نيوتن من الشق التحليلي-الاستقرائي في منهجه إلى الشق التركيبي-الاستنباطي من خلال افتراض صحة هذا الاستنتاج لاستنباط ما ينتج منه، فمثلًا، إذا كان الضوء يتكون من أشعة ذات ألوان ودرجات انحراف مختلفة، فإنّ تسليط ضوء ذي لون محدد من ألوان الطيف على منشور زجاجي ينبغي أن يؤدي إلى (1) انحراف هذا الضوء بقدر درجة الانحراف المرتبطة باللون نفسه، و(2) عدم تحلّل هذا الضوء إلى ألوان الطيف. للتحقق من مدى صحة كلّ من (1) و(2)، وضع نيوتن منشورًا زجاجيًّا إضافيًّا في مسار شعاع واحد فقط ذي لون محدد كما هو موضح في الشكل التالي:



جاءت نتيجة التجربة مؤكدة على صحة كل من (1) و(2)، فمن جهة، انحرف الضوء بقدر درجة الانحراف المرتبطة باللون نفسه، ومن جهة أخرى، لم يتحلّل هذا الضوء إلى ألوان الطيف. استنادًا إلى صحة هذين التنبّؤين، استطاع نيوتن التحقق من صحة الاستنتاج الذي مفاده أنّ الضوء يتكون من أشعة ذات ألوان ودرجات انحراف مختلفة.

9. 3. نزعات منهجية

من الطبيعي أن تظهر نزعات منهجية مختلفة حين يختلّ التوازن بين الاستقراء والاستنباط في المقاربة الاستقرائية-الاستنباطية، بعضها يجنح إلى تغليب أحدهما على الآخر، وبعضها يحاول تجاوزهما بشكل أو بآخر. سنستعرض بإيجاز هذه النزعات المختلفة فيما يلي.

كان للاستقراء دور في المنهج العلمي منذ أول فلسفة للعلم قبل أكثر من ألفيْ سنة، لكن في الفترة الممتدّة بين القرنين السابع عشر والتاسع عشر احتلّ الاستقراء، أو كاد يحتلّ، الدور الأوحد في نظرية المنهج العلمي. بدأت هذه النزعة الاستقرائية بشكل غير ناضج في فلسفة فرانسيس بيكون Bacon في أوائل القرن السابع عشر، ثم بلغت ذروة نضوجها في فلسفة جون ستيوارت مِل Mill في أواخر القرن التاسع عشر.

في كتابه «الأورغانون الجديد»، يقسّم بيكون المنهج العلمي إلى ثلاث مراحل، ويحتّل الاستقراء فيها المرحلة الأخيرة. لكن

رغم التفاصيل الكثيرة التي ذكرها بيكون حول المرحلتين الأولى والثانية، والمتعلقتين بجمع المعلومات وتصنيفها، لم يذهب في تناوله لمفهوم «الاستقراء» إلى أبعد من التأكيد على أهميته من جهة، ودعوته من جهة أخرى إلى الاعتماد على الاستقراء الاستبعادي عوضًا عن الاستقراء التعدادي[2]. كان بيكون ساخطًا على فلسفة أرسطو بشكل عام وعلى القياس الأرسطي بشكل خاص، لكن تحجيمه لدور الاستدلال الاستنباطي في المنهج العلمي لم يسفر عن نجاحه في تقديم الاستقراء بوصفه البديل الأمثل للتعبير عن طبيعة الاستدلال العلمي[3].

في المقابل، قطع مِل في كتابه «نسق المنطق» شوطًا طويلًا في أدق تفاصيل الاستقراء وجعل منه السمة الجوهرية للمنهج العلمي، بل إنه ذهب إلى حدّ الزعم بأن جميع العلوم الاستنباطية هي في جوهرها علوم استقرائية، وأنّ كل مبادئها (ومن ضمنها المقدمات البدهيّة) ليست سوى تعميمات استنادًا إلى الملاحظة الحسية[4]. في واقع الأمر، ذهب مِل إلى أبعد من ذلك في نقاشه الشهير مع معاصره ويليام ويويل Whewell حول مفهوم الاستقراء[5]. كان أبرز مثال احتلّ قسمًا كبيرًا من هذا النقاش ذلك المتعلق باستدلال كِبلر الذي يشير إلى دوران كوكب المريخ حول الشمس في مدار بيضوي. بالنسبة إلى ويويل، كما هي الحال بالنسبة إلى الرأي السائد في فلسفة العلم، يعدّ هذا المثال مثالًا واضحا على الاستدلال الاستقرائي، في حين جادل مِل بأنه ليس سوى وصف لظاهرة ولا يرقى إلى

مرتبة الاستقراء. لا تعنينا هنا تفاصيل هذا النقاش الشائق بين مل وويويل بقدر ما تعنينا هذه النزعة الاستقرائية عند مِل. يرى مِل أن الاستقراء استدلال ينتقل مما هو معلوم إلى ما هو غير معلوم، وليس هذا التعريف من ابتداعه بطبيعة الحال، بل حتى الطرق الأربع (أو الخمس) الشهيرة التي ارتبطت باسمه ليست من ابتداعه، والحق أن مِل لم يدّعِ الأصالة في ذلك، وهذا ما يعترف به هو نفسه في مقدمة كتابه «نسق المنطق»، لكن إليه يرجع الفضل في وضع طرق الاستقراء المختلفة في نسق واحد يُعرف اليوم بطُرُق مِل[6].

مع أواخر الربع الأول من القرن العشرين، بدأت النزعة الاستقرائية في اتخاذ أشكال مختلفة بعد محاولات الاستفادة من نظرية الاحتمال الرياضية في معالجة الاستقراء العلمي. يشير هذا الاستقراء في جوهره إلى علاقة انتقالية من الحُكم بصحة ما هو جزئي وحسّي ومعلوم إلى الحُكم بصحة ما هو كُلّي وافتراضي ومجهول، وهذا الحُكم الأخير له درجة احتمال أكبر من 0 وأقل من 1، وحساب هذه الدرجة هو من اختصاص نظرية الاحتمال الرياضية (انظر المبحث 1.10). أسفر هذا التزاوج بين الاستقراء العلمي والاحتمال الرياضي إلى مقاربات مختلفة أسهمت جميعها وما زالت في تطوير المنطق الاستقرائي. سنشير إلى بعض أهم هذه المقاربات حين نصل إلى مشكلات الاستدلال العلمي في الفصل الحادي عشر.

كما هي الحال مع الاستقراء، يرجع دور الاستنباط في نظرية المنهج العلمي إلى فلسفة العلم عند أرسطو، والنزعة الاستنباطية

في المنهج العلمي قديمة أيضًا، نجدها في هندسة إقليدس وفيزياء أرخميدس. إبّان هيمنة المنظور الأرسطي على مسار العلم خلال قرون طويلة، لم يطرأ تغيير يُذكر على الشق التحليلي من فلسفة المنهج العلمي الأرسطي، وأما الشق التركيبي فأصبح مجرد أداة قديمة للتعامل مع حقائق جديدة. بمعنى آخر، احتفظت المبادئ الأولى، بوصفها نتائج الحدس الاستقرائي الأرسطي، بسلطتها على العقول حتى أصبحت نقطة الانطلاق لاستنباط معطيات الواقع المتجددة، وبذلك اكتسى التعامل مع المنهج العلمي الأرسطي مع مرور الزمن نزعة استنباطية. حين بلغ عدم الانسجام بين مبادئ أرسطو ومعطيات الواقع ذروته، بدأت مقاومة الهيمنة الأرسطية تتخذ أشكالًا مختلفة: إمّا الرفض التام للنزعة الاستنباطية والاستعاضة عنها بنزعة استقرائية جديدة كما نجدها عند بيكون ومِل وغيرهما، وإمّا العودة إلى المنهج العلمي الأرسطي من حيث الشكل لا المضمون، أي من حيث الاحتفاظ بالمقاربة الاستقرائية-الاستنباطية من دون التقيّد بالمبادئ الأولى في فلسفة أرسطو العلمية، وهذا ما نجده -كما أشرنا- عند جاليليو وديكارت ونيوتن وغيرهم.

عادت النزعة الاستنباطية إلى المنهج العلمي لكن بثوب جديد في أواخر القرن التاسع عشر لتبلغ ذروتها في منتصف القرن العشرين، فبعد صرف النظر عن سياق الاكتشاف (سيكولوجية العلم) والتركيز بدلًا من ذلك في سياق التبرير (منطق العلم)[7]، احتلّ الاستدلال الاستنباطي دورًا بارزًا في نظرية المنهج العلمي

من خلال التعامل مع مفهومين جوهريين في هذا المنهج: التفسير والتأييد. كما سنرى لاحقًا من خلال هذا القسم، أبرز تعبير عن النزعة الاستنباطية في بنية التفسير العلمي هو النموذج الاستنباطي-الناموسي (المبحث 3.12)، وأما النزعة الاستنباطية في التعامل مع مشكلة التأييد المرتبطة بالعلاقة بين الفرضية والدليل فقد عبّرت عنها الطريقة الافتراضية-الاستنباطية (المبحث 2.11).

إلى جانب النزعتين الاستقرائية والاستنباطية في نظرية المنهج العلمي، هناك أيضًا نزعات أخرى، بعضها بقيت داخل حدود المنطق، وبعضها خرجت عن تلك الحدود. من أشهر النزعات التي بقيت داخل حدود المنطق تلك المتعلقة بمنطق الاكتشاف العلمي عند كلّ من تشارلز بيرس Peirce ونوروود هانسون Hanson، أضاف الأول استدلالًا ثالثًا إلى استدلالِي الاستقراء والاستنباط التقليديين في محاولة لإثبات أن الاكتشاف العلمي يخضع لقواعد المنطق، وحاول الثاني تقديم الإثبات نفسه من خلال تحليله للظروف التي ينبغي توافرها للعثور على فرضية علمية. أما النزعات التي ذهبت في مقاربتها لنظرية المنهج العلمي إلى خارج حدود المنطق فمن أشهرها مقاربة كلٍّ من توماس كون Kuhn وباول فايرابيند Feyerabend للمنهج العلمي، اعتبر الأول أنّ منهج العلم يخضع لقواعد تتغيّر بتغيّر «البارادايم» أو «النموذج الإرشادي» الذي يعتمده العلماء ضمن حقبة تاريخية تمثّل «العلم القياسي» كما يسميها كون، كما نفى إمكانية المقارنة بين المفاهيم الخاصة بكل نموذج

إرشادي من حقبة إلى أخرى، في حين ذهب الثاني، ليس إلى نفي إمكانية المقارنة فحسب، وليس إلى نفي وجود حقيقة موضوعية فحسب، بل إلى نفي وجود منهج علمي أيضًا. كلاهما نال شهرة سريعة بالقدر الذي تجاوزت فيه إسهاماته حدود المنطق في فهم طبيعة المنهج العلمي، ولعل في هذه الحقيقة ما يدفع إلى التعامل مع أفكارهما، إنْ لم يكن «مع قليل من الملح» كما يقول المثل الإنكليزي، فبكثير من التحوّط على الأقل.

9. 4. الوضعية والانقلاب على الميتافيزيقا

رأينا من خلال هذا الفصل كيف شكّلت بعض المقاربات المختلفة للمنهج العلمي بعد الثورة العلمية انقلابًا على مبادئ أرسطو الميتافيزيقية، ونريد هنا أن نختم بإشارة موجزة إلى فلسفة كونت لما شكّلته من ذروة هذا الانقلاب في القرن التاسع عشر، ثم نتابع صدى هذه الفلسفة في مذاهب فكرية أخرى ضمن فلسفة العلم الحديث[8].

إذا كان أرسطو هو أول فيلسوف للعلم القديم، فإن الفرنسي أوغست كونت Comte هو أول فيلسوف للعلم الحديث، والحق أننا نجد في فلسفة العلم عند كونت انقلابًا صريحًا على فلسفة العلم الأرسطية، وتحديدًا في قانونه المعروف باسم «قانون المراحل الثلاث». بالنسبة إلى كونت، فكل فرع من فروع المعرفة يمرّ بثلاث مراحل تاريخية متتالية: المرحلة الثيولوجية (أو الخرافية[9])، ثم

المرحلة الميتافيزيقية (أو التجريدية)، وأخيرًا، المرحلة الوضعية (أو العلمية).

يشير كونت إلى القرن السابع عشر بوصفه نقطة الانتقال من المرحلة الميتافيزيقية إلى المرحلة الوضعية، أي الانتقال من مرحلة البحث الأرسطي عن جوهر الأشياء وعلّاتها وسائر المفاهيم الميتافيزيقية العقيمة إلى مرحلة النضوج العلمي من خلال التركيز في عالم الحس ولغة الأرقام والقوانين والتجربة. بعبارة أكثر تحديدًا، يرى كونت أن بعض العلوم بلغت مرحلة «النضج» الوضعي، مثل الفلك والفيزياء، وبعضها لا تزال دون ذلك، مثل علم الاجتماع الذي تهدف فلسفة كونت إلى تأسيسه على أساس وضعيّ بعيدًا عن الثيولوجيا والميتافيزيقا[10]. هذا التركيز في عالم الحس لا يجعل من فلسفة كونت الوضعية سوى امتداد طبيعي لفلسفة كوندياك Condillac والموسوعيين الفرنسيين في القرن الثامن عشر، وهؤلاء بدورهم ليسوا سوى امتداد طبيعي لفلسفة جون لوك Locke في القرن السابع عشر والتي أعلت من شأن الحس بوصفه المصدر الأوّلي للمعرفة[11].

وجدت فلسفة كونت الوضعية صدى لها في النقدية التجريبية، وهو المذهب الذي ظهر في القرن التاسع عشر على يد ريتشارد أفيناريوس Avenarius ثم بلغ نضوجه على يد إرنست ماخ Mach[12]. تنطلق النقدية التجريبية من حصر نطاق البحث العلمي في عالم الحسّ مع استبعاد كل ما هو «افتراضي أو ميتافيزيقي أو

زائد عن الحاجة»[13]. لا يعني ذلك، بالطبع، عدم اللجوء إلى الفرضية بوصفها أداة علمية، بل يعني النظر إلى الفرضية العلمية بوصفها مجرّد «أداة ذهنية» لا يشير محتواها إلى أشياء حقيقية في عالم الموجودات[14]. بالنسبة إلى النقدية التجريبية، العلاقة بين عالم الذهن وعالم الحس علاقة غير مباشرة، والعلم نشأ عن حاجة إلى المواءمة بينهما، ووظيفة العلم تقتصر على تلبية هذه الحاجة. هي وظيفة «اقتصادية» بحسب ماخ، بمعنى أنها وظيفة تقتصر على تقديم وصف دقيق وموجز لكلّ ما هو قابل للملاحظة في عالم المحسوسات. بالنسبة إلى ماخ، إذا كانت هناك فرضيات وقوانين علمية، فليست جميعها سوى أدوات وصفية مفيدة، وإذا بدا الترابط بين العلّة ونتيجتها ضروريًا، فلا يشير ذلك إلى وجود مثل هذه العلاقة الضرورية على أرض الواقع، بل هي مجرّد علاقة ذهنية اكتسبها الإنسان بالفطرة من خلال محاولته مواءمة عالم الذهن مع عالم الحس[15]. في مقابل الواقعية العلمية التي تقطع بوجود حقيقي لما تشير إليه المفاهيم النظرية مثل «الإلكترون»، تتصف فلسفة ماخ بأنها فلسفة «أداتية» أو «ذرائعية»، أي أنها لا تُسلّم بوجود فعلي للإلكترون أو غيره من الأشياء التي تشير إليها المفاهيم النظرية، لكن مع اعترافها بالطبع بأهمية مثل هذه المفاهيم النظرية في الاكتشاف العلمي.

إلى جانب ماخ، ينبغي الإشارة هنا إلى هنري بوانكاريه Poincaré، أحد أبرز علماء الرياضيات والفيزياء في عصره، ونستطيع

تلمّس أثر الرياضيات في فلسفته حول طبيعة العلم، وتحديدًا علم الفيزياء. على العكس من الفلسفة الوضعية، لا يقف بوانكاريه موقفًا حادًّا من الميتافيزيقا، كما لا يُنكر أيضًا حاجة العلم إلى مبدأ العلّية (المبحث 2.12). لكن في المقابل، تبدو فلسفة بوانكاريه فلسفة تواضعية من حيث أنها لا ترى في الفرضيات والقوانين سوى أدوات تحليلية لا تشير إلى حقائق تجريبية، بعبارة أكثر دقة، ليست الفرضيات والقوانين عند بوانكاريه رموزًا تشير إلى الأشياء في العالم المادّي، بل هي رموز تشير إلى علاقات مجرّدة بين هذه الأشياء وهي كذلك من إبداع العقل الإنساني. لا يهمّ، بالنسبة إلى بوانكاريه، معرفة ما إذا كانت المفاهيم النظرية (مثل الإلكترون) تشير إلى شيء مادّي، بل إنّ ما يهّم هو معرفة مدى تطابق العلاقات المجرّدة التي هي قوام أي نظرية مع نتيجة التجربة.

يبدو أثر الرياضيات المجرّدة واضحًا في فلسفة الفيزياء عند بوانكاريه، ولعلّنا نستطيع توضيح هذا الأثر بشكل أكبر لو تأمّلنا لعبة الشطرنج. أبرز ما يميّز الشطرنج هو قواعدها التي تعقد علاقات محددة بين أطراف متعدّدة الوظائف، وطبيعة هذه الأطراف غير جوهرية، ففي الإمكان الاستعاضة عن البيادق بأشياء أخرى ما دامت العلاقات التي تربط فيما بينهما خاضعة لقواعد الشطرنج. من جهة أخرى، حين يطلب منّا أحدهم أن نُعلّمه لعبة الشطرنج، فلن نضيّع الوقت في وصف شكل البيادق، بل نكتفي بشرح قواعد اللعبة التي تخضع لها كل البيادق بصرف النظر عن شكل كل منها.

بالمثل، لا ينبغي أن نكترث بالسؤال حول طبيعة الأشياء التي تشير إليها النظرية العلمية، بل يتعيّن علينا الاهتمام فقط بمدى توافق العلاقات النظرية بين هذه الأشياء مع ملاحظتنا لمعطيات الواقع. هذا يعني، بالطبع، أن فلسفة بوانكاريه تشبه فلسفة ماخ من حيث أنها فلسفة لا تنتمي إلى الواقعية العلمية.

إلى جانب الميدان الفلسفي، شهدت الحقبة الممتدة من أواخر القرن التاسع عشر إلى أوائل القرن العشرين تطورات في ميادين المنطق والرياضيات والعلم كان لها الأثر الكبير في فلسفة العلم الحديث، ففي ميدان المنطق، وضعت مدرسة كامبردج تحت راية برتراند راسل Russell وألفريد وايتهيد Whitehead الأساس المنطقي للرياضيات، كما صاغ لودفيغ فيتغنشتاين Wittgenstein حدود العلم من خلال تحديد طبيعة العلاقة بين اللغة والواقع، واهتمّ جيل الشباب من أمثال فرانك رامزي Ramsey وجون كينز Keynes بمشكلات الاستدلال العلمي من خلال الاستعانة بنظرية الاحتمال الرياضية (انظر المبحث 3.11)، وفي ميدان الرياضيات، وُضعت هندسة إقليدس على أساس جديد بفضل الرياضي الألماني الشهير ديفيد هيلبرت Hilbert من خلال تطويره لطريقة «الأكسيوماتيك» axiomatic method، وفي ميدان العلم، شهد علم الفيزياء أضخم تطوّرين في تاريخه: النظرية النسبية بنسختيها الخاصة ثم العامة، ونظرية الكم.

أدّى هذا المزيج من التطورات المتسارعة خلال فترة زمنية قصيرة نسبيًّا إلى الحاجة إلى إعادة تأمّل العلاقة بين الفلسفة والعلم،

وهي الحاجة التي تجسّدت في ظهور مدرسة فكرية هيمنت على ميدان فلسفة العلم في النصف الأول من القرن العشرين واتخذت موقفًا حادًّا ضد الميتافيزيقا، ونعني بها «التجريبية المنطقية»، أو «الوضعية المنطقية» كما كانت تسمى في بادئ الأمر.

ارتبط ظهور التجريبية المنطقية بمجموعة من الباحثين المنتمين إلى ما يُعرف باسم «حلقة فيينا»، نسبة إلى حلقة المُدارسة التي كانت تُعقد بين هؤلاء الباحثين في أروقة جامعة فيينا تحت إشراف الفيلسوف والفيزيائي الألماني موريتز شليك Schlick، وقد ضمّت بين صفوفها أسماء أصبحت لامعة لاحقًا في ميدان الفلسفة التحليلية من أمثال رودلف كارناب Carnap وفيليب فرانك Frank وهربرت فايغل Feigl وغيرهم، كما ارتبطت حلقة فيينا منذ بداياتها الرسمية في منتصف العقد الثالث من القرن الماضي بحلقة أخرى عُرفت لاحقًا باسم «حلقة برلين» وكانت تحت إشراف هانز رايشنباخ Reichenbach[16].

اتّصفت التجريبية المنطقية بسِمات عدّة، ولكلّ منها مصدرها الفلسفي أو المنطقي أو العلمي، فهي قد استقت من فلسفات كونت وماخ وفيتغنشتاين استبعاد الميتافيزيقا عن نطاق العلم، كما أنها استعانت بذرائعية ماخ وتواضعية بوانكاريه لِتُميّز بين البناء المنطقي للنظرية العلمية ومضمونها التجريبي، بحيث لا يعود مهمًّا ما إذا كانت المفاهيم النظرية تشير إلى أشياء في عالم الوجود، بل إنّ ما هو جوهري يقتصر فحسب على ما إذا كانت هناك إمكانية

للفحص عن طريق التجربة لما ينتج منطقيًّا عن العلاقات المجرّدة بين تلك المفاهيم. لهذا، اعتنت التجريبية المنطقية بما يسمى «قواعد التطابق» التي من شأنها ربط البناء الصوري للنظرية العلمية بمحتواها التجريبي[17]. وجد أنصار التجريبية المنطقية أيضًا في فيزياء أينشتاين على وجه الخصوص النموذج الأمثل لشكل النظرية العلمية، حيث البناء المنطقي على طريقة «الأكسيوماتيك» مع قائمة من الاستدلالات الاستنباطية والمؤدية إلى نتائج يُمكن فحصها من خلال التجربة.

يبدو واضحًا مما سبق أن أبرز سمتين للتجريبية المنطقية هما اللتان تتضمّنهما التسمية نفسها: التجريب والمنطق. تتبنّى التجريبية المنطقية التقسيم الكانطي للقضايا، لكنها على العكس من كانط ترى أن العبارات المنطقية والرياضية تشير إلى قضايا تحليلية، في حين تشير عبارات العلوم الأخرى إلى قضايا تركيبية. هذا النوع الأخير من القضايا هو قوام المعرفة العلمية بالنسبة إلى أنصار التجريبية المنطقية، فكل عبارة علمية هي في جوهرها عبارة ذات محتوى تجريبي، بل إنّ معنى أي عبارة أيضًا مرهون بما يسمى «مبدأ التحقق» الذي ينص على أن أي عبارة تكون ذات معنى إذا)وفقط إذا(كان من الممكن الحُكم عليها بأنها صادقة أو كاذبة.

بطبيعة الحال، استندت التجريبية المنطقية إلى «مبدأ التحقق» لاستبعاد الميتافيزيقا من نطاق العلم بوصفها عبارات غير ذات معنى، كما حدّدت أيضًا دور الفلسفة بوصفها مجرد أداة مساعدة

لتحليل النشاط العلمي. كان الهدف الأسمى يتمثل في ردم الهوة بين الفلسفة والعلم من خلال خلق فلسفة علمية تكتفي بفحص المعرفة العلمية والمنهج العلمي، وقد عزّز من هذا التوجّه تقسيم هانز رايشنباخ للنشاط العلمي إلى سياق الاكتشاف وسياق التبرير[18]، أو تقسيم كارل بوبر للمعرفة العلمية إلى سيكولوجية العلم ومنطق العلم[19]. في ظل هذا التقسيم الثنائي، كان الرأي السائد يحصر فلسفة العلم في سياق التبرير أو منطق العلم، في حين أن سياق الاكتشاف هو من اختصاص علم النفس. بعبارة أخرى، ليس من شأن فلسفة العلم الخوض في كيفية عثور العلماء على فرضياتهم، فهذا أمر خاضع لعوامل نفسية وليست هناك قواعد لاكتشاف أي فرضية، بل هي فلسفة معنية بالسؤال حول مدى القدرة على تبرير صحة تلك الفرضيات.

في النصف الثاني من القرن العشرين، اضمحلّت هيمنة التجريبية المنطقية على فلسفة العلم الحديث لتحلّ مكانها بعض النزعات التاريخية والفوضوية (الأناركية). كان الرابط المشترك بين تلك النزعات هو نفي أن يكون العلم من حيث منهجه وتطوره التاريخي خاضعًا لشروط المنطق، وهذا ما نجده على سبيل المثال في مقاربة ألكساندر كواريه Koyré التاريخية للمنهج العلمي عند جاليليو، إلى جانب ما سبقت الإشارة إليه حول مقاربة توماس كون التاريخية لنمو المعرفة العلمية من عصر إلى آخر، وفي مقاربة باول فايرابيند الأناركية والنافية لوجود أي منهج علمي على الإطلاق.

لكن الهدف الأسمى للتجريبيين المنطقيين في ردم الهوة بين الفلسفة والعلم ظلّ بعيد المنال، ذلك أن خلق فلسفة تُعنى بفحص طبيعة الاستدلال العلمي والوقوف على جوهر العلاقة بين المعرفة العلمية ومنهج العلم، بين الإبستمولوجيا والميثودولوجيا، لا يخلو من مشكلات في غاية الصعوبة كما سنرى في الفصول القادمة.

الفصل العاشر

اليقين المعرفي والاستدلال العلمي

10 . 1 . اليقين والاحتمال

يختلف الاستخدام اللغوي لكلمة «يقين» عن استخدامها الرياضي في نظرية الاحتمال، ومن الضروري هنا أن نميّز بين هذين الاستخدامين قبل أن نميّز الفرق بين اليقين والاحتمال في الخطاب العلمي. سنبدأ أولًا بتحليل دلاليّ لكلمة «يقين» من خلال مقارنتها بكلمة «استحالة»، ثم ننتقل بعد ذلك إلى تبيان كيفية استخدام هذه الكلمة بوصفها مصطلحًا من ضمن مصطلحات نظرية الاحتمال الرياضية، حيث اليقين حالة خاصة من الاحتمال.

اليقين لغويًّا حالة ذهنية من الاعتقاد، وما يميز هذا الاعتقاد عن غيره هو أنه اعتقاد خالٍ من الشك. حين تقول، مثلًا: «أنا مُتيقّن من نجاحي في الاختبار»، فهذا يعني أن ليس لديك شك على الإطلاق في نجاحك في الاختبار. لكن لاحظ أيضًا أن الاستخدام اللغوي لكلمة «يقين» لا يقتصر فقط على الإيجاب، بل قد يشمل أيضًا النفي، فقد تكون أيضًا مُتيقّنًا من استحالة نجاحك

في الاختبار، وفي هذه الحالة أيضًا ليس لديك شك على الإطلاق في عدم نجاحك في الاختبار. يبدو واضحًا من ذلك أن الاستخدام اللغوي لكلمة «يقين» لا يُقيم تعارضًا بالضرورة بين مفهومي «اليقين» و«الاستحالة»، في حين أن نظرية الاحتمال الرياضية، كما سنرى بعد قليل، تُقيم هذا التعارض بالضرورة.

من جهة أخرى، إذا كان اليقين مرتبطًا من الناحية اللغوية بحالة خاصة من الاعتقاد، فإنّ الاستحالة مرتبطة لغويًّا بالحَدَث. بمعنى آخر، اليقين مفهوم متعلّق بالذهن، في حين أنّ الاستحالة مفهوم متعلّق بالواقع. لتوضيح هذا الفرق بين مفهومي «اليقين» و«الاستحالة»، ينبغي أولًا أن نشير إلى ما يُسمّيه فلاسفة العقل «الموقف القضويّ»، أي الموقف الذهني تجاه قضية محددة، وهناك أفعال محددة في مختلف اللغات تُستخدم للتعبير عن المواقف الذهنية.

سبق أن أشرنا في الفصل الثاني إلى مفهوم «القضية»، حيث قلنا إنها المعنى الموضوعي لجملة لها قيمة صواب محددة، إما صادقة وإما كاذبة، فعلى سبيل المثال، تعبّر الجملة «الكويت دولة ديمقراطية» عن قضية، في حين تعبّر الجملة «أعتقد أنّ الكويت دولة ديمقراطية» عن موقف قضويّ، فمع وجود الفعل «أعتقد» أصبحنا أمام موقف ذهني للمتكلّم تجاه قضية «الكويت دولة ديمقراطية». يبدو الاختلاف بينهما واضحًا حين نقارن بين كيفية التحقق من صحة كلّ منهما، إذا أردتَ التحقق من صدق القضية

«الكويت دولة ديمقراطية»، يتعيّن عليك النظر إلى العالم الخارجي لفحص مدى تطابق مضمون هذه القضية مع معطيات الواقع، في حين أنّك إذا أردتَ التحقق من صدق قولي لك: «أعتقد أن الكويت دولة ديمقراطية»، فلن تحتاج إلى أكثر من أن تسألني عمّا إذا كنت أعتقد ذلك حقًّا[1].

الفعل «تيقّن» مثل الفعل «اعتقد»، فكلاهما ينتمي إلى مجموعة صغيرة من أفعال تُستخدم للتعبير عن المواقف القضوية، في حين أنّ الفعل «استحال» لا ينتمي إلى هذا النوع من الأفعال، وهنا بالضبط يكمن الفرق الذي نعنيه بين مفهومِي «اليقين» و«الاستحالة»، حيث الأول مرتبط بالذهن، والثاني مرتبط بالواقع.

لا وجود لهذا الفرق بين المفهومين في نظرية الاحتمال الرياضية، فمفهوم «اليقين»، تمامًا كما هي الحال مع مفهوم «الاستحالة»، غير مرتبط بالذهن، بل بالواقع، وكلاهما، اليقين والاستحالة، يشير إلى حالة خاصة من الاحتمال. حين نقول، مثلًا، إنّ نسبة احتمال وقوع حدث معيّن هي 0، فهذا يعني استحالة وقوعه، وحين نقول إنّ نسبة احتمال وقوع حدث معين هي 1، فهذا يعني أنّ وقوعه يقين، أي إنّ وقوعه مؤكد تأكيدًا تامًّا، وحين نقول إنّ نسبة احتمال وقوع حدث معين هي أكبر من 0 وأصغر من 1، فهذا يعني أن وقوعه ممكن (أو محتمل)، أي إنّ وقوعه لا مستحيل ولا مؤكد.

10 . 2 . اليقين والجِدّة

في بداية الفصل السابق، أشرنا إلى اختلاف جوهري بين الاستنباط والاستقراء، وقلنا إنّ نتيجة الاستدلال الاستنباطي يقينية، في حين أنّ نتيجة الاستدلال الاستقرائي محتملة. يرتبط هذا الاختلاف ارتباطًا وثيقًا بطبيعة الاستدلال العلمي من حيث أنه استدلال يقايض ما هو يقيني بما هو جديد[2]. سنشرح هنا جوهر هذه المقايضة، مرجئين الحديث حول علاقة العلم باليقين المعرفي إلى المبحث القادم.

لنبدأ بالتذكير بما أشرنا إليه في الفصل الثاني (المبحث 3.2) من فروق جوهرية بين القضية التحليلية والقضية التركيبية. قلنا إنّ القضية «الأخ الأصغر أصغر من أخيه الأكبر» قضية تحليلية، ذلك أنّ الموضوع «الأخ الأصغر» يتضمّن المحمول «أصغر من أخيه الأكبر»، ولهذا تتصف القضية التحليلية بأنها صادقة دائمًا، كما أنّها لا تأتي بمعلومة جديدة تتعدّى حدود اللغة إلى حدود الواقع. أمّا القضية التركيبية، مثل «الجو ممطر»، فإنّ الموضوع «الجو» لا يتضمّن المحمول «ممطر»، ولهذا تتصف القضية التركيبية بأنّها قضية احتمالية بحيث تعتمد قيمة صدقها على مدى تطابق مضمونها مع معطيات الواقع، وهي لهذا السبب قضية تأتي بمعلومة جديدة تتعدّى حدود اللغة إلى حدود الواقع. إزاء هذا الاختلاف بين القضية التحليلية والقضية التركيبية، يبدو واضحًا أننا أمام تكلفة استبدال مزيّة بأخرى: إمّا يقين من دون معرفة جديدة، وإمّا معرفة جديدة من دون يقين.

العلاقة بين الاستنباط والاستقراء شبيهة بالعلاقة بين القضية التحليلية والقضية التركيبية. تتصف الحجة الاستنباطية بأنّ استدلالها استدلال تحليلي، ذلك أن مقدماتها تتضمّن نتيجتها، وهي بذلك حجة تحصيل الحاصل، أي إن نتيجتها لا تأتي بمضمون لم يكن موجودًا أصلًا في مقدماتها، وهي لهذا السبب نتيجة صادقة بالضرورة المنطقية ومستقلّة عن معطيات الواقع. على سبيل المثال، من المقدمة «س أكبر من ص» والمقدمة «ص أكبر من ع» نصل عن طريق الاستنباط إلى نتيجة صادقة بالضرورة المنطقية: «س أكبر من ع»، وذلك بصرف النظر عمّا تشير إليه هذه الرموز، إذ يكفي أن نحلّل منطقيًّا العلاقة «أكبر من» كي ندرك أن محتوى المقدّمتين تضمّن محتوى النتيجة المنبثقة منهما. في المقابل، حين نتأمّل الحجة الاستقرائية، نجد أنها حجة تتصف بأنّ استدلالها توسّعي، ذلك أنّ مقدماتها لا تتضمّن نتيجتها، أي إنّ نتيجتها أضافت مضمونًا جديدًا لم يكن موجودًا في مقدماتها، وهي لهذا السبب نتيجة محتملة وتعتمد في صدقها على مدى قدرتنا على التحقق من تطابق مضمونها مع معطيات الواقع. بالعودة إلى مثال سابق، من المقدمة: «كل مدارات كواكب مجموعتنا الشمسية التي تمّ اكتشافها حتى الآن بيضوية الشكل»، نستخلص عن طريق الاستقراء النتيجة التالية على شكل تعميم: «كل كوكب في مجموعتنا الشمسية له مدار بيضوي الشكل»، وهي نتيجة محتملة وليست يقينية.

نستطيع القول -إذًا- إنّ علاقة الموضوع بالمحمول في القضية التحليلية مشابهة لعلاقة المقدمات بالنتيجة في الاستدلال الاستنباطي، في حين أنّ العلاقة بين الموضوع والمحمول في القضية التركيبية مشابهة للعلاقة بين المقدمات والنتيجة في الاستدلال الاستقرائي. كما هي الحال مع الاختلاف بين القضية التحليلية والقضية التركيبية، نجد أيضًا هذا الاختلاف بين الاستدلال الاستنباطي والاستدلال الاستقرائي، ونعني به الاختلاف المرتبط بتكلفة استبدال مزيّة بأخرى: مع الاستنباط نحصل على معرفة يقينية لكنها غير جديدة، ومع الاستقراء نحصل على معرفة جديدة لكنها غير يقينية.

10 . 3 . العلم واليقين المعرفي

إذا كان الهدف الأسمى من العلم هو اكتساب معرفة موثوقة وجديدة، وإذا كان المنطق أداة ضرورية لتحقيق هذا الهدف، فإن من الطبيعي أن نتساءل: هل من الممكن العثور على معرفة علمية تجمع بين اليقين والجِدّة؟ المعرفة العلمية الموثوقة إلى حدّ اليقين تحتاج إلى استدلال مثل الاستنباط، لكنها لن تكون في هذه الحالة معرفة جديدة، لأنها ستعتمد على استدلال لا يعدو أن يكون تحصيل حاصل، في حين أن المعرفة الجديدة تحتاج إلى استدلال مثل الاستقراء، لكنها لن تكون في هذه الحالة معرفة موثوقة إلى حدّ اليقين، لأنها ستعتمد على استدلال نتيجته محتملة فحسب. لقد عبّر موريس كوهين Cohen وتلميذه إرنست ناجل Nagel عن

هذه الفكرة في كتابهما الذي حمل عنوان: «مقدمة في المنطق والمنهج العلمي»[3]:

«إذا كانت نتيجة الاستدلال غير مُتضمَّنة في المقدّمات، فلن يكون الاستدلال سليمًا، وإذا لم تكن النتيجة مختلفة عن المقدّمات، فإنها نتيجة غير مفيدة، لكن ليس في وسع النتيجة أن تكون مُتضمَّنة في المقدمات وتحتوي أيضًا على ما هو جديد، وبالتالي، ليس في وسع أي استدلال أن يكون سليمًا ومفيدًا في آن واحد».

يبدو واضحًا أنّ الجمع بين اليقين والجِدّة في أي استدلال علمي أمرٌ مستحيل لأسباب منطقية صرفة، وهذا هو الرأي السائد في ميدان فلسفة العلم الحديث. كان أرسطو نفسه على دراية تامة بالفرق الإبستمولوجي بين الاستقراء والاستنباط، ومع ذلك ظلّ الجمع بين ما هو يقيني وما هو جديد يُشكّل النموذج الأمثل للبرهان العلمي طوال قرون طويلة، بدءًا بفلسفة العلم عند أرسطو، مرورًا بمدرسة الإسكندرية الفلسفية والفلسفة العربية الإسلامية والفلسفة المدرسية المسيحية، وانتهاء بالمذهب العقلاني في الفلسفة الغربية الحديثة. بالطبع، كان هناك منذ القدم أنصار المذهب التشكيكي ممن لا يؤمنون بإمكانية الوصول إلى يقين معرفي على الإطلاق، بل كان هناك أيضًا من ضمن أتباع أرسطو على مرّ العصور ممن يقصرون اليقين العلمي على الحساب والهندسة وحتى علم الفلك، لكن النموذج الأرسطي للمعرفة العلمية بوصفها

معرفة يقينية ظلّ حاضرًا حتى مع نضوج الثورة العلمية في القرن السابع عشر. هنا يتبادر سؤال آخر أشدّ إلحاحًا: ما السبب وراء التمسّك بهدف الوصول إلى يقين علمي طوال قرون طويلة بالرغم من إدراك فلاسفة الطبيعة الأوائل بحقيقة أنّ المنطق أداة ضروريّة لكنها غير كافية لضمان بلوغ مثل هذا الهدف؟

سبق أن أشرنا إلى طريقة التحليل والتركيب في المنهج العلمي الأرسطي (المبحث 3.7)، وفي ثنايا هذه الطريقة تكمن الإجابة على هذا السؤال، بل لعلّنا لا نبالغ لو قلنا إنّ أغلب المشكلات المتعلقة بطبيعة المعرفة العلمية في فلسفة العلم الحديث، إلى جانب الاختلاف الإبستمولوجي التقليدي بين المنهج العقلاني والمنهج التجريبي، تعود في جذورها جميعًا إلى طريقة التحليل والتركيب الأرسطية. لنوضّح هذه النقطة بشيء من التفصيل.

التصور الأرسطي للمنهج العلمي -كما رأينا- ثنائيّ الاتجاه: اتجاه التحليل الذي يبدأ بملاحظة معطيات الواقع وينتهي باكتشاف المبادئ الأولى، واتجاه التركيب الذي يبدأ بالمبادئ الأولى ليعود من جديد إلى معطيات الواقع. كان الشق التحليلي هو الحلقة الأضعف في المنهج العلمي الأرسطي، وهذا أمر متوقّع، فالشقّ التركيبي يستند إلى برهان لا يمكن التشكيك في صحة شكله المنطقي على الأقل، ذلك أنه استنباط، وأما الشقّ التحليلي فيستند إلى استقراء، ولم يكن غائبًا عن أرسطو ولا عن أتباعه أن الاستقراء استدلال لا يقود إلى اليقين العلمي[4]. لكن الاستقراء المقرون بالحدس هو

الوسيلة التي رأى فيها أرسطو ضمانًا لاكتشاف المبادئ الأولى، ففي آخر فقرة من كتابه «التحليلات الثانية» يؤكد أرسطو على أن «الحدس هو مصدر المعرفة العلمية»، وبهذا يكون الحدس هو المسؤول الأول عن توفير معرفة علمية على شكل عِلل أو مبادئ أولى، ثم يأتي دور المنطق ليتخذ من هذه المبادئ الأولى مقدمات في البرهان العلمي لتفسير نتائج متعلقة بمعطيات الواقع[5].

هنا -إذًا- تكمن الإجابة على سؤالنا السابق، فأرسطو لم يكن يعتمد في وصوله إلى اليقين العلمي على المنطق فحسب، فدور المنطق يبدأ مع بداية الشق التركيبي لمنهجه العلمي، والشق التحليلي سابق على الشق التركيبي. يتضمّن التحليل معاينة معطيات الواقع واستقراءها عن طريق الحدس ثم صياغتها في عبارات على شكل قضايا تقوم لاحقًا بدور المقدمات في البرهان العلمي[6]، وفي اجتماع التحليل والتركيب بهذا الشكل ضمان للوصول إلى اليقين العلمي هي بحسب المنظور الأرسطي.

رغم ذلك، ظل الشق التحليلي هو الحلقة الأضعف في منهج أرسطو العلمي، ولعلنا نجد دليلًا على هذه الحقيقة في تلك المحاولات الحثيثة طوال قرون عديدة في تعزيز الوثوق بصحة المبادئ الأولى. سلكت تلك المحاولات في بداياتها مسلكين: أحدهما في اتجاه تعزيز الاستعانة بالحدس بوصفه مصدرًا لليقين العلمي، والآخر في اتجاه الاستعانة بالملاحظة المستمدة من معطيات الواقع للتحقق من تحديد العِلل أو صحة المبادئ الأولى. نجد هذين المسلكين بشكل واضح

عند ابن سينا، فهو من جهة ينظر إلى الحدس بوصفه تخمينًا صحيحًا عن ماهية الحد الأوسط في القياس الأرسطي[7]، وهو من جهة أخرى جعل «التجربة» في مرتبة أرقى من مرتبة الاستقراء من حيث التحقق من صحة العِلل وراء الظواهر الطبيعية[8].

يُكمّل هذان المسلكان أحدهما الآخر، ذلك أنهما يشتركان في الهدف نفسه، ونعني به تعزيز الوثوق بمبادئ أرسطو الميتافيزيقية. لكن مع تطوّر مسلك الملاحظة المستمدة من معطيات الواقع ونضوجه حتى بلغ مرتبة التجربة بمفهومها الحديث، أسفر المسلك التجريبي عن نتيجة عكسية، لم تعد مبادئ أرسطو الميتافيزيقية حول الطبيعة متماشية مع نتائج التجربة، ولم يعد ممكنًا إنقاذها على طريقة أفلاك التدوير في نظام بطليموس الفلكي. كانت ذروة الثورة العلمية في القرن السابع عشر انقلابًا ناجحًا على تلك المبادئ الأرسطية، لكنها -مثل أغلب الثورات- أسفرت أيضًا عن أمرين: جني الغنائم، وخلاف حول المسار الأنسب. لنوضح ما نعنيه تحديدًا بهذين الأمرين تباعًا.

كما رأينا في الفصل السابق (المبحث 2.9)، لم يمنع الانقلاب على مبادئ أرسطو الميتافيزيقية روّاد الثورة العلمية من الاستفادة من المنهج العلمي الأرسطي، وبخاصة طريقة التحليل والتركيب التي نجد بصماتها عند جاليليو وديكارت ونيوتن وغيرهم. كانت المبادئ الأولى هي نهاية الشق التحليلي وبداية الشق التركيبي عند أرسطو، ومع رفض أقطاب الثورة العلمية لمبادئ أرسطو

الميتافيزيقية، حلّت مكانها مبادئ اختلفت طبيعتها باختلاف طبيعة المنهج العلمي عند عالم وآخر، فمثلًا، هي مبادئ تتصف بالوضوح والتميّز بحيث لا يعتريها الشك كما هي الحال عند ديكارت، وهي مبادئ تعتمد في صحتها على لغة الرياضيات ونتائج التجربة كما هي الحال عند نيوتن.

كان من ضمن التركة الأرسطية أيضًا عنصر الملاحظة بمعناها المزدوج: الملاحظة العقلية أو الحدس، والملاحظة الحسية التي بلغت لاحقًا مرتبة التجربة العلمية. هنا تحديدًا -كما يبدو لكاتب هذه السطور- يكمن مصدر الاستقطاب الحادّ بين المذهب العقلاني والمذهب التجريبي في الفلسفة الحديثة. أحد أبرز مظاهر هذا الاستقطاب هو ما نجده من اختلاف بين فيزياء ديكارت وفيزياء نيوتن، فبالرغم من أننا نجد عند كليهما بصمات واضحة لطريقة التحليل والتركيب الأرسطية، فإن الاختلاف بينهما متعلّق بالشق التحليلي، وتحديدًا حول الطريقة المثلى للتحقق من مبادئ النظرية العلمية. بينما أعلى ديكارت من شأن الحدس في تبرير صحة تلك المبادئ، أصرّ نيوتن على التجربة بوصفها المعيار الأمثل لمثل هذا التبرير. حين كتب نيوتن عبارته الشهيرة «أنا لا أفترض الفروض» Hypotheses non fingo، فإنّ السياق الذي وردت فيه هذه العبارة يدل بوضوح على نقد نيوتن للفيزياء الديكارتية في ميلها إلى الاستعانة بمبادئ ميتافيزيقية تستند في مشروعيتها إلى معيار الحدس بدلًا من معيار التجربة[9].

10 . 4. مشكلة كانط

كان تفوّق فيزياء نيوتن على فيزياء ديكارت عاملًا حاسمًا في تغليب الجانب التجريبي من المنهج العلمي الحديث على الجانب الحدسي، لكن تعزيز الجانب التجريبي لم يحسم على الفور الموقف من مسألة اليقين العلمي، فبعد مرور قرابة قرن كامل على ظهور فيزياء نيوتن، شهد القرن الثامن عشر موقفين متضادين إبستمولوجيًّا: موقف «هيوم» السلبي والمتشكك في قدرة العقل البشري على الوصول إلى يقين علمي، وموقف «كانط» الإيجابي والطامح إلى إثبات إمكانية مثل هذا اليقين. أمّا موقف «هيوم» فسنتناوله لاحقًا حين نصل إلى مشكلة الاستقراء في الفصل القادم، وأما موقف «كانط» فذو جانبين: أحدهما متعلّق بفلسفة الرياضيات، والآخر متعلّق بفلسفة العلم، والرابط بينهما يكمن في إصرار كانط على أنّ هندسة إقليدس وقوانين نيوتن مثالان على معرفة قَبلية وتركيبية في آن واحد. لنشرح هذه النقطة المهمة فيما يلي.

في فلسفة الرياضيات، هناك مشكلة تُعرف باسم «مشكلة كانط»، وهي تدور حول طبيعة المعرفة الرياضية. قدّم مايكل ديتليفسن Detlefsen عرضًا مفصّلًا لهذه المشكلة، وسنعتمد على هذا العرض في تلخيص «مشكلة كانط» فيما يلي[10].

يلاحظ كانط صفتين للمعرفة الرياضية: هي معرفة تجمع بين ما هو يقيني وما هو جديد. لكنّ هاتين الصفتين تبدوان متناقضتين: فمن جهة، اليقين المعرفي مستقلّ عن الواقع، ومن جهة

أخرى، التراكم المعرفي مرتبط بمعطيات الواقع. بعبارة أخرى، تبدو الرياضيات غنية معرفيًّا رغم عدم اعتماد صحة مقولاتها على معطيات الواقع. لفهم كيف حاول كانط تجاوز هذا التناقض الإبستمولوجي، ينبغي أن نشير إلى تقسيمين للقضايا، الثاني منهما من ابتداع كانط نفسه: التقسيم الأول بين قضايا قَبليّة وقضايا لاحقة، والتقسيم الثاني بين قضايا تحليلية وقضايا تركيبية. سبق أن تناولنا هذا التقسيم الأخير في أكثر من موضع من هذا الكتاب، ولهذا سنكتفي هنا في التوقف عند التقسيم الأول.

يعتمد تقسيم القضايا إلى قَبلية ولاحقة على علاقتها مع معطيات الواقع أو عالم الحس، حين تكون القضية مستقلة تمامًا عن معطيات الواقع بحيث يمكن تبرير صدقها من دون الاستعانة بعالم المحسوسات، هي قضية قَبلية. فعلى سبيل المثال، تشير جملة «ضعف الخمسة يساوي نصف العشرين» إلى قضية قَبلية. من جهة أخرى، حين تكون القضية مُستمدّة من معطيات الواقع بحيث لا يمكن تبرير صدقها من دون الاستعانة بعالم المحسوسات، هي قضية لاحقة، مثلًا، تشير جملة «درجة غليان سائل في وعاء مفرّغ جزئيًّا من الهواء أقل من درجة غليانه تحت الضغط الجوي» إلى قضية لاحقة.

لضمان ما هو يقينيّ في المعرفة الرياضية، يجادل كانط في أنّها معرفة قَبليّة، ولضمان ما هو جديد فيها، يصرّ كانط على أنها معرفة تركيبية. بالطبع، لم يغِب عن كانط أن وصف المعرفة الرياضية بأنها

تركيبية يعني أنها معرفة تعتمد في صحتها على معطيات الواقع، لكن كيف تكون كذلك وهي أيضًا معرفة قَبليّة، أي مستقلة تمامًا عن الواقع؟ لتبرير هذا التزاوج بين القَبلي والتركيبي، يلجأ كانط إلى قَبليّة الزمان والمكان، ولا تعنينا هنا التفاصيل بقدر ما تعنينا إحدى أهمّ نتائجه، وهي تأكيد كانط على أن الفضاء من حولنا إقليديّ بالضرورة، أي إنه فضاء ثلاثي الأبعاد بالضرورة، ذلك أن بُنية الذهن البشري لا تسمح إلّا بتصوّر الفضاء على هذه الصورة! يلجأ كانط إلى فلسفته المتعالية أيضًا للتأكيد على أن قوانين الحركة في نظرية نيوتن تشير أيضًا إلى معرفة قَبلية وتركيبية. هذا يعني أن قوانين نيوتن وهندسة إقليدس تشتركان في خاصية الجمع بين معرفة يقينية وجديدة في آن واحد.

أدّى اعتماد النظرية النسبية العامة على الهندسة اللاإقليدية في نسختها الرّيمانيّة إلى الإطاحة بالمنظور الكانطي، وقد أحدث هذا التطور ما يشبه الزلزال في نظرية المعرفة؛ ليس الفضاء من حولنا إقليديًّا بالضرورة، ولا تجسّد نظرية نيوتن الكلمة الأخيرة في ميدان الفيزياء[11].

في محاضرته الشهيرة أمام الأكاديمية البروسية للعلوم (برلين، 1921)، أعاد ألبرت أينشتاين Einstein طرح سؤال كانط الفلسفي عن علاقة الرياضيات المحضة بعالم الأشياء من حولنا: «كيف استطاعت الرياضيات، التي هي في آخر المطاف نتاج العقل الإنساني المستقل عن الواقع، أن تكون ملائمة -بشكل مثير للإعجاب-

لوصف الأشياء في عالم الواقع؟»[12]. إزاء هذا السؤال الشائك، أو اللغز كما يصفه أينشتاين، يجيب هذا الفيزيائي الفذ إجابة بسيطة في شكلها وعميقة في محتواها: «بالقدر الذي تشير فيه قوانين الرياضيات إلى الواقع، فإنها ليست قوانين يقينية، وبالقدر الذي تكون فيه هذه القوانين يقينية، فإنها لا تشير إلى الواقع»[13].

لو تأمّلنا المشكلات التي ترتّبت على التخلّي عن اليقين العلمي، لوجدنا أنها مشكلات تدور جميعها حول مضمون إجابة أينشتاين، ذلك أنّها مشكلات تتعلق في مجملها بمشكلات الاستدلال العلمي، أي إنها مشكلات تجمع بين الإبستمولوجيا والميثودولوجيا، أو بين المعرفة العلمية ومنهجها، وهذا هو موضوعنا في الفصل القادم.

الفصل الحادي عشر

مشكلات الاستدلال العلمي

11 . 1. مشكلة الاستقراء

الاستقراء -كما رأينا- استدلال توسّعي من حيث الفارق المعرفي بين مضمون مقدماته ومضمون نتيجته، ومشكلة الاستقراء هي في جوهرها مشكلة تبرير هذا الفارق. على سبيل المثال، قد تلاحظ أن جميع الأجانب الذين تعرّفت عليهم في حياتك أناس لطفاء، ثم تصل بواسطة قفزة استقرائية من هذه المقدمة إلى نتيجة تعميمية مفادها أن جميع الأجانب لطفاء. لو طُلب منك تبرير صحة المقدمة فلن تواجه مشكلة في القول إنّها قائمة على دليل مستمد من واقع تجربة شخصية، لكن حين يُطلب منك تبرير صحة النتيجة التعميمية، فلن يكفي أن تستنجد بالدليل نفسه، ذلك أنّ النتيجة ذهبت في تعميمها إلى أبعد من قدرة هذا الدليل على تبرير صحة التعميم. في ميدان العلم، قد لا يلجأ العلماء كثيرًا إلى مثل هذا التعميم القائم على استقراء تعدادي بسيط، لكنّهم مع ذلك يحتاجون إلى تعميمات لا تختلف عن هذا النوع البسيط من

حيث أنها تعميمات قائمة على استقراء توسّعي ينتقل مما هو جزئي ومحسوس ومعلوم إلى ما هو كُلي ومجرّد ومجهول. كل قانون تجريبي، مثلًا، هو تعميم بهذا المعنى حتى لو كان محدودًا بشروط أولية، ولا يُمكن تخيّل قدرة العلم على جني معرفة جديدة من دون اللجوء إلى الاستقراء بوصفه استدلالًا توسّعيًّا، والعجز عن تبرير صحة هذه المعرفة هو ما تشير إليه مشكلة الاستقراء.

لو تأمّلنا أفكارنا وسلوكنا الروتيني، لوجدنا أننا نستخدم الاستقراء باستمرار وبكثرة في حياتنا اليومية، كما أنّ الإنسان البدائي استعان بالاستقراء على اكتشاف محيطه. أمّا أوّل محاولة فلسفية لتأمّل مفهوم «الاستقراء» بوصفه انتقالًا من الجزئيات إلى الكليّات فنجدها عند أرسطو كما رأينا في الفصل السابق، وأمّا الاستقراء بوصفه مشكلة إبستمولوجية فيرجع تاريخها على أقل تقدير إلى أواخر القرن الثاني بعد الميلاد، فنجدها عند سيكتوس إمبريكوس Empiricus، أحد الأنصار المتأخرين للمدرسة البيرونية الشكوكية التي نشأت في القرن الرابع قبل الميلاد، كما نجدها أيضًا عند أحد أشهر أتباع أرسطو في القرن الثالث بعد الميلاد وهو الفيلسوف الشهير الإسكندر الأفروديسي، وبهذا يكون من الواضح أن مشكلة الاستقراء، وإن ارتبطت بالفيلسوف الإنكليزي ديفيد هيوم Hume، فإنها قديمة جدًّا[1].

لم يكن هيوم، مع ذلك، أكثر من ساهم في تسليط الضوء على مشكلة الاستقراء فحسب، بل كان أيضًا أوّل من قام بإخضاعها

للتحليل العميق والمستفيض بوصفها مشكلة فلسفية. ينطلق هيوم في تحليله لمشكلة الاستقراء من تقسيم ثنائي عُرِف فيما بعد باسم «شوكة هيوم»: علاقات بين الأفكار، ومعطيات حول الواقع. من ضمن الأمثلة التي يوردها هيوم على العلاقات بين الأفكار تلك الحقائق المرتبطة بعلوم الهندسة والجبر والحساب، مثل حقيقة أن مربّع الوتر في المثلث قائم الزاوية يساوي حاصل جمع مربّع كلّ من الضلعين الآخريْن، فهي حقيقة تعقد علاقة ذهنية بين فكرتين مجرّدتين، ويمكن اكتشافها بواسطة الاستعانة بالذهن فحسب، أي إنها حقيقة قَبلية لا يحتاج إثبات صحتها إلى الاستعانة بمعطيات الواقع أو الحس أو التجربة(2). في المقابل، تشير الحقائق المتعلقة بمعطيات الواقع إلى العكس من ذلك تمامًا، فمثلًا، القول بأنّ قطعة الحجر المقذوفة إلى أعلى تسقط على سطح الأرض يعبّر عن حقيقة مستمدة من التجربة، أي إنها حقيقة لاحقة تحتاج لإثبات صحتها إلى الاستعانة بمعطيات التجربة.

فيما يتّصل بالحقائق التي تشير إلى العلاقات بين الأفكار، في وسعنا تقديم برهان عقلي على صحتها، كأنْ نأتي، مثلًا، باستدلال استنباطي يجعل من هذه الحقائق نتائج يقينية، أي حقائق يُمكن التعبير عنها بواسطة قضايا تحليلية من حيث أنّ نفيها يؤدّي إلى الوقوع في تناقض منطقي. لكن ماذا عن تلك الحقائق التي تشير إلى معطيات الواقع؟ كيف يكون في وسعنا تبرير الوثوق بصحتها؟ قبل محاولة التبرير هذه، يفحص هيوم الأساس الذي تقوم عليه

الحقائق المرتبطة بالواقع لينتهي إلى الجزم بأنها تقوم على علاقة ثنائية بين العلّة والنتيجة، فحين أسألك عن السبب وراء ارتداء معطف ثقيل، ثم تجيب، مثلًا، بأنّ المعطف يحميك من البرد، فإن مضمون إجابتك (العلة) ومضمون سؤالي (النتيجة) كلاهما يشير إلى حقيقة مرتبطة بالواقع، أي إنها حقيقة لاحقة تُعبّر عنها قضية تركيبية من حيث أنّ نفيها لا يؤدي إلى الوقوع في تناقض منطقي. هذا يعني أنّ تبرير صحة الحقائق المرتبطة بمعطيات الواقع هو في جوهره تبرير لصحة العلاقة العِلّيّة بين قضية تركيبية وأخرى.

كيف لنا -إذًا- تبرير صحة هذه العلاقة العلّيّة؟ يجيب هيوم على هذا السؤال بشكل قاطع: ليس في وسعنا تبرير هذه العلاقة على الإطلاق! بمعنى آخر، لا يمكن تبرير الحقائق المرتبطة بمعطيات الواقع عن طريق العقل المحض أو عن طريق التجربة الحسية. لو سلكنا طريق العقل المحض، فهذا يعني أننا نتعامل مع حقائق قَبلية، في حين أن العلاقة العلّيّة مرتبطة كما رأينا بحقائق لاحقة، ولذلك لا يمكن اللجوء إلى الاستدلال الاستنباطي لتقديم برهان عقلي على صحة حقائق مرتبطة بالواقع، ذلك أن نفي مثل هذه الحقائق لا يتعارض مع قوانين المنطق، الأمر هنا مشابه لما سبق أن أشرنا إليه حول الفرق بين القضايا التحليلية والقضايا التركيبية، فنفي قضية تحليلية ينتج منه قضية تناقضية، في حين أنّ نفي قضية تركيبية ينتج منه قضية تركيبية أخرى.

إذا كان طريق العقل المحض مسدودًا أمامنا لتبرير صحة

الحقائق المرتبطة بمعطيات الواقع، فماذا عن طريق التجربة الحسيّة؟ هنا يطلب منك هيوم أن تتخيّل أنّ أحدهم قدّم إليك شيئًا ما، لم ترَه من قبل على الإطلاق ولا تستطيع أن تجد له شبهًا بأي شيء آخر سبق أن شاهدته في حياتك. في هذه الحالة، يؤكد هيوم أنك لن تستطيع، مهما أمعنت النظر في هذا الشيء الجديد، أن تكتشف العلّة لوجوده أو الأثر نتيجة وجوده. «آدم»، كما يقول هيوم، حين رأى الماء والنار لأوّل مرة، «لم يكن ليستطيع أن يستدلّ من سيولة الماء وشفافيّته على أنّ من شأن الماء أن يُغرقه، ولم يكن ليستطيع أن يستدلّ من ضوء النار وحرارتها على أنّ من شأن النار أن تحرقه»[3]. العلّة والنتيجة، كما يؤكد هيوم، مختلفتان تمامًا، ولا يمكن في هذه الحالة الاستدلال على إحداهما من خلال التعرّف على الأخرى[4].

كيف اكتسب الإنسان أو الحيوان -إذًا- قدرات مثل الحذر من الغرق في حضرة الماء أو الحذر من الاحتراق في حضرة النار؟ تشير الإجابة على هذا السؤال بطبيعة الحال إلى التجربة، مع تراكم الخبرة حول العلّة والنتيجة المنبثقة منها، تتولّد القدرة على ملاحظة الترابط فيما بينهما، وبالتالي، تتولّد القدرة على عقد علاقة استدلالية بين العلّة والنتيجة. حين أهُمُّ بإزاحة كتاب عن حافة مكتبي، فإنّي أتوقّع سقوطه على الأرض، وحين أكتشف رسومات كتابية على جدران كهف مهجور، فإنّي أستدلّ على حقيقة أنّه كان مأهولًا. في الحالة الأولى، استطعت التنبؤ بالنتيجة الغائبة بفضل العلّة الحاضرة، وفي الحالة الثانية، استطعت الاستدلال على العلّة الغائبة بفضل النتيجة

الحاضرة، وفي الحالتين هناك انتقال من المعلوم إلى غير المعلوم. هل في مقدوري تبرير صحة المعرفة نتيجة هذا الانتقال؟ مرة أخرى، تشير إجابة هيوم إلى النفي القاطع.

لنفترض أني حاولت تبرير صحة التنبؤ في الحالة الأولى على الوجه التالي: كل مشاهداتي السابقة تؤكد على أنّ الأجسام الثقيلة تسقط نحو الأرض حين لا يحول شيء بينها وسطح الأرض، وبالتالي، من الطبيعي التنبؤ بسقوط الكتاب حين أَهُمُّ بإزاحته عن حافة مكتبي. إنّ الأمر أشبه بالتنبؤ بطلوع الشمس من المشرق غدًا صباحًا استنادًا إلى عدد مشاهداتي السابقة للشمس وهي تظهر من المشرق. هيوم، مع ذلك، له رأي مغاير، فحتى لو استطعنا ملاحظة طلوع الشمس من المشرق لعدد لامتناهٍ من المرّات، فليس في وسعنا القطع مُسبقًا بحتمية ظهورها من المشرق في اليوم التالي، فالحُكم القَبلي على أي قضية يقتضي منطقيًّا أن يؤدي نفيها إلى تناقض، ولا تناقض في إمكانية تصوّر العقل لاحتمال عدم طلوع الشمس من المشرق.

لكننا نلاحظ ترابطًا مستمرًّا بين العلّة ونتيجتها في حياتنا اليومية، فلماذا لا يصلح هذا الترابط المستمر في تبرير صحة العلاقة بين العلّة والنتيجة؟ هنا يكمن ما يسمّى بمبدأ «اضّطراد الطبيعة»، أي تكرار الظواهر بطريقة تدفعنا إلى الاعتقاد بأنّ ما جرى في الماضي تحت ظروف محددة سيجري في المستقبل تحت الظروف نفسها، بحيث نتوقّع النتائج نفسها من الأسباب المرتبطة بها، كما

نستدلّ على الأسباب نفسها من النتائج المرتبطة بها. يُقرّ هيوم باستنادنا إلى هذا المبدأ، فهناك نوع من «الهارمونيا» أو التوافق المُسبق بين مسار الطبيعة وتسلسل أفكارنا، وهذا التوافق المسبق نستقيه بحكم العادة منذ نعومة أظفارنا، وهو الذي يتيح لنا عقد علاقة استدلالية بين العلّة والنتيجة[5]. بل إن هيوم يذهب إلى أبعد من ذلك ليؤكد على أن أي معرفة جديدة، وبالتالي أي معرفة علمية استقرائية، غير ممكنة من دون التسليم بمبدأ «اضّطراد الطبيعة»[6]. غير أن هذا المبدأ نفسه، كما يؤكد هيوم، لا يمكن تبريره إلّا من خلال الاستقراء نفسه، فالاعتقاد بصحة مبدأ «اضطراد الطبيعة» يفترض ضمنيًّا أنّ المستقبل يشبه الماضي تحت الظروف نفسها، لكن ما الذي يبرّر صحة هذا الافتراض؟ ليس أمامنا سوى أن نجيب: في الماضي، لاحظنا كيف تشابهت أحداث كانت مستقبلية قبل وقوعها مع أحداث الماضي بعد وقوعها، ولهذا، من الطبيعي أننا في المستقبل سنشهد تشابهًا بين أحداث مستقبلية مع أحداث الماضي. هذا التبرير الأخير يقوم على انتقال مما هو معلوم إلى ما هو مجهول، وهو لهذا السبب تبرير استقرائي، وبهذا نكون قد برّرنا صحة الاستقراء بواسطة الاستقراء نفسه، وهذا تفكير دائري يشير إلى مغالطة منطقية هي مغالطة الدور.

لكن الاستقراء، كما سبق أن أشرنا (المبحث 3.9)، احتلّ الدور الأبرز في نظرية الاستدلال العلمي عند أمثال فرانسيس بيكون وجون ستيوارت مِل، وفي ظل مشكلة الاستقراء الفلسفية،

لا عجب أن يشير الفيلسوف البريطاني شارلي بورد إلى الاستقراء بوصفه مجد العلم وفضيحة الفلسفة[7].

11 . 2. الطريقة الافتراضية-الاستنباطية

للطريقة الافتراضية-الاستنباطية تاريخ طويل[8]، وسبق أن رأينا في الفصل الأول من هذا الكتاب مثالًا على هذه الطريقة من خلال قصة الطبيب النمساوي سيملوايز. سنعرض هنا البُنية الداخلية لهذه الطريقة بشيء من التفصيل.

تهدف الطريقة الافتراضية-الاستنباطية إلى التحقق من صحة فرضية ما، وهي طريقة تتكوّن من ثلاث خطوات أساسية: (1) خطوة نظريّة تتمثّل في تقديم فرضية. و(2) خطوة منطقية تتمثّل في علاقة استلزام تتيح الوصول إلى نتيجة يقتضيها التسليم بصحة الفرضية. و(3) خطوة عمليّة تتمثّل في التحقق من نتيجة الفرضية بواسطة الملاحظة أو التجربة. ما يلي مثال بسيط تتجسّد من خلاله الخطوات الثلاث للطريقة الافتراضية-الاستنباطية.

لنفترض أنك تعمل مُحقّقًا في حوادث الطيران، ولنفترض أنك تحاول معرفة السبب وراء حادث تحطّم طائرة على ارتفاع شاهق ولا يزال البحث جاريًا عن رُكامها. حين تعتقد أنّ تحطّم الطائرة نتاج انفجار قنبلة على متن الطائرة، فإنك في هذه الحالة تقدّم فرضية، وهذه هي الخطوة الأولى في الطريقة الافتراضية-الاستنباطية. لو تأمّلت ما يترتّب على التسليم بصحة فرضيّتك، فستصل إلى علاقة

استلزام على النحو التالي: إذا كان تحطّم الطائرة نتيجة انفجار قنبلة على متن الطائرة، فلا بدّ من العثور على حطام الطائرة مبعثرًا على مسافات متباعدة على سطح الأرض، وهذه هي الخطوة الثانية في الطريقة الافتراضية-الاستنباطية. أما الخطوة الثالثة والأخيرة في هذه الطريقة فتعتمد على نتيجة البحث عن ركام الطائرة.

الغرض الجوهري من الطريقة الافتراضية-الاستنباطية هو اختبار مدى صحة الفرضية، لكن هناك نقطة سنرى لاحقًا مدى أهميتها، وهي أنّ اختبار صحة أي فرضية بمعزل عن أي شيء آخر غير ممكن على الإطلاق، ذلك أنّ هناك دائمًا مجموعة من الافتراضات الضمنية إلى جانب كل فرضية، والإشارة إلى اختبار مدى صحة الفرضية هي في واقع الأمر مجرّد إشارة مختصرة لاختبار مدى صحة مقدمّات ليست الفرضية سوى إحداها. إذا كانت هذه هي طبيعة الخطوة الأولى في الطريقة الافتراضية-الاستنباطية، فإنّ ذلك يعني أن طبيعة الخطوة الثانية في هذه الطريقة تشير إلى علاقة استلزام تتخذ من الفرضية ومجموعة الافتراضات الضمنية مقدّمات تؤدّي مجتمعة إلى نتيجة على شكل تنبّؤ محدد.

لنرمز إلى الفرضية بالحرف (ف)، ولنرمز إلى الافتراضات الضمنية بالحرف (أ)، وليكن رمز التنبؤ هو الحرف (ت). في إمكاننا الآن التعبير عن الشكل المنطقي للخطوتين الأولى والثانية في الطريقة الافتراضية-الاستنباطية على النحو التالي:

(ف ^ أ) ← ت

حيث يشير الرمز ^ إلى أداة الوصل "و"، ويشير الرمز ← إلى علاقة الاستلزام "إذا.. فإن.."، وبهذا يُمكن قراءة هذا الشكل المنطقي على هذا النحو: إذا كانت الفرضية والافتراضات الضمنية جميعها صادقة، فإنّ التنبؤ المنبثق منها صادق أيضًا.

لنعد الآن إلى مثالنا السابق ونتساءل عن ماهية الافتراضات الضمنية المصاحبة لفرضية انفجار قنبلة على متن الطائرة. لا يمكن حصر كل هذه الافتراضات، لكن في إمكاننا الإشارة إلى أشدّها وضوحًا. مثلًا، حين قمتَ بتقديم فرضية انفجار قنبلة على متن الطائرة بوصفها سببًا للحادث، فإنّك تفترض أيضًا بصورة ضمنية أنّ الطاقة نتيجة انفجار القنبلة تكفي لتحطيم الطائرة، وأنّ أحدهم تمكّن من اختراق الجهاز الأمني قبل إقلاع الطائرة، وأنّ الحادث بفعل فاعل، وحتى حين تنطلق من الفرضية مع كل هذه الافتراضات الضمنية لتصل عن طريق علاقة الاستلزام إلى التنبؤ بضرورة العثور على حطام الطائرة مبعثرًا على مسافات متباعدة، فإنّك هنا أيضًا تفترض ضمنيًّا صحة قانون الجاذبية حول سقوط الأجسام الثقيلة نحو سطح الأرض.

ما زلنا في مثال تحطّم الطائرة، ولنركّز انتباهنا هذه المرة في الخطوة الثالثة والأخيرة في الطريقة الافتراضية-الاستنباطية، وهي الخطوة المتعلقة بفحص مدى صحة التنبؤ المنبثق من التسليم بصحة الفرضية والافتراضات الضمنية المصاحبة لها بواسطة الملاحظة أو التجربة. كما سبق أن ذكرنا، إذا سلّمنا بصحة فرضية انفجار قنبلة

على متن الطائرة مع الافتراضات الضمنية الأخرى، فإن ذلك يستلزم صحة التنبؤ المنبثق منها، وهو ضرورة تبعثر حطام الطائرة على مسافات متباعدة. حين تنتهي عملية البحث عن حُطام الطائرة، إمّا أن تُسفر العملية عن الفشل في العثور على حُطام الطائرة أو النجاح في العثور عليه. في حال الفشل، تبقى فرضية انفجار قنبلة على متن الطائرة مُعلّقة من دون قدرتنا على اختبار مدى صحتها، لكن في حال النجاح في العثور على حُطام الطائرة، فإنّنا هنا نكون أمام احتمالين على الأقل: إمّا العثور عليه على مسافات متقاربة، وإما العثور عليه على مسافات متباعدة. لنتوقّف الآن عند هذين الاحتمالين تِباعًا لنرى ماذا يعني كل منهما على حدة بالنسبة إلى مدى صحة الفرضية موضع الاختبار.

لنفترض أن عملية البحث أسفرت عن العثور على حطام الطائرة مبعثرًا على مسافات متقاربة. في هذه الحالة، نحن أمام نفي واضح لصحة التنبؤ المنبثق من التسليم بصحة الفرضية والافتراضات الضمنية المصاحبة لها، وبالتالي، نحن أيضًا أمام نفي لصحة الفرضية أو صحة الافتراضات المصاحبة لها، أو نفي لكليهما. نحن هنا أمام يقين معرفي يستمدّ قوته من قوانين المنطق، ذلك أننا أمام استدلال استنباطي سليم منطقيًّا ويُعرف باسم "حجة نفي التالي" (انظر المبحث 6.2)، ويُمكن التعبير عن الشكل المنطقي لهذا الاستدلال على النحو التالي، بحيث تشير العلامة ¬ إلى أداة النفي «ليس»:

مقدمة (1): (ف ^ أ) ← ت

مقدمة (2): ¬ ت

نتيجة: ¬ (ف ^ أ)

تشير المقدمة (1)، كما سبق أن رأينا، إلى الشكل المنطقي للخطوتين الأولى والثانية في الطريقة الافتراضية-الاستنباطية، وهي مقدمة تفيد التالي: إذا كانت الفرضية والافتراضات الضمنية جميعها صادقة، فإنّ التنبؤ المنبثق منها صادق أيضًا، وأما المقدمة (2) فتشير إلى نفي صحة التنبؤ بعد إجراء الملاحظة أو التجربة. حين نتخذ من هاتين المقدمتين نقطة الانطلاق لاستدلال استنباطي كي نصل إلى النتيجة أعلاه، وهي نتيجة تفيد بنفي صحة كل من الفرضية والافتراضات الضمنية المصاحبة لها، فإننا هنا أمام استدلال استنباطي سليم منطقيًّا، وبالتالي، نحن أمام استدلال يتيح لنا اليقين بصدق نتيجة الاستدلال.

لكن لاحظ هنا أن هذا اليقين لا يشير إلى الفرضية بمعزل عن الافتراضات الضمنية المصاحبة لها، وبالتالي، ليس في وسعنا الجزم بخطأ الفرضية في ذاتها، بل كل ما نستطيع قوله هو أنّ هناك خللًا ما، من دون معرفتنا أين يكمن هذا الخلل تحديدًا، فقد يكون متعلّقًا بأحد الافتراضات الضمنية المصاحبة للفرضية بدلًا من الفرضية نفسها، بل قد يكون متعلّقًا بافتراض ضمني لكنه لم يخطر في بالنا. نحن هنا أمام ما يُعرف باسم «أطروحة دوهيم/ كواين» التي تقضي بعدم وجود تجربة حاسمة من شأنها تحديد مكان الخلل في نظرية

أو فرضية تمّ إخضاعها، مع الافتراضات الضمنية المصاحبة لها، للاختبار وجاءت النتيجة منافية لصحتها. سنعود إلى تفاصيل هذه الأطروحة في المبحث (5.11).

لنفترض الآن أن عملية البحث أسفرت عن العثور على حطام الطائرة مبعثرًا على مسافات متباعدة. يبدو في هذه الحالة أننا أمام تأكيد على صحة التنبؤ المنبثق من التسليم بصحة الفرضية والافتراضات الضمنية المصاحبة لها، وبالتالي، لدينا دليل مادّي يدعم صحة الفرضية. لكننا مع ذلك لا نستطيع التيقّن من صحة الفرضية حتى مع وجود عدد لامتناهٍ من الأدلّة المشابهة والمؤيدة لصحتها، وكل ما في وسعنا قوله هو أنّ الفرضية صحيحة بقدر من الاحتمال يزداد مع العثور على دليل جديد على صحتها، لكن درجة احتمال صحتها لا تصل أبدًا إلى حدّ اليقين. لنتأمّل الشكل المنطقي التالي لهذه الحالة التي تأتي فيها نتيجة الملاحظة أو التجربة مؤيدة للتنبؤ المنبثق من الفرضية والافتراضات الضمنية المصاحبة لها:

مقدمة (1): (ف ^ أ) ← ت

مقدمة (2): ت

نتيجة: (ف ^ أ)

لا تختلف المقدمة (1) عمّا سبق أن رأينا في الاحتمال الأول، وبالنسبة إلى المقدمة (2)، فليست سوى تقرير بصحة التنبؤ بعد إجراء الملاحظة أو التجربة. حين نتخذ من هاتين المقدمتين نقطة الانطلاق لاستدلال استنباطي كي نصل إلى النتيجة أعلاه، وهي

نتيجة تفيد بصحة الفرضية والافتراضات الضمنية المصاحبة لها، فإننا نكون بذلك أمام استدلال غير سليم منطقيًّا، ولعلّ القارئ يتذكّر إشارتنا إلى مغالطة «تأكيد التالي» في الفصل الثاني (المبحث 6.2)، وهي المغالطة التي تتجسّد في الاستنباط أعلاه، فالاستنباط السليم منطقيًّا هو استدلال من المستحيل أن تكون نتيجته كاذبة ومقدماته صادقة، وهو ما لا ينطبق على المثال الذي نحن بصدده؛ من الجائز منطقيًّا عدم انفجار قنبلة على متن الطائرة حتى مع العثور على حطام الطائرة مبعثرًا على مسافات متباعدة. بمعنى آخر، يُعدّ انفجار قنبلة على متن الطائرة سببًا كافيًا لكنه ليس سببًا ضروريًّا لتبعثر الحُطام على مسافات متباعدة، فمن الوارد أيضًا أن السبب يكمن في انفجار خزان الوقود بسبب تماس كهربائي. نحن -إذًا- أمام استنباط غير سليم منطقيًّا، لكن هذا بعينه هو الاستدلال الذي تتضمّنه الطريقة الافتراضية-الاستنباطية، وهي الطريقة التي تمثّل التصوّر السائد اليوم لطبيعة الاستدلال العلمي.

هل يعني ذلك أن الاستدلال العلمي يقوم على أساس غير سليم منطقيًّا؟ تعتمد الإجابة على هذا السؤال على درجة الاحتمال التي نسندها إلى نتيجة الاستدلال العلمي، فإذا كنا نتعامل مع هذه النتيجة بوصفها يقينًا خالصًا، فإن الإجابة على السؤال المطروح هي «نعم». لكن، في واقع الأمر، لا وجود اليوم لاختلاف حول طبيعة الاستدلال العلمي بوصفه استدلالًا يؤدي إلى نتيجة محتملة فحسب.

لكن ما طبيعة هذا الاستدلال؟ أوضح سمة فيه هي أنه

استدلال يتخذ من معطيات التجربة أو الملاحظة دليلًا على صحة الفرضية وتوابعها، وكلما ازداد حجم الأدلة، ازدادت درجة احتمال صحة الفرضية وتوابعها من دون أن تصل إلى درجة اليقين أبدًا. هذا يعني أنه استدلال استقرائي في جوهره، ذلك أنّه شبيه بالحالة التي تزداد فيها درجة احتمال صحة تعميم بقدر ازدياد عدد الأدلة المؤيدة لمضمونه، وسنرى في المبحث التالي أن الاستعانة بنظرية الاحتمال الرياضية أدّى إلى التعامل مع هذا الاستدلال التوسّعي بوصفه علاقة اقتضاء جزئي بين الفرضية والدليل.

11 . 3 . مشكلة التأكيد

أوّل من أخضع مفهوم «التأكيد» في فلسفة العلم للتحليل المنطقي المستفيض هو كارل همبل Hempel. لاحظ همبل عدم وجود نظرية حول مفهوم «التأكيد» بالرغم من أنه مفهوم جوهري في المنهج العلمي، وفي محاولة منه إلى سدّ هذا الفراغ وتقديم نظرية بهذا الشأن، اتخذ همبل مما يسمى «معيار نيكود» نقطة انطلاقه. بحسب جان نيكود Nicod، يمكن التعبير عن أي فرضية من خلال قانون يشير إلى علاقة استلزام منطقي، فلو أشرنا إلى الفرضية بالرمز أ، وإلى ما يترتب على التسليم بصحتها بالرمز ب، فإنّ الشكل المنطقي لعلاقة الاقتضاء بينهما هو أ ← ب. هذا الشكل المنطقي للقانون، كما يلاحظ همبل، يمكن إعادة صياغته بصورة أكثر تحديدًا على النحو التالي:

(س) [أ (س) ← ب (س)]

يقوم الحرف س هنا بوظيفة «متغيّر»، وهو بالتالي رمز يشير إلى أي شيء يُمكن له احتلال موضع س في الصيغة أعلاه، في حين يشير كل من الرمز أ والرمز ب إلى محمول محدد، وهما طرفا علاقة الاقتضاء المنطقي. يمكن الآن قراءة هذا الشكل المنطقي على النحو التالي: لكل س، إذا كانت س هي أ، فإن س هي ب. مثلًا، لو كان الرمز أ يشير إلى «غراب»، وكان الرمز ب يشير إلى «أسود اللون»، فبوسعنا قراءة الشكل المنطقي أعلاه على النحو التالي: لكل س، إذا كان س غرابًا، فإن س أسود اللون. في وسعنا أيضًا ترجمة هذا الاستلزام المنطقي إلى تعميم له المعنى نفسه، وذلك على النحو التالي: كل الغربان سوداء اللون.

كيف لأيّ حقيقة من ضمن معطيات الواقع أن تؤثر في درجة احتمال صحة هذا التعميم؟ بحسب «معيار نيكود»، حين نعثر على غراب أسود اللون، نكون أمام حقيقة تؤيد صحة القانون أعلاه، وحين نعثر على غراب ليس أسود اللون، نكون أمام حقيقة تنافي صحة القانون أعلاه. يلاحظ همبل وجود احتمالين آخرين لم يتضمنّهما «معيار نيكود»، وهو أن نعثر على شيء ليس بغراب لكنه أسود اللون، أو أن نعثر على شيء ليس بغراب وليس بأسود اللون. للوهلة الأولى، قد تبدو ملاحظة همبل غير ذات أهمية، لكن حين نتأمّل خطوة همبل التالية في تعامله مع «معيار نيكود»، سنكتشف ضعف هذا المعيار في تقديم أساس متماسك لمفهوم «التأكيد»، وما يلي نقطة تحتاج تركيزًا شديدًا من القارئ.

بحسب أحد قوانين المنطق، فعبارة: «كل ما هو س هو أيضًا ص»، متكافئة منطقيًّا مع عبارة «كل ما هو ليس ص هو أيضًا ليس س». هذا يعني أن قانون التكافؤ المنطقي ينطبق على القانون أعلاه، فعبارة «إذا كان س غرابًا، فإن س أسود اللون» متكافئة منطقيًّا مع عبارة «إذا كان س ليس أسود اللون، فإن س ليس غرابًا»، وبشكل عام: (س ← ص) متكافئة منطقيًّا مع (¬ص ← ¬س). حين نقول إن عبارتين متكافئتان منطقيًّا، فهذا يعني أنّهما تشتركان في المضمون وتختلفان فقط من حيث الشكل أو الصياغة، وبالتالي، فأي دليل يؤيد صحة إحداهما فإنه يؤيد أيضًا صحة الأخرى بالضرورة المنطقية. لننظر الآن إلى هاتين العبارتين المتكافئتين منطقيًّا:

(1) إذا كان س غرابًا، فإن س أسود اللون.

(2) إذا كان س ليس أسود اللون، فإن س ليس غرابًا.

يلفت همبل انتباهنا إلى أربعة احتمالات ممكنة من حيث تأييد صحة العبارتين (1) و(2) أو نفيهما، ويطلب منا أن نفترض وجود أربعة أشياء مختلفة، ولنرمز إليها بالرموز (أ) و(ب) و(ج) و(د)، بحيث: تشير (أ) إلى ما هو غراب وأسود اللون، وتشير (ب) إلى ما هو غراب وليس أسود اللون، وتشير (ج) إلى ما هو ليس غرابًا لكنه أسود اللون، وتشير (د) إلى ما هو ليس غرابًا وليس أسود اللون. بحسب «معيار نيكود»، كما يؤكد همبل، سيكون لدينا أربعة احتمالات:

الاحتمال الأول: (أ) تؤيد (1) ومحايدة بالنسبة إلى (2)

الاحتمال الثاني: (ب) تنافي كل من (1) و(2)

الاحتمال الثالث: (ج) محايدة بالنسبة إلى كل من (1) و(2)

الاحتمال الرابع: (د) تؤيد (2) ومحايدة بالنسبة إلى (1)

من ضمن هذه الاحتمالات الأربعة، فأهمّ احتمالين هنا هما الاحتمال الأول والاحتمال الأخير. بالرغم من أن العبارتين (1) و(2) متكافئتان منطقيًّا، أي بالرغم من أنهما تشتركان في المضمون، وبالتالي، فأي دليل يؤيد إحداهما ينبغي أيضًا أن يؤيد الأخرى، إلّا أنّ الاحتمال الأول يشير إلى أنّ (أ) تؤيد (1) ومحايدة بالنسبة إلى (2)، كما أنّ الاحتمال الرابع يشير إلى أنّ (د) تؤيد (2) ومحايدة بالنسبة إلى (1). هنا تحديدًا تكمن إحدى أهم نقاط الضعف التي اكتشفها همبل في «معيار نيكود»، ولتجاوزها، يضع همبل شرطًا ينبغي لأي تصوّر حول مفهوم «التأكيد» أن يمتثل إليه، وهو شرط التكافؤ:

شرط التكافؤ: كل ما يؤيد (أو ينافي) واحدة من عبارتين متكافئتين منطقيًّا، فإنّه أيضًا يؤيد (أو ينافي) العبارة الأخرى.

يصرّ همبل على أنّ شرط التكافؤ في غاية الأهمية، فإذا كنا أمام فرضية علمية، فإن من شأن هذا الشرط أن يجعل التأكيد على صحة الفرضية مستقلًّا عن كيفية صياغتها، ومن دون هذا الشرط يصبح من العبث تأكيد فرضية لها مضمون محدد وعدم تأكيدها حين تُصاغ بطريقة مختلفة مع احتفاظها بالمضمون نفسه.

يذهب همبل في تحليله لمعيار نيكود إلى أبعد من ذلك من خلال تأمّل ما يترتّب على الجمع بين هذا المعيار وشرط التكافؤ، وهنا يتوصّل همبل إلى نتائج مثيرة للاستغراب، وتسمّى جميعها «مفارقات التأكيد». تُعرف إحدى هذه المفارقات باسم «مفارقة همبل» أو «مفارقة الغراب». سبق أن رأينا أنّ (د) تؤيد (2) بحسب الاحتمال الرابع، وفي ظل شرط التكافؤ، لا بد أيضًا من القول إنّ (د) تؤيد (1)، ذلك أن العبارتين (1) و(2) متكافئتان منطقيًّا. لكن لاحظ أن العبارة في (1) تشير إلى فرضية «إذا س غراب، فإن س أسود اللون»، أو بعبارة أخرى أكثر اختصارًا: «كل الغربان سوداء اللون»، في حين أن (د) تشمل «كل ما هو ليس غرابًا وليس أسود اللون»، وما يترتّب على ذلك هو أنّ تأييد الدليل (د) للفرضية (1) يعني أنّ «في وسع أي قلم أحمر اللون، أي ورقة خضراء اللون، أي بقرة صفراء اللون، إلى آخره، أن يكون دليلًا مؤيدًا للفرضية التي تشير إلى أن كل الغربان سوداء اللون»[9]! بطبيعة الحال، نحن أمام مفارقة تتمثل في نتيجة منسجمة مع قوانين المنطق لكنها مع ذلك منافية للحس السليم، فهي منسجمة مع قوانين المنطق لأنها خاضعة لقانون التكافؤ المنطقي، وهي منافية للحس السليم لأن من غير المعقول أن يدعم دليل أي فرضية في ظل انعدام أي صلة معتبرة بينهما.

تناولنا في بداية هذا الفصل مشكلة الاستقراء، وحين انتقلنا بعد ذلك إلى مناقشة الطريقة الافتراضية-الاستنباطية، أكّدنا على

حقيقة أن هذه الطريقة لا تخلو من استدلال توسّعي، وهي لهذا السبب طريقة يجري عليها ما يجري على أي مشكلة استقرائية. هذا الاستدلال التوسّعي والكامن في الطريقة الافتراضية-الاستنباطية نتيجة، كما رأينا، للحالة التي تأتي فيها نتيجة التنبؤ مؤيدة لصحة الفرضية وتوابعها، وهذا بالضبط ما دعانا إلى مناقشة مشكلة التأكيد (أو التأييد).

يمكن النظر إلى مفهوم «التأكيد»، كما يؤكد همبل، في سياق درجة احتمال صحة الفرضية على ضوء دليل محدد، وهناك منحنيان في فلسفة العلم للتعامل مع هذا النوع من درجة الاحتمال: هناك منحنى منطقي، وهناك منحنى إحصائي[10]. يتعامل المنحنى المنطقي مع درجة احتمال الفرضية بوصفها مجرّد علاقة منطقية بين الفرضية والدليل، في حين يتعامل المنحنى الإحصائي مع درجة احتمال الفرضية بوصفها قيمة عددية للتكرار النسبي للأدلة المؤيدة لصحة الفرضية من ضمن المجموع الكلي للأدلة ذات العلاقة.

من ضمن أبرز رُوّاد المنحنى المنطقي الفيلسوف الإنكليزي جون كينز والفيلسوف الألماني رودلف كارناب، في حين أن الفيلسوف الألماني هانز رايشنباخ هو رائد المنحنى الإحصائي. إلى هذا المنحنى الأخير ينبغي أيضًا أن نضيف الرياضييْن الإنكليزي فرانك رامزي والإيطالي برونو دي فينيتّي Finetti، فإلى كليهما يرجع الفضل في هيمنة المقاربة البيزية Bayesianism على أدبيّات الاستدلال العلمي في فلسفة العلم الحديث.

يمكن اعتبار كلا المنحيين، المنطقي والإحصائي، استجابة لمشكلة الاستقراء، ذلك أن في ثنايا علاقة الاستدلال العلمي استلزامًا لا يؤّدي إلى اليقين المعرفي كما رأينا، والاستعانة بنظرية الاحتمال الرياضية جاءت لتتعامل مع علاقة الاستلزام هذه، ليس بوصفها علاقة تُفضي إلى نتيجة يقينية، بل بوصفها مجرّد علاقة جزئية ومؤديّة إلى نتيجة محتملة. هذا بالضبط ما عبّر عنه بوضوح أحد أبرز رُوّاد المنحنى المنطقي في التعامل مع الاستدلال العلمي، وهو الفيلسوف والاقتصادي الإنكليزي جون كينز، حيث رأى أن الاستعانة بمفهوم «الاحتمال» من شأنه جعل علاقة الاستلزام الجزئي بين مقدمات حجة ونتيجتها مجرّد امتداد لعلاقة الاستلزام الكلّي بينهما[11].

مكتبة
t.me/soramnqraa

11 . 4 . مقاربة بوبر

إلى جانب المقاربات الاحتمالية في التعامل مع الاستدلال العلمي، هناك في المقابل مَن رفض مفهوم «التأكيد» أو «التأييد» جملة وتفصيلًا، وأبرزهم هو الفيلسوف النمساوي كارل بوبر Popper. بالنسبة إلى بوبر[12]، لا جدال في قوة الحجج التي أتى بها هيوم لإبراز نقاط الضعف في الاستدلال العلمي حين يتخذ هذا الاستدلال من الاستقراء أساسًا له. لكن الاستقراء نفسه، كما يؤكد بوبر، لا يُشكّل مشكلة حقيقية للاستدلال العلمي، ذلك أنه استدلال لا يقوم على محاولة تأكيد (أو تأييد) فرضية، بل على

العكس من ذلك تمامًا، فالمنهج العلمي عند بوبر قائم على «مبدأ القابلية للدحض» (أو مبدأ القابلية للتكذيب أو التزييف).

سبق أن رأينا أن الحالة التي تأتي فيها الملاحظة أو التجربة بنتيجة تنفي مضمون التنبؤ المنبثق من الفرضية وتوابعها تقوم على أساس متين من حيث أنها تشير إلى استنباط منطقي سليم، فهو استنباط يشير إلى «حجة نفي التالي»، في حين أن الحالة التي تأتي فيها النتيجة مؤيدة لصحة التنبؤ تشير إلى مغالطة «تأكيد التالي». بالنسبة إلى بوبر، هذه هي حدود المنطق التي ينبغي احترامها، فالمنطق يسمح لنا بالتيقّن من خطأ تخميناتنا حول العالم الطبيعي، لكنه لا يسمح لنا أن نكون موقنين من صحتها على الإطلاق، وبدلًا من اللجوء إلى التحايل على حدود المنطق من خلال الاستعانة بمفاهيم غير متماسكة منطقيًّا مثل «الاستلزام الجزئي» أو «التأكيد»، يؤكد بوبر على أن منطق العلم قائم على تقديم مجموعة من الفرضيات أو التخمينات القابلة للفحص من خلال التجربة، ليس بغرض تأكيد (أو تأييد) صحتها، ولا حتى بغرض معرفة درجة احتمال صحتها، بل بغرض معرفة مدى قدرة تلك الفرضيات أو التخمينات على الصمود أمام نتيجة قابليّتها للدحض أو التكذيب. بحسب هذا المنطق، حين تفشل الفرضية في تجاوز نتيجة التجربة، ينبغي استبعاد الفرضية، وحين تنجح الفرضية في تجاوز نتيجة التجربة، فليس في وسعنا القول سوى أنها نجحت في تجاوز معيار التكذيب أو التزييف.

قد لا يبدو تجاوز فرضية لمعيار التكذيب مختلفًا عن تأكيدها،

لكن بوبر حريص على إبراز الاختلاف بينهما. حين تكون هناك أكثر من فرضية لتفسير الظاهرة نفسها، فإنّ النزعة التأكيدية تميل إلى اختيار الفرضية الأكثر احتمالًا، في حين أن النزعة التكذيبية تميل إلى اختيار الفرضية الأكثر قابلية للتكذيب. من الضروري هنا أن نتأمّل منطق معيار قابلية التكذيب عند بوبر كي نتجاوز بعض الانتقادات التي وُجّهت ضد هذا المعيار وشابها سوء الفهم.

بالنسبة إلى بوبر، فأي فرضية علمية، وقبل إخضاعها لاختبار التجربة، هي تخمين يتّسم بخاصيتين على الأقل: الاتساق والجرأة. أما الاتساق فالمقصود به عدم تعارض محتوى الفرضية مع المعرفة العلمية المتمثلة في نظريات راسخة من حيث حجم ما تستند إليه من أدلّة علمية. تتكفّل هذه النقطة بالاعتراض الذي مفاده أنّ أشدّ الفرضيات قابلية للتكذيب هي الفرضيات غير العلمية، فهو اعتراض يخفق في الأخذ بعين الاعتبار خاصية الاتساق. أما الجرأة فالمقصود بها جنوح الفرضية إلى أكبر قدر من المخاطرة من حيث إمكانية تعارض تنبؤاتها مع نتيجة التجربة.

يبدو لي أنّ هنالك ما يستحق الملاحظة هنا، وهو التالي: خاصية الاتساق مرتبطة بحقائق سابقة على تقديم الفرضية، في حين أن خاصية الجرأة مرتبطة بحقائق لاحقة على تقديم الفرضية. من جهة أخرى، تعتمد خاصية الاتساق على حجم محتوى النظريات العلمية، فكلما ازداد هذا المحتوى، ازداد العبء على الفرضية من حيث ضرورة اتساق محتواها مع محتوى النظريات العلمية، في حين

(وهذه النقطة التالية هي نقطة تخصّ بوبر) تعتمد جرأة الفرضية على حجم محتواها الإمبريقي (أي محتواها المرتبط بمعطيات الواقع)، فكلما ازداد حجم هذا المحتوى، ازداد حجم مخاطرة الفرضية، وبالتالي، ازداد حجم قابليتها للتكذيب.

جنوح بوبر في مقاربته حول الاستدلال العلمي إلى مفهوم «التكذيب» بدلًا من مفهوم «التأكيد» له أسباب تتخطّى مجرّد الالتزام بحدود المنطق، ذلك أنه كان يرمي في المقام الأول إلى حماية العلم من الدوغمائية التي من شأنها إفساد العلم الحقيقي بعلم زائف[13]. يؤكد بوبر على أنّ الموقف العلمي الحقيقي يختلف تمامًا عن الموقف المتعصّب، فالأول يعبّر عن رغبتنا الشديدة في الأخذ بعين الاعتبار أي دليل قد ينافي صحة الفرضية التي نقدّمها، في حين يعبّر الموقف الثاني عن ادّعائنا المستمر في العثور على أدلّة تؤكد صحة الفرضية المفضّلة لدينا[14].

لا تخلو مقاربة بوبر من مشكلات في الحالتين: في حالة نجاح فرضية في تجاوز معيار التكذيب، وفي حالة فشلها في تجاوزه. فيما يتعلق بالحالة الأولى، سبق أن أشرنا إلى أنّ تجاوز الفرضية بنجاح لمعيار التكذيب، بالنسبة إلى بوبر، لا يعني تأكيدها أو حتى ازدياد درجة احتمال صحتها. ماذا يعني إذًا؟ هنا يلجأ بوبر إلى مفهوم «التعزيز»؛ تحظى أي فرضية بالتعزيز حين تتجاوز بنجاح معيار التكذيب، وتزداد درجة تعزيزها بالقدر الذي يزداد فيه مقدار نجاحها في تجاوز هذا المعيار.

ينبغي هنا المقارنة بين مفهومي «التأكيد» و«التعزيز». أولًا، كلاهما يشير إلى النتيجة نفسها، وهي القبول المبدئي بفرضية بعد تجاوزها اختبار التجربة. ثانيًا، كلاهما يتّسم بالتدرّج، فهناك درجات للتأكيد كما أن هناك درجات للتعزيز. أخيرًا، وهنا مكمن الاختلاف بينهما، حين نهدف إلى تأكيد فرضية، فإننا نقيس درجة احتمال صحتها قبل التحقق من مدى تأييد نتيجة التجربة لمحتواها، في حين أننا حين نهدف إلى تعزيز فرضية، فإننا نقيس درجة احتمال عدم صحتها قبل التحقق من مدى تكذيب نتيجة التجربة لمحتواها.

لا يعنينا هنا التشكيك في وجود اختلاف حقيقي بين مفهومي «التأكيد» و«التعزيز»، إنّما يعنينا ما يتضمّنه مفهوم «التعزيز» عند بوبر من اعتراف بضرورة القبول المبدئي بصحة فرضية بعد تجاوزها معيار قابلية التكذيب، وهذا التعزيز، كما يؤكد ويسلي سالمون Salmon، ليس سوى علاقة استدلال توسّعي، أي استدلال استقرائي، ذلك أن نتيجته تشير إلى محتوى إمبريقي يساهم في تراكم المعرفة العلمية، ومن المستحيل الوصول إلى مثل هذه النتيجة من خلال الاكتفاء بالاستدلال الاستنباطي[15]. هذا يعني، بحسب ويسلي سالمون أيضًا، أنّ مقاربة بوبر ليست استنباطية خالصة كما يزعم، فإضافة مفهوم «التعزيز» إلى منهجه الاستنباطي يدلّل على أن بوبر لم ينجح في تجاوز مشكلة الاستقراء[16].

بقي أن نناقش الحالة الثانية والمتعلقة بفشل الفرضية في تجاوز معيار التكذيب، وهذا ما سنقوم به في المبحث التالي والأخير من هذا الفصل من خلال عرض لأطروحة دوهيم.

11 . 5 . أطروحة دوهيم

كان لمؤرخ العلم وعالم الفيزياء الفرنسي بيير دوهيم Duhem أثرٌ كبير في مسار فلسفة العلم الحديث في وقت لاحق، وبخاصة فيما يتعلّق بالنزعة التاريخية التي طغت في ميدان فلسفة العلم في النصف الثاني من القرن العشرين[17]. ارتبط اسم دوهيم في فلسفة العلم على وجه الخصوص بما يُعرف باسم «أطروحة دوهيم»[18]، وهي الأطروحة التي تطورت على يد الفيلسوف الأميركي الشهير ويلارد كواين Quine لتُعرف لاحقًا باسم «أطروحة دوهيم/ كواين».

يمكن شرح هذه الأطروحة على النحو التالي: حين تتنبّأ أي نظرية علمية بحدث فيزيائي تُكذّبه التجربة، فإنّ كل ما نستطيع استنتاجه هو أنّ هناك خللًا في النظرية، لكننا لا نستطيع تحديد مكان الخلل[19]. بعبارة أخرى أكثر تحديدًا، ليست هناك تجربة حاسمة من حيث قدرتها على تحديد الفرضية المسؤولة عن خلل النظرية من بين كل الفرضيات التي تنتمي إلى هذه النظرية. ليست هذه الفجوة بين النظرية والتجربة سوى امتداد للفجوة بين عالم الذهن وعالم الحس التي لاحظناها في فلسفة كلّ من ماخ وبوانكاريه (المبحث 4.9)، لكنّ دوهيم ذهب بعيدًا في تعميقه لهذه الفجوة وشرْح تبعاتها على

فلسفة العلم، ويكفي للدلالة على ذلك أن نلاحظ تحليله العميق للعلاقة بين لغة الرياضيات ولغة التجربة[20]:

«من أجل نقل إجراءات التجربة إلى حساباتنا، ينبغي لنا أن نصنع نسخة بحيث تحلّ لغة الأرقام محلّ لغة الملاحظة الملموسة، ومن أجل التحقق من نتيجة التجربة التي تتنبأ بها النظرية، ينبغي ترجمة قيمة عددية إلى قراءة مصوغة بلغة تجريبية... إنّ طريقة القياس هي القاموس الذي يتيح هاتين الترجمتين في أي اتجاه من هذين الاتجاهين».

لكن دوهيم يذكّرنا بأن الترجمة خيانة، فهناك اختلاف كبير بين معطيات التجربة كما تبدو من خلال الملاحظة من جانب، وهذه المعطيات نفسها عند تجسيدها في المعادلات الرياضية من جانب آخر. يتناول دوهيم خصائص هذا الاختلاف من زوايا متعددة، ويكفي هنا أن نسلّط الضوء على واحدة منها.

يفرّق دوهيم بين المعطى العملي والمعطى النظري؛ كلاهما يُمكن التعبير عنه من خلال ما يُسمى «عبارة ملاحظة»، لكن بينما تصف العبارة المتعلقة بالمعطى العملي أشياء فيزيائية محددة مثل تلك الملاحظات المخبرية التي يقوم بها فيزيائي في معمله، تصف العبارة المتعلقة بالمعطى النظري أشياء مجرّدة من تلك الملاحظات المخبرية، لكنها ملاحظات تستمدّ معناها من شبكة معقدة من العلاقات النظرية. يُقدّم دوهيم العبارة البسيطة التالية بوصفها مثالًا على المعطى النظري: «تتوزّع الحرارة بطريقة محددة خلال جسمٍ ما».

تبدو هذه العبارة دقيقة من الناحية النظرية، فبفضل المعالجة المثالية لهذه العبارة، أصبح لمفاهيم مثل «الجسم» أو «الحرارة» معنًى محدد ضمن إطار النظرية ويرتبط كل منها بعدد محدد في لغة الرياضيات. لكن لو انتقلنا إلى العبارة المقابلة لها والمتصلة بالمعطى العملي، فستختفي الدّقة لتحلّ مكانها حالة هلامية، ذلك أننا لم نعد أمام مفاهيم مثالية، فمفهوم «الجسم» لم يعد مرتبطًا بشكل هندسي مجرّد وواضح المعالم، بل أضحى يشير إلى شيء فيزيائي ملموس لكنه غير محدّد المعالم بشكل دقيق، كما أن مفهوم «الحرارة» لم يعد مفهومًا نظريًّا ومُتجسّدًا في عدد محدد، بل أضحى يشير إلى قراءة لمقياس الحرارة وخاضعة لهامش الخطأ، فحين نقرأ ميزان الحرارة، كما يؤكد دوهيم[21]:

«لا نستطيع أن نؤكد على أن درجة الحرارة هذه تشير إلى عدد محدد بحيث نستثني أي عدد آخر، لا يمكننا أن نقول، على سبيل المثال، إن درجة الحرارة تساوي تحديدًا 10 درجات، بل يمكننا فقط أن نؤكد على أن الفرق بين درجة الحرارة و10 درجات لا يتجاوز جزءًا معينًا من الدرجة بحسب دقة طرق القياس الحراري التي نستخدمها».

هذا يعني أنّ العبارة المتعلقة بالمعطى النظري لا تعكس سوى قيمة تقريبية للمقادير التي تشتمل عليها العبارة المتعلقة بالمعطى العملي، وبالتالي فإنّ العلاقة بين العبارتين ليست علاقة واحد إلى واحد، بل هي علاقة أكثر من واحد إلى واحد، فعلى سبيل المثال،

لو كان المعطى العملي يشير إلى درجة حرارة بمقدار 10 درجات مع هامش خطأ بمقدار 0.1، فإن القول بأنّ درجة الحرارة هي 10 أو 9.96 أو 10.04 يعني أننا أمام عبارات تصف معطيات نظرية متباينة فيما بينها، لكنها تشير جميعها إلى المعطى العملي نفسه. من هنا يصل دوهيم إلى الاستنتاج التالي: «من الممكن الاستعانة بعدد لامتناهٍ من المعطيات النظرية المتباينة لترجمة المعطى العملي نفسه»[22]. هناك -إذًا- فجوة إبستمولوجية بين لغة الرياضيات ولغة التجربة، تمامًا مثلما أنّ هناك فجوة مشابهة بين النظرية (أو الفرضية) والتجربة.

بالعودة الآن إلى مقاربة بوبر، يبدو من الواضح أنّها مقاربة لا تخلو من مشكلات حتى في الحالة التي تفشل فيها الفرضية أو النظرية في تجاوز معيار التكذيب، فبحسب «أطروحة دوهيم-كواين»، لا وجود لتجربة حاسمة في وسعها تبيان أين يكمن الخلل في فرضية تفشل في تجاوز معيار التجربة، ذلك أنّ لا وجود لفرضية يُمكن إخضاعها للاختبار بمعزل عن مجموعة من الافتراضات الضمنية المصاحبة لها. صحيح أنّ بوبر يستند إلى «حجة نفي التالي» في دفاعه عن معيار قابلية التكذيب، لكن هذه الحجة، وبالرغم من أنها تمثل استنباطًا سليمًا من الناحية المنطقية، فإنه استنباط تشير نتيجته إلى نفي صحة الفرضية وتوابعها من افتراضات ضمنية، لكن ليس في وسع نتيجة هذا الاستنباط أن تشير إلى نفي الفرضية بمفردها، وهنا مكمن الضعف في مقاربة بوبر، فقد يؤدي معيار

التكذيب إلى استبعاد فرضية صحيحة في ذاتها. صحيح أيضًا أن بوبر لا يعارض إمكانية إعادة النظر في الافتراضات الضمنية لمنح الفرضية فرصة أخرى لتجاوز معيار التكذيب، لكن حصر هذه الافتراضات الضمنية غير ممكن فعليًّا، فبعضها كما سبق أن أشرنا قد لا يخطر في بالنا عند إخضاع الفرضية وتوابعها للاختبار.

الفصل الثاني عشر

التفسير العلمي

12 . 1 . القانون والتعميم

ليست كلمة «قانون» عربية كما نعرف، بل إغريقية، ويشير معناها الأصلي في لغتها الأم إلى قصبة تُستخدم في قياس الطول، وهي لهذا السبب تتضمّن المعنى الذي تفيده كلمة «معيار»، وبهذا المعنى الأخير تحديدًا استخدمها ابن سينا في كتابه الشهير «القانون في الطب». لكلمة «قانون» أيضًا معنى متعلّق بالتشريع، ولكنها بهذا المعنى كلمة حديثة إذا ما قورنت بكلمة «ناموس»، وهذه هي الكلمة التي اختارها المترجمون الأوائل في الحضارة الإسلامية للتعبير عن مفردة «نوموس» الإغريقية والمتعلقة بمفهوم التشريع، وهذا ما نجده، مثلاً، في الترجمة إلى العربية لكتاب أفلاطون الشهير والذي حمل عنوان «النواميس».

من حيث المعنى الأصلي -إذًا- لا تشير الكلمتان «قانون» و«ناموس» إلى مفهوم «القانون» بمعناه المتعلّق بظواهر الطبيعة، ولهذا، ينبغي طرح السؤال التالي: كيف كان فلاسفة الطبيعة

الإغريق يشيرون إلى «قوانين الطبيعة»؟ في واقع الأمر، إذا سلّمنا بصحة ما وصل إليه الباحث النمساوي إدغار زيلسل Zilsel في تعقّبه التاريخي لمفهوم «القانون الفيزيائي»[1]، فإن علينا القول بأنّ مفهوم «القانون» بهذا المعنى حديث نسبيًّا، فهو مفهوم لم يدخل الخطاب العلمي بشكل صريح ومباشر إلّا في منتصف القرن السابع عشر. صحيح أنّ الترجمات الأجنبية الحديثة لما تركه فلاسفة الإغريق القدماء من مؤلفات تشير إلى تعبير «قوانين الطبيعة»، ولكن هذا مجرّد اجتهاد من طرف مترجمين محدثين، ويكفي للتدليل على ذلك مقارنة هذه الترجمات الأجنبية الحديثة بالترجمات العربية القديمة لتلك المؤلفات الإغريقية، ولعلّنا نلاحظ خلوّ الترجمات العربية من كلمة «قانون» بمعناها المتعلّق بظواهر الطبيعة. سبق أن أشرنا في القسم الثاني من هذا الكتاب إلى فلاسفة الطبيعة الإغريق بشكل عام، وإلى أرسطو بشكل خاص، وكانت الإشارة عندهم جميعًا إلى «مبادئ» أو «أسباب»، لكننا لا نجد عندهم إشارة إلى «قوانين» تحكم العالم الطبيعي.

لكن ماذا تعني كلمة «قانون» حين ترد في تعابير مثل «قوانين الطبيعة» أو «قوانين الفيزياء»؟ من جهة، لا يبدو السؤال عسيرًا حين نفترض أنّ اكتشاف القوانين التي تحكم الظواهر الطبيعية هو أحد أهمّ أهداف العلوم الطبيعية، وإذا كان هذا الافتراض صحيحًا، فإن في وسعنا القول إنّ مثل هذا الاكتشاف يتأتّى أحيانًا من خلال ملاحظة حالة من الانتظام لظاهرة طبيعية تحت ظروف محددة ثم

ابتداع تعميم أو وصف عام يجعل من تكرار الظاهرة نفسها في ظل الظروف نفسها أمرًا ضروريًا. هذا يعني أن القانون حالة خاصة من التعميم. لنقارن، مثلًا، بين عبارة: «كل الأوراق على مكتبي بيضاء اللون»، وعبارة: «كل الأوراق تسقط على الأرض حين أقوم بإزاحتها عن مكتبي». كلتا العبارتين تشير إلى تعميم، لكن التعميم في العبارة الأولى نتيجة إمّا مجرّد مصادفة وإمّا ذوق شخصي، أي إنه تعميم عرَضيّ، في حين أن التعميم في العبارة الثانية نتيجة لُزوم، أي إنه تعميم ضروريّ. بالطبع، ليست بُنية القانون الفيزيائي بهذه البساطة، لكن النظر إلى القانون بوصفه تعميمًا ضروريًا هو بهذه البساطة في واقع الأمر، فالشكل المنطقي لأي تعميم يشير إلى أنّ «كل أ هي ب»، وإذا أردنا أن يُعبّر هذا الشكل المنطقي أيضًا عن ضرورة انتماء كل عنصر في المجموعة أ إلى المجموعة ب، ففي وسعنا أن نقول: «لكل عنصر س، إذا كان س ينتمي إلى أ، فإن س ينتمي إلى ب أيضًا».

من جهة أخرى، لا يبدو السؤال حول ماهيّة القانون بهذه السهولة، والحق أنّه سؤال شائك جدًّا، فلا توجد له إجابة تحظى باتفاق عام بين فلاسفة العلم. لكن ما يعنينا في هذا المقام يقتصر فقط على التمييز بين مفهوم «القانون» ومفهوم «التعميم»، ويكفي لأهداف هذا القسم أن نؤكّد على ما سبقت الإشارة إليه، وهو أن القانون حالة خاصة من التعميم، بمعنى أنّ أي قانون يشير إلى تعميم بالضرورة، لكن العكس غير صحيح. سبق أن تعاملنا مع مفهوم «التعميم»

عند عرضنا لمشكلة الاستقراء في الفصل السابق (المبحث 1.11)، وسنعود إلى مفهوم «القانون» حين نناقش أبرز نماذج التفسير العلمي لاحقًا (المبحث 3.12)، وأما الآن فسنواصل التمهيد لموضوع هذا الفصل من خلال التعامل مع زوج آخر من المفاهيم.

12 . 2 . التفسير والعِلّيّة

هناك اختلاف بين مفهوم «السبب» ومفهوم «العلّة»، وقد لا يبدو هذا الاختلاف واضحًا منذ الوهلة الأولى لسببين: الترادف في المعنى بين كلمتيْ «سبب» و«عِلّة» في عديد من اللغات قديمها وحديثها، وأثر هذا الترادف في التاريخ الفلسفي الطويل للتمازج الدلالي بين الكلمتين.

أما في الجانب اللغوي، فلا تختلف اللغة العربية عن اللغة الإغريقية من حيث الاستخدام الواسع لكلّ من كلمة «السبب *λόγος*» وكلمة «العلّة *αιτία*» للإشارة إلى المعنى نفسه، كما أنّ عديدًا من اللغات الحديثة تحتوي على مفردات أو تعابير تشير من حيث استخدامها إلى مفهوم «السبب» وتدلّ من حيث أصلها على مفهوم «العّلة»، مثل كلمة «*because*» في الإنكليزية والتي تُستخدم لتقديم سبب لكنها تعني حرفيًّا من حيث اشتقاقها اللغوي «بواسطة العلّة»، وكذلك هي الحال مع تعبير «*à cause de*» في الفرنسية.

أمّا في الجانب التاريخي، فقد ظلّ مبدأ «هناك سبب لكل حدث» يشير لقرون طويلة إلى المضمون نفسه الذي يشير إليه مبدأ «لكل

شيء علّة»[2]، كما أنّ المنظور الأرسطي للتفسير العلمي استمرّ لقرون طويلة أيضًا بوصفه تفسيرًا مقصورًا على تبيان العلّة، وقد سبق أنّ أشرنا إلى هذا المنظور عند عرضنا لنظريته حول «العِلل الأربع» (المبحث 1.8). سنقصر حديثنا هنا على تبيان الاختلاف بين مفهوم «السبب» ومفهوم «العلة»، إلى جانب الاختلاف بين مفهوم «التفسير» ومفهوم «التعليل»[3].

كل سؤال يبدأ بكلمة «لماذا» ينتظر إجابة تتضمّن سببًا واحدًا على الأقل. حين توضع هذه الإجابة على شكل حجة محددة لها مقدمات ونتيجة، تشير الإجابة إلى تفسير، وحين يكون السبب عبارة عن عِلّة، تشير الإجابة إلى تفسير عِلّيّ. فعلى سبيل المثال، لو سألتني: «لماذا سقط القلم من فوق مكتبي؟»، ثم أجبتك: «لأني دفعته بيدي»، فإنّ في الإمكان وضع هذه الإجابة على شكل حجة لها مقدّمات ونتيجة، بحيث تتضمّن المقدمات إشارة إلى ما قمت به من فعل فيزيائي في ظل قوانين نيوتن حول الحركة والجاذبية، وبحيث تشير النتيجة إلى سقوط القلم، وعندها نكون أمام تفسير محدد. تضمّن هذا التفسير سببًا لسقوط القلم، وهو دفْعه باليد، ولأننا هنا أمام تأثير طرف على طرف آخر وإحداث تغيير في حالته، يشير السبب هنا إلى عِلّة فاعلة (بمعناها الأرسطي)، وبالتالي، يشير التفسير هنا إلى تفسير عِلّيّ.

لنقارن الآن هذا المثال بمثال آخر: لنفترض أنك سألتني: «لماذا يكون غدًا هو يوم الجمعة؟»، ثم أجبتك: «لأنّ اليوم هو

يوم الخميس»، فإنّ في الإمكان هنا أيضًا أن نضع هذه الإجابة على شكل حجة لها مقدمات ونتيجة، بحيث تشير المقدمات إلى حقيقة أن اليوم هو يوم الخميس في ظل التسلسل المتعارف عليه لأيام الأسبوع، وبحيث تشير النتيجة إلى حقيقة أن غدًا هو يوم الجمعة، وعندها نكون أمام تفسير محدد. تضمّن هذا التفسير سببًا لكون يوم غدٍ هو يوم الجمعة، وهو كون اليوم هو يوم الخميس، لكن على العكس من المثال السابق، لا يشير السبب هنا إلى عِلّة فاعلة يؤثر من خلالها طرف في الطرف الآخر بحيث يُحدث تغييرًا في حالته، وبالتالي، لسنا هنا أمام تفسير عِلّيّ.

مفهوم «السبب» مفهوم مجرّد ينتمي إلى عالم الذهن، في حين أنّ مفهوم «العِلّة» مفهوم مادّي ينتمي إلى العالم الخارجي. يُمكن الربط بين العالمين من خلال اللغة بحيث تشير الأفكار في عالم الذهن إلى الأشياء في العالم الخارجي، وبفضل هذا الربط يُمكن لمفهوم «السبب» أن يتضمّن مفهوم «العِلّة»، كما يمكن لمفهوم «التفسير» أن يشمل مفهوم «التعليل» (أو التفسير العِلّيّ). هذا يعني أنّ كل عِلّة هي سبب بالضرورة، لكن العكس غير صحيح، كما يعني أيضًا أنّ كل تعليل هو تفسير بالضرورة، لكن العكس غير صحيح. من هنا يتضح أن العلاقة الدلالية لمفهوم «التفسير» بمفهوم «العِلّيّة» هي علاقة اشتمال، لكن هناك من أنواع التفسير الأخرى التي لا تشير الأسباب فيها إلى عِلَل، كمثل التفسيرات الإحصائية والغائية والدياليكتية وغيرها.

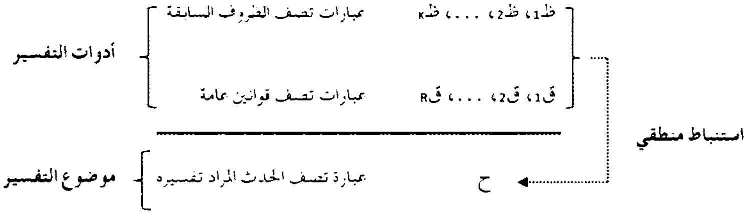
بعد هذه الإشارة الموجزة إلى بعض الفروقات بين مفهومي «السبب» و«العلّة»، إلى جانب الفروقات بين «التفسير» و«التعليل»، ننتقل الآن إلى الحديث حول أشهر نموذج من نماذج التفسير العلمي في فلسفة العلم الحديث.

12. 3. النموذج الاستنباطي-الناموسي

من حيث بُنيته الوظيفية، يتكوّن التفسير من جزأين: أدوات التفسير وموضوع التفسير. أما أدوات التفسير *explanantia* فهي عبارات تشير إلى كل ما نستعين به في تفسير حدث محدد، وأما موضوع التفسير *explanandum* فهو عبارة تشير إلى هذا الحدث المحدد والمُراد تفسيره. مثلًا، حين نفسّر سقوط حجر على الأرض من خلال الاستعانة بقانون الجاذبية، فإنّ العبارة التي تصف هذا القانون تقوم بوظيفة أداة التفسير، في حين تشير العبارة التي تصف سقوط القلم إلى موضوع التفسير. في عام 1948، نشر كلّ من كارل همبل Hempel وباول أوبنهايم Oppenheim ورقتهما الشهيرة حول بنية التفسير العلمي وحملت عنوان: «دراسات في منطق التفسير»[4]، حيث قدّما من خلالها ما عُرف فيما بعد باسم «النموذج الاستنباطي-الناموسي». سنعرض في ما يلي شرحًا موجزًا لهذا النموذج مع تبيان أهم ملامحه[5].

يهدف النموذج الاستنباطي-الناموسي إلى تبيان البنية المنطقية لنوع من التفسير العلمي، وهو التفسير المتعلق بحقائق محددة، مع

إمكانية تطبيق النموذج نفسه على حقائق عامة كما سنرى لاحقًا. بحسب هذا النموذج، تشير البنية المنطقية للتفسير العلمي إلى حجة استنباطية لها مقدمات تقوم بوظيفة أدوات التفسير، ولها نتيجة تقوم بوظيفة موضوع التفسير، بحيث يقتضي التسليم بصحة المقدمات القبول بصحة النتيجة المنبثقة منها. هناك نوعان من المقدمات ينبغي توافرهما في أي تفسير يخضع لهذا النموذج الاستنباطي-الناموسي: يشير النوع الأول إلى ما يسمى «الظروف السابقة»، وهي مجموعة من المعطيات التي تجسّدت على أرض الواقع إمّا قبل حدوث الظاهرة (أو الحدث المراد تفسيره)، وإمّا تزامنًا مع حدوثه، في حين يشير النوع الآخر من المقدمات إلى قانون (أو أكثر) من القوانين العلمية العامة. ما يلي هو المخطط العام للنموذج الاستنباطي-الناموسي[6]:



قبل تقديم مثال محدد لهذا النموذج المجرّد، سنوضح أولًا ما يحتويه هذا المخطط من رموز، مع التذكير بأن اختيار هذه الرموز على وجه التحديد مجرّد اختيار تواضعي وغير جوهري، إذ إنّ من الممكن اختيار رموز أخرى. يرمز الحرف «ظ» إلى أي عبارة تصف أحد الظروف السابقة، ويرمز الحرف «ق» إلى أي عبارة تصف أحد

القوانين العامة، ويرمز الحرف «ح» إلى العبارة التي تصف الحدث المراد تفسيره. هناك كما نلاحظ نوعان من المقدمات، وكل منهما على شكل سلسلة من العبارات، تبدأ سلسلة العبارات المرتبطة بالظروف السابقة بعبارة أولى يُرمز إليها بالرمز «ظ$_1$»، وتنتهي بآخر عبارة في السلسلة والتي يرمز إليها بالرمز «ظ$_K$»، وكذلك هي الحال مع سلسلة العبارات المتعلقة بالقوانين العامة، حيث يرمز «ق$_1$» إلى أول عبارة في السلسلة، ويرمز «ق$_R$» إلى آخر عبارة. أخيرًا، يشير الخط المتقطّع إلى عملية استدلال استنباطي ينتقل من مقدمات إلى نتيجة، أي إنه ينتقل في هذه الحالة من العبارات المتعلقة بالظروف السابقة والقوانين العامة إلى العبارة المتعلقة بالحدث المراد تفسيره. لعلّ القارئ قد لاحظ الآن سبب تسمية هذا النموذج بالنموذج الاستنباطي-الناموسي، فهو استنباطي نظرًا إلى طبيعة الاستدلال الذي يستند إليه، وهو ناموسي لاحتوائه ضمن مقدماته على قانون عام واحد على الأقل.

يورد همبل وأوبنهايم أمثلة لشرح نموذجهما الاستنباطي-الناموسي[7]، أحدها يشير إلى الترمومتر الزئبقي (أو مقياس الحرارة الزئبقي)، وهو عبارة عن أنبوب زجاجي يحتوي على سائل الزئبق. حين نغمر هذا الترمومتر بالماء الحار، ينخفض منسوب الزئبق داخل الأنبوب الزجاجي ثم يرتفع بسرعة بعد ذلك. نحن هنا أمام حدث محدد يتمثل في انخفاض مستوى سائل الزئبق داخل الأنبوب ثم ارتفاعه بعد ذلك، والتفسير العلمي لهذا الحدث هو كالتالي: في

البداية، تصل الحرارة إلى الأنبوب الزجاجي فيتعرّض للتمدّد، ومن شأن ذلك إتاحة مساحة أكبر لسائل الزئبق داخل الأنبوب ما يؤدي إلى انخفاض منسوبه. لكن عند وصول الحرارة لاحقًا إلى سائل الزئبق داخل الأنبوب، يتمدّد السائل بصورة أكبر من تمدّد الأنبوب الزجاجي نظرًا إلى أن معامل التمدد الحراري للزئبق أكبر من معامل التمدد الحراري للأنبوب الزجاجي، وهو الأمر الذي يؤدي إلى ارتفاع منسوب سائل الزئبق.

في هذا المثال البسيط، موضوع التفسير هو مضمون العبارة التالية: «انخفاض منسوب الزئبق ثم ارتفاعه بعد ذلك»، في حين أن أدوات التفسير تشير إلى نوعين من المقدمات: (1) سلسلة من العبارات المتعلقة بالظروف السابقة، مثل حقيقة أن الترمومتر الزئبقي يتكون من أنبوب زجاجي مملوء جزئيًّا بسائل الزئبق، ومثل حقيقة أن هذا الترمومتر غُمِر بالماء الحار، و(2) سلسلة من العبارات المتعلقة بقوانين عامة، مثل قانون التمدد الحراري لكل من الأنبوب الزجاجي وسائل الزئبق. العلاقة بين كلا النوعين من المقدمات من جهة، والنتيجة المنبثقة منهما من جهة أخرى، هي علاقة استدلال استنباطي، وبفضل هذه العلاقة أمكن لنا تفسير انخفاض منسوب سائل الزئبق ثم ارتفاعه، بمعنى أنّ توافر الظروف السابقة في ظلّ التسليم بصحة قانون التمدد الحراري يؤدي إلى هذا التغير في مستوى سائل الزئبق.

يذكر ويسلي سالمون Salmon أربعة شروط عامة ينبغي توافرها في

أي تفسير يتخذ من النموذج الاستنباطي-الناموسي شكلًا له: أولًا، ينبغي أن يتخذ التفسير شكل حجة استنباطية سليمة منطقيًّا. ثانيًا، ينبغي أن تكون مقدمات هذه الحجة ذوات محتوى إمبريقي. ثالثًا، ينبغي أن تكون المقدمات أيضًا صادقة. أخيرًا، ينبغي أن تتضمّن واحدة من المقدمات على الأقل قانونًا عامًّا[8]. تجدر الإشارة هنا إلى أنّ في الإمكان العثور على تفسير يحقق كل هذه الشروط الأربعة من دون أن يكون مع ذلك تفسيرًا علميًّا، وهذا ما سنراه لاحقًا حين نصل إلى استعراض المشكلات التي أثارها النموذج الاستنباطي-الناموسي في المبحث التالي، وأما هنا فسنكتفي بمتابعة استعراض الملامح العامة لهذا النموذج.

في عرضه التاريخي لنظرية التفسير العلمي في القرن العشرين، يشكو سالمون من الخلط الشائع عند بعض الباحثين بين النموذج الاستنباطي-الناموسي والطريقة الافتراضية-الاستنباطية[9]. سبق أن رأينا أنّ الهدف الجوهري من هذه الطريقة هو اختبار مدى صحة الفرضية من خلال فحص ما يترتب على التسليم بصحتها من تنبؤات، في حين أن الهدف الجوهري من النموذج الذي نحن الآن بصدده هو توضيح البنية المنطقية للتفسير العلمي لحدث محدد. يبدو لي أنّ هناك ثلاثة أسباب -على الأقل- لهذا الخلط الذي يشكو منه سالمون. أولًا، يتعامل النموذج الاستنباطي-الناموسي مع التفسير العلمي والتنبؤ العلمي بوصفهما وجهين لعملة واحدة، أي إنّ البنية المنطقية لكليهما واحدة، وأما الفرق بينهما فيكمن فقط

في توقيت النتيجة المنبثقة من المقدمات، فيأتي التفسير العلمي بعد وقوع الحدث المراد تفسيره، في حين يأتي التنبؤ العلمي قبل وقوعه. نظرًا إلى أن هذه البنية المنطقية هي نفسها في حالتي التفسير والتنبؤ، فمن الطبيعي أن يبرز الخلط بين النموذج الاستنباطي-الناموسي والطريقة الافتراضية-الاستنباطية. ثانيًا، هناك سبب أشدّ وضوحًا للخلط الشائع بينهما، وهو اعتماد كليهما على الاستدلال الاستنباطي. أخيرًا، هناك سبب أقلّ وضوحًا، لكنّه مع ذلك سبب يتضمّن بين ثناياه السببين السابقين، وهو أن النموذج الاستنباطي - الناموسي ليس سوى حالة خاصة من إحدى مقدمات الطريقة الافتراضية -الاستنباطية. لتوضيح هذه النقطة، سيكون من المفيد أن نتذكّر الشكل المنطقي لهذه الطريقة والذي سبق أن أشرنا إليه ونعيده فيما يلي:

مقدمة (1): (ف ^ أ) ← ت

مقدمة (2): ت

================

نتيجة: (ف ^ أ)

هذا هو الشكل المنطقي للطريقة الافتراضية-الاستنباطية عندما تشير التجربة إلى صحة التنبؤ (ت)، وهناك كما رأينا شكل منطقي آخر لهذه الطريقة حين تشير التجربة إلى عدم صحة هذا التنبؤ، لكن فيما يتعلق بالنقطة التي تهمنا هنا، لا يهمّ أي الشكلين نختار، ذلك أنهما يشتركان في المقدمة الأولى، ونعني بها (ف ^ أ) ← ت،

وسبق أن رأينا أنّ هذه المقدمة تفيد بأن التسليم بصحة الفرضية (ف) إلى جانب توابعها من افتراضات (أ) يستلزم التسليم بصحة التنبؤ (ت). علاقة الاستلزام هذه هي نفسها علاقة الاستلزام التي يعبّر عنها النموذج الاستنباطي-الناموسي، فليس هذا النموذج سوى تفصيل لهذه العلاقة الاستدلالية، ونظرًا إلى أنّ البنية المنطقية للتفسير والتنبؤ واحدة في هذا النموذج، يُمكن القول إنّ النموذج الاستنباطي-الناموسي حالة خاصة من إحدى مقدمات الطريقة الافتراضية-الاستنباطية، ليس عند استخدام النموذج بغرض التفسير بالطبع، بل فقط عند استخدامه بغرض التنبؤ.

بقي أن نشير إلى أن النموذج الاستنباطي-الناموسي لا يقتصر على توضيح البنية المنطقية لتفسير أحداث أو وقائع أو ظواهر محددة، بل يُمكن استخدامه أيضًا لتفسير حقائق عامة. مثلًا، وكما أشرنا في الفصل الأول عند تناولنا للعلاقة بين الفرضية والنظرية (المبحث 5.1)، قد تشير نتيجة التفسير العلمي إلى فرضية أو قانون، وقد تضم أدوات التفسير في هذه الحالة نظرية أو قانونًا أكثر تعميمًا من الفرضية أو القانون المراد تفسيره، كأن تُفسّر مثلًا قوانين كبلر بواسطة قوانين نيوتن، إذْ لا يوجد سقف أعلى لعملية اشتقاق أي قانون من قانون آخر أكثر تعميمًا[10].

12 . 4 . مشكلات النموذج

حظي النموذج الاستنباطي-الناموسي بقبول كبير بين أوساط المشتغلين في ميدان العلم وفلسفته، لكنه مع ذلك لم يخلُ من المشكلات التي نبّه إليها بعض النقّاد، ومن ضمنهم همبل نفسه. سنستعرض هنا ثلاثًا منها على وجه التحديد نظرًا إلى شهرة كل منها على حدة وتعبيرها مجتمِعة عن طبيعة الصعوبات التي واجهها هذا النموذج بشكل عام[11].

تتعلّق المشكلة الأولى بالعلاقة الزمنية بين أداة التفسير وموضوع التفسير في النموذج الاستنباطي-الناموسي، فالنموذج أخفق في ضبط الأسبقية الزمنية لأداة التفسير بالقياس إلى موضوع التفسير. لتوضيح هذه النقطة، يكفي أن نشير إلى المثال الشهير، المتعلق بخسوف القمر. حين نستخدم النموذج الاستنباطي-الناموسي لتفسير هذه الظاهرة الطبيعية، فإنّ في الإمكان الاستعانة بقائمة من الظروف السابقة على وقوع ظاهرة الخسوف، مثل مواقع الأجرام السماوية ذات العلاقة كالشمس والقمر والأرض، إلى جانب الاستعانة بقائمة من القوانين الفيزيائية التي تحدد حركة تلك الأجرام، وهاتان القائمتان هما كل ما يلزم لتوفير أداة التفسير التي من خلالها نستطيع استنباط ظاهرة خسوف القمر، وهي الظاهرة المراد تفسيرها، أي إنها تجسّد هنا موضوع التفسير. لكن في المقابل، في الإمكان أيضًا الاستعاضة عن قائمة الظروف السابقة لوقوع ظاهرة الخسوف

والاستعانة بدلًا منها بقائمة من الظروف اللاحقة، كأنْ نقوم مثلًا بحساب مواقع الشمس والقمر والأرض بعد حدوث الخسوف، مع الاستعانة أيضًا بقوانين الحركة نفسها، لتقديم تفسير لهذه الظاهرة بحسب النموذج الاستنباطي-الناموسي. لكن في هذه الحالة الأخيرة، كما يؤكد سالمون، من الصعب القول إننا أمام تفسير مقبول، ذلك أنه تفسير يعتمد على ظروف لاحقة على وجود ما يُراد تفسيره[12].

إلى جانب مشكلة القصور في ضمان الأسبقية الزمنية في النموذج الاستنباطي-الناموسي، هناك أيضًا مشكلة ذات صلة بما سبقها وتتعلق بالقصور في ضمان علاقة عِلّية وأحادية الاتجاه بين أداة التفسير وموضوعه. يشير المثال الشهير هنا إلى سارية العَلَم: حين نحدد مقدار ارتفاع سارية العَلَم وموقع الشمس، فإنّ هذه الظروف السابقة إلى جانب قانون انتشار الضوء في خطوط مستقيمة تكفي بوصفها أداة لاستنباط طول ظلّ سارية العَلَم على سطح الأرض، وبهذا يُمكن القول إنّ طول السارية هو عِلّة طول ظلّها. لكننا نستطيع أيضًا أن نجعل من طول الظل عِلّة لطول السارية، بحيث نستعين بالقانون الفيزيائي السابق إلى جانب موقع الشمس وطول ظل السارية لاستنباط طول السارية نفسها، وهنا أيضًا يصعب القول إنّ العِلّة وراء طول سارية العَلَم تكمن في طول ظلّها. نلاحظ هنا تشابهًا بين هذه المشكلة والمشكلة السابقة، فالأسبقية الزمنية تقتضي وجود علاقة لاتناظرية بين أداة التفسير

وموضوع التفسير، وبالمثل، مبدأ العلّية يقتضي أيضًا وجود علاقة لاتناظرية بين العلة والمعلول.

نأتي أخيرًا إلى المشكلة الثالثة التي أثارها النموذج الاستنباطي-الناموسي، وهي مشكلة نتاج إخفاق النموذج في ضمان وثاقة صلة أداة التفسير بالموضوع المراد تفسيره. المثال الشهير هنا هو المثال المتعلق بحبوب منع الحمل: حين يتناول أحد الذكور حبوب منع الحمل لفترة محددة، فإنّ في الإمكان استخدام النموذج الاستنباطي-الناموسي لتفسير العِلّة وراء حقيقة أن هذا الذكر لم يكن حاملًا خلال تلك الفترة، وذلك من خلال الاستعانة بكل من (1) حقيقة تناوله لحبوب منع الحمل خلال فترة محددة، و(2) حقيقة القانون العام الذي يشير إلى أن تناول أي شخص لحبوب منع الحمل يساهم في تجنّبه الحمل. بطبيعة الحال، لا يمكن القبول بهذا التفسير لسبب واضح ومباشر: ليست هناك صلة لتناول حبوب منع الحمل بعدم الحمل في هذه الحالة على وجه الخصوص. لعلّ القارئ هنا يلاحظ تشابهًا بين هذه المشكلة في النموذج الاستنباطي-الناموسي وتلك المرتبطة بمشكلة التأكيد التي سبقت مناقشتها في الفصل السابق (المبحث 3.11)، ونعني بها مفارقة همبل (أو مفارقة الغراب) التي تشير إلى عدم وجود علاقة بين الدليل والفرضية، ليس من حيث المنطق، بل من حيث الحسّ السليم فحسْب.

خاتمة الكتاب

كانت غاية هذا الكتاب هي تبيان الطبيعة الجوهرية للعلم، ولبلوغها مررنا بأربع مراحل: في المرحلة الأولى نظرنا في ماهية العلم بشكل عام، وفي المرحلة الثانية توقفنا عند الأدوات التي يستعين بها العلم على تحقيق أغراضه، وفي المرحلة الثالثة عدنا إلى الوراء للكشف عن جذور العلم في الحضارات القديمة، وفي المرحلة الأخيرة تأمَّلنا فلسفة العلم وما تتضمّنه من مشكلات. سنختتم هذا الكتاب بتقديم عُصارة كل مرحلة من هذه المراحل الأربع تِباعًا.

إنّ العلم، في جوهره، وسيلة لجني المعرفة، ولهذه المعرفة كما رأينا في الفصل الأول سمات تحدّد طبيعتها وتميّزها عن أي نوع آخر من أنواع المعرفة. تشير أبرز هذه السمات إلى ما تتّصف به المعرفة العلمية من منهجية وخضوع لمعيار قابليّة التحقق من مدى صحتها، إلى جانب اتّصافها أيضًا بالتراكميّة والنسبيّة والموضوعيّة.

يتجلّى اتّصاف المعرفة العلمية بالمنهجية في علاقة العلم بالمنطق من جهة، وعلاقته بالرياضيات من جهة أخرى، وأما خضوع هذا النوع من المعرفة لمعيار قابليّة التحقق فيتجلّى من خلال إجراء التجارب العلمية. هذا ما حاولنا تِبيانه في القسم الأول من هذا الكتاب، فالمنطق يحدّد الإطار العقلاني الذي يسعى العلماء ضمن حدوده إلى استنباط التنبؤات بعد رصد الملاحظات وابتداع الفرضيّات، والرياضيات تقدّم أبجديّات اللغة التي يستعين بها العلماء على قراءة ما يتوارى خلف الظواهر الطبيعية، وأمّا التجربة فتضع كل ما يدّعي العلماء اكتشافه من معرفة في محكّ الاختبار.

حين نتأمّل سمة التراكمية للمعرفة العلمية، فإنّنا نلاحظ جانبها الكمّي فحسب. هناك مع ذلك جانب كيفيّ لا يبدو جليًّا إلّا حين نفحص الجذور التاريخية للعلم في الحضارات القديمة. لا شك في ازدياد حجم المعرفة العلمية مع مرور الزمن، لكن حين نعود بالزمن إلى الوراء نلاحظ أنّ التراكم المعرفي العلمي بدأ بفعل دوافع عمليّة وغير علميّة، وأمّا دافع الفضول المعرفي الصرف فلم يكن ليظهر على السطح لولا الانتقال من الفكر الأسطوري إلى الفكر الفلسفي، وهذا ما حاولنا توضيحه من خلال القسم الثاني من هذا الكتاب.

نجحت الفلسفة في تحرير العلم من أغلال الأسطورة، لكنّ العلم -مع ذلك- ظلّ حبيسًا في إسار فلسفة أرسطو لقرون طويلة، وحتى مع ظهور الثورة العلمية في القرن السابع عشر لم يستطِع

العلم الحديث التحرّر كُليًّا من الإرث الأرسطي، ليس من حيث ميثودولوجيا العلم فحسب، بل من حيث إبستمولوجيا العلم أيضًا. هذا ما حاولنا التدليل عليه من خلال القسم الثالث والأخير من هذا الكتاب، رأينا بقايا طريقة التحليل والتركيب الأرسطية في فيزياء كلّ من نيوتن وديكارت على وجه الخصوص لا الحصر، وشهدنا صمود الإيمان باليقين العلمي إلى أواخر القرن التاسع عشر ومطلع القرن العشرين، ليؤدي كل ذلك إلى تعامل فلسفة العلم الحديث مع مشكلات شائكة مثل نسبية المعرفة العلمية وطبيعة الاستدلال العلمي وبُنية التفسير العلمي.

هوامش الكتاب

هوامش الفصل الأول

1. قارن هذه القائمة مع المفاهيم الأربعة لمصطلح «العلم» الواردة في (Sokal and Bricmont 1998: 190).

2. لعل هنا يكمن السبب في حقيقة أن مفهوم «الثورة العلمية» -من حيث أنه مفهوم يشير إلى انقلاب معرفي يُستبدل فيه نسق جديد بنسق قديم- لا مكان له في ميدان معرفي يُشجّع على التقليد بوصفه فضيلة علمية.

3. سنعود مجددًا إلى هذه النقطة بتفاصيلها في الفصل العاشر من هذا الكتاب.

4. (Popper 1945 (1962): 205, 2nd vol.).

5. (Bunge, 1967: 9).

6. انظر (Hempel 1966)، وقد ترجم هذا الكتاب وعلّق عليه جلال محمد موسى (انظر، همبل 1976).

7. ورد هذا التمييز بين سياق الاكتشاف وسياق التبرير في الكتاب الشهير الذي وضعه هانز رايخنباخ Reichenbach وحمل عنوان: «التجربة والتنبؤ» *Experience and Prediction*، انظر (Reichenbach 1938).

8. أشار ويسلي سالمون Wesley Salmon إلى هذين المثالين تحديدًا في كتابه

Logic، المنشور في نسخته الثانية في عام 1973، ص 10.

9. ستوقف في الفصل الرابع (المبحث 2.4) عند مفهوم «المتغير» وعلاقته بالتجربة العلمية.

هوامش الفصل الثاني

1. انظر (Ogden and Richards 1923: 11).

2. يفتقر كلا الاستخدامين إلى الدقة، ذلك أنّ المنطق معنيّ بعالم الوجود بالإمكان، وعالم الوجود بالإمكان يشمل عالم الوجود بالفعل ولا يقتصر عليه. هذا يعني أن كل شيء موجود بالفعل وجوده ممكن بالضرورة (أو «موجود بالقوة» بحسب التعبير الأرسطي)، لكن ليس ضروريًّا أنّ كل ما يُمكن وجوده يكون موجودًا بالفعل. من شأن المنطق أن يقرّر ما هو موجود بالإمكان، لكن ليس في وسع المنطق تحديد ما هو موجود بالفعل، فهذه مهمة العلوم الإمبريقية التي تختص بالشق المادي-الحسّي من عالم الوجود. حول أنطولوجيا المنطق، انظر (Cohen, 1960).

3. لا يخفى على المتأمّل في تاريخ المنطق أن «القضية» مفهوم جوهري وشائك. أمّا من حيث أن هذا المفهوم جوهري فيكفي أن نشير إلى أن «القضية» هي نواة ما يُعرف بالمنطق القضوي، كما أن عناصر بُنيتها الداخلية هي من ضمن عناصر بناء ما يُعرف بالقياس الأرسطي. أما من حيث أن «القضية» مفهوم شائك فليس أدلّ على ذلك من تباين المقاربات النظرية حولها وتعدد تعريفاتها، إلى جانب ارتباطها، بوصفها مفهومًا مجرّدًا، بعلاقات فلسفية شائكة مع مفاهيم أخرى لا تقلّ تجريدًا مثل «الصدق» و«المعنى». لا يعنينا هنا مدى دقة التعريف بقدر ما يعنينا الحد الأدنى من توضيح المفهوم.

4. لهذا السبب تسمى الجملة في (3) دالّة قضوية، أي إنها لا تعبّر عن قضية لاحتوائها على متغيّر أو أكثر، وبمجرد إسناد قيمة إلى هذا المتغير (أو

المتغيرات)، تستحيل الدالة القضوية إلى قضية محددة (حول مفهوم الدالّة، انظر الفصل الثالث، المبحث 3.3).

5. تجدر الإشارة هنا إلى أن زكي نجيب محمود هو من أوائل (إن لم يكن أوّل) من قدّموا الفرق بين القضية التحليلية والقضية التركيبية إلى القارئ العربي، ومع ذلك لا يملك المرء سوى أن يُدهش من طريقة عرض محمود لهذا الفرق، حيث شابها خلط كبير بين منطق برادلي Bradley المثالي والمنطق الحديث في الفلسفة التحليلية. يختلف تصوّر برادلي للقضايا وتقسيماتها عن التصوّر السائد في الفلسفة التحليلية، فعند برادلي التقسيم نسبي ومتدرّج بل متداخل، في حين أنه تقسيم نوعي ومطلق حسب التصور السائد في الفلسفة التحليلية. الجدير بالذكر أن برادلي نفسه يُحذّر القارئ من الخلط بين تصوّره الخاص والتصوّر التحليلي العام لتقسيم القضايا (انظر الهامش في Bradley 1883: 49)، وهو محقّ في هذا التحذير، ذلك أنّ برادلي يرى في جملة مثل: «عندي ألم في الأسنان» مثالًا على قضية تحليلية، وهي قطعًا ليست كذلك حسب معيار التقسيم السائد بين القضايا في الفلسفة التحليلية. رغم هذا التحذير، يخلط محمود بين فلسفة برادلي المثالية والفلسفة التحليلية في عرضه للتمييز بين القضايا التحليلية والقضايا التركيبية، وهو الخلط الذي أدّى إلى وقوعه في التناقض. فعلى سبيل المثال، في الصفحة 13 من كتابه المعنون «المنطق الوضعي»، يتبنّى محمود نظرة برادلي المثالية ليؤكد: «على أنّ تقسيم القضية إلى تركيبية وتحليلية أمر نسبيّ، وليس هو بالتقسيم المطلق، إذ قد تكون القضية الواحدة تحليلية بالنسبة لشخص وتركيبية بالنسبة لشخص آخر»، لكنه سرعان ما ينتقل بعد صفحات قليلة إلى تبنّي نظرة آير Ayer الوضعية ليؤكد على أن القضية التركيبية محتملة وبَعدية من حيث اعتماد صدقها على العالم الخارجي، في حين أن القضية التحليلية يقينية وقَبلية من حيث أنّ صدقها «لا يتوقّف على طبيعة عقولنا»، (ص 21). تجدر الإشارة هنا أيضًا إلى أنّ التقسيم السائد بين القضايا التحليلية والقضايا التركيبية

يحظى بقبول كبير في الفلسفة التحليلية بالرغم من الحجج القوية التي ساقها بعض المفكرين ضد هذا التقسيم، من أمثال كواين (Quine, 1951) أو وايت (White, 1950).

6. لاحظ أن جملة «الجو غائم وبارد» تشير منطقيًّا إلى جملة مركبة: «الجو غائم والجو بارد». لاحظ أيضًا أن لا سقف أعلى لحجم التركيب، إذ في وسعنا دائمًا، من حيث المبدأ، الربط بين أي قضية مركبة وأخرى إلى ما لا نهاية عن طريق استخدام أي رابط بين أي قضيتين.

7. هناك فرق بين القضايا التحليلية مثل: «الأخ الأصغر أصغر سنًّا من أخيه الأكبر»، وقضايا تحصيل الحاصل مثل: «إما أن يكون الجوّ باردًا أو لا يكون الجو باردًا». كلا النوعين من القضايا، كما ذكرنا، يشير إلى قضية صادقة دائمًا، وكلاهما أيضًا مرتبط بالمعنى. لكن بينما تكون القضية التحليلية صادقة استنادًا إلى معنى الكلمات التي تتألف منها الجملة، تكون قضية تحصيل الحاصل صادقة استنادًا إلى معنى الروابط المنطقية التي تشير إليها تعابير مثل: «إما.. أو..» وغيرها. يُمكن القول إنّ قضايا تحصيل الحاصل تعبّر عن حقائق منطقية، وهي قضايا تشير إلى حالة خاصة من القضايا التحليلية، أي إنّ كلّ قضية تعبّر عن حقيقة منطقية هي بالضرورة قضية تحليلية، لكن لا تعبّر كلّ قضية تحليلية بالضرورة عن حقيقة منطقية.

8. هذا ما يعرف بالقياس المنفصل.

9. من الممكن أيضًا ترجمتها إلى: «فقط إذا ص، س» أو «ص لأن س». ينبغي الملاحظة أيضًا أن كل القضايا التي لها الشكل المنطقي: «كل س هي ص»، يمكن ترجمتها إلى صيغة شرطية، فعلى سبيل المثال، القضية: «كل عربي بشر»، يُمكن ترجمتها إلى: «لكل س، إذا كان س عربيًّا، فإن س بشر».

10. ترددت هذه الفكرة كثيرًا عند عدد من كبار العلماء وفلاسفة العلم، من أمثال ريتشارد فايمن Feynman وكارل بوبر Popper.

هوامش الفصل الثالث

1. اختيار مثل هذا الحرف لا يعدو أن يكون مجرد عُرف من أعراف الكتابة الرياضية.

2. ينبغي التمييز بين ما نعنيه بالاستقراء في هذه الفقرة والاستقراء الرياضي. حين نقول إن الطريقة الاستقرائية لا تجدي نفعًا في التحقق من صحة المعادلة، فإننا نعني بالاستقراء هنا معناه العام، الذي يشير إلى أن عددًا لامتناهيًا من الأدلة على صحة قضية ما لا يكفي منطقيًّا لإثبات صدقها (انظر الفصل الحادي عشر، المبحث 1.11). أما الاستقراء الرياضي فلا يشير إلى استقراء في واقع الأمر، فكما هو معروف، ليس الاستقراء الرياضي سوى استدلال استنباطي. يمكن التعبير عن الاستقراء الرياضي بشكل عام على النحو التالي: إذا كانت هناك خاصية تنتمي إلى العدد 1، وإذا كان في استطاعتنا إثبات أن انتماء هذه الخاصية لأي عدد طبيعي n يقتضي بالضرورة انتماءها أيضًا إلى العدد الذي يليه $n+1$، فإن ما يترتب على ذلك هو أن هذه الخاصية تنتمي إلى كل الأعداد الطبيعية.

3. من الممكن أيضًا إثبات المعادلة نفسها بواسطة الاستقراء الرياضي.

4. اعتمدنا في هذا المبحث على ما جاء في الفصل الثالث من (Baber 2011).

5. الارتباط الوثيق بين مفهوم القيمة ومفهوم العدد له تاريخ ضارب في القِدم، حيث يرجع إلى بداية استخدام الإنسان للأعداد بغرض حساب المقادير، وكلمة «قيمة» تعني مقدار الشيء، كما في الآية: «وَتَعْرُجُ الْمَلَائِكَةُ والرُّوحُ إِلَيْهِ فِي يَوْمٍ كَانَ مِقْدَارُهُ خَمْسِينَ أَلْفَ سَنَةٍ»، كما أن القيم العددية تسمى «كميات» في الرياضيات، وهذا ما نجده أيضًا في لغات أخرى، مثل الإنكليزية «quantities» والإسبانية «cantidades».

6. تختلف دالة الجمع عمَّا سبق من دوال من حيث أنها تشير إلى الحالة الخاصة التي تستنفد الدالة فيها كل القيم المتاحة ضمن مداها؛ جميع القيم المحتملة

لدالة الجمع هي قيم فعلية، والسبب في ذلك أن كل عدد هو حاصل جمع عددين. ينطبق الأمر نفسه على دالة الفرق: $-(y, x)$.

7. أورد أرسطو هذه الحجج في كتابه «السماء والعالم»، وتحديدًا في الفصل الرابع عشر من المقالة الثانية. سنتوقف عند المنظور الأرسطي للكون في الفصل الثامن (المبحث 2.8).

8. لمزيد من التفاصيل، انظر الفصل العاشر (المبحث 4.10).

9. في حقيقة الأمر، لم يُعبر إقليدس عن المُسلمة الخامسة بهذه الصيغة، ولكنها مع ذلك صيغة مكافئة للصيغة الأصلية التي تتحدث عن خطين يقطعهما خط ثالث، ويرجع الفضل في ذلك إلى الرياضي البريطاني جون بلايفير Playfair، انظر (Playfair 1846: 29-30).

10. بطبيعة الحال، ليس اختيار هذه القيمة اعتباطيًّا، فلو عبّرنا عن كل عدد مُركب بزوج مُرتّب من عددين (a, b)، فإن الوحدة المتخيلة i تشير إلى الزوج المرتب من عددين حقيقين، الأول صفر، والثاني 1، أي، من اليسار إلى اليمين، (0,1)، بمعنى أننا أمام عدد مركب يساوي الجزء الحقيقي له صفرًا، ويساوي الجزء المتخيل له واحدًا. عندما نحسب نتيجة i^2، أي حاصل ضرب الزوج المرتب (0, 1) في نفسه، وذلك حسب المعادلة العامة التالية لأي زوجين مرتبين (a, b) و(c, d):

$$(a, b)\ (c, d) = (ac - bd, ad + bc)$$

فإننا نحصل على:

$$\begin{aligned}(0,1)\ (0,1) &= (0 \times 0 - 1 \times 1, 0 \times 1 + 1 \times 0)\\ &= (-1, 0)\\ &= -1\end{aligned}$$

هذا يعني أن: $i^2 = -1$

وبالتالي: $i = \sqrt{-1}$

11. لاحظ أن من السهل التعبير عن النتيجة في هذا المثال بالشكل الرياضي $a + b$، وذلك من خلال إضافة قيمة العدد الحقيقي a والتي تساوي صفرًا، وبالتالي: $\sqrt{(-25)} = 05+i$.

12. إنّ القول بأن المصفوفات لا تخضع لقانون التبادل المتعلق بعملية الضرب لا يعني بالضرورة أن كل عملية ضرب بين مصفوفتين هي عملية غير تبادلية. فعلى سبيل المثال، من المعروف أن عملية ضرب أي مصفوفة بالمصفوفة المعروفة باسم «مصفوفة الوحدة» هي عملية خاضعة لقانون التبادل، ومصفوفة الوحدة تقوم بدور شبيه بالدور الذي يقوم به العدد 1 في عملية الضرب التي تتضمن الأعداد الحقيقية.

هوامش الفصل الرابع

1. لكل مقياس خصائصه الخاصة في قياس النزعة المركزية، وجميعها تختلف باختلاف مدى ملاءمة كلّ منها لقياس النزعة المركزية في توزيع متغيّر محدد. لكن طبيعة المتغّير هي التي تحدّد المقياس الأنسب في كل حالة، مثلًا، حين لا يكون المتغيّر قابلًا للقياس الكمّي، فإن المنوال هو المقياس الأنسب لأن تردّد القيمة لا يقتصر على الأعداد، في حين أن المتوسط هو المقياس الأنسب حين يعبّر المتغير عن قيمة كميّة، ذلك أن عمليتي الجمع والقسمة المستخدمتين في حساب قيمة المتوسط لا معنى لهما من دون أعداد قابلة للجمع والقسمة. أما الوسيط فهو الأنسب للمتغيرات الرُّتبويّة.

2. حين يكون مجموع القيم عددًا زوجيًّا، تُحسب قيمة الوسيط باحتساب معدّل قيمة كل من العددين في وسط المجموعة، مثلًا، في المجموعة (5، 7، 9، 10)، الوسيط هو 8.

3. (Wheelan 2013).

4. يسمى هذا الإجراء «تصحيح بيسل»، ويهدف إلى تصحيح الانحياز في

الحساب التقديري للتباين والانحراف المعياري؛ كلاهما يستخدم المتوسط الحسابي للعيّنة، وقيمة هذا المتوسط مجرّد قيمة تقديرية للمتوسط الحسابي المجهول والخاص بالمجموعة الكلية التي أُخذت منها العينة.

5. تُستخدم درجة الحرية أحيانًا لتبرير الاختلاف في قيمة المقام بين معادلة حساب المعدّل ومعادلة حساب الانحراف المعياري لعيّنة، فعند حساب المعدّل، نحتاج إلى كل قيمة من قيم الفارق في وزن الجسم من دون استثناء، ذلك أن كل قيمة هي متغيّر مستقل وحقيقي لا بد من أخذه في الاعتبار لحساب المعدّل. لكن، في المقابل، عند حساب قيمة الانحراف المعياري، فإننا نعلم مسبقًا بقيمة المعدّل، وهذا يعني أنّ قيمة واحدة من ضمن قيم الفارق في وزن الجسم لا تشير إلى متغيّر حقيقي، ذلك أنّ في وسعنا الاستدلال على هذه القيمة من خلال القيم الأخرى للفروقات إلى جانب قيمة المعدّل. مثلًا، لو كنّا نعلم أن قيمة المعدّل تساوي 10، ونعلم كذلك أنّ هناك ثلاثة قيم حُسِب بموجبها هذا المعدّل، إحداها تساوي 5 وأخرى تساوي 9، فإنّ من الممكن الاستدلال على القيمة الأخيرة، 16، وهي قيمة ثابتة ولا تعبّر عن متغيّر مستقل وحقيقي. لهذا السبب، نستخدم $n - 1$ في حساب الانحراف المعياري عوضًا عن n كي لا نضيف قيمة لا تساهم في واقع الأمر في تحديد قيمة الانحراف المعياري.

6. ينبغي ملاحظة أنّ النوع الأول لا يتعارض مع التعريف الذي أوردناه فورًا لاختبار t، ذلك أن المقارنة في هذا النوع الأول هي بين متوسط العيّنة ومتوسّط المجموعة التي تنتمي إليها العيّنة، ونظرًا إلى أنّ كل عيّنة هي مجموعة بالضرورة، في حين أن ليس كل مجموعة هي عيّنة بالضرورة، فلا تعارض بين تعريف «اختبار t» والنوع الأول من هذا الاختبار.

7. بالنسبة إلى النوع الثاني من اختبار t، ينبغي أن تكون قيمة المتغيّر لعيّنة وقيمة المتغيّر للعينة الأخرى متساويتين أو متقاربتين، وما يعرف باسم «اختبار ليفين» يهدف إلى التحقق من ذلك.

8. هناك اختلاف بين الإحصائيين حول متى ينبغي الاستعاضة عن توزيع t بتوزيع z، فمنهم من يرى أنّ تجاوز حجم العيّنة مقدار 30 يكفي للتخلي عن توزيع t لصالح توزيع z، في حين أن آخرين لا يرون هذا الإجراء مبرّرًا.

9. أقصى درجة من عدم اليقين هي حينما تأتي نتيجة التجربة غير حاسمة بحيث لا تؤكد ولا تنفي صحة الفرضية، كأنْ تأتي، مثلًا، قيمة p بمقدار 0.05 بالضبط عند اختبار صحة الفرضية الصفرية ضمن نطاق ثقة بمقدار 95 ٪. أمّا أدنى درجة من عدم اليقين فتلك التي تأتي فيها نتيجة التجربة مؤكدة على صحة الفرضية بشكل مباشر أو غير مباشر، وسبق أن رأينا أن هامش عدم اليقين هنا نتيجة حقيقة منطقية تتعلق بمغالطة تأكيد التالي (الفصل الثاني). أخيرًا، حين تأتي نتيجة التجربة نافية لصحة الفرضية، فإن مصدر عدم اليقين لا يكمن في النتيجة نفسها، بل في ماهيّة العامل المسؤول عن هذه النتيجة السلبية. سنتوقف عند هذه الحالة الأخيرة بالتفصيل في الفصل الحادي عشر (المبحث 5.11) حين نستعرض ما تسمى «أطروحة دوهيم».

10. تتخذ العلاقة بين التجربة والنظرية أشكالًا عدّة، ولعل من المناسب هنا أن نورد ما يقوله إيان هاكينغ عن هذه العلاقة:

«بعض التجارب العميقة أُجريت برمّتها بفضل نظرية، وبعض النظريات العظيمة وُلدت من رحم تجارب سابقة على أي نظرية، وبينما تذبل بعض النظريات جرّاء افتقارها إلى انسجام مع معطيات الواقع، تقبع بعض نتائج التجربة معلّقة جرّاء افتقارها إلى نظرية.. (Hacking 1983: 154).

هوامش تمهيد القسم الثاني

1. ديورانت، «قصة الفلسفة»، ص 632.

2. ظل مصطلحا «الفيزياء» و«فلسفة الطبيعة» يشيران إلى المعنى نفسه حتى أواخر القرن التاسع عشر، انظر (Lindberg and Shank 2013:7).

3. على سبيل المثال، لا الحصر، يشير أرسطو في كتابه «السماء والعالم» إلى «المصريين والبابليين الذين أُحتفظ بمشاهداتهم للنجوم لزمن طويل، ومنهم إنما نستقي أدلتنا حول نجوم بعينها»، (DC 292a8-9).

هوامش الفصل الخامس

1. سنعتمد في عرضنا لتاريخ العلم القديم على مصادر عدة، أهمها البحوث الواردة في المجلّد الأول من سلسلة كامبردج لتاريخ العلم، انظر (Jones and Taub, 2018).

2. حين نشير إلى إنجازات البابليين، فإننا نقصد كل ما أُنجز على أيديهم أو على أيدي جيرانهم الآشوريين، أي كل ما أُنجز في سياق حضارة سومر التي كان البابليون والآشوريون امتدادًا لها.

3. كان استخدام البابليين للنظام الستيني مقصورًا في المجمل على علم الفلك الرياضي، انظر على وجه الخصوص (Neugebauer 1969: 17).

4. لعرض موجز حول حضارة بابل وإنجازاتها العلمية، انظر (Bryce 2016).

5. للتعرف على الجذور البابلية لكتاب بطليموس، انظر (Neugebauer, 1975).

6. انظر (Neugebauer 1969: 20).

7. عند التعبير عن الأعداد البابلية من خلال رموز نظامنا العشري، جرت العادة على استخدام الفاصلة بين خانة عددية وأخرى لإزالة أي التباس: فمثلًا، الأعداد 11 و61 و119 في نظامنا العشري يعبّر عنها في النظام الستيني: 11 و1,1 و1,59 على التوالي.

8. انظر برهان الدين دلو (1989: 413).

9. انظر (Geller 2018: 30).

10. انظر (Palmer 1986: 17).

11. لمعرفة مزيد من التفاصيل حول هذا الموضوع، انظر (Geller 2018: 40-44).

12. المصدر السابق، ص 54.

13. بحسب ما تؤكده الدراسات الحديثة، لا يمكن القطع بوجود دليل على معرفة رياضية عند الصينيين قبل الربع الأخير من القرن الثالث قبل الميلاد، كما أن ما جاء بعد تلك الفترة مباشرة لم يزِد على أن يشكّل أكثر من معرفة رياضية محدودة ومستخدمة في نطاق ضيق، انظر (Chemla, 2018: 553).

14. انظر (Nunn, 2018: 124-125).

15. انظر (Maas 2018).

16. انظر (Lo 2018).

17. انظر (Rochberg, 2018: 9).

18. هذه ترجمتي للفقرة المقتبسة الواردة في (Cullen, 2018: 602). كل ما يرد من اقتباسات أخرى من مصادر أجنبية سأقوم بترجمته إلى العربية مع إحالة القارئ إلى الهوامش بشأن مصدر الاقتباس في كل حالة.

19. انظر (Rochberg, 2018: 11).

20. وردت هذه الفقرة مقتبسة في المصدر التالي (Maas, 2018: 537).

21. انظر (Geller, 2018: 31).

22. انظر (Nunn, 2018: 125-126).

23. انظر (Rochberg, 2016: 281).

24. انظر (Rochberg, 2018: 16).

25. المصدر السابق، صفحة 19.

هوامش الفصل السادس

1. هوميروس شاعر إغريقي لا يُعرف كثير عن تفاصيل حياته، ولكن يرجّح المختصون أنه عاش في الفترة ما بين القرنين الثامن والسابع قبل الميلاد، وتُنسب إليه ملحمة «الإلياذة» وملحمة «ألأوديسة»، وأما هسيود فشاعر إغريقي يرجّح الباحثون أنه كان معاصرًا لهوميروس، ويرجع الفضل إلى هسيود في تدوين أغلب الأساطير الإغريقية من خلال كتابه الشهير *Theogonía* أو «أنساب الآلهة». للاطلاع على موقف فلاسفة الإغريق من الأساطير الإغريقية، انظر، على سبيل المثال، حوار سقراط مع إيوثفرو Euthyphro ضمن «محاورات أفلاطون»، وكذلك كتاب «جمهورية أفلاطون»، الصفحات من 508 إلى 520، ترجمة فؤاد زكريا.
2. هذا الاقتباس هو ترجمتي لما ورد في كتاب إيميل دوركايم Durkheim والذي حمل عنوان *Pragmatisme et Sociologie*، صفحة 88. انظر (Durkheim 1955).
3. انظر «الإلياذة»، ترجمة سليمان البستاني، صفحة رقم 735.
4. اعتمدنا في نقل بعض المعلومات الواردة في هذه الفقرة على (Fieser 2017).
5. يرجّح بعض الباحثين أن بداية تلك الأساطير الشفهية يرجع إلى نهاية العصر البرُنزي وبداية العصر الحديدي، أي حوالي 1580 قبل الميلاد، انظر (Sandywell, 1996: 53)، وهو المصدر الذي اعتمدنا عليه في المعلومات الواردة في هذه الفقرة.
6. انظر «جمهورية أفلاطون»، الصفحات من 508 إلى 520، ترجمة فؤاد زكريا.
7. انظر «جمهورية أفلاطون»، صفحة رقم 519، ترجمة فؤاد زكريا.
8. انظر (Durkheim, 1955: 88).

9. سنعتمد على عدة مصادر في سرد تاريخ هذه الحقبة، وبخاصة (Adamson, 2014) و(Lloyd, 1979).

10. وردت الإشارة إلى طاليس بوصفه «الحكيم الأول» في كتاب لارتيوس Laertius في نسخته المترجمة إلى الإنجليزية، *The Lives and Opinions of Eminent Philosophers*، انظر (Laertius 1853: 14). وضع لارتيوس كتابه هذا في القرن الثالث للميلاد ويعدّ المصدر الأول لأغلب ما كُتب عبر العصور حول فلاسفة الإغريق إلى يومنا هذا، كما أطلق ترتليانوس Tertullianus لقب «فيلسوف الطبيعة الأول» على طاليس، في حين أن لاكتانتيوس Lactantius وصفه بأنه أوّل من بحث عن أسباب طبيعية وراء نشأة الكون، انظر (Rodwell 1874: 14-15).

11. استنادًا إلى الأدلة التاريخية والفلكية، وقع الكسوف في يوم الثامن والعشرين من شهر مايو عام 585 قبل الميلاد، وقد ورد تنبؤ طاليس بهذا الكسوف في «تاريخ هيروتودوس» (Herodotus 1921: 91)، وفي الترجمة العربية، انظر (تاريخ هيرودوت، ص 64).

12. انظر (Russell 1946 [2004]: 35).

13. لا يعرف الباحثون الشيء الكثير عن طاليس، ومن القليل المعروف عنه هو أنه كان كثير الترحال، ولعلّ اختلاطه بالحضارات الأخرى ساهم إلى حدّ كبير في تأملاته الفلسفية في عالم الطبيعة، كما يشير المؤرخ الإغريقي هيرودوتس في تاريخه الشهير إلى الأصول الفينيقية لطاليس، انظر (Herodotus 1921: 213)، وفي الترجمة العربية، انظر (تاريخ هيرودوت، ص 110).

14. انظر (Adamson 2014: 13).

15. المصدر السابق، الصفحة نفسها.

16. انظر (Adamson 2014: 23-24).

17. المصدر السابق، ص 30.

18. يضاف إلى هذه القائمة ميليوس Melissus، آخر فلاسفة المدرسة الإيلية.

19. (Lloyd, 1979: 68).

20. (Morritt 2010: 67).

21. انظر (Sandywell 1996: 300).

22. انظر المصدر السابق، ص 298.

23. انظر (Lloyd 1979: 71).

24. انظر (Burton 2006: 103-104).

25. لعرض مستفيض حول تاريخ حساب التفاضل والتكامل وجذوره التاريخية، انظر (Boyer, 1949).

26. انظر (Laertius 1853: 364).

27. انظر، على سبيل المثال، (Guthrie 1965: 157).

28. انظر (Adamson 2014: 66).

29. انظر المصدر السابق، ص 58، وانظر أيضًا (Sandywell 1996: 366).

30. انظر (Sandywell 1996: 368-372).

31. انظر (Lloyd 1979: 141).

32. انظر (Sandywell 1996: 373).

33. انظر (Adamson 2014: 50).

34. انظر (Lloyd 1979: 233).

35. «محاورة فايدروس لأفلاطون أو عن الجمال»، ص 36، ترجمة أميرة حلمي مطر. لقراءة هذه الفقرة في نسختها الإنجليزية، انظر (Plato, 1961: 478).

36. انظر (Grote 1851: 439).

هوامش الفصل السابع

1. جمهورية أفلاطون، الصفحتان 419-420، ترجمة فؤاد زكريا.

2. في واقع الأمر، وكما يؤكد (Losee 1972: 25)، هذا ما كان يظنّه عديد من القدماء، لكن طريقة «الأكسيوماتيك» عند إقليدس لم تكن تخلو من عيوب، ولم تتخذ شكلها الناضج إلا في أواخر القرن التاسع عشر على يد الرياضي الألماني ديفيد هيلبرت Hilbert.

3. لا يُعرف على وجه التحديد هل غادر أرسطو أثينا بعد وفاة أفلاطون أو قبل وفاته، كما أن سبب مغادرته لم يزَل خاضعًا للتكهنات، منها: أنه لم يكن راضيًا عن إدارة ابن أخي أفلاطون للأكاديمية بعد وفاة هذا الأخير، ومنها أنه هرب قبل وفاة أفلاطون نظرًا إلى تزايد مشاعر الكراهية بين صفوف الأثينيين ضد أهل مقدونيا الذي ينتمي إليهم أرسطو، وذلك بعد احتلال الملك فيليب الثاني، ملك مقدونيا، لبعض المناطق المجاورة لمدينة أثينا، انظر (Lord 1984: xi-xx).

4. سبب التسمية بالمشائين لا يعود، كما هو شائع، إلى الزعم بأنّ أرسطو اعتاد المشي أثناء إلقاء محاضراته، بل يعود إلى ما اشتهر به المكان الذي كان أرسطو يُلقي فيه دروسه، وهو عبارة عن ممشى محاط من جانبيه بأعمدة مُغطاه من الأعلى، انظر (Lynch 1972: 73-74).

5. كمثال على حرص أرسطو على الاستفادة من جهد ما سبقوه، انظر إلى ما يقول في بداية الفصل الثالث من المقالة الأولى من كتابه الشهير «ما وراء الطبيعة»، فبعد تذكيره القارئ بأنه سبق أن ناقش ماهية العِلل الأربع التي دافع عنها في كتابه «الطبيعة»، يضيف أنْ لا بأس مع ذلك من الاستعانة بجهود من سبقوه من فلاسفة خاضوا في موضوع الوجود: «ومناقشتنا هنا لآرائهم سيفيد بحثنا هذا، فقد يرشدوننا إلى سببٍ غفلنا عنه، أو يجعلوننا نطمئن أكثر إلى صحة الأسباب التي لدينا»، انظر (Metaph. i. 3 983b1-5).

من جانب آخر، هناك من ينتقد أرسطو في عرضه لآراء الآخرين بل وإيهامه القارئ بأن نقده لآراء من سبقوه يجعل من رأيه الخيار الأفضل والوحيد. انظر، على سبيل المثال، (Lange 1925: 89).

6. حول مفهوم «الديالكتيك» وتطوّره ما بين فلسفتي أفلاطون وأرسطو، انظر (Fink, 2012).

7. انظر (Irwin 1988: 7-8).

8. كل إحالة مباشرة إلى أعمال أرسطو في أي نسخة أجنبية هي إحالة إلى نسخة (McKeon, 1941) لأعمال أرسطو الكاملة، ومع كل استثناء من هذه القاعدة سأحيل القارئ إلى النسخة المعنية، وفي جميع الحالات التي تتضمن اقتباسًا مباشرًا من أعمال أرسطو في أي نسخة أجنبية سأحيل القارئ إلى الترقيم الشهير والسائد الذي أعدّته أكاديمية برلين في منتصف القرن التاسع عشر.

9. القياس الأرسطي هو حجة استنباطية لها مقدمتان ونتيجة منبثقة منهما، بحيث تربط إحدى المقدمتين بين موضوع يشير إلى «الحد الأوسط» ومحمول يشير إلى «الحد الأعلى»، وتربط المقدمة الأخرى بين موضوع يشير إلى «الحد الأدنى» ومحمول يشير إلى «الحد الأوسط»، ثم تربط النتيجة أخيرًا بين الحد الأدنى والحد الأعلى. مثلًا: من المقدمتين: «كل البشر فانون»، و«كل الإغريق بشر»، نصل إلى نتيجة «كل الإغريق فانون»، حيث الحد الأدنى «الإغريق»، والحد الأعلى «فانون»، والحد الأوسط الذي يصل بينهما «بشر». يجسّد هذا المثال أحد الأنواع الأربعة للقياس الأرسطي، وقد عُرف لاحقًا باسم «باربارا»، وقد اعتبره أرسطو أهم نوع من أنواع القياس.

10. انظر (Lee 1935: 113).

11. انظر (An. Post. 87b20-25).

12. انظر (An. Post. 72a29-30).

13. انظر (An. Post. 78a21-25).

14. قارن مخطّطنا هنا مع المخطط الأشد بساطة في (Losee 1972: 6)، حيث لا إشارة إلى العوالم الثلاثة.

15. مثلًا، مفهوم «العدد 1» له امتداد في عالم الأشياء بحيث يشكّل مجموعة تنتمي إليها كل الأشياء التي تعبّر عن هذا المفهوم المجرّد: «تفاحة (واحدة)»، «بيت (واحد)»، «ولد (واحد)»، إلى آخره، وكذلك مفهوم «أنثى» له امتداد في عالم الواقع بحيث يشكّل مجموعة ينتمي إليها كل الأشخاص الذين يجسّدون هذا المفهوم المجرّد: «فاطمة»، «أُم»، «طبيبة»، إلى آخره. هنا تكمن أهمية التعريف في المنهج العلمي الأرسطي من حيث أنه يعقد علاقات تصنيفية حول الأجناس والأنواع لخلق مفاهيم تقوم بوظيفة الحدود في القياس الأرسطي.

16. انظر الفرق بين الاستنباط والاستقراء في الفصل التاسع (المبحث 1.9) من هذا الكتاب.

17. هذا ما يقوله أرسطو صراحة في آخر فقرة من كتاب «التحليلات الثانية (البرهان)»، وبالتالي فنحن هنا أمام مظهر من مظاهر تأثير فلسفة أفلاطون في فلسفة أرسطو. انظر أيضًا (Ross 1957: 85).

18. ترجم إسحق بن حنين كتاب «الطبيعة» لأرسطو ووضع له عنوان: «السماع الطبيعي»، ولمعرفة السبب وراء ذلك، انظر التصدير العام الذي وضعه عبدالرحمن بدوي لترجمة ابن حنين (ص 1)، وسنعتمد هنا عنوان: «الطبيعة».

19. يرى (Irwin 1988: 4) مع ذلك أن العناصر الأربعة (الماء والنار والتراب والهواء) تعدّ مثالًا على المبادئ الأولى، كما أنّ الاعتقاد الذي نصيغه لغويًا على شكل قضية للإشارة إلى وجود تلك العناصر الأربعة يُعدّ أيضًا مثالًا

على المبادئ الأولى.

20. هذه ترجمتي للفقرة الواردة في (Phys. i. 5. 188a26-29).

21. انظر (Phys. ii. 3. 194b18-19).

22. وردت هذه العبارة في الفصل الثامن من المقالة الثانية من كتاب أرسطو الذي حمل عنوان: «السماء والعالم»، وتحديدًا في (DC ii. 8. 189b26-27).

23. انظر (DC ii. 13 295a28-29).

24. انظر كتاب «السماع الطبيعي» ضمن سلسلة كتاب «الشفاء» لابن سينا، ص 48.

25. انظر تلخيص ابن رشد لكتاب أرسطو «الكون والفساد»، ص 29.

26. نظرًا إلى وجود تباين بين الترجمات الأجنبية والعربية الحديثة لكتاب «الطبيعة» من جهة، والترجمة التي قام بها إسحق بن حُنين (حقّقها وقدّم لها عبدالرحمن بدوي) من جهة أخرى، فإن إعادة صياغتنا لما ورد في المقالة الأولى من كتاب «الطبيعة» لأرسطو يعتمد على الترجمات الأجنبية مثل ترجمة Hardie and Gaye في (McKeon, 1941)، وكذلك ترجمة علي علي ناصف، للفقرة المذكورة عن الإنكليزية كما وردت في كتاب «فلسفة العلم»: «الصلة بين العلم والفلسفة»، ص 29. هناك أيضًا تباين في ترجمة ابن حنين نفسها من حيث التعبير عن المعنى الواحد بأكثر من لفظ، فعلى سبيل المثال، حين يشير أرسطو إلى ضرورة الانتقال من الأشياء التي تبدو معروفة وواضحة لنا إلى الأشياء التي تبدو أكثر وضوحًا وبدهية في ذاتها، يترجم ابن حنين هذا القول على النحو التالي: «ومن شأن الطريق أن يكون من الأمور التي هي أعرَفُ وأبينُ عندنا إلى الأمور التي هي أعرَفُ وأبينُ عند الطبيعة» (ص 3)، ويستعيض ابن حنين عن تعبير «عند الطبيعة» بتعبير «بالطبيعة» في مواضع (انظر، مثلًا، ص 78 من ترجمة ابن حنين)، وإلى تعبير «بالطبع» في مواضع أخرى (انظر، مثلًا، ص 361)، والحق أن

أرسطو نفسه يشرح ما يقصد بهذا التعبير في المقالة الثانية من الكتاب نفسه، والمقابل لهذا التعبير في الترجمة الإنكليزية هو «by nature» (انظر، Phys. ii. 1. 192b8-39).

27. انظر كتاب «الطبيعة»، (Phys. 184a18)، وللترجمة العربية لهذه الفقرة، انظر فيليب فرانك، «فلسفة العلم: الصلة بين العلم والفلسفة»، ص 29.

28. يثير مفهوم «الاستقراء» في المنهج الأرسطي جدلًا بين المتخصصين، ومع ذلك، لعلّ ما ذهب إليه روس Ross هو الأقرب إلى الصواب، وهو أن الاستقراء عند أرسطو متعدد المعاني، منها الاستقراء البسيط ومنها الاستقراء بوصفه إدراكًا حدسيًّا لما هو كلّي في الجزئيّات (انظر :Ross 1957 37). هناك أيضًا مَن ينكر وجود الاستقراء بمفهومه الحديث عند أرسطو (انظر، مثلًا، Ausland 2012: 224-250، وانظر أيضًا Hintikka, 2004).

29. يعيب لانغ Lange في كتابه عن «تاريخ المادية» على أرسطو طريقته في الوصول إلى المبادئ الأولى، حيث يؤكد على أنّ كل ما يفعله أرسطو في واقع الأمر هو أنه «يورد قليلًا من الحقائق المعزولة ثم ينتزع منها على الفور مبادئ عامة يلتزم بها التزامًا دوغمائيًّا من خلال معالجة استنباطية صرفة»، (Lange 1925: 88). يبدو لي هذا النقد غير موضوعي في ظل ما سبق أن أشرنا إليه عن الشروط التي يضعها أرسطو للتحقق من العثور على المبادئ الأولى.

30. انظر (DC 293a25-28).

هوامش الفصل الثامن

1. انظر (GC 334b31-34).

2. (Crombie 1959: 131).

3. الهيولي كلمة إغريقية (تعنى «الخشب») ودخلت اللغة العربية بمعناها الفلسفي («المادة» و«الأصل») إبَّان حركة الترجمة الشهيرة في تراثنا الإسلامي، وشكلت أحد المبادئ الأربعة عند أرسطو. للتعرف على كيفية استخدام أرسطو لكلمة «الهيولي»، انظر، على سبيل المثال، كتابه «الطبيعة»، ترجمة إسحق بن حنين، صفحة 64.

4. يشير أرسطو إلى أنّ الخصائص الأولية التي تكتسبها «المادة الأولى» (أو الهيولي) هي تلك المتعلقة بالأبعاد الثلاثة: الطول والعرض والارتفاع (انظر، Metaph. vii. 3 1029a12-15).

5. (Crombie 1953: 47).

6. للوقوف على عرض أرسطو لنظريته حول العلل الأربع، انظر الفصل الثالث من المقالة الثانية من كتاب «الطبيعة»، والفصل الثاني من المقالة الخامسة من كتابه «ما وراء الطبيعة». لقراءة عرض حديث ومبسط لهذه العلل، انظر «السببية عند أرسطو»، أندريا فالكون، ترجمة فهد راشد المطيري، مجلة «حكمة».

7. انظر (Phys. 198a20-25).

8. للوقوف على دفاع أرسطو عن مبدأ الغائية، انظر الفصل الثامن من المقالة الثانية من كتاب «الطبيعة»، حيث يختم أرسطو الفصل بتأكيده على خضوع الظواهر الطبيعية للعِلّة الغائية. لعل من الجدير هنا الإشارة أيضًا إلى ذهاب بعض الفلاسفة المسلمين إلى أبعد من أرسطو في دفاعهم عن الغائية (انظر، على سبيل المثال، دفاع ابن سينا عن مبدأ الغائية في «الإلهيّات»، الجزء الثاني، المقالة السادسة، الفصل الخامس).

9. انظر كتابه «السماء والعالم» *De Caelo*، ولتحليل مظاهر المنهج العلمي في هذا الكتاب، انظر (McCue, 1957).

10. انظر (Metaph. xii. 8 1073b36-40).

11. حول مفهوم «المحرّك الأول» ودفاع أرسطو عن أهمية وجوده، انظر الفصل السادس من المقالة الثانية عشرة من كتاب «ما وراء الطبيعة».

12. انظر (DC 270b20-24).

13. انظر (Prendergast 1975: 453).

14. ترجمتي الخاصة للتعريف الوارد في (Phys. 201a-10) من نسخة (McKeon, 1941). قارن مع ترجمة «إسحق بن حنين» (ص 171) من حيث التعبير التالي: «كمال ما بالقوة بما هو كذلك».

15. نظرًا إلى أن «علم الطبيعة»، كما يقول أرسطو: «يختص بدراسة المقادير المكانية والحركة والزمن»، وهذه كلها «إما لامتناهية أو متناهية»، يصبح لزامًا على «المتخصص في الفيزياء أن يناقش اللاتناهي ليتحقق مما إذا كان موجودًا بالفعل أم لا»، ثم يعرض أرسطو آراء من سبقوه من خلال أسلوبه الديالكتيكي كعادته قبل أن ينتقل إلى عرض حججه التي تشير إلى استحالة وجود اللامتناهي بالفعل، انظر (Phys. 202b28-34).

16. يعلّق ابن عُديّ في شرحه لهذه النقطة تعليقًا دقيقًا وجامعًا بقوله: «إذا كانت له (أي للمكان) ثلاثة أبعاد كان مُداخلًا لا مُحتويًا»، (انظر «الطبيعة»، ترجمة إسحق بن حنين، ص 328).

17. انظر (Phys. 212a18-19). يترجم ابن حنين التعريف الأرسطي لمفهوم المكان بقوله: «فنهاية الخط إذًا غير المتحركة الأولى هي المكان» (الطبيعة، ص 235).

18. انظر، على سبيل المثال لا الحصر، قول أرسطو إنّ كل حركة إما «أن تكون قَسْرًا وإمّا أن تكون بالطبع» (كتاب «الطبيعة» لأرسطو، ترجمة إسحق بن حنين، ص 361).

19. انظر (Falcon 2005: 55-57).

20. للمزيد حول مناقشة الحجج التي يسوقها أرسطو لإنكار «الخلاء»، انظر

(Falcon 2005: 338-401)، وانظر كذلك (Ross 1923: 89).

21. ترجمتي مع شيء من التصرّف لما يقوله أرسطو في (Phys. 249b29-33). انظر ترجمة ابن حنين (الطبيعة، صفحة 791).

22. انظر (Laird 2013: 415).

23. من الخطأ إخراج أي مفكّر من سياقه التاريخي وإدانته استنادًا إلى مسطرة غير ملائمة لا من حيث المنهج ولا من حيث الزمن، ولعل عدم إدراك هذه الحقيقة هو الذي دفع باحثًا عربيًّا في عام 2012 (لاحظ التاريخ) إلى وضع كتاب حمل عنوانًا غريبًا: «جنايات أرسطو في حق العقل والعلم»!

24. للتعرّف على التطور الفكري لأرسطو وإسهاماته الكبيرة في ميادين مختلفة، انظر (Jaeger, 1948).

25. انظر (Lloyd 1979: 118).

26. دلالة ذلك، كما يؤكد (Marmura 1990: 88)، هو أنّ الفارابي، وإنْ تبنّى النموذج الأفلاطوني للنظام السياسي، لم يلجأ إلى الديالكتيك الذي اتخذ منه أفلاطون منهجًا في «الجمهورية»، بل استعاض عنه بالبرهان الأرسطي.

27. بحسب رأي عبدالرحمن بدوي في تقديمه لكتاب «البرهان» لابن سينا، لم يُضِف ابن سينا جديدًا إلى ما سبق أن ذكره أرسطو. يبدو لي أن من الصعب نقض هذا الرأي، فالتأثير الأرسطي في ابن سينا بلغ من الشدّة حدّ التشابه في إيراد الأمثلة نفسها، فعلى سبيل المثال لا الحصر، في تدليله على أن الملاحظة الحسية المباشرة تبدأ بما هو مُركب أو «مُجمل» وتنتهي بما هو جزئي، يورد أرسطو مثال الطفل الذي «يتوهم في أول أمره على كل رجل يراه أنه أبوه، وعلى كل امرأة أنها أمّه، ثم بآخره يُميّز فيُحصّل كلّ واحد من هذين» («الطبيعة»، ترجمة إسحق بن حنين، ص 4)، وهو المثال عينه الذي نجده في «الشفاء» لابن سينا (انظر المقالة الأولى من كتاب «السماع الطبيعي» ضمن سلسلة كتاب «الشفاء»، ص 10). مع ذلك، قد نلتمس

شيئًا من الأصالة عند ابن سينا في مقاربته للعِلل الأربع عند أرسطو.

28. للاطلاع على دراسة مستفيضة حول نشأة علم الكلام وتأثير فلسفة أرسطو في ما لحق به من تطوّر، انظر (Wolfson, 1976).

29. انظر (DC 296b7-28).

30. لم يكُن هذا هو العنوان الأصلي للكتاب في الإغريقية، وإنما هو تعريب للعنوان الشائع والذي اشتهر به عند العرب، وكلمة «مجسطي»، وتعني «الأطروحة العظمى»، تعكس المقابل الصوتي لكلمة «الأعظم» في الإغريقية.

31. إذا استثنينا الأصول الفلكية الأرسطية، فإنّ بطليموس والبيروني والطوسي وابن الشاطر وغيرهم من علماء الفلك في الشرق والغرب كانوا مجدّدين في التفاصيل من دون شك، ومع ذلك فإنّ أصالة بطليموس تعرّضت لإعادة تقييم جذري بعد المجهود الكبير للرياضي ومؤرخ العلم الشهير النمساوي أوتو نيغباور Neugebauer، فإليه يرجع الفضل في إعادة الاعتبار إلى التراث العلمي في بابل وإثبات مدى استفادة بطليموس من هذا التراث، وللوقوف على الجذور الرياضية البابلية لكتاب بطليموس، انظر (Neugebauer, 1975).

32. انظر «القانون المسعودي»، الجزء الأول، المقالة الأولى، ص 25.

33. انظر (Alberuni 1910: 277).

34. انظر (DC 300b8-13).

35. انظر (Falcon 2005: 55).

36. انظر (Laird 2013: 414).

37. يحاكي هذا المثال المثال الوارد في المصدر السابق، مع تغيير المقادير لتبسيط المثال.

38. انظر (Laird 2013: 422).

39. (Crombie 1953: 212).

هوامش الفصل التاسع

1. انظر (Losee 1972: 81-83).
2. انظر (Milton 2011: 25-26)، وحول الفرق بين الاستقراء الاستبعادي والاستقراء التعدادي، انظر المبحث (1.9) من هذا الفصل.
3. لمزيد من التفاصيل حول فلسفة العلم عند بيكون، انظر (Broad, 1926).
4. (Mill 1886: 169). هذا لا يعني أنّ مِل يُنكر أي دور للاستدلال الاستنباطي في المنهج العلمي، انظر حول هذه النقطة (Losee 1972: 152-155).
5. لمعرفة تفاصيل هذا النقاش الشائق، انظر (Forster, 2011).
6. «حول الطرق الأربع للبحث التجريبي»، هذا هو عنوان الفصل الثامن من المقالة الثالثة في كتاب «نسق المنطق»، حيث يعرض مِل (1) طريقة الاتفاق، و(2) طريقة الاختلاف، و(3) طريقة المتغيرات المتلازمة، و(4) طريقة المتبقّيات، غير أنّ مِل يجمع أيضًا بين الطريقتين الأولى والثانية ليصل إلى طريقة خامسة تسمّى الطريقة المشتركة بين الاتفاق والاختلاف. تشترك هذه الطرق جميعها بعقد علاقة بين العلّة والمعلول بوصفها علاقة بين سابق ولاحق، ويؤكد مِل على إمكانية استخدام أيّ من هذه الطرق إما للاستدلال على العلّة وإمّا للاستدلال على المعلول. انظر (Mill 1886: 253).
7. سنعود إلى سياق الاكتشاف وسياق التبرير في المبحث التالي (4.9).
8. أحيل القارئ إلى (Wallace, 1996)، وبخاصة الفصل السادس لمزيد من التفاصيل.
9. يستخدم كونت كلمة *fictif*، ومعناها المباشر «خياليّ»، لكن يبدو لي أن

«خرافيّ» هو المعنى الأدق في سياق فلسفته الوضعية بشكل عام (انظر Comte 1830-1842 [1936] :22).

10. انظر (Comte 1896 [2000]:32- 31).

11. هذا ما يراه وليام ويويل في نقده لفلسفة لوك وأتباعه الفرنسيين في كتابه «فلسفة العلوم الاستقرائية»، انظر (Whewell 1847: 295-307)، وللاطلاع على نقده لفلسفة كونت الوضعية، انظر المصدر نفسه، الصفحات 320-333.

12. لا ينكر ماخ أن فلسفته حول العلم فلسفة وضعية، لكنه يؤكد على أنّه، على العكس من كونت، يرى أن «الحقائق السيكولوجية، بوصفها مصدرًا للمعرفة، لا تقل أهمية عن الحقائق الفيزيائية»، (Mach 1914: 46).

13. المصدر السابق، الصفحتان 27 و28، الهامش رقم 1.

14. انظر (Mach 1893: 493-494).

15. انظر المصدر السابق، ص 485.

16. لمعرفة التفاصيل حول حلقة فيينا، انظر (Frank, 1949)، وانظر أيضًا (Stadler, 2007).

17. هنا تحديدًا نلمح أثر فلسفة بيير دوهيم Duhem في تأكيدها على ضرورة ترجمة لغة الأرقام إلى لغة الملاحظة الملموسة، انظر المبحث (4.11).

18. انظر (Reichenbach 1938: 6-7).

19. انظر (Popper 1935[1959]: 7).

هوامش الفصل العاشر

1. هناك أيضًا اختلاف واضح بين القضية والموقف القضوي من حيث قيمة الصواب؛ قد أعتقد، مثلًا، أن الكويت دولة ديمقراطية ولا تكون الكويت

دولة ديمقراطية في واقع الأمر، وفي هذه الحالة، سأكون مخطئًا في اعتقادي من الناحية الواقعية، لكنّي لن أكون متناقضًا من الناحية المنطقية.

2. لهذا الاختلاف أيضًا علاقة بما سبق أن أشرنا إليه في الفصل الأول من هذا الكتاب، وتحديدًا ضمن حديثنا عن سمات المعرفة العلمية (المبحث 2.1)، حيث ذكرنا أنّ المعرفة العلمية نسبية من حيث مدى صحتها ومدى حجمها.

3. (Cohen and Nagel 1934: 173).

4. انظر، على سبيل المثال، (An. Post. 92a33-34)، وانظر أيضًا «مشكلة الاستقراء» في الفصل الحادي عشر من هذا الكتاب (المبحث 1.11).

5. نلاحظ هنا نوعين من المعرفة العلمية من المنظور الأرسطي: معرفة نتاج تأمّل الجزئيات للوصول عن طريق الاستقراء الحدسي إلى الكُليّات أو الصور الكامنة وراءها، ومعرفة نتاج استنباط يستخدم المعرفة السابقة لينتقل من إدراك حقائق الواقع إلى إدراك أسبابها.

6. تعتمد عملية التحليل أيضًا على تصنيف معطيات الواقع إلى أجناس يضم كل جنس منها أنواعًا خاصة به، ثم صياغتها في عبارات تقوم بوظيفة المقدمات في البرهان العلمي، مثل: «كل إنسان حيوان»، حيث «حيوان» هو الجنس، و«إنسان» هو النوع.

7. انظر كتابه «البرهان»، ص 192.

8. انظر المصدر السابق، ص 48.

9. انظر (Bunge 1979: 231, ft. 13).

10. انظر (Detlefsen, 1996).

11. في ميدان الرياضيات، ساهم اكتشاف الهندسة اللاإقليدية في بروز مواقف متباينة في فلسفة الرياضيات حول طبيعة المعرفة الرياضية، إذْ لا يمكن فهم

منطق فريجه أو حدسيّة بروير أو مشروع هيلبرت وراسل وآخرين بعيدًا عن فلسفة كانط والهندسة اللاإقليدية. للمزيد حول هذه النقطة، انظر (Detlefsen, 1996).

12. (Einstein, 1954: 233).

13. المصدر السابق، الصفحة نفسها. قارن إجابة ألبرت أينشتاين مع ما ذكره هنري بوانكاريه حول هذا الموضوع في (Poincaré, 1905 [1958]: 20).

هوامش الفصل الحادي عشر

1. انظر (Milton 2011: 9-10).
2. انظر (Hume 1748 [2007]18).
3. انظر المصدر السابق، الصفحتان 19 و20.
4. انظر (Hume 1748 [2007]: 21).
5. انظر المصدر السابق، الصفحات 39 و40.
6. انظر (Hume 1748 [2007]: 27).
7. انظر (Broad 1926: 67).
8. يرى بعض الباحثين أن الجذور التاريخية للطريقة الافتراضية-الاستنباطية تكمن في حوارات أفلاطون (انظر Nola and Sankey 2007: 170)، لكن باحثين آخرين، مثل: (Shapiro, 1989)، يرجعون الفضل إلى الفيزيائي الهولندي كريستيان هويغنز Huygens في أول إشارة إلى الطريقة الافتراضية - الاستنباطية بوصفها الطريقة المُثلى للمنهج العلمي، وهذا ما نجده في مقدمة كتابه حول ظاهرة الضوء (Huygens, 1690). كان هويغنز ديكارتيًّا، لكنه رفض التصوّر الديكارتي للمنهج العلمي، تحديدًا، رفض هويغنز (1) معياريْ الوضوح والتمييز لتبرير صحة المبادئ الأولى للعلم، و(2) إمكانية

الوصول إلى يقين علمي (انظر Shapiro, 1989). كان هويغنز معاصرًا لنيوتن، واشترك الاثنان في رفض (1)، وأما بالنسبة إلى (2)، فلم يتخلّ نيوتن عن إيمانه بإمكانية الوصول إلى يقين علمي إلّا في وقت متأخر من حياته (Shapiro 1989: 225).

9. (Hempel 1965: 15).

10. من ضمن أبرز رُوّاد المنحى المنطقي الفيلسوف الإنكليزي جون كينز والفيلسوف الألماني رودلف كارناب، في حين أن الفيلسوف الألماني هانز رايشنباخ هو رائد المنحى الإحصائي. إلى هذا المنحى الأخير ينبغي أيضًا أن نضيف الرياضييْن الإنكليزي فرانك رامزي والإيطالي برونو دي فينيتّي، فإلى كليهما يرجع الفضل في هيمنة المقاربة البيزيانية على أدبيّات الاستدلال العلمي في فلسفة العلم الحديث.

11. انظر (Keynes 1921: 52).

12. ما لم نحدد مرجعًا آخر من مؤلفات كارل بوبر، فكل ما يلي من عرض لأفكار بوبر نجده في المرجعين التاليين من مؤلفاته: (Popper[1959] 1935) و(Popper, 1963).

13. انظر (Popper 1976: 42). يبدو هذا واضحًا أيضًا في نقد بوبر لفلسفة أفلاطون من جانب، وأفكار كل من ماركس وفرويد من جانب آخر. انظر، على وجه الخصوص، (Popper, 1945)، وكذلك (Popper, 1961).

14. انظر (Popper 1976: 39).

15. انظر (Salmon 1966: 26-27).

16. انظر المصدر السابق.

17. كان دوهيم هو المسؤول عن تدشين ميدان تاريخ العلم في القرون الوسطى من خلال سلسلة المجلدات الضخمة التي خطّها (ومات قبل أن يُنهيها مع الأسف) حول تاريخ العلم (انظر، Duhem 1913-1959)، وكان

لها تأثير واضح في ظهور دراسات تاريخية متعددة في النصف الثاني من القرن العشرين، لعلّ أبرزها تلك المرتبطة بتأكيد الاستمرارية التاريخية بين العلم القروسطي والعلم الحديث بشكل عام، مثل الدراسات التي قام بها كرومبي وآخرون، وتلك المرتبطة بفيزياء جاليليو جاليلي على وجه الخصوص، مثل: (Koyré 1978)، و(Drake 1978)، و(Wallace 1984).

18. انظر (Duhem 1914 [1991])، وبخاصة الفصل السادس من الجزء الثاني.

19. انظر (Duhem 1914 [1991]: 185).

20. المصدر السابق، ص 133.

21. (Duhem 1914 [1991]: 134).

22. المصدر السابق، الصفحة نفسها.

هوامش الفصل الثاني عشر

1. انظر (Zilsel 2003: 96-122).
2. انظر (Bunge 1979: 226-227).
3. يرى ماريو بنخي Bunge أن التفسير العِلّي يندرج تحت مظلة التفسير العلمي بشكل عام (Bunge, 1979)، ونتبنّى هنا هذا الرأي.
4. انظر (Hempel and Oppenheim 1948).
5. يعتمد الشرح التالي على ما جاء في (Salmon, 1989).
6. انظر (Salmon 1989: 13).
7. انظر (Hempel and Oppenheim 1948: 135-136).
8. وردت هذه الشروط الأربعة في (Salmon 1989: 12).
9. (Salmon 1989: 7). لا يورد سالمون أمثلة على هذا الخلط، لكن ليس من

العسير العثور على مثال، في محاولة فلسفية تأصيلية لمقاربة تشومسكي اللسانية، يقع الفرنسي بول أغريه Egré في هذا الخلط بين النموذج الاستنباطي-الناموسي والطريقة الافتراضية-الاستنباطية، انظر (Egré 2018: 687-688).

10. حول هذه النقطة وأهميتها من الناحية الإبستمولوجية، انظر (Bunge 1967: 7).

11. للمزيد عن هذه المشكلات ونقاشها بالتفصيل، انظر (Salmon, 1989)، وهو المصدر الذي نعتمد عليه في هذا العرض لمشكلات النموذج الاستنباطي - الناموسي.

12. المصدر السابق، ص 46. يؤكد سالمون هنا أيضًا أن همبل كان أول من انتبه إلى هذا القصور في نموذجه التفسيري، لكن من دون أن يعقّب عليه.

مكتبة
t.me/soramnqraa

المراجع

المراجع العربية

- ابن رشد، ([1991])، *جوامع الكون والفساد*، تحقيق أبو الوفا التفتازاني وسعيد زايد، الهيئة المصرية العامة للكتاب، القاهرة.
- ابن سينا، ([1960])، *الإلهيات*، تحقيق الأب قنواتي وسعيد زايد، الهيئة العامة لشؤون المطابع الأميرية، القاهرة.
- ابن سينا، ([1966])، *البرهان*، تحقيق وتقديم عبدالرحمن بدوي، دار النهضة العربية، القاهرة.
- ابن سينا، ([1983])، *السماع الطبيعي*، تحقيق سعيد زايد، الجزء 1، الهيئة المصرية العامة للكتاب، القاهرة.
- **أرسطو**، ([1984])، *الطبيعة*، ترجمة إسحق بن حنين، تحقيق وتقديم عبدالرحمن بدوي، الهيئة المصرية العامة للكتاب، القاهرة.
- **أفلاطون**، ([2004])، *جمهورية أفلاطون*، دراسة وترجمة فؤاد زكريا، دار الوفاء، الإسكندرية.

- **أفلاطون**، ([2000])، *محاورة فايدروس لأفلاطون أو عن الجمال*، ترجمة أميرة حلمي مطر، دار غريب، القاهرة.
- **البيروني**، ([2002])، *القانون المسعودي*، تحقيق عبدالكريم سامي الجندي، الجزء 1، دار الكتب العلمية.
- **الخولي**، يمنى طريف، (2000)، *فلسفة العلم في القرن العشرين*، سلسلة عالم المعرفة: 264، الكويت.
- **دلّو**، برهان الدين، (1989)، *حضارة مصر والعراق*، دار الفارابي، بيروت.
- **ديورانت**، وِل، (1988)، *قصة الفلسفة*، ترجمة فتح الله محمد المشعشع، منشورات مكتبة المعارف، بيروت.
- **فالكون**، أندريا، (2020)، «السببية عند أرسطو»، ترجمة فهد راشد المطيري، موسوعة ستانفورد، منشورات مجلة حكمة.
- **فرانك**، فيليب، (1983)، *فلسفة العلم: الصلة بين العلم والفلسفة*، ترجمة علي علي ناصيف، المؤسسة العربية للدراسات والنشر.
- **محمود**، زكي نجيب، (1951)، *المنطق الوضعي*، مكتبة الأنجلو المصرية، القاهرة.
- **همبل**، كارل، (1976)، *فلسفة العلوم الطبيعية*، ترجمة وتعليق جلال محمد موسى، دار الكتاب المصري، القاهرة.
- **هوميروس**، ([2011])، *الإلياذة*، ترجمة سليمان البستاني، كلمات عربية للترجمة والنشر، القاهرة.
- **هيرودوت**، ([2001])، *تاريخ هيرودوت*، ترجمة عبدالإله الملاح، المجمع الثقافي، أبو ظبي.

المراجع الأجنبية

- **Adamson**, P. (2014). *Classical Philosophy: a history of philosophy without any gaps*, vol. I, Oxford University Press.
- **Alberuni** (]1910[). *Alberuni's India*, translated by E. C. Sachaw, vol. 1, London: Kegan Paul.
- **Ausland**, H. W. (2012). "Socratic induction in Plato and Aristotle," in J. L. Fink (ed.), *The Development of Dialectic from Plato to Aristotle*. Cambridge: Cambridge University Press, pp. 224-250.
- **Baber**, R. L. (2011). *The Language of Mathematics: Utilizing Math in Practice*, Wiley Publication.
- **Boyer**, C. B. (1949). *The History of the Calculus and its Conceptual Development*, Dover Publications, New York.
- **Bradley**, F. H. (1883). *The Principles of Logic*, London: Elibron Classics.
- **Broad**, C. D. (1926). *The Philosophy of Francis Bacon*, Cambridge: Cambridge University Press.
- **Bryce**,T. (2016). *Babylonia A Very Short Introduction*. Oxford: Oxford University Press.
- **Bunge**, M. (1967). *Scientific Research II: the Search for Truth*. Springer-Verlag, Berlin.
- **Bunge**, M. (1979). *Causality and Modern Science*, Dover Publications, New York.
- **Burton**, D. M. (2006). *The History of Mathematics: an introduction*, sixth edition, McGraw-Hill, New York.
- **Cohen**, M. R. (1960). *A Preface to Logic*, Oxford & IBH Publishing Co.
- **Cohen**, M. R. and E. **Nagel** (1934). *An Introduction to Logic and Scientific Method*, New York: Harcourt, Brace.

- **Comte**, A., (1830-1842 [1936]). *Cours de philosophie positive*, 1re et 2e leçons, Paris: Librairie Larousse, Collection Classiques Larousse.
- **Comte**, A. (1896 [2000]). *The Positive Philosophy of Auguste Comte.* Freely translated and condensed by Harriet Martineau, Batoche Books, Kitchener, *Vol.* 1.
- **Crombie**, A. C. (1953). *Augustine to Galileo: The History of Science A.D. 400-1650*, Cambridge, MA: Harvard University Press.
- **Crombie**, A. C. (1959). *Medieval and Early Modern Science*, vol. 1, Doubleday Anchor, New York.
- **Cullen**, C. (2018). "Chinese Astronomy in the Early Imperial Age: A Brief Outline," in A. Jones and L. Taub (eds.), *The Cambridge History of Science*, Vol. 1, Cambridge: Cambridge University Press, pp. 595-616.
- **Chemla**, K. (2018). "Mathematical Knowledge and Practices from Early Imperial China until the Tang Dynasty," in A. Jones and L. Taub (eds.), *The Cambridge History of Science*, Vol. 1, Cambridge: Cambridge University Press, pp. 553-573.
- **Detlefsen**, M. (1996). "Philosophy of Mathematics in the Twentieth Century," in S. G. Shanker (ed.), *Philosophy of Science, Logic and Mathematics in the Twentieth Century*, Routledge: London and New York, pp. 50-123.
- **Drake**, S. (1978). *Galileo at Work: His Scientific Biography.* Chicago-London: The University of Chicago Press.
- **Duhem**, P. (1913-1959). *Le système du monde, histoire des doctrines cosmologiques de Platon à Copernic*, 10 vols, Paris: Hermann.
- **Duhem**, P. (1914]1991[). *The Aim and Structure of Physical Theory*, Princeton University Press.
- **Durkheim**, E. (1955). *Pragmatisme et Sociologie*, J. Vrin, Paris.

- **Einstein**, A. (1954). *Ideas and Opinions*, Crown Publishers, New York, USA.
- **Egré**, P. (2018). "Philosophy of Linguistics," in A Barberousse, D. Bonnay & M. Cozic (eds), *The Philosophy of Science: a companion*, Oxford University Press, pp. 654-726.
- **Falcon**, A. (2005). *Aristotle and the Science of Nature: Unity without Uniformity*. Cambridge: Cambridge University Press
- **Fieser**, J. (2017). *The History of Philosophy: A Short Survey*. New York: McGraw Hill.
- **Fink**, J. L. (ed.), (2012). *The Development of Dialectic from Plato to Aristotle*. Cambridge: Cambridge University Press.
- **Forster**, M. (2011). "The Debate between Whewell and Mill on the Nature of Scientific Induction," in D Gabbay, J Woods & S Hartmann (eds), *Handbook of the History and Philosophy of Logic*, vol. 10, Inductive Logic, North-Holland Publishing Co (Elsevier Science & Technology), Amsterdam, pp. 93-116.
- **Frank**, P. (1949). *Modern Science and its Philosophy*, Harvard University Press.
- **Geller**, M. J. (2018). 'Babylonian Medicine as a Discipline', in Jones, A. and Taub, L. (eds.) *The Cambridge History of Science*, Vol. 1: Ancient Science, pp. 29-57.
- **Grote**, G. (1851). *History of Greece*, Vol. I, Boston: John P. Jewett & Company.
- **Guthrie**, W. K. C. (1965). *A History of Greek Philosophy: The Presocratic Tradition from Parmenides to Democritus*, Vol. II, Cambridge University Press.
- **Hacking**, I. (1983). *Representing and Intervening: Introductory Topics in the Philosophy of Natural Science*, Cambridge University Press.
- **Hempel**, C. and P. **Oppenheim** (1948). "Studies in the Logic of

Explanation," *Philosophy of Science* 15, pp. 135-175.

- **Hempel**, C. (1965). *Aspects of Scientific Explanation and Other Essays in the Philosophy of Science*, London: Collier-Macmillan Limited.
- **Hempel** C. (1966). *Philosophy of Natural Science*, NJ: Prentice Hall.
- **Herodotus**, (]1921[). *Histories*, A.D. Godley (ed.), vol. 1, Loeb Classical Library, London; New York.
- **Hintikka**, J. (2004). *Analyses of Aristotle*. Dordrecht: Kluwer.
- **Hume**, D. (1748 [2007]). *An Enquiry Concerning Human Understanding*, Oxford University Press.
- **Huygens**, C. (1690). *Traité de la Lumière*, Leiden: Pieter van der Aa.
- **Irwin**, T. (1988). *Aristotle's First Principles*, Oxford: Clarendon Press.
- **Jaeger**, W. (1948). *Aristotle: Fundamentals of the History of his Development*, second edition, Oxford: Clarendon Press.
- **Jones**, A., & **Taub**, L. (Eds.). (2018). *The Cambridge History of Science*, Vol. 1, Cambridge: Cambridge University Press.
- **Keynes**, J. M. (1921). *A Treatise on Probability*, London: Macmillan.
- **Koyré**, A., (1978). *Galileo Studies*, Atlantic Highlands, N.J.: Humanities Press.
- **Laertius**, D. (1853). *The Lives and Opinions of Eminent Philosophers*, translated by C. D. Yonge, London.
- **Laird**, W. R. (2013). "Change and Motion," in D. Lindberg and M. Shank (eds.), *The Cambridge History of Science* (The Cambridge History of Science). Cambridge: Cambridge University Press, pp. 404-435.
- **Lange**, F. A. (1925). *The History of Materialism*. New York: Harcourt, Brace, 3 vols.

- **Lee**, H. D. P. (1935). "Geometrical Method and Aristotle's Account of First Principles," *The Classical Quarterly* 29: 2, pp. 113-124.
- **Lindberg**, D., & **Shank**, M. (2013). *The Cambridge History of Science* (The Cambridge History of Science). Cambridge: Cambridge University Press.
- **Lloyd**, G. E. R. (1979). *Magic, Reason and Experience*, Cambridge: Cambridge University Press.
- **Lo**, V. (2018). "Medicine and Healing in Han China," in in A. Jones and L. Taub (eds.), *The Cambridge History of Science*, Vol. 1, Cambridge: Cambridge University Press, pp. 574-594.
- **Lord**, C. (1984). *Aristotle's Politics*, Chicago: University of Chicago Press.
- **Losee**, J. (1972). *A Historical Introduction to the Philosophy of Science*, Oxford University Press.
- **Lynch**, J. (1972). *Aristotle's School*: a study of a Greek educational institution. University of California Press, Berkeley, CA.
- **Maas**, P. A. (2018). "Indian Medicine and Ayurdeva," in A. Jones and L. Taub (eds.), *The Cambridge History of Science*, Vol. 1, Cambridge: Cambridge University Press, pp. 532-550.
- **Mach**, E. (1893). *The Science of Mechanics*, Cambridge University Press.
- **Mach**, E. (1914). *The Analysis of Sensations*, Chicago & London: The Open Court Publishing Company.
- **Marmura**, M. E. (1990). "The Fortuna of the *Posterior Analytics* in the Arabic Middle Ages," in M. Asztalos, J. E. Murdoch, and I. Niiniluoto (eds.), *Knowledge and the Sciences in Medieval Philosophy*, vol. 1, Helsinki: Yliopistopaino, pp. 85-104.
- **McCue**, J. F. (1957). "Scientific Method in Aristotle's De Caelo, I, I-II, VI," Master's Theses. Paper 1419. http://ecommons.luc.edu/luc_theses/1419.

- **McKeon**, R. (ed.), (1941). *The Basic Works of Aristotle*, New York: The Modern Library.
- **Mill**, J. S. (1886). *System of Logic*, London: Longmans, Green & Co.
- **Milton**, J. R. (2011). "Induction before Hume," in D Gabbay, J Woods & S Hartmann (eds), *Handbook of the History and Philosophy of Logic*, vol. 10, Inductive Logic, North-Holland Publishing Co (Elsevier Science & Technology), Amsterdam, pp. 1-42.
- **Morritt**, R. D. (2010). *Echoes from the Greek Bronze Age: An Anthology of Greek Thought in the Classical Age*, Cambridge Scholars Publishing.
- **Neugebauer**, O., (1969). *The Exact Sciences in Antiquity*. Reprint of 2nd Edition. New York: Dover.
- **Neugebauer**, O. (1975). *A history of ancient mathematical astronomy*. Berlin.
- **Nola**, R. and H. **Sankey**. (2007). *Theories of Scientific Method*, Stocksfield: Acumen.
- **Nunn**, J. (2018). "Egyptian Medicine," in A. Jones and L. Taub (eds.), *The Cambridge History of Science*, Vol. 1, Cambridge: Cambridge University Press, pp. 120-130.
- **Ogden** C. K. and I. A. **Richards** (1923). *The Meaning of Meaning: a study of the influence of language upon thought and of the science of symbolism*, first edition, Ney York & London: Harcourt & Brace.
- **Palmer**, B (1986). "Medicine in the old testament world," in Bernard Palmer (ed.), *Medicine and the Bible*, Christian Medical Fellowship, Australia, pp 13–42.
- **Plato**, (]1961[). «Phaedrus». *The Collected Dialogues of Plato*, edited by Huntington Cairns and Edith Hamilton, Princeton: Princeton University Press, pp. 475-525.

- **Playfair**, J. (1846). *Elements of Geometry*, New York: Dean Printer & Publisher.
- **Poincaré**, H. (1902]1905[). *Science and Hypothesis*, New York: Walter Scott Publishing Co.
- **Poincaré**, H. (1905]1958[). *The Value of Science*, New York: Dover.
- **Poincaré**, H. (1908]1914[). *Science and Method*, London: Thomas Nelson & sons.
- **Popper**, K. (1945]1962[) *The Open Society and Its Enemies*, 2 vols., London: Routledge.
- **Popper**, K. (1935]1959[) *The Logic of Scientific Discovery*, London: Hutchinson.
- **Popper**, K. (1961). *The Poverty of Historicism* (2nd ed.), London: Routledge.
- **Popper**, K. (1963). *Conjectures and Refutations*, New York: Routledge and Kegan Paul.
- **Popper**, K. (1976). *Unended Quest: an Intellectual Autobiography*, London: Fontana.
- **Prendergast**, T. L. (1975). "Motion, Action, and Tendency in Descartes' Physics," *Journal of the History of Philosophy*, Vol. 13 no. 4, pp. 453-462.
- **Quine**, W.V. (1951). "The Two Dogmas of Empiricism," The Philosophical Review 60: 20-43.
- **Reichenbach**, H. (1938). *Experience and Prediction*, University of Chicago Press.
- **Rochberg**, F. (2016). *Before Nature: Cuneiform Knowledge and the History of Science*, The University of Chicago Press, Chicago and London.
- **Rochberg**, F. (2018). "Science and Ancient Mesopotamia," in A. Jones and L. Taub (eds.), *The Cambridge History of Science*, Vol. 1,

Cambridge: Cambridge University Press, pp. 7-28.

- **Rodwell**, G. F. (1874). *The Birth of Chemistry*, London.
- **Ross**, D. (1923). *Aristotle*. London: Methuen's Publications.
- **Ross**, W. D. (1957). *Aristotle's Prior and Posterior Analytics*, Oxford University Press.
- **Russell**, B. (1946]2004[). *History of Western Philosophy*, Routledge, London and New York.
- **Salmon**, W. C. (1973). *Logic*, second edition, Prentice-Hall, New Jersey.
- **Salmon**, W. C. (1989). *Four Decades of Scientific Explanation*, University of Pittsburg Press.
- **Salmon**, W. C. (1966). *The Foundations of Scientific Inference*, University of Pittsburg Press.
- **Sandywell**, B. (1996). *The Beginnings of European Theorizing: Reflexivity in the Archaic Age*, Logological Investigations: Vol. 2, London and New York.
- **Sokal**, A. and J. **Bricmont** (1998). *Intellectual Impostures: Postmodern philosophers' abuse of science*, Profile Books, London.
- **Shapiro**, A. E. (1989). *Huygens' 'Traité de la Lumière' and Newton's 'Opticks': Pursuing and Eschewing Hypotheses*, Notes and Records of the Royal Society of London, Vol. 43, No. 2, pp. 223-247.
- **Stadler**, F. (2007). "The Vienna Circle: Context, Profile, and Development," in A. Richardson, and T. Uebel (eds.), *The Cambridge Companion to Logical Empiricism*, Cambridge University Press, pp. 13-40.
- **Wallace**, A. W. (1984). *Galileo and His Sources*, Princeton University Press.
- **Wallace**, A. W. (1996). *The Modeling of Nature*, The Catholic University of America Press.

- **Wheelan**, C. (2013). *Naked Statistics: Stripping the Dread from the Data*, W. W. Norton & Company.
- **Whewell**, W. (1847). *The Philosophy of the Inductive Sciences*, London: John W. Parker, West Strand, *Vol.* 2.
- **White**, M. (1950). "The Analytic and the Synthetic: An Untenable Dualism," John Dewey: Philosopher of Science and Freedom, ed. S. Hook. New York: Dial.
- **Wolfson**, H. A. (1976). *The Philosophy of the Kalam*. Harvard University Press.
- **Zilsel**, E. (2003). *The Social Origins of Modern Science*, Kluwer Academic Publishers.

مكتبة

t.me/soramnqraa

هناك مفاهيم يصعب تعريفها رغم شعورنا بأنها لا تحتاج إلى تعريف لإيضاح معناها، مثل "الحدس" أو "الحب". لكن في المقابل، هناك مفاهيم يسهل تعريفها رغم شعورنا بقصور التعريف في إيضاح معناها، ومفهوم "العلم" ينتمي إلى هذا النوع الأخير. نلجأ إلى المعجم لتحديد معنى كلمة، لكن المعنى في ذاته لا يكفي للكشف عن ماهيّة ما تشير إليه أي كلمة. بعبارة أخرى أكثر تحديدا، التعرّف على معنى كلمة "علم" يُسهم في مساعدتنا على كيفية استخدامها، لكنه لا يسعفنا في الوقوف على جوهر العلم بوصفه أداة معرفية، وهذا الكتاب إنّما جاء لسد هذا القصور.

يتناول هذا الكتاب موضوع العلم من خلال ثلاثة أبعاد: بُعد وسائلي، وبُعد تاريخي، وبُعد فلسفي. في البعد الوسائلي، يستعرض الكتاب أهم الأدوات التي يستعين بها العلم على جني ثماره، وهي المنطق والرياضيات وإجراء التجارب، وفي البُعد التاريخي يعود الكتاب إلى الوراء في محاولة للكشف عن جذور العلم في الحضارات القديمة بشكل عام، وفي فيزياء أرسطو بشكل خاص، ثم ينتقل الكتاب إلى البُعد الفلسفي ليتوقف عند فلسفة العلم وما تتضمّنه من مشكلات، ولا سيّما تلك المشكلات المتعلقة بالتفسير العلمي.

هذا كتاب لكلّ قارئ ينعم بنعمة الفضول العلمي؛ وسيجد فيه ما يُغذّي هذا الفضول ويدفعه إلى التفكير، وليس ثمّة ما يستحقّ التفكير فيه أكثر من العلم وما يطرحه من تساؤلات.

مكتبة
t.me/soramnqraa

المؤلف

د. فهد راشد المطيري

العِلم

أدواته وجذوره وفلسفته

منشورات تكوين
TAKWEEN PUBLISHING

9 789921 808636

www.takweenkw.com | takween.publishing@gmail.com