موقع المحاكاة الحاسوبية على الخريطة الميثودلوجية

إعداد

د مينا سيتي يوسف فانوس

مدرس فلسفة العلوم– قسم الفلسفة–كلية الآداب– جامعة القاهرة– مصر

الإستشهاد المرجعى:

مينا سيتي يوسف فانوس (٢٠٢٢). موقع المحاكاة الحاسوبية على الخريطة الميثودلوجية. ـ حولية كلية الآداب. جامعة بني سويف. ـ عددخاص (٥) مارس. ـ ص ص ١١-٧٣

المستخلص:

تُناقش هذه الدراسة الكيفية التي ينبغي أن نفهم بها الطبيعة الميثودلوجية الدقيقة للمحاكاة الحاسوبية ودرجة تبرير استخدامها. فقد تبنى فلاسفة العلم عددًا من التصوّرات المُختلفة عند الإجابة عن السؤال: أين تقع تقنيات المحاكاة الحاسوبية على الخريطة الميثودلوجية التقليدية؟ وتقارن هذه الدراسة عمليات المحاكاة الحاسوبية بطبيعة النظرية والنماذج العلمية والتجارب الفكرية، وتأخذ في اعتبارها ما إذا كانت عمليات المحاكاة تلك تثير قضايا ميثودلوجية وإبستمولوجية جديدة من عدمه، وذلك عن طريق التحليل النقدي لها. وتخلص الدراسة إلى أنه على الرغم من وجود معالم مُشتركة بين ميثودلوجيا النظريات

والنماذج والتجارب الفكرية وعمليات المحاكاة؛ هناك العديد من المعالم التي تميزها وحدها، وتجعلها أداة علمية جديدة لم تُفهم قواها وحدودها بعد حق الفهم حتى الوقت الحاضر.

الكلمات الدالة: عمليات المحاكاة الحاسوبية- العتامة الإبستمولوجية- النظرة السينتاطيقية- النظرة السيمانطيقية- النماذج.

المقدمة

يعد كل من سلوك الطائرات في الظروف الجوية السيئة، وانتشار العدوى في جميع أنحاء العالم، ومقاومة المباني للكوارث؛ أمثلة على نظم معقدة يُحقق فيها بشكل متزايد يومًا بعد يوم عن طريق عمليات المحاكاة الحاسوبية. ولهذه المشروعات نتائج مُهمة لكل من الأفراد والبشر ككل. لقد كانت عمليات المحاكاة موجودة منذ فترة، واتخذت أشكالًا مختلفة، لكنها تلقت مؤخرًا اهتمامًا كبيرًا وجديدًا بسبب استخدامها المتزايد كأدوات علمية. إن سرعة الحواسيب الرقمية الحديثة ومرونتها جعلت من الممكن استخدام عمليات المحاكاة كبدائل لمناهج التحقيق العلمي التقليدية أو كإضافة لها.

ويرتبط تاريخ المحاكاة الحاسوبية مباشرة بتاريخ الحاسوب، وكلاهما مقترن – بقوة – بالتاريخ العسكري. فقد كان من المستحيل بناء الاختبار الناجح لأول قنبلة هيدروجينية عام ١٩٥٢ دون استخدام المحاكاة الحاسوبية[١]، مما أعطى الكثير من المصداقية لممارستها داخل المجتمع الفيزيائي. علاوة على أن تطوير التنبؤ العددي بالطقس بمثابة مثال فريد نموذجي على جهد مُنسق يموله الجيش، قاد إلى تقدم علمي كبير، مع فوائد مدنية مباشرة.

[١]Galison, P. (1996. Computer simulations and the trading zone. In P. Galison & D. Stump (Eds., *The Disunity of Science: Boundaries, Contexts, and Power*, Stanford: Stanford Univ. Press, (pp. 118–157).

ومنذ الحرب العالمية الثانية ظهرت مقاربات المحاكاة في العلم، وتوسعت في اتصال قوي مع الحقول التجريبية والملاحظاتية الموجودة في العلوم الطبيعية ومستجداتها في الرياضيات وعلوم الحاسوب.

اقترحت "إيفلين فوكس كيلر Evelyn Fox Keller" ثلاث مراحل مر بها تاريخ المحاكاة الحاسوبية: (١) استخدام الحاسوب لاستخراج حلول من مجموعة معادلات مستعصية على التتبع رياضيًّا ومحددة عن طريق، إما مناهج التحليل العددي التقليدية، أو مناهج جديدة للتحليل العددي. (٢) استخدام الحاسوب لتتبع ديناميكيات نظم الجسيمات المؤمثلة من أجل تحديد المعالم البارزة المطلوبة لتقديرات (أو نماذج) واقعية فيزيائية. (٣) تشييد نماذج لظواهر لا يوجد لها نظرية عامة وتحظى بمؤشرات بدائية لديناميكيات التفاعل التحتية فحسب[١].

وتعرض "كيلر" فرضيتها التاريخية كطوبولوجيا للمحاكاة؛ فمن الممكن بالفعل تمييز ثلاثة أنماط من ممارسة المحاكاة في علوم اليوم. وقد تفيد بعض الأمثلة في توضيح أنواع المحاكاة المختلفة. فقد تطورت تقنية محاكاة "مونتي كارلو" في الأيام الأولى للمحاكاة، المتزامنة مع ظهور الحواسيب الإلكترونية الأولى في الأربعينيات. طورت هذه التقنية الرياضية – في الأصل – للمعادلات غير الخطية (يمكن أن تقود الشروط الابتدائية فيها إلى حالات نهائية مختلفة إلى حد كبير) المتكاملة عدديًّا، الواصفة للتفجيرات النووية. وفي وقت لاحق – في خمسينيات القرن الماضي – أصبح التطوّر الزمني للنظم الديناميكية موضوع المحاكاة الحاسوبية. مثال على ذلك: التنبؤ العددي بالطقس قبل وقوعه بأيام قليلة. وأخيرًا تربط "كيلر"

[١]Fox Keller, E. (2003. Models, simulations, and computer experiments. In H. Radder (Ed., *The Philosophy of Scientific Experimentation*. Pittsburgh, PA: University of Pittsburgh Press, (pp. 198–215), p. 202.

النمط الثالث من المحاكاة بالأوتوماتا الخلوية[1] والحياة الاصطناعية. وفي معظم الحقول العلمية، بدءًا من فيزياء الطاقة العالية حتى الإيكولوجيا والطب الإحيائي؛ تُجرَى عمليات المحاكاة التي لم تبنَ بناء على نظرية بشكل صارم.

بادئ ذي بدء، ينبغي أن نُشير إلى أن تعريف دقيق لعمليات المحاكاة الحاسوبية هو قضية معقدة للغاية. فإن التعريفات تتفاوت بتفاوت المجالات المختلفة للخبرات المتخصصة. طرح فلاسفة العلم عددًا من تعريفات المحاكاة. وليست هذه الاقتراحات مفيدة للغاية في حد ذاتها. ولكن لكل منها تأثيرات على الأسئلة المخاطبة في هذه الدراسة، سواء فيما يخص علاقة عمليات المحاكاة بالنماذج والتجارب الفكرية، أو طوبولوجيا عمليات المحاكاة، أو الاستخدامات العلمية لعمليات المحاكاة. إننا نطرح إذن بعض التعريفات البارزة هنا؛ لرؤية طيف المقاربات الممكنة ولامتلاكها كإطار مرجعي لاحق. ليس من الصعب طرح التعريفات التي تستوعب بعض أنواع عمليات المحاكاة الحاسوبية أو بعض الاستخدامات المحددة لعمليات المحاكاة الحاسوبية؛ ولكن قد يقود فشل عملية التمييز بين ما هو نمطي نموذجي لعمليات المحاكاة الحاسوبية بشكل عام، وما هو محدد خاص بحالات محددة إلى تعميمات غافلة. وتصبح الأمور أكثر خداعًا وصعوبة كلما استُخدمت أنواع عمليات المحاكاة الحاسوبية

---

[1] الأوتوماتا الخلوية أداة من الأدوات المُهمة في محاكاة الديناميكيات المعقدة. وأول من عرفها هم "جون فون نيومان John Von Neumann"، و"ستانيسلو أولام Stanislaw Ulam" في نهاية الأربعينيات (Schiff, J.L. (2008. *Cellular automata: a discrete view of the world*, 1st edn. Wiley, Hoboken, p. xi)، لصنع نماذجًا محاكية للتطور البيولوجي والتكاثر الذاتي. وبفضل القوة المتزايدة للتقنيات الحاسوبية استُخدمت هذه التقنية لاحقًا في العلوم والهندسة، ثم أصبحت أداة شائعة في العلوم الاجتماعية وبعض العلوم الإنسانية، كونها توفر سبيلًا لدراسة الظواهر الاجتماعية أو الاقتصادية أو التاريخية أو السياسية عن طريق فحص تفاعلات الأفراد المتكررة التي تقود إلى نشوء الظاهرة موضع الاهتمام.

نفسها كالأدوات الصورية في سياقات إبستمولوجية مختلفة لأغراض مختلفة، وتطلبت تحليلات إبستمولوجية مختلفة كلّية.

أكد "بول همفريز Paul Humphreys" أن المعلم الحاسم لعمليات المحاكاة هي تمكينها العلماء من تجاوز ما هو ممكن للبشر أن يفعلوه بقدراتهم الاستدلالية الفطرية، وأساليب الورقة والقلم. ووفقًا لذلك طرح عام ١٩٩١ التعريف التالي: "عملية المحاكاة الحاسوبية هي أي منهج مُنفذ حاسوبيًّا لاستكشاف خواص النماذج الرياضية عندما تكون المناهج التحليلية غير متاحة"[١].

ومع ذلك لاحظ "ستيفان هارتمان Stephan Hartmann" إمكانية محاكاة العمليات التي بالنسبة إليها النماذج قابلة للحل بشكل تحليلي. واقترح التوصيف التالي الذي يعطي الأولوية لتمثيل التطوّر الزمني للنظم: "يسمى النموذج ديناميكيًّا[٢] إذا كان... يتضمن افتراضات حول التطوّر الزمني للنظام... وترتبط عمليات المحاكاة ارتباطًا وثيقًا بالنماذج الديناميكية. وبشكل أكثر تحديدًا تتولد المحاكاة عندما تُحل معادلات النموذج الديناميكي الأساسي. فقد صُمم هذا النموذج لتقليد التطوّر الزمني لنظام فعلي. وبعبارة أخرى، تُقلد المحاكاة عملية عن طريق عملية أخرى. وبحسب هذا التعريف يُشير مصطلح العملية إلى

---

[١] Humphreys, P. (1991). Computer Simulations. In A. Fine, M. Forbes and L. Wessels (Eds.. *PSA 1990, Vol. 2*, East Lansing: Philosophy of Science Association, (pp. 497–506), p. 500.

[٢] من المفيد التمييز بين النماذج الاستاتيكية والنماذج الديناميكية. فيطلق على النموذج استاتيكي إذا كان يغطي فحسب الافتراضات الواقعة حول نظم في حالة سكون. ويطلق على النموذج ديناميكي إذا تضمن افتراضات حول التطوّر الزمني للنظام.

بعض الأمور أو النظم التي تتغير حالتها زمنيًا. وإذا أُجريت عملية المحاكاة على حاسوب، تسمى محاكاة حاسوبية"[١].

أُنتقد هذا التعريف لكونه يستبعد عمليات المحاكاة الحاسوبية التي لا تمثل التطوّر الزمني لنظم، بينما يمكن للمرء محاكاة كيفية تفاوت خواص نماذج أو نظم فضاء طورها عن طريق بارامترات أخرى مثل درجة الحرارة. كما ينبغي بالمثل استبعاد الفكرة القائلة بأن مسار مُحدد من المفترض تمثيله. وقد يبتغي المرء ببساطة أن تكون عملية محاكاة حاسوبية مفيدة معلوماتيًا حول جوانب بنيوية لنظام ما فحسب. فربما لا ينبغي أن تكون الديناميكيات الزمنية لنظام مستهدف ممثلة لشيء حتى تعد محاكاة حاسوبية. وربما هذا التعريف متمركزًا للغاية حول النماذج وحلولها؛ كونه يساوي عمليات المحاكاة الحاسوبية بحل نموذج ديناميكي يمثل النظام المستهدف. ويعادل ذلك تجاهل الواقعة القائلة بأن ما يُحل هو نموذج حاسوبي، يمكن أن يكون مختلف إلى حد كبير، ومستقل أحيانًا عن النموذج الديناميكي الأولي للنظام. وبشكل فعال قد تظهر الحاجة إلى طبقات مختلفة من النماذج.

راجع "همفريز" بعد ذلك عام ٢٠٠٤ تعريفه السابق للمحاكاة الحاسوبية بناء على التوجيهات المُقترحة من قبل "هارتمان" وآخرين. وذهب إلى أن المحاكاة الأساسية عبارة عن عملية زمنية، وأن المحاكاة بأكملها تمثيل لنتائج محاكاة أساسية باستخدام إما تمثيل استاتيكي أو ديناميكي، قائلًا: "يطرح النظام (ظ) محاكاة أساسية للموضوع أو العملية (ع) فقط في حالة ما إذا كان (ظ) جهازًا حاسوبيًا ماديًا ينتج، عبر عمليات زمنية، حلولًا لنموذج حاسوبي...

---

[١] Hartmann, S. (1996). The world as a process. Simulations in the natural and social sciences. In R. Hegselmann et al. (Eds., *Modelling and simulation in the social sciences from the philosophy of science point of view*. Dordrecht: Kluwer, (pp. 77–100), p. 83.

ويمثل (ع) بشكل صحيح، إما استاتيكيًّا أو ديناميكيًّا. علاوة على أنه إذا النموذج الحاسوبي المُستخدم من قِبَل (ظ) يمثل بشكل صحيح بنية النظام الفعلي (ف)، فسنجد حينئذ أن (ظ) يوفر محاكاة أساسية للنظام (ف) فيما يخص (ع)"[١].

ويفصل هذا التصور للمحاكاة الحاسوبية المعالم الزمنية لمكوناته الحاسوبية والتمثيلية؛ إذ الحوسبة الفعلية لعواقب النموذج الأساسي عملية زمنية تميز كل محاكاة. ولكن ربما لا تكون هذه العملية تمثيلًا لأي تطوّر ديناميكي يقع للنظام المُحاكي. فبالنسبة إلى جميع المقاصد والأغراض قد يكون النظام المُحاكي استاتيكيًّا ثابتًا. وبالتالي ليس هذا معلمًا مميزًا لعمليات المحاكاة الأساسية. ففي عمليات المحاكاة الحاسوبية المُهمة والنموذجية يمثل التطوّر الزمني للحساب التطوّر الزمني للنظام المُحاكي أيضًا. ويتحدث "همفريز" في هذه الحالة عن المحاكاة الكاملة.

لا يبدو أن هناك تعريفًا محددًا صارمًا ودقيقًا للمحاكاة الحاسوبية في الممارسة العلمية. علاوة على عدم التزام محللي الممارسة العلمية بتعريف واحد لها. ومن الممكن اجتماع أنواع مختلفة من عمليات المحاكاة الحاسوبية في العلم، كل واحدة مع خصوصيتها، ومن المهم التمييز بينها لتجنب الاستقراء غير المبرر، ومن الممكن إيجاز الفروق والاختلافات عند مستويات مختلفة من الوصف. لننتقل الآن إلى وصف أنواع عمليات المحاكاة الحاسوبية المُهمة تلك التي ما زالت تُستخدم في العلم، ومُشخصة في المناقشات الإبستمولوجية المتعلقة بعمليات المحاكاة الحاسوبية.

[١]Humphreys, P. (2004). *Extending ourselves: computational science, empiricism, and scientific method*. Oxford University Press. P. 110.

من الصعب إنصاف جميع أنواع عمليات المحاكاة المعروفة في الممارسة العلمية. فعادة ما تُخترع طرق حاسوبية جديدة باستمرار، مما يتحدى طرح طوبولوجيات عقلانية. لذا سنستعرض هنا أنماط المحاكاة الحاسوبية المناقشة على نطاق واسع في الدراسات الفلسفية فحسب. هناك بداية عمليات المحاكاة القائمة على المعادلة التي تصف ديناميكيات نظام مستهدف بمساعدة المعادلات التي تأسر المعالم الحتمية للنظام بأكمله. ومن الأمثلة النموذجية عليها عمليات محاكاة النظم الديناميكية التي تستخدم مجموعة من المعادلات التفاضلية، تشتق الوضع المستقبلي للنظام المستهدف من وضعه الحالي. وتقتصر عمليات محاكاة ديناميكيات النظم على المستوى الماكرو؛ فتقوم بنمذجة النظام المستهدف ككل غير متمايز. وتوصف حينئذ خواص النظام المستهدف عن طريق مجموعة من السمات تأتي في شكل متغيرات مستوى تمثل حالة النظام ومعدله بأكمله وديناميكياته أيضًا[١].

وهناك الطرق القائمة على الوكيل التي تتضمن الوصف الواقع على المستوى الميكرو للوكلاء وتفاعلاتهم المحلية (في مقابل الأوصاف الكلّية كمعادلات التوازن)، وتوفير أدوات لتحليل مجموعة من الظواهر الميكروسكوبية. وعادة ما تتعارض مع المقاربات القائمة على المعادلة، ولكن التمييز ليس بهذه الحدة؛ نظرًا لعدم ضرورة أن تصف المعادلات السلوكيات الكلّية، كما أنها عادة ما تسفر عن قواعد مُحدثة محلية. وتُستخدم النماذج القائمة على الوكيل وعملياتها عبر الحقول لتحليل الوكلاء الاصطناعيين والاجتماعيين والبيولوجيين. فيمكن النظر

[١] يُمكننا لمزيد من التفاصيل الرجوع إلى:

Winsberg, E. (2013) Computer simulations in science. In: The Stanford Encyclopedia of Philosophy, ed. By E.N. Zalta (Stanford Univ: Stanford, http:// plato.stanford.edu/cgi-bin/encyclopedia/archinfo. cgi?entry=simulations-science.

إلى نماذج الأوتوماتا الخلوية كنموذج "شيلنج" للانعزال[١] بوصفها نماذجَ قائمة على الوكيل حتى على الرغم من اشتمالها على أعداد في أوصاف التفاعلات المحلية[٢]. ولما كانت عمليات المحاكاة القائمة على الوكيل تعتمد على أوصاف ميكروسكوبية، فغالبًا ما تكون في صميم المناقشات المتعلقة بقضايا مثل: الانبثاق أو التفسير أو الفردية الميثودلوجية في العلوم.

وهناك عمليات محاكاة غير حتمية تُستخدَم الحواسيب لتنفيذ خوارزمياتها، قد تتصرف بشكل مختلف عند التشغيل. وتُستخدم طرق "مونتي كارلو" نمط من عمليات المحاكاة غير الحتمية على نطاق واسع. ولقد كانت مركزية في مشروع "مانهاتن"، ذلك الذي قاد إلى إنتاج أول قنابل نووية، وأسهم بشكل كبير في تطوير عمليات المحاكاة الحاسوبية. كما يمكن استخدام هذه الطرق لأغراض مختلفة كتقييم متوسط الكميات في الفيزياء الإحصائية.

تستخدم العلوم عمليات المحاكاة لأغراض متعددة: كالبرهنة أو التفسير. كما تستخدم لتوفير مناهج حل للنماذج الرياضية عندما لا تكون المناهج التحليلية متوفرة، ولتوفير تجارب عددية في المواقف التي لا تكون فيها التجارب الطبيعية مناسبة لأسباب عملية أو بعيدة

---

[١] من المحاولات الأولى المتضافرة لتطبيق الأوتوماتا الخلوية والنمذجة الحاسوبية القائمة على الوكيل على العلوم الاجتماعية، والتي لا ينحصر فيها الممثلون في خلية محددة، وإنما يمكنهم التحرك بسهولة وفقًا لقواعد؛ محاولة "توماس شيلنج Thomas Schelling" في مؤلفاته، المتمحورة حول قضية الانعزال والتفرقة العنصرية segregation. استهدف نموذج "شيلنج" التحقيق في دور اختيار الفرد الواقع بخصوص انعزال الأحياء التي إما يسكنها غالبية من السود أو البيض. ويعتبر "شيلنج" دور الاختيار الفردي القائم على التفضيل أحد العلل المحتملة لهذه الظاهرة، وربما حتى أهمها، مقارنة بالعمل المنظم والعوامل الاقتصادية كعلتين أخريين محتملتين قام "شيلنج" بذكرهما

(Schelling, T. C. (1971a) Dynamic models of segregation. *Journal of Mathematical Sociology* 1:143–186. P. 144).

[٢] Winsberg, E. (2013) Computer simulations in science, Op.Cit.

المنال لأسباب فيزيائية. تقع تحت الفئة الأولى التجارب المكلفة للغاية، وغير مؤكدة نتائجها أو تهدر الكثير من الوقت. وتقع تحت الفئة الثانية تجارب مثل: دوران زاوية رؤية المجرات، وتشكل أقراص رقيقة حول الثقوب السوداء وما إلى ذلك. وتكمن الميزة الرئيسة لعمليات المحاكاة الحاسوبية في الاعتقاد المشترك بقدرتها على التعامل مع التعقدات التي تثار عندما تتفاعل العديد من العناصر في نظام ديناميكي للغاية، غالبًا ما يتجنب التحليل الصوري الدقيق. ومن الممكن استخدام عمليات المحاكاة لأغراض كشفية كتوليد نماذج نظرية للظواهر الطبيعية واستكشافها، وبغرض التنبؤ بالبيانات التي لا نملكها، ولتوليد فهم للبيانات التي لدينا بالفعل. وتخبرنا كيفية توقع سلوكيات بعض النظم في العالم الواقعي تحت مجموعة معينة من الظروف. فيمكننا استخدام نماذج للتنبؤ بالمستقبل أو لإعادة صياغة الماضي، ويمكننا استخدامها لصنع تنبؤات دقيقة وتصنيفها من ناحية هذه الدقة. ويمكن استخدامها لفهم النظم وسلوكها.

تدرس الفلسفة بفروعها المختلفة عمليات المحاكاة الحاسوبية من عدة مناحي ولعدة أسباب:

١- إبستمولوجيا المحاكاة قسم من أقسام فلسفة المحاكاة، يدرس العواقب الإبستمولوجية لعمليات المحاكاة. ويفسر كيف تولد عمليات المحاكاة فروضًا واستنتاجات حول النظم الطبيعية.

٢- وتعد عمليات المحاكاة الحاسوبية واحدة من أكثر المناطق النشطة داخل فلسفة العلم في الوقت الحاضر، وتحظى بوضع مثير للجدل بين النظريين والممارسين الذين من حقول علمية مختلفة للغاية. وتفحص فلسفة العلم عمليات المحاكاة؛ لأنها تحقق في ميثودلوجيا العلوم، والعلوم المستخدمة لعمليات المحاكاة. وتتضمن الأسئلة المناقشة حولها هنا

ما يلي: ما عمليات المحاكاة؟ هل يمكن أن تحل المحاكاة الحاسوبية محل التجارب الفعلية؟ هل هي مجرد أدوات مساعدة؟ كيف تساعد نتائج عمليات المحاكاة على تفسير الظواهر الطبيعية؟ انبثقت اتجاهات مختلفة تجاه طبيعتها ومعناها العلمي مع الاستخدام المتزايد لها، وكذلك زيادة التقنيات الحاسوبية المتطورة والمكثفة داخل البحث العلمي. وظهرت خلال السنوات الأخيرة عدة دراسات حول فلسفة عمليات المحاكاة، تغطي مجموعة واسعة من الجوانب النظرية المتعلقة بعمليات المحاكاة، كالعلاقة بين النماذج وعمليات المحاكاة.

فمن الناحية الإبستمولوجية، تستكشف عمليات المحاكاة الحاسوبية تشكل النجوم والمجرات وتطوّرهما والديناميكا المفصلة لتفاعلات الأيونات الثقيلة ذات الطاقة العالية، وجوانب معقدة من تطوّر الحياة واندلاع الحروب. وبشكل عام يمكن القول إن هذه العمليات واحدة من المصادر الرئيسة للمعرفة والبيانات في العلوم المعاصرة. وإحدى استخدمات المحاكاة تطوير أدوات جديدة لتحل محل القدرات البشرية. فعلى سبيل المثال، شُيدت النظم الخبيرة لمحاكاة خبرة مهنيين كالجيولوجيين والكيميائيين والأطباء. ويستطيع غير الخبراء استخدام هذه النظم لتنفيذ التشخيصات التي تتطلب خبراء بشريين، كما تُستخدم للتدريب.

لقد كان البشر قبل تطوير الحواسيب وعملياتها يشاركون في كل خطوة من خطوات التحقيقات العلمية، واختُرعت أنواع مختلفة من الأجهزة والأدوات لمساعدة حواس البشر وقدراتهم الاستدلالية، وصُممت لتناسب تلك القدرات. فكان العلم بالنسبة إلى أغلب العلوم مركزيًّا إنسانيًّا. وطرح الفلاسفة، بداية من "لوك" و"ديكارت" حتى "كانط" ثم "كون" و"كواين"، إبستمولوجيات متمركزة حول الإنسان. وصيغت النظريات والنماذج في تشكلات جعلت تطويعها الرمزي أمرًا ممكنًا بالنسبة إلى البشر، وأُنتقيت المشكلات التي يمكن للبشر حلها.

نتيجة لإدخال المناهج الحاسوبية في العلوم، ربما دُفع البشر تدريجيًّا بعيدًا عن مركز الممارسة العلمية. ويمكننا هنا التمييز بين سيناريو هجين يُنفذ العلم فيه بشكل جزئي عن طريق الآلات، وسيناريو مؤتمت للعلم بشكل كامل. يمكننا القول إننا حاليًا في مرحلة السيناريو الهجين، تبنى عمليات المحاكاة الحاسوبية فيه للموازنة بين الاحتياجات لها وللمستهلكين البشر.

وعادة ما تناقش الدراسات الفلسفية خلال هذه المرحلة التجسيدات المرئية الحاسوبية (تمثيل البيانات المُجمعة كمخرجات للعين المجردة) كالصور التمثيلية؛ كونها تسمح بقدر كبير من التحكم في عملية إنتاج صور المحاكاة، بما في ذلك تفاوت الألوان والتراكيب وغيرها. ومن ثم قد تظهر التجسيدات المرئية كتمثيلات مباشرة، على الرغم من إنشائها عن طريق إجراءات نمذجة مُفصلة ومتقنة. ومن الصعب في كثير من الأحيان تأسيس الطبيعة الدقيقة للربط بين البيانات والمحاكاة. ومع ذلك يتمتع البشر بقدرة كبيرة على معالجة البيانات المرئية. وبهذا تخلق التجسيدات المرئية صلة العودة للإدراك البشري، إذ تسمح هذه التجسيدات المرئية للعلماء بالتفاعل مع ديناميكيات المحاكاة. ولكن ماذا عن السيناريو المستقبلي المؤتمت بالكامل والمحتمل الذي قد يستخدم مناهج تدفع البشر بعيدًا عن مركز المشروع الإبستمولوجي؟! ليست هذه قضية جديدة في الإبستمولوجيا المعاصرة بقدر ما قد تكون إبستمولوجيا جديدة بالكلّية. وهل نحن مستعدون لأن تكون المحاكاة المحرك الإبستمولوجي للممارسات العلمية؟

أما **من الناحية الميثودلوجية**؛ فإن الطبيعة الدقيقة لما يعد محاكاة ودرجة تبرير استخدامها، هي أسئلة لم تلقَ اتفاقًا واسعَ النطاق حتى الوقت الحاضر. ولا يمكن أن تكون هناك وجهة نظر موضوعية محضة بشأن ما يعد محاكاة وما لا يعد كذلك. ففي النهاية وضع

العملية كمحاكاة من عدمها مسألة نسبية مُلاحظ. وليست العديد من عمليات المحاكاة بالضبط ما نعتقده حولها. ويصدق هذا بشكل خاص على عمليات المحاكاة الواقعة على أجهزة حاسوب رقمية؛ لكون العملية الواقعة في نهاية المطاف محتملة، وليست متطابقة مع المحاكاة التي كانت مقصودة منذ البداية؛ بسبب التأثير المركب للتغيرات الصغيرة الواقعة خلال التشفير والتجميع وحتى التنفيذ. وبالتالي ينبغي على المرء عند استخدام عمليات المحاكاة الحاسوبية لاستكشاف النظم المعقدة أن يكون مستعدًا لاحتمالية أن تمثل النتائج النهائية نظامًا مختلفًا عما كان مقصودًا في البداية. وتصبح العمليات محاكاة عبر مزيج من المناهج المباشرة وغير المباشرة المستخدمة لإدراك العلاقات القائمة بين العمليات الفعلية العاملة. ولتوضيح جميع هذه النقاط من الضروري توضيح العلاقة القائمة بين النماذج وعمليات المحاكاة، وكذلك طبيعة النماذج نفسها إلى حد ما.

ويصور بعض فلاسفة العلم المحاكاة الحاسوبية العلمية كمنهج جديد لصنع العلم إلى جانب التنظير والتجريب. ويبدو أن الدراسات العلمية بشكل عام تدعم هذا الاستنتاج. وتتيح عمليات المحاكاة إمكانية تجريب النظريات بطريقة جديدة، كما تمكننا من توسيع قدرتنا الرياضية المحدودة حتى نتمكن من إجراء العمليات الحسابية التي لم تكن ممكنة حتى اللحظة الراهنة. وبالتالي يمكننا تشييد نظريات جديدة باستخدام المحاكاة الحاسوبية وحساب عواقب النظريات القديمة.

وعلى الرغم من أن لهذا النمط من الممارسة العلمية انتشارًا في جميع مجالات البحث العلمي تقريبًا، نادرًا ما تمت مناقشة ميثودلوجيا المحاكاة في الدراسات التي تصف الأنشطة الإبستمولوجية والعلمية للعلماء. وتركز دراستنا هنا أكثر على ما هو مشترك بين العلوم القائمة على المحاكاة، وطرح إطار عمل عام لوصف الميثودلوجيا الجديدة قياسًا بالممارسات العلمية الأكثر تقليدية. علاوة على التركيز بشكل خاص على فئات النظرية والنماذج والتجارب

الفكريــة. فـإن هـذه الفئـات تـوفر إطـارًا لتوضـيح كيـف تتموضـع المحاكـاة علـى خـرائط ميثودلوجيات العلماء.

يصـرح "بيتـر جاليسـون Peter Galison" فـي دراسـته التاريخيـة لعمليـات محاكـاة "مونتي كارلو" بأن هذه الممارسة العلمية الجديدة "ليست في أي مكان وفي كل مكان على الخريطـة الميثودلوجيـة المعتـادة"[١]. ولهذه الخريطـة الميثودلوجيـة المعتـادة المرسومة من قبل "جيلسـون" فـي هـذا السـياق معلمـان واضـحان: العمـل النظـري والعمـل التجريبـي. وتقـع هـذه الميثودلوجيا في مكان وسيط ما بين العلوم الفيزيائية النظرية التقليدية ومناهجها الإمبريقية في التجريب والملاحظة. وبالتالي تحظى المحاكاة الحاسوبية بأهمية فلسفية كبرى.

قيل إن عمليات المحاكاة الحاسوبية تشكل ميثودلوجيا علمية جديدة أو حتى براديم علمي جديد، وبالتالي تثير مجموعة جديدة من القضايا الفلسفية ومساهمات مختلفة. ومن هنا يظهر ادعاء أن عمليات المحاكاة تستدعي التساؤل عن فهمنا الفلسفي لعدة جوانب من العلم. ومع ذلك هناك من رأى أنها لا تتطلب فلسفة علم جديدة ولا تثير سوى قليل، إن وجد، من المشكلات الفلسفية الجديدة. وفي الوقت نفسه نجد السؤال عن: إلى أي حد غيَّر تطوّر عمليات المحاكاة الحاسوبية العلم، سؤالًا مشروعًا. فإن عمليات المحاكاة الحاسوبية تثير أسئلة حول تصورات العلم التقليدية من ناحية التجارب والنظريات والنماذج، أو حول الطرق العلمية المعتادة مثل: التنبؤ والتنظير والتحكم، أو عمليات التفسير عن طريق هذه الأدوات الجديدة، أو بشكل عام حول كيفية تعديل عمليات المحاكاة الحاسوبية عملية التنبؤ بالمعرفة العلمية التي يقوم بها كائنات بشرية.

[١] Galison, P. (1996). Computer simulations and the trading zone, *Op.Cit*, p. 120.

وبناء عليه، نتساءل أين تقع تقنيات المحاكاة الحاسوبية على الخريطة الميثودلوجية؟ ما النماذج؟ وما المحاكاة؟ وما الفرق والعلاقة بين النموذج والمحاكاة؟ فمن الواضح أن عمليات المحاكاة تثبت كونها أداة قوية معترفًا بها ومتعددة التخصصات. وعلى الرغم من أهمية عمليات المحاكاة في العلوم؛ تجاهلها فلاسفة العلم بالكامل تقريبًا. ومؤخرًا فحسب تم تخصيص مقالات كاملة وحتى مؤتمرات لتحليلاتها بعد النظرية.

ولما كانت عمليات المحاكاة مستخدمة من قِبَل كل من علماء الطبيعة وكذلك علماء الاجتماع؛ فإن فلاسفة العلم هم الأنسب لمقارنة – بشكل حاسم – الإستراتيجيات الميثودلوجية المختلفة هنا. كيف يمكن للعلماء اكتساب معرفة جديدة عن طريق إجراء عمليات محاكاة حاسوبية؟ يغدو أمرًا محيرًا التصريح بأن بإمكان العلماء الحصول على معرفة حول نظام العالم الفعلي المستهدف دون ملاحظته بالفعل. لمعالجة هذا السؤال يبدو من المفيد النظر إلى منهج يوازي عمل عملية المحاكاة الحاسوبية في طرق مهمة. فإن تجارب الفكر العلمية تحمل تشابهًا نظريًّا قبليًّا مع عمليات المحاكاة الحاسوبية. فعلى شاكلة عمليات المحاكاة الحاسوبية تدعي هذه التجارب الفكرية إمكانية إنتاج معرفة جديدة حول العالم الفعلي بالرغم من عدم ملاحظة النظام الفعلي الواقعي.

شهدت فلسفة العلم الحديثة محاولات مختلفة لوضع عمليات المحاكاة الحاسوبية وتحديدها على الخريطة الميثودلوجية المعتادة. فذهب بعض فلاسفتها إلى إمكانية توفير عمليات المحاكاة معرفة بالطريقة نفسها التي تفعلها التجارب. بينما لم يوافق بعضهم الآخر على ذلك، وصرحوا بأن عمليات المحاكاة الحاسوبية تنتج معلومات حول هدف ليس لكون الحاسوب نظامًا فيزيائيًّا واقعيًّا كما هو حال الهدف، وإنما كقيم لمتغيرات، وأخيرًا كتمثيل لخصائص النظام المستهدف. كما أكدوا إمكانية إنتاج عمليات المحاكاة معرفة – فحسب – إذا قامت على نموذج جيد للهدف. بينما يبدو أن هناك آخرين لا يوافقون على ذلك عندما

يصرحون بأن عمليات المحاكاة لا تشكل نماذج مجردة، ولكنها بالأحرى تقدم تمثيلات مباشرة لأهدافها، وتستمد مصداقيتها بشكل جزئي من النظريات، والتقنيات الحاسوبية وحيلها مبررة ذاتيًا.

جدة مشكلات المحاكاة الحاسوبية

لقد رأينا بالفعل أن لعمليات المحاكاة الحاسوبية تأثيرًا كبيرًا بوصفها أداة علمية. فإنها توسع قدرتنا على حساب خواص العلاقات القائمة بين الكيانات وتصويرها تصورًا مجسدًا بشكل كبير. لذا قد لا يكون مفاجئًا أن تقود عمليات المحاكاة الحاسوبية إلى عدد من المشكلات والقضايا الجديدة التي على العالم وفيلسوف العلم التعامل معها. وأحد الأسئلة المطروحة هو ما إذا كانت المحاكاة الحاسوبية تصنع جدة بالنسبة إلى فلسفة العلم، وإلى أي حد؟ فعلى الرغم من أنه من الواضح جلب هذه المحاكاة العديد من الابتكارات للعلم، فإن الأمر الأكثر إثارة للجدل هو ما إذا كانت تضع قضايا جديدة على مائدة فلسفة العلم.

ربما لم يمكن الحاسوب العلم من استكشاف سلوك النظم المعقدة فحسب، وإنما تسبب في تحولات ميثودلوجية وإبستمولوجية أيضًا. فربما هذه التيارات الجديدة القوية التي تجتاح العلوم قد جلبت معها تحديات فلسفية لا تستطيع أُطر فلسفة العلم التقليدية مخاطبتها. وترتبط هذه التحديات بأربعة ميادين مختلفة من الفلسفة، ومن ثم تخاطب أسئلة ومشكلات مختلفة. فمن الممكن أن تركز فلسفة عمليات المحاكاة الحاسوبية على : ١) الميتافيزيقا: هل تخلق عمليات المحاكاة الحاسوبية نوعًا من العوالم المتوازية؟ ٢) السيمانطيقا: كيف ترتبط نماذج المحاكاة الحاسوبية بالعالم الفعلي؟ ٣) الميثودلوجيا: ما نوع النشاط المشغل للمحاكاة الحاسوبية؟ وما موقعها على الخريطة الميثودلوجية؟ هل هي تجربة أم مجرد نماذج أم تجارب فكرية؟ ٤) الإبستمولوجيا: كيف نعرف القضايا أو الوقائع التي نحصل عليها من المحاكاة

الحاسوبية؟ وتركز هذه الدراسة على كل من الأسئلة الميثودلوجية والأسئلة الإبستمولوجية على وجه الخصوص، وسنتطرق فحسب إلى بعض القضايا الأخرى من حين إلى آخر.

يذهب "فريتز روهرليتش Fritz Rohrlich" (١٩٩١) إلى أن عمليات المحاكاة الحاسوبية تتطلب ميثودلوجيا جديدة ومختلفة للعلوم الفيزيائية[١]. ويصر همفريز على حاجة عمليات المحاكاة الحاسوبية إلى "مفهوم جديد للعلاقة القائمة بين النماذج وتطبيقها"[٢]. ولقد طرح حججًا مماثلة في كتابه «توسيع مداركنا» الصادر عام ٢٠٠٤. ويدعي "إريك وينسبرج Eric Winsberg" أن "لعمليات المحاكاة الحاسوبية إبستمولوجيا خاصة بها متميزة"[٣]، قائلًا على حد تعبيره: "إنها إبستمولوجيا غير مألوفة في معظم فلسفة العلم التي كانت الإبستمولوجيا بها تهتم بتبرير النظريات لا بتطبيقها. كما أنني أذهب إلى أن هذه الطبيعة المعقدة والمتنوعة للإبستمولوجيا توحي بأنه غالبًا ما لا تحمل نتائج المحاكاة النهائية علاقة بسيطة ومباشرة بالنظريات التي تنبع منها"[٤].

أكد كلٌّ من "وينسبرج" و"همفريز" هذا التصريح بناء على الاهتمام التقليدي المحدود لفلسفة العلم بتبرير النظريات، والاستقلال النسبي لعمليات المحاكاة ولبنائها عن النظرية. فإن الخطوات المتضمنة في عملية توليد عمليات المحاكاة، كتطبيق مناهج التقريب

---

[١] Rohrlich, F. (1991). Computer Simulation in the Physical Sciences. In A. Fine, M. Forbes and L. Wessels (Eds.. *PSA 1990, Vol. 2*, East Lansing: Philosophy of Science Association, (pp. 507–518).

[٢] Humphreys, P. (1991). Computer Simulations, *Op.Cit*, p. 497.

[٣] Winsberg, E. (2001). Simulations, Models, and Theories: Complex Physical Systems and their Representations. Philosophy of Science, 68: S442-S454, P. S 447.

[٤] Winsberg, E. (1999). Sanctioning Models: The Epistemology of Simulation. *Science in Context*, 12 (2: 275–292), pp. 275-276.

approximation المُصممة لتوليد قابلية التتبع الحاسوبي جديدة على العلم. ولا تحصل هذه الخطوات على مشروعيتها من نظرية، وإنما تُقبل بشكل مستقل. وعلى الرغم من مناقشة مناهج الأمثلة idealization والتقريب في الدراسات، فإنه عادة ما كانت تتم من منظور تمثيلي من ناحية كيفية تمثيل النماذج المؤمثلة والتقريبية العالم أو تشبهه، ومن ثم تبرير النظريات التي تستند عليها. ولكن لما كانت عمليات المحاكاة دائمًا ما تُوظف عندما تكون البيانات متفرقة، عادة ما لا يمكن تبريرها عن طريق مقارنتها بالعالم وحده. وإنما يجب تقييمها وفقًا لموثوقية العمليات المستخدمة في بنائها، وعادة ما يتطلب ذلك تقنيات متميزة وجديدة منفصلة عن التقييم الفلسفي. ولا تملك فلسفة العلم السائدة المركزة على التبرير النظري المواد المفاهيمية التي تأخذ في اعتبارها التطبيقات المُستخدمة للمناهج الحاسوبية وتفسرها. كما أكد "وينسبرج" و"همفريز" أنه حتى لو كانت هناك نظرية معينة متوفرة لا يستطيع لا التصور السينتاطيقي ولا التصور السيمانطيقي للنظريات، أي التصورات التي تركز على التبرير والتمثيل، تفسير كيف تطبق النظريات أو تُبرر في نمذجة المحاكاة.

وعلى الرغم من ذهاب فلاسفة علم المحاكاة الحاسوبية هؤلاء إلى كون عملياتها تثير أسئلة فلسفية جديدة، هناك فلاسفة دافعوا عن الرأي المعاكس. فيذهب كلٌّ من "رومان فريج Roman Frigg" و"جوليان ريس Julian Reiss" في مقالة حديثة (٢٠٠٩) إلى أن جميع الأسئلة الفلسفية المتعلقة بعمليات المحاكاة الحاسوبية حالات من مناقشات عامة للغاية في حقل فلسفة العلم، قائلين: "إننا نوافق على أن عمليات المحاكاة تطرح شيئًا جديدًا ومثيرًا في العلم، ولكننا نشك في أن هذا يتطلب منا إعادة كتابة فلسفة العلم من جديد"[١]. فربما يرجع جزء من الخلاف ببساطة إلى ما إذا كان المرء يؤول فلسفة العلم بشكل ضيق أو واسع عن

[١] Frigg, R. & Reiss, J. (2009). The Philosophy of Simulation: Hot New Issues or Same Old Stew. *Synthese*, 169 (3: 593–613), p. 595.

طريق إقصار الأسئلة الفلسفية على القضايا المبدئية والمعيارية، بينما يتجنب القضايا الميثودلوجية العملية. في حين يدور شق آخر من الخلاف حول كيفية تأويل المرء للقضايا أو الأسئلة الجديدة المطروحة على الفلسفة؛ نظرًا لأنه بالتأكيد عند بعض المستويات ما زالت الأسئلة الفلسفية حول كيف تمثل التمثيلات وما الذي يجعلها تفعل ذلك بشكل موثوق فيه هي الأسئلة نفسها.

ويطرح كلٌّ من "فريج" و"ريس" القائمة التالية للمشكلات الجديدة المزعومة:

أ- ميتافيزيقيًّا: تخلق عمليات المحاكاة نوعًا من العالم الموازي الذي يمكن فيه إجراء التجارب في ظل ظروف مواتية أكثر مما كانت عليه في العالم الفعلي.

ب- إبستمولوجيًّا: تتطلب عمليات المحاكاة إبستمولوجيا جديدة.

ج- سيمانطيقيًّا: تتطلب عمليات المحاكاة تحليلًا جديدًا لكيفية ارتباط النماذج والنظريات بالظواهر المادية الملموسة.

د- ميثودلوجيًّا: النمذجة نشاط فريد من نوعه يقع بين التنظير والتجريب[١].

من الناحية الميتافيزيقية ذهب "فريج" و"ريس" إلى أن ادعاء العالم الموازي موجود بالفعل فيما يخص النماذج الاستنباطية القياسية. وذهبا من الناحية الإبستمولوجية إلى أن قضايا المحاكاة جزء من مشكلة أكبر، تتحصل منها النماذج المعقدة على أوراق اعتمادها الإبستمولوجية. وأكدا ضد الادعاء السيمانطيقي أن عمليات المحاكاة لا تتعارض لا مع النظرة السينتاطيقية ولا مع النظرة السيمانطيقية للنظريات، وليس الجانب الديناميكي للمحاكاة بجديد. وذهبا ضد الادعاء الميثودلوجي إلى أن المحاكاة ليس لها وضع بيني فيما يخص موثوقيتها،

[١] *Ibid*, p. 595.

وأن بينية التأويلات الأخرى لعمليات المحاكاة – ككونها مختلطة أو وسيطة – ليست جديدة، وإنما تم ادعائها بالنسبة إلى النماذج بالفعل[١].

وعلى النقيض من هذا الموقف المتشكك، يؤكد "همفريز" (٢٠٠٩) صدق كل من ادعاء الجدة الإبستمولوجي وادعاء الجدة السيمانطيقي على الأقل. ذاهبًا إلى أن العتامة الإبستمولوجية Epistemic opacity (عدم استطاعتنا تتبع كل خطوة فردية في المحاكاة الحاسوبية ومراقبتها) لعمليات المحاكاة وجوانبها الديناميكية معالم جديدة لم تأسر بشكل كافٍ من قبل تصورات فلسفة العلم الموجودة بالفعل. علاوة على ادعائه أن عملية تطبيق المحاكاة على العالم الفعلي يقع في إطار مفاهيمي جديد، وأن لحدود ما هو قابل للحوسبة، وبالتالي قابل للمحاكاة في زمن معين، آثارًا مُهمة على النقاش الفلسفي بالمثل[٢].

ومن الواضح اعتماد الكثير في هذا النقاش على كيفية تعريف المحاكاة؛ حيث يُفضل كلٌّ من "فريج" و"ريس" (٢٠٠٩) تصورًا أكثر تجريدًا للمحاكاة لا يجعلها مختلفة بشدة عن النماذج، بينما يفضل "همفريز" (٢٠٠٩) تصورًا متضمنًا بوضوح في البرمجة والتنفيذ الحاسوبي للمحاكاة.

ولقد ذهب "إيكهارت أرنولد Eckhart Arnold" إلى أن عمليات المحاكاة الحاسوبية مجرد نماذج. وبالتالي لا تثير أي أسئلة إبستمولوجية أخرى مختلفة عن التي سبق إثارتها بالنسبة إلى النماذج. وعلى وجه الخصوص عبء الصحة Validation (التأكد من تمثيل النتائج للنظام الأصلي المُستهدف) هو نفسه تمامًا للنماذج ولعمليات المحاكاة. كما أن عمليات المحاكاة الحاسوبية ليست –بحسبه – تجارب. وتنتمي عمليات المحاكاة الحاسوبية

---

[١] *Ibid*, pp. 505-507.

[٢] Humphreys, P. (2009). The philosophical novelty of computer simulation methods. *Synthese*, 169 (3: 615–626.

مثل النماذج والنظريات إلى جانب العلم النظري في مقابل الجانب الإمبريقي الذي يخص التجارب والملاحظات والخبرات[١].

في الآونة الأخيرة صُرح أن نماذج المحاكاة نوع محدد من النماذج، وإمكانية اعتبار منهج المحاكاة مرتبط بإدراك مميز لدور الوساطة، سواء أكانت شبه مستقلة أم كنمذجة من الدرجة الثانية. لكن لم يمض الحال كذلك دائمًا، فبحسب "جون سيمبسون John Simpson" لا تعد عمليات المحاكاة الحاسوبية نماذج. وتسير حجته على النحو التالي: "عمليات المحاكاة بطبيعتها توصيفات كاذبة (جزئيًا) للعالم (تشبه في أحسن الأحوال العمليات الفعلية دون أن تتطابق معها)، مما يثير السؤال حول كيفية تبريرنا لأي ادعاء يقول بأن عمليات المحاكاة تقودنا إلى وقائع (جزئية) كلما استُخدمت"[٢]. لتصرح فكرته بأن هناك مقياس للكمال من الواقع إلى النماذج وعمليات المحاكاة، تعد فيه الأخيرة أقل كمالًا من الأولى.

وهناك فلاسفة من أمثال "إيزيكل دي باولو Ezequiel di paolo" يقارنون عمليات المحاكاة الحاسوبية بالتجارب الفكرية. ويدعون أن كليهما "أدوات يمكن من خلالها استكشاف عواقب الموقف النظري"[٣]. إذا كان الأمر كذلك، فقد لا تكون إبستمولوجيا عمليات المحاكاة الحاسوبية جديدة في النهاية. ومع ذلك نؤكد في هذه الدراسة أن هذا التشابه هو تشابه في الاستخدام فحسب، وأن هناك بعض الاختلافات الإبستمولوجية.

---

[١] Eckhart, A. (2010). *Tools or toys?* Stuttgart: Institute of Philosophy, University of Stuttgart, p.5.

[٢] Simpson, J. (2006). Simulations are not Models. Proceedings Models and Simulations, *Paris*, 1-33, pp. 1-2.

[٣] Di Paolo EA, Noble J, Bullock S. (2000). Simulation models as opaque thought experiments. In Bedau MA, McCaskill JS, Packard NH, Rasmussen S (Eds Artificial Life VII: Proceedings of the Seventh International Conference on Artificial Life. MIT Press, Cambridge MA, (pp. 497–506), p. 497.

تشبه المحاكاة الحاسوبية العمل التجريبي من ناحية خضوع سلوكهما للتحقيق. وبالتالي للعمل بعمليات المحاكاة جوانب من العمل التجريبي على الرغم من كونه يجري إلى حد كبير في مجال التمثيل. إذ يصنع الباحثون تغييرات صغيرة بسيطة في البارامترات والشروط الأولية وضروب الحسابات ثم يتعرفون على النتائج. وتناسب نكهة هذه الأنشطة نكهة التجريب أكثر من التنظير. وذهب بعض المؤلفين إلى حد الزعم بأنه على الأقل في بعض الحالات ما ندعوه عمليات محاكاة حاسوبية هي في الواقع تجارب. وانطلاقًا من هذا المنظور نُعتت مناهج "مونتي كارلو" تجارب في بعض الأحيان. وتستخدم هذه المناهج لحساب الأعداد أو توزيعات العينة المستهدفة أو لإنتاج مسارات ديناميكية بخواص معدلية كافية، وتعتمد بشكل محوري على استخدام العشوائية. وقد تبدو أقرب إلى التجارب؛ لكونها تستخدم أحيانًا نظم فيزيائية مثل عداد "جيجر" لتوليد أحداث عشوائية.

ومع ذلك ما زال هناك فلاسفة علم يدعون أن مناهج مثل "مونتي كارلو" ليست تجارب؛ نظرًا لإمكانية أن تحل الشفرات والرموز الحاسوبية للعشوائيات الزائفة محل الأحداث العشوائية الخارجية الفعلية المادية؛ ومن ثم لا يوجد هنا اكتشاف إمبريقي مباشر حول طبيعة النظم الفيزيائية، وبالتالي لا ينبغي النظر إلى عمليات المحاكاة الحاسوبية تلك بوصفها تجارب. ولقد قامت دراسات سابقة بمراجعة الحجج الموجودة المفضلة لادعاء كون عمليات المحاكاة الحاسوبية تجارب أو كونها ليست كذلك ومناقشتها[1]. ولقد أوضحت هذه الدراسات

---

[1] من ضمن هذه الدراسات:

Guala, F. (2002). Models, simulations, and experiments. In L. Magnani and N.J. Nersessian (Eds *Model-Based Reasoning: Science, Technology, Values*, New York: Kluwer, (pp. 59–74.

Morgan, M.S. (2003). Experiments without material intervention: Model experiments, virtual experiments and virtually experiments. In H. Radder (Ed., *The*

كيف تحظى إبستمولوجيا المحاكاة الحاسوبية بمعالم جديدة خاصة بها وفي الوقت نفسه تشابهات مشتركة مع آليات إبستمولوجيا التجربة. ليصبح من الصعب طرح أحكام عامة حول طبيعة الفروق الإبستمولوجية والفروق الأنطولوجية بين هذين النشاطين بشكل مفصل؛ كونها مسألة تعتمد بشكل محوري على السياق النسبي الذي تستخدم فيه التجربة أو المحاكاة الحاسوبية، ومدى توافر الخلفية المعرفية المتاحة عن النظام أو الظاهرة المستهدفة. إننا لن ندخل في النقاش المتعلق بوضع المحاكاة الحاسوبية بالنسبة إلى التجارب الإمبريقية، وإنما سنركز هنا بالأحرى على المقارنة بين المحاكاة الحاسوبية والنظرية والنماذج والتجارب الفكرية فحسب.

المحاكاة الحاسوبية وبنية النظرية

لما كانت هناك أنواع مختلفة من عمليات المحاكاة الحاسوبية، بعضها ينطلق من المعادلات والنظريات والبعض الآخر من الوكيل العقلاني وغيرها، سنتناول أولًا نوعَ عمليات المحاكاة الحاسوبية الشائع استخدمه في العلوم الفيزيائية والقائم على معادلات ومدفوع نظريًّا مثل عمليات محاكاة ديناميكيات الموائع والفيزياء الفلكية وغيرها.

philosophy of scientific experimentation. Pittsburgh, PA: University of Pittsburgh Press, (pp. 217-235.

Morgan, M. S. (2005). Experiments versus models: New phenomena, inference and surprise. *Journal of Economic Methodology, 12*, 317–329.

Barberousse, A., Franceschelli, S., & Imbert, C. (2009. Computer simulations as experiments. *Synthese, 169*(3, 557-574).

Winsberg, E. (2003. Simulated experiments: Methodology for a virtual world. *Philosophy of Science*, 70: 105–125.

Winsberg, E. (2009). A tale of two methods. *Synthese*, 169: 575–592.

أولى خطوات هذا النوع من المحاكاة هى تحديد النظرية التي يقع فيها مجال الظواهر. إنها أساس هذه المحاكاة ومنطلقها. فقد نبدأ – على سبيل المثال – بقوانين أو معادلات، ثم يأتي ما يسميه "وينسبرج" عملية بناء التسلسل الهرمي لنماذج المحاكاة: (١) **النماذج الميكانيكية**: فلا تخبرنا النظرية في حد ذاتها إلا بالقليل عن النظم المثالية. وتتطلب عملية تطبيقها على نظم العالم الحقيقية نموذجًا ميكانيكيًّا يكون بمثابة تشخيص هيكلي للنظام الفيزيائي، يُمكننا من استخدام البنية النظرية لتعيين مجموعة معادلات للنظام. (٢) **النماذج الديناميكية**: لا يزال النموذج الميكانيكي كيانًا عامًا للغاية؛ كونه لا يخص أي نظام مُحدد. لهذا تصبح خطوة المحاكي الثانية هي تحديد فئة من البارامترات والقيم الحدودية والشروط الأولية التي تربط النموذج النظري بفئة مُحددة من الظواهر، مما يخلق نموذجًا (أو نماذج) ديناميكيًّا لفئة مُحددة من الظواهر.

(٣) **النماذج الحاسوبية**: تأتي بعد ذلك عملية تحويل النموذج الديناميكي إلى نموذج حاسوبي؛ للتغلب على مشكلة استعصاء التحليل. ولهذه العملية خطوتان: أولًا، ضرورة تحويل المعادلات التفاضلية المستمرة التي للنموذج الديناميكي إلى معادلات جبرية مُنفصلة ليقوم الحاسوب بحلها. وثانيًا، استخدام المحاكي افتراضات نموذجية عينية ad hoc لجعل نماذجهم الحاسوبية أكثر قابلية للانقياد[١].

(٤) **النماذج العينية**: وتتضمن هذه العملية تقنيات مثل تبسيط الافتراضات وإحلال علاقات تجريبية أبسط محل الأعقد، بل وكذلك محل قوانين أكثر نظرية. ومن الممكن أن يكون هذا النموذج مبتكر. فقد يتضمن استبعاد بعض الاعتبارات الموجودة في النموذج

[١] Winsberg, E. (1999). Sanctioning Models, *Op.Cit*, pp. 279-282.

الديناميكي أو صنع اعتبارات جديدة. وأحيانًا يتجاهل المحاكيون عوامل بسبب حدود مقدرة الحاسوب، وهو ما يُشار إليه بعملية نمذجة عينية استبعادية. كما أن هناك نماذج عينية إبداعية تتضمن علاقات رياضية بسيطة نسبيًّا يتم تصميمها لتجسد – بشكل تقريبي – التأثير الفيزيائي في الطبيعة، مما يجعل المحاكاة أكثر واقعية.

(٥) **نموذج الظواهر**: بمجرد تطبيق نموذج حاسوبي على حاسوب على هيئة خوارزمية معينة، ينتج عن الخوارزمية نتائج في شكل مجموعة من البيانات، عادة ما تكون كبيرة للغاية. وتحتاج مجموعة البيانات تلك إلى ترجمة تفسيرية. ولهذا يمكن جعل البيانات مصورة عينيًّا وتستخدم بالتزامن مع غيرها من مصادر المعرفة، بما في ذلك الملاحظة Observation، من أجل التوصل إلى الهدف النهائي من دراسة المحاكاة ألا وهو نموذج للظواهر [١].

يقوم المحاكي بعد ذلك للتأكد من دقة مُخرجات عملية المحاكاة الحاسوبية بإجرائين: التحقق Verification والصحة. يسعى نشاط التحقق إلى تحديد ما إذا كان قد تم حل معادلات النموذج الديناميكية بمستوى الدقة المطلوب عن طريق الحاسوب أم لا. بينما يسعى نشاط التأكد من الصحة إلى تحديد ما إذا كانت مُخرجات المحاكاة تمثل النظام الأصلي الحقيقي المُستَهدف بدقة كافية في النواحي ذات الصلة، وفي ضوء الأسئلة التي يأمل العلماء الإجابة عنها حول النظام المُستَهدف[٢].

إنها إبستمولوجيا فريدة وغير مألوفة في فلسفة العلم التي كانت إبستمولوجيا النظريات فيها تهتم بتأييد النظريات وتبريرها لا بتطبيقات هذه النظريات. فقد كانت إبستمولوجيا فلسفة

---

[١] *Ibid*, pp. 282-283.

[٢] Winsberg, E. (2010). *Science in the Age of Computer Simulation*. Chicago: The University of Chicago Press, pp 19-20.

العلم مُهمتها تقرير متى تكون الخطوات المُتجهة من الوقائع مُنخفضة المستوى التي يتم جمعها لبناء تعميمات عالية المستوى مثل القوانين إلى النظريات مُبررة.

وبعبارة أخرى كان تصورها الفرضي الاستنباطي يدور حول تبرير النظريات عن طريق الوقائع منخفضة المستوى. بينما ما يجري في إبستمولوجيا المحاكاة الحاسوبية هو اتجاه عكسي. ينطلق من إقرار مستقل للاستنتاجات التي نستخلصها من النظريات العلمية، وغالبًا ما لا تحمل مُخرجات المحاكاة النهائية علاقة بسيطة ومباشرة بالنظريات التي تنطلق منها. علاوة على أن إبستمولوجيا المحاكاة الحاسوبية لا تقارن مثل الإبستمولوجيا السابقة التنبؤات النظرية بالنتائج المُلاحظة من أجل اختبار النظريات. فلما كانت إحدى أغراض استخدام المحاكاة الحاسوبية توليد تمثيلات للنظم التي تعاني من نقص البيانات بشكل واضح، فقد أخذت على عاتقها تبرير الانتقالات والتحولات التي تقوم بها بشكل داخلي عن طريق التحقق، وليس تبرير ما تنتجه من مُخرجات فحسب.

ذهب "وينسبرج" إلى أن أي إبستمولوجيا كافية للمحاكاة الحاسوبية ينبغي أن تفي بثلاثة شروط. أولًا: يجب أن تكون **متحدرة** downward تعكس واقعة أنه، على الأقل في كثير من الحالات، توفر النظرية العلمية المقبولة نقطة انطلاق عملية بناء نماذج المحاكاة الحاسوبية، وتلعب دورًا مهمًّا في تبرير الاستدلالات المُنتقلة من نتائج المحاكاة إلى الاستنتاجات الموضوعة حول نظم العالم الفعلي المُستَهدفة. وبعبارة أخرى على إبستمولوجيا المحاكاة الحاسوبية الكافية أن تُقر بأن الاستدلالات عادة ما تحدث بشكل مُتحدر من النظرية المقبولة. ثانيًا: يجب أن تكون إبستمولوجيا **مؤلفة من عناصر مُختلفة**، تأخذ في اعتبارها عدم اعتماد نتائج المحاكاة على النظرية فحسب، وإنما على العديد من المصادر والمكونات النموذجية الأخرى بالمثل، بما في ذلك البارامترات شبه التجريبية، وطرق الحل العددية،

والحيل الرياضية، والافتراضات العينية، ومحولات برمجية، وعتاد صلب حاسوبي. ثالثًا: عليها أن تكون **مُستقلة**، مما يسمح بمجرد مقارنة محدودة بين الافتراضات والنتائج المُنمذجة وبيانات العالم الحقيقي[١].

أكد "وينسبرج" أن عمليات المحاكاة تلك أسست أجندة جديدة لفلسفة العلم. ولقد استخدم حالة المحاكاة لتحدي التركيز طويل الأمد لفلسفة العلم على النظريات، خصوصًا حول كيفية تبريرها. وأكد أن عمليات المحاكاة لا يمكن فهمها ببساطة كسبل جديدة لاختبار النظريات. ففي الواقع نادرًا ما تُستخدم للمساعدة على تبرير النظريات، وإنما تطبق عمليات المحاكاة النظريات الموجودة لاستكشاف الظواهر الفعلية والممكنة وتفسيرها وفهمها، أو لصنع تنبؤات حول كيف ستطور هذه الظواهر في الوقت المناسب. لتفتح عمليات المحاكاة مجموعة جديدة كاملة من القضايا الفلسفية المتعلقة بممارسات الكثير من العلوم الحديثة وموثوقيتها.

وتُطبق عمليات المحاكاة بشكل أساسي في العلوم الفيزيائية عندما تكون المعادلات المولدة من نظرية لتمثيل ظاهرة معينة غير قابلة للحل تحليليًا. ويتطلب الطريق من النظرية للمحاكاة عمليات حوسبة، تحول المعادلات إلى بنى قابلة للتتبع الحوسبي من خلال الاعتماد على ممارسات التقطيع والأمثلة. وتوظف هذه الممارسات تحولات معينة وتبسيطات مجتمعة مع تلك المستخدمة لتتبع انطباق المعادلات النظرية على ظاهرة معينة كالشروط الحدودية وافتراضات التناظر. ومن الأفضل – تبعا "لوينسبرج" – النظر إلى عمليات المحاكاة تلك كمفاصل معينة للنظرية وليست كاشتقاقات منها.

وللاستدلالات المسحوبة عن طريق عمليات المحاكاة الحاسوبية معالم التحدر والتألف من عناصر مختلفة والاستقلال بهذا الصدد. وتتطلب شروط الاستدلال الثلاثة تلك – السابق

[١] Winsberg, E. (2001). Simulations, Models, and Theories. *Op.Cit*.

ذكرها – من المحاكاة تقييمًا فلسفيًّا مُحددًا لموثوقيتها. ليعقد هذا التقييم الواقعة القائلة بأن العلاقات الواقعة بين النظرية والاستدلالات المسحوبة من نموذج المحاكاة غير واضحة ومن الصعب تفكيكها. وبالتالي تصبح مهمة معقدة اكتشاف الدور الذي تلعبه النظريات في النتيجة النهائية في حالة وجود هذه الخطوات المتداخلة كلها. ويصبح المطلوب هنا هو إبستمولوجيا للمحاكاة يمكنها اكتشاف أسس صارمة يمكن للعلماء بناء عليها إجازة نتائجهم، وتلائم الدور الذي تلعبه النظرية في العلم الحديث.

ولقد أثار هذا الادعاء رد "فريج" و"ريس" بأن مسألة ما إذا كان النموذج يقبل الحل التحليلي أم لا ليس لها تأثير على كيفية ارتباطه بالعالم. واستخدما مثال البندول المزدوج لإثبات ذلك. ليستنتجا من ذلك في النهاية أن سيمانطيقا النموذج، أو كيفية ارتباطه بالعالم، لا تتأثر بما إذا كان النموذج قابلًا للحل التحليلي أم لا[١]. ومع ذلك لم يستطع هذا الرد حل كشف عمليات المحاكاة الحاسوبية عن أوجه قصور في كل من النظرة السينتاطيقية والنظرة السيمانطيقية للنظريات العلمية.

لقد فتح الاهتمام بممارسات المحاكاة زاوية جديدة في المناقشات التقليدية المتعلقة ببنية النظريات. واستخدم "همفريز" تشابك النظرية والمحاكاة في الممارسات العلمية الحديثة لعكس التشخيص الفلسفي السليم لبنية النظريات الفيزيائية[٢]. فإن عمليات المحاكاة ليست اشتقاقات منطقية من النظرية، بينما يعد هذا معلمًا مركزيًّا في النظرة السينتاطيقية؛ فقد كان الاستنباط المنطقي مثالًا تنظيميًّا مفيدًا للتفكير في كيفية سحب استدلالات من النظرية إلى

[١] Frigg, R. & Reiss, J. (2009). The Philosophy of Simulation, *Op.Cit*, p. 605.

[٢] Humphreys, P. (2004). *Extending ourselves, Op.Cit.*

العالم. لتصرح هذه النظرة بأنه إذا كانت النمذجة تلعب أي دور فهو مجرد دور إرشادي في العلوم. بينما تلعب النماذج دورًا محوريًّا داخل عمليات المحاكاة الحاسوبية.

ومن ناحية أخرى أكد "همفريز" أيضًا أن النظرة السيمانطيقية للنظريات السائدة حاليًا، وتعامل النظريات ككيانات غير لغوية؛ ليست كافية بالمثل. فبحسب النظرة السيمانطيقية الصياغة السينتاطيقية للنظرية، وما إذا كانت الصيغ المختلفة قابلة للمعالجة أم لا؛ ليست مهمة للتقييم الفلسفي لعلاقات التمثيل مع العالم. وإنما تصبح علاقات التمثيل معقولة عن طريق النماذج فحسب، وليست النظريات. بينما على نحو ما يذهب "همفريز" إلى أنه "عادة ما يكون التمثيل السينتاطيقي المستخدم محوريًّا لقابلية حل معادلات النظرية"[1]، ومن ثم لقابلية حل النماذج المشتقة منها. وستعتمد قابلية التتبع الحاسوبي، بالإضافة إلى خيارات تقنيات التبسيط والتقريب، على صياغة سينتاطيقية معينة للنظرية. ليتضح أنه كان من الخطأ اقتراح النظرة السيمانطيقية أن الشكل اللغوي المُحدد الذي نعبر فيه عن نظرية معينة غير مهم فلسفيًّا. فسيصبح لتركيب تعبير النظرية تأثيرًا عميقًا على الاستدلالات التي يمكن استخلاصها منها، وكذلك لحل معادلات النظرية، وعلى أنواع الامثلّات التي ستعمل معها بشكل حسن. وبناء عليه، لا النظرة السيمانطيقية ولا النظرة السينتاطيقية كافيتان لوصف النظرية بطرق تعبر عن دورها في العلم.

هذا فيما يخص عمليات المحاكاة الحاسوبية القائمة على النظرية، بينما ليست كل عمليات المحاكاة مجرد أداة للعلوم المقادة بالنظرية وحدها. فإن بعض المجالات ذات الأهمية الكبيرة في علوم اليوم كبيولوجيا النظم وعلم الأعصاب ومعظم عمليات النمذجة في العلوم

[1] Humphreys, P. (2009). The philosophical novelty of computer simulation methods. *Op.Cit*, p. 620.

الاجتماعية غير مقادة بنظرية. وتتشارك هذه العمليات مع عمليات المحاكاة القائمة على النظرية الاستقلال عن النظرية، ولكن هناك اختلافات عميقة بينهما أيضًا.

وتعد عمليات المحاكاة الحاسوبية القائمة على الوكيل مهمة في هذا الصدد. إنها نمذجة من الأعلى، بمعنى أن هذه النماذج لا تُشيد باستخدام نظرية مُحددة تحكم حركات الوكلاء. وإنما يتبع الوكلاء قواعد التفاعلات المحلية. ولا يمكن استخدام المعادلات التفاضلية هنا في العديد من حقول العلوم الاجتماعية والبيولوجية لتحصيل سلوك الوكيل أو مجموعة الوكلاء بدقة، لكن من الممكن مع ذلك افتراض بنية التفاعلات الفردية أو ملاحظتها. ومن الممكن استخدام عمليات المحاكاة القائمة على الوكيل لإجراء هذه التفاعلات على عدد كبير من السكان؛ لاختبار ما إذا كانت البنى المحلية قادرة على إنتاج السلوك الجمعي.

ومن منظور إبستمولوجي تعرض عمليات المحاكاة تلك انبثاقًا Emergence. والنظم التي تنتج خواصًا منبثقة مجرد آليات، ولكنها آليات معقدة للغاية، تحظى بالعديد من أجزاء التفاعل المستقلة، ومن ثم لا يوجد سبيل لمعرفة ما سيقع بالضبط عن طريق النظر في مجموعة من الشروط الأولية. فإن الآليات التحتية مُعتمة تمامًا للمستخدمين، ولا يمكن ببساطة إعادة تجميع الخواص المنبثقة عن طريق دراسة عمليات المحاكاة. وتثير هذه العتامة أسئلة حول هدف المحاكاة القائمة على الوكيل وقيمتها؟ وما نوع التفسير والفهم الذي توفره هذه المحاكاة إذا لم يكن بالاستطاعة الوصول إلى الآليات متعددة النطاقات المنتجة معرفيًّا فيها؟ وكيف يستطيع المرء تخمين تنبؤات منها؟ وهل يمكننا الوثوق في هذه التنبؤات؟ لمخاطبة أسئلة كهذه ربما نحتاج إلى إبستمولوجيا جديدة يمكنها تقييم تلك التقنيات؛ لتأسيس متانتها، وتبرير وظيفتها.

عمليات المحاكاة الحاسوبية والنماذج

على نحو ما رأينا سابقًا جانب أساسي من المحاكاة الحاسوبية وجود النماذج المختلفة. ويجب عليها على وجه التحديد أن تنتج عملية تتطوّر بشكل مستقل، من الحالة الأولية إلى الحالة النهائية، كما لو أن لها حياتها الخاصة. وبهذا نجد نماذج المحاكاة بناء لإنتاج سلوك. علاوة على ضرورة أن يكون مستخدمو المحاكاة قادرين على تأويل هذه العملية كتمثيل لسلوك النظام الفعلي أو المتخيل. وينبغي على السلوك الظاهر في المحاكاة إعادة إنتاج بعض جوانب التطوّر الزمني للنظام. ولا ينبغي اعتبار هذه العملية نهائية، وإنما يجب أن يكون المستخدمين قادرين على تعديلها عن طريق تغيير شروط المحاكاة الأولية أو معالم أخرى. وبالتالي يجب على النماذج إنشاء مجموعة متنوعة من السلوكيات بناء على قرارات المستخدمين. وتسمح هذه الخواص بأن تصبح النماذج كيانًا يمكن استكشافه وتطويعه بعدة طرق مختلفة؛ كما يمكنها إنتاج سلوكيات لا يمكن التنبؤ بها بمجرد فحص بنيتها.

والتكافؤ بين النموذج والنظام هنا ليس فيزيائيًّا، وإنما رياضي. وتتألف عملية بناء النموذج هنا من تأليف مكونات حاسوبية، تصبح عمليات داخلية تماثل تلك الموجودة في النظام المُمثل، حتى لو وقعت على مدى فترة زمنية أقصر بكثير. وتسمح عمليات المحاكاة الرقمية الأشهر بمحاكاة أي نوع من النظام، بغض النظر عن طبيعته الفيزيائية المادية والظاهرة المدروسة. والنموذج الجوهري لعمليات المحاكاة تلك هو النموذج الحاسوبي الذي يمكن تعريفه بأنه خوارزمية شُيدت لإعادة إنتاج بعض المعالم السلوكية لنظام في برنامج حاسوبي. وليس النموذج الحاسوبي مجرد ترجمة لنموذج رياضي بلغة حاسوبية، وإنما يشتمل على سلسلة من التعديلات والتغييرات، تعتمد على الخوارزمية وعلى أعتدة الحاسوب الصلبة hardware والمرنة software التي تقوم بتشغيل البرنامج. والعناصر الجوهرية لنموذج حاسوبي

هي المتغيرات[١] والثوابت[٢] والبارامترات[٣]، تلك التي تترابط عن طريق العلاقات في شكل معادلات أو قواعد. وتبقى البارامترات ثابتة أثناء عمل المحاكاة، ولكنها يمكن أن تتغير من تشغيل إلى آخر لاستكشاف سلوك النموذج.

ويعد متغير «الزمن» أحد المتغيرات. والمعادلات المستخدمة لوصف سلوك النظام عبر الزمن معادلات تفاضلية، أي معادلات فيها المجهول دالة متغير (معادلات تفاضلية عادية) أو عدة متغيرات (معادلات تفاضلية جزئية)، تربط قيم الدالة نفسها، ومشتقاتها مختلفة الترتيب. ولا يمكن حل معظم المعادلات التفاضلية العادية والجزئية غير الخطية تحليليًّا (أي عبر سلسلة من العمليات المعروفة)، وإنما عدديًّا فحسب. ويعني ذلك ضرورة تحويلها إلى «معادلات تفاضلية منتهية»، وضرورة حساب حلولها عن طريق طرق التحليل العددي. ويتطلب استخدام هذه الطرق اختيار الخوارزمية المناسبة وتحديد صحتها بحسب المعادلة الحالية. وينبغي أن تكون الخوارزمية العددية المناسبة مستقرة وفعالة ودقيقة. وأخطاء الخوارزمية العددية هنا واردة وغير مستبعدة. ويمكننا تمييز نوعين من النماذج هنا؛ حتمية: دائما ما ينتج فيها مُدخل معين المُخرج نفسه، أو عشوائية: تقبل متغيرات مُدخلة عشوائية تقود إلى مُخرجات عشوائية.

وبناء عليه؛ يمكن وصف عملية النمذجة والمحاكاة بتفاصيل متفاوتة، اعتمادًا على سياق استخدام المحاكاة ومشروعها. وتستهدف عمليتي التحقق والتأكد من الصحة بعد ذلك الإجابة عن سؤالين: هل قمنا ببناء النماذج داخل عملية المحاكاة بشكل صحيح؟ وهل قمنا

---

[١] المتغير: رمز يمثل جانب معين من النظام المدروس، وقيمة يمكن أن تتغير خلال إجراء المحاكاة.

[٢] الثابت: كمّية لا تتغير.

[٣] البارامتر: كمّية مستخدمة لتحديد العلاقة الواقعة بين المتغيرات.

ببناء النماذج الصحيحة؟ تتحقق أنشطة التحقق النموذجية من أخطاء البرمجة ومن أن الخوارزمية العددية لا تنتج درجة خطأ أكبر من المتوقع. بينما تطرح الأنشطة النموذجية للصحة نتائج المحاكاة أمام حكم خبراء المجال، ومقارنة السلوك المُحاكي بالنظام الفعلي. وواحدة من أكثر التقنيات شيوعًا للتأكد من صحة النموذج هي تحسين البارامتر. فعلى وجه التحديد، تتنوع البارامترات باستمرار لاستكشاف سلوكيات النموذج المقابلة على أوسع نطاق ممكن (عملية تُدعى «استكشاف فضاء البارامتر»). لتقريبها – قدر الإمكان – من السلوكيات الملاحظة أو المرغوبة. والهدف النهائي من عمليتي التحقق والتأكد من الصحة ضمان وثوقية برنامج المحاكاة ومصداقيته من ناحية أهداف المشروع.

على مر السنين طورت العديد من طرق المحاكاة، لكل منها إستراتيجية نمذجة معينة وما يقابلها من بيئات برمجية للنمذجة والمحاكاة. وتستند العديد من عمليات المحاكاة على الحل التقريبي للمعادلات التفاضلية. وبالتالي طورت الطرق العددية من أجل التجسيد المرئي العلمي لكم كبير من البيانات التي يجب تجسيدها مرئيًّا كمُخرجات.

في كثير من الحالات قد تقود طبيعة النظام المدروس بشكل طبيعي إلى انتقاء إستراتيجية نمذجة مُحددة. وقد يقوم الاختيار على بعض المعالم المُحددة للنظام الموجود. ومع ذلك، قد يصبح سؤال اختيار شكل المحاكاة أكثر تعقدًا في المواقف التي تسمح بنمذجة النظام بطرق مختلفة. علاوة على إمكانية نمذجة بعض النظم البيولوجية والاجتماعية عبر النماذج القائمة على الوكيل أو نماذج ديناميكيات النظم، وليس من اليسير مقارنة الفاعلية النسبية لهذه المقاربات المختلفة بسهولة؛ كونها تعتمد على أغراض النموذج.

ويمكننا التميز بين عملية المحاكاة المغلقة وعملية المحاكاة المفتوحة. الأولى مُكتفية ذاتيًّا بالكامل بمجرد توفير المُدخلات الأولية، وتحتوي على كل المعلومات الضرورية اللازمة

لمعالجة المُدخلات الأولية أو البيانات المنشئة نتيجة معالجة هذا الإدخال. بينما تقبل المحاكاة المفتوحة في المقابل المدخل الجديد على مختلف المناسبات خلال عمل برامجها؛ كونها جزء من نظام أكبر لم يُمثل بعد في البرنامج مثل محاكاة الطيران النمطية التي تنطوي على طيار بشري يتعامل مع حاسوب عبر مجموعة من الضوابط التي تشبه تلك الموجودة في قمرة قيادة الطائرة الفعلية. ولسوف نركز هنا على أمثلة المحاكاة التي تحتوي فحسب على عمليات محاكاة حاسوبية مُغلقة.

تعد عملية بناء التسلسل الهرمي للنماذج جزءًا لا يتجزأ من ممارسة المحاكاة على نحو ما رأينا. ولما كانت إحدى المهام المركزية لفلسفة العلم هي الإبستمولوجيا المطبقة، حينئذ تصبح أية نظرة فلسفية حول النمذجة الحاسوبية في حاجة إلى أن تتساءل عن متى ولِمَ تصبح هذه الخطوات الاستدلالية غير الاستنباطية مقبولة، وبعبارة أخرى؛ تحت أي ظروف تنتج معرفة موثوق فيها ولِمَ. وربما نزعم من خلال مقارنة نموذج المحاكاة الحاسوبية بالنماذج العلمية التقليدية وفلسفتها وجود سمات فريدة خاصة بإبستمولوجيا المحاكاة.

توجد العديد من الأسباب التي قد تجعل صورة المحاكاة كنمذجة تبدو جذابة. فقد تناولنا سابقًا الطرق المختلفة التي تلعب فيها النماذج، سواء النماذج الرياضية أو بقية نماذج المحاكاة، دورًا في المحاكاة الحاسوبية لنظام مستهدف. وأكد العديد من فلاسفة العلم الذين كتبوا عن المحاكاة ارتباطها بالنماذج. فيدعي "وينسبرج" – على سبيل المثال – أن المحاكاة "توفر نافذة واضحة يمكن من خلالها مشاهدة عملية صناعة النموذج"[١]. كما يرى "وينسبرج" أن تبرير عمليات المحاكاة مرتبط مباشرة بقوة النموذج التحتي للنظام/ الظاهرة المستهدفة وبشرعية تقنيات النمذجة نفسها.

[١] Winsberg, E. (2003). Simulated Experiments, *Op.Cit*, p. 107.

بالطبع هناك تمييز عام بين النماذج القائمة على الوكيل والنماذج القائمة على المعادلة. تمضي الأولى عن طريق تطبيق قواعد محلية، كقاعدة القرار في نموذج اجتماعي، وتمضي الثانية من خلال ترجمة النماذج القائمة على المعادلة، مثل المعادلات التفاضلية العادية أو الجزئية في الفيزياء، إلى برنامج حاسوبي. ومع ذلك الحدود بين المجالات هنا ليست صارمة، إذ تتضمن كل محاكاة حاسوبية نموذجًا رياضيًّا بشكل محوري على الأقل في كل من هذين النوعين من النماذج. ولا تحتاج هذه النماذج أن تتضمن متغيرات تأخذ أرقامًا كقيم، ولكنها تتضمن مع ذلك معادلات، تتبع التطور الزمني لمتغيرات محض كيفية. وبشكل عام تحتوي كل محاكاة على القواعد التي من المفترض أن تتبع ديناميكيات النظام المستهدف في بعض النواحي، ويمكن اعتبار هذه القواعد معادلات رياضية.

تعتمد عمليات المحاكاة المختلفة بشكل عام إذًا على النماذج. ولكن على الرغم من أنه لا خلاف حول أهمية النماذج وكونها عناصر تأسيسية منشئة لعمليات المحاكاة؛ من غير الواضح ما إذا كان من الممكن التعامل مع عمليات المحاكاة نفسها بوصفها مجرد نماذج. بالطبع، وبالحس العام، ليست الصورة الدقيقة للنماذج وعمليات المحاكاة مُحددة بشكل صحيح ودقيق. ومع ذلك، نناقش في هذا القسم ما إذا كانت تصورات النماذج العلمية التي سبق وطرحها فلاسفة العلم كافية لتشخيص عمليات المحاكاة أيضًا، أم أنها ليست كذلك، وأن هناك فروقًا واختلافات مُهمة بينهما.

يعد مصطلح النموذج، على شاكلة المحاكاة، من المصطلحات الأكثر التباسًا واختلاطًا في الخطاب العلمي والخطاب الفلسفي على السواء. والتحدي الذي نواجهه عند التفكير حول النماذج هو عائق الغنى. فهناك ليس فحسب كثرة من النماذج، بل وانتمائها إلى فئات مختلفة. فإن بعض النماذج نظم مادية مثل النماذج النطاقية للسيارات أو المدن، وبعضها الآخر مجرد تخيل، وأحيانًا تشكل مجموعة من المعادلات نموذجًا أيضًا. ومن

المحتمل أن يكون هناك مزيد من أنواع النماذج. فما حدود عمليات النمذجة؟ وهل هناك أي شيء مشترك بين جميع أنواعها؟ ما علاقة عمليات المحاكاة بالنماذج بالضبط؟ هذه قضية معقدة، لاشتمال عمليات المحاكاة الحاسوبية على نماذج متنوعة ومختلفة النوع.

يبدو مما سبق أن النماذج وعمليات المحاكاة وثيقي الصلة. ولكن ما بالضبط طبيعة العلاقة بين هاتين الأداتين العلميتين؟ مرة أخرى ليست هذه بالمهمة السهلة، فقد استُخدم مصطلح «النموذج» بالعديد من المعاني المختلفة في العلوم والفلسفة. ومن أجل توصيف ممارسة النمذجة ومعالمها المميزة، فإن المكان الطبيعي للبدء هو الدراسات الغنية المتعلقة ببنية النماذج. وهناك بالفعل العديد من توصيفات النماذج العلمية قد طُرحت في الدراسات الفلسفية.

من الصعب إيجاد إجماع بين فلاسفة العلم على ماهية للنماذج، وبشكل أكثر تحديدًا طبيعة هذا النوع الديناميكي الخاص من النماذج: المحاكاة. وعلينا أن نأخذ في الاعتبار بالمثل الكم الهائل من الدراسات المتاحة حول النماذج، والتي تعود تاريخيًّا إلى ستينيات القرن العشرين، وبنوع الاهتمام المتجدد في ثمانينيات هذا القرن، وأخيرًا اهتمام السنوات الأولى من القرن الحادي والعشرين. علاوة على أنه ما زالت مسألة تعيين طبيعة ما يسمى بالنموذج بالضبط داخل فلسفة العلم مفتوحة للنقاش حتى الوقت الراهن.

هناك على الأقل حتى الآن ثلاثة منظورات تتنافس حول فهمنا للنموذج. أولًا: منظور النماذج ككيانات مجردة، الذي وفقًا له النماذج في الأساس كيانات علائقية يكون حضورها بقدر ما تكون واردة في أفكار شخص ما. ولهذه العلاقات مُكون تمثيلي لها، ولكنه قد يكون غير مباشر. وعلى الأرجح تنتمي التصورات السينتاطيقية والسيمانطيقية للنظريات العلمية إلى

هذا المنظور[١]. ثانيًا: منظور النماذج كأدوات مادية فيزيائية، الذي تبعًا له النماذج أشياء في العالم تمتلك علاقة تشاكل ناقصة ببعض الأشياء أو غيرها[٢]. ثالثًا: منظور النماذج كوسطاء، الذي يفهم النماذج كأدوات تحقيق مستقلة تتوسط بين النظرية والعالم. والنماذج هنا مستقلة عن النظرية والعالم؛ لعدم تحديدها بالكامل من قبل أي منهما، وأدوات تعمل عبر طبيعتها التمثيلية على المساعدة على تشكيل فهمنا للعالم والنظرية[٣].

يرى "جون سمسبون" أنه على الرغم من وجود اختلافات واضحة بين هذه المنظورات حول المقصود بالنموذج، يبقى هناك مشتركًا مهمًّا بينها: فإن كل منظور يتطلب أن يحمل نموذجه مجموعة من العلاقات يمكن إقرارها باعتبارها تمثيل لشيء يُدعى أنه نموذج له[٤]. وتشكل مجموعات العلاقات التمثيلية تلك بالنسبة إلى "سمسبون" أساس تحقيقه في العلاقة القائمة بين النماذج والمحاكاة.

---

[١] يُمكننا لمزيد من التفاصيل الرجوع إلى:

Suppe, F. (1974). *The Structure of Scientific Theories*, University of Illinois Press, Chicago, IL.

Giere, R. N. (1988). *Explaining Science: A Cognitive Approach*, University of Chicago Press, Chicago, IL.

Morgan, M. S., and Morrison, M. (1999). *Models as Mediators: Perspectives on Natural and Social Sciences*, Cambridge University Press, Cambridge, MA.

[٢] يُمكننا لمزيد من التفاصيل الرجوع إلى:

Suppe, F. (1974). *The Structure of Scientific Theories*, *Op.Cit*.

[٣] Morgan, M. S., and Morrison, M. (1999). *Models as Mediators: Perspectives on Natural and Social Sciences*, *Op.Cit*.

[٤] Simpson, J. (2006). Simulations are not Models. *Op.Cit*, p. 7.

يحاول "سمبسون" بداية إثبات أن عمليات المحاكاة ليست نماذج بشكل عام عن طريق إجراء تجربة فكرية. يقول "سمسبون": "تخيل أن أمامك جهاز حاسوب يقوم بمحاكاة مغلقة... والآن بافتراض إجرائك لمحاكاة، فكر فيما يتبقى إذا قمت بوقف المحاكاة بطريقة توقف الحاسوب عن معالجتها دون فقد أو تدهور لأي من الحالات المتضمنة في المحاكاة. هل هذه العملية المُغلقة محاكاة؟ لا... ما لدينا هو حاسوب مزود بمجموعة من الحالات داخل عتاد الحاسوب الصلب تمثل مجموعة من البيانات: بيانات عبارة عن وصف لحالة الأمور، وكذلك تعليمات ما ينبغي فعله بهذه الأوصاف. ويمكن إرجاع البيانات التعليمية إلى كود البرمجة الأعلى الذي صُمم البرنامج فيه. ولما كان هذا الكود قد كُتب ليأسر مجموعة من العلاقات الملاحظة في مكان آخر، فيمكننا إذًا اعتبار هذا البرنامج تمثيلًا لهذه العلاقات، وبالتالي نموذجًا"[١].

بالطبع ستحتفظ البيانات عند إيقاف المحاكاة بهذه المجموعة من العلاقات، والخاصية التمثيلية لهذه العلاقات تؤهلها كنموذج. فقد يفي كود البرنامج بجميع المعايير الضرورية اللازمة لتكون نماذج عبر جمل علاقات تشابه ملائمة. وعلى الرغم من الوجود المستمر لنموذج ملائم داخل البيانات ليس لدينا محاكاة عند التوقف. ولكن إذا تركت العملية تُنفذ للنهاية عن طريق الحاسوب، يصبح لدينا محاكاة. فإننا نتحدث عن عمليات المحاكاة باعتبارها عمليات. لا يتأثر النموذج الموجود في البيانات المتواجدة داخل الحاسوب بإجراء التوقف وإعادة التشغيل الذي كنا نتخيله؛ نتيجة للاحتفاظ به ضمن حالات الحاسوب الفيزيائية الفعلية. ومرونة هذا النموذج ومقاومته للتغير في ظل هذه الظروف هي التي تسمح للمحاكاة بالبدء مرة أخرى من هذا الموضع. وبالتالي يتواجد النموذج سواء أكانت المحاكاة موجودة أم

---

[١] *Ibid*, p. 13.

لم تكن. وإن كانت عمليات المحاكاة ليست متطابقة مع نماذجها الأساسية التحتية. فعندما نوقف الحاسوب تتوقف المحاكاة عن الوجود بينما يبقى النموذج.

ولكن هل ينبغي اعتبار عمليات المحاكاة الحاسوبية مجرد نماذج ديناميكية تمثل التغير الواقع خلال العملية والآليات التي تجلب هذا التغير؟ يرفض "سمسبون" هذا أيضًا قائلًا: "الطبيعة الماهوية لعمليات المحاكاة تمتد إلى ما وراء تمثيلات التغير. فالمحاكاة عملية نشطة تسير خطوة خطوة ومدفوعة من قِبَل منطق النموذج التحتي – الحالات المستقبلية في الآلة هي نتيجة مباشرة لاستخدام الحاسوب الحالات الحالية المُمثلة داخل نفسها تحت توجيه المنطق العلائقي المُنمذج هو الآخر داخل هذه الحالات أو غيرها – ولا ينطبق هذا على النماذج الديناميكية بشكل عام... دعنا نأخذ في الاعتبار الفرق بين المحاكاة الحاسوبية التي تصور حركة الكواكب القياسية التسعة داخل نظامنا الشمسي عبر مجموعة من الصور على شاشة حاسوب، والصور نفسها المطروحة داخل كراسة طي[١] طفل"[٢].

من الواضح في حالة كراسة الطي أن هناك تمثيلًا لنظامًا شمسيًّا وللهيئات الرئيسة الموجودة بداخله، يمكننا الإشارة إليها في كل صفحة. كما أنه من الواضح أننا إذا قمنا بقلب الصفحات يمكننا تمثيل حركة هذه الكواكب حول الشمس. أعد مؤلف كراسة الطي ترتيب هذا التعاقب عن طريق فهم كيفية وقوع التفاعل بين الكواكب والشمس، بينما ليست الحالة ضرورة النظر إلى الحاسوب باعتباره يقوم بعملية قابلة للاختزال إلى التقليب البسيط لمجموعة من الصور المرتبة على الشاشة. فقبل عرض أية صورة ينبغي أن يُحدد الحاسوب ما الذي

---

[١] كراسة الطي: مجموعة من الصور المختلفة تدريجيًّا من صفحة إلى أخرى، وعند قلب الصور بسرعة تظهر وكأنها تتحرك.

[٢] *Ibid*, p. 16.

ستكونه الصورة التالية، ويقوم هذا التحديد على المعلومات الموجودة في منطق النموذج الموجود في البرنامج. بينما لا تصنع كراسة الطي في المقابل هذا التحديد في حد ذاتها. نعم صفحاتها مرتبة بحسب النظريات نفسها التي ساعدت في تشكيل النماذج الواقعة تحت المحاكاة، ولكن هذا الأمر خارج نطاق كراسة الطي في حد ذاتها. فلا تستطيع هذه الكراسة أن تجيب عن سؤال «ماذا أفعل بعد ذلك؟» من نفسها. بينما تنتقل المحاكاة من حالة إلى حالة دون الحاجة إلى توجيه خارجي، وهو ما يميزها عن مجرد بعض النماذج الديناميكية.

على الرغم من أن تصور النماذج كوسطاء بين النظرية والواقع الإمبريقي لا يغطي جميع أنواع النماذج الواقعة في العلم، فإنه أصبح يصف على الأقل أنواع النماذج الأكثر شيوعًا. وتصرح هذه الفكرة بثلاثة معالم للنماذج تبدو مشتركة مع عمليات المحاكاة الحاسوبية. المعلم الأول: هو التأسيس النظري: فكما تعبر النماذج بشكل ما عن بعض قوانين ومعادلات وبديهيات النظرية؛ عادة ما تكون النظريات نقطة انطلاق تُنتزع المعادلات منها في عمليات المحاكاة الحاسوبية المقادة بنظرية بوصفها أدوات لتحسين النظريات أو اختبارها أو تطويرها. المعلم الثاني: هو شبه الاستقلالية[1]: كما أن النماذج تقوم بوظائف لا يمكنها القيام بها إذا كانت تعتمد كلّية على النظريات، ليست عملية بناء المحاكاة مجرد مسألة اختيار النظرية الصحيحة أو مجرد تجميع من نظرية (علاوة على وجود عمليات محاكاة غير مقادة بنظرية مثل الأوتوماتا الخلوية)، وإنما تتطلب براعة وإحساس بالهدف ومقدرة تقنية. المعالم الثالث:

---

[1] تحدثت كل من "ماري مورجان Mary **Morgan**" و"مارجريت موريسون Margaret **Morrison**" عن النماذج بوصفها مستقلة بشكل جزئي عن كل من النظريات والعالم (Morgan and Morrison, 1999. *Models as Mediators, Op.Cit,* p.10. ونجد تعبير «النماذج المستقلة» مضللًا إلى حد ما، وأفضل تعبير هو «شبه مستقلة». فعلى سبيل المثال، تتضمن النماذج عمومًا قدرًا من النظريات التي ترتبط بها، وعادة ما تُصمم عن طريق مناشدة تلك النظريات، وليست مستقلة عنها تمامًا.

هو العلاقة بالواقع الإمبريقي أو النظام المستهدف: على الرغم من أن النماذج قد تكون كيانات وأشياء موجودة في العالم، فإنها عادة ما تُستخدم للتعلم حول تلك الكيانات. وقد تكون العديد من التصريحات الصحيحة بالنسبة إلى النموذج كاذبة بالنسبة إلى الكيان الذي يدور حوله النموذج، ومع ذلك يُبقى على هذا الرابط القائم بين النموذج وكيانات العالم أو النظام المستهدف. لتقع النماذج في مكان ما بين النظرية والعالم الفعلي أو النظام المستهدف، وتتخذ دور الوساطة بين الاثنين.

وغالبًا ما تستخدم عمليات المحاكاة للتعرف على شيء في العالم أو النظام المستهدف. ولكننا نجد هنا، كما هو حال النماذج بشكل عام، العلاقة الواقعة بين المحاكاة والنظام المستهدف إشكالية بالمثل. ليعتمد الكثير على كيفية تفسير النظام المستهدف. فقد يذهب بعض الفلاسفة إلى أن هذا النظام وصف مُعد للبيانات التي نحصل عليها عبر ملاحظة أمور العالم الفعلي، ومن ثم تحضيرها عن طريق إعادة وصفها بطرق أكثر تجريدًا، وتصبح العلاقة بين المحاكاة والنظام المستهدف تشاكل كلي أو جزئي. بينما قد يصر آخرون على أن النظام المستهدف ليس مجرد بيانات، وإنما الشيء أو الحدث نفسه؛ فليس لجميع الظواهر بنية رياضية متأصلة، وتصبح العلاقة حينئذ تشابه. وربما يدعي آخرون بأن الهدف الأساسي للمحاكاة ليس الوضع الكامل للنظام المستهدف، وإنما بالأحرى جزء مُركب منه. لترتبط عمليات المحاكاة بالنظام المستهدف عن طريق عزل عمل بعض عوامله، والتركيز على عوامل أخرى، لتُصبح هذه الأخيرة هي نفسها العاملة في النظام المستهدف.. وهكذا.

وفيما يخص المعلم الأخير؛ تذهب العديد من التصورات الحديثة إلى أن النماذج ليست تمثيلات بطبيعتها، لكنها تمثيلات مصنوعة عن طريق ما يراه صانع النموذج[١].

[١] Peschard, I. (2011). Making sense of modeling: Beyond representation. *European Journal for Philosophy of Science, 1*, 335–352, p. 337.

وبالتالي يعني هذا عدم امتلاك النماذج علاقة واحدة مُحددة تلقائيًّا بالعالم، وإنما يتعين على مستخدمي النموذج تحديد الكيفية التى يعتزمون من خلالها استخدامه. فقد يقصد مصممو النماذج المختلفون توظيف النموذج نفسه لمطابقة أجزاء مختلفة منه بأجزاء مختلفة من ظاهرة العالم الفعلي. وقد يحتاج بعض مصممو النماذج أن يمثل النموذج بأمانة البنية العلّيّة للظاهرة المستهدفة، وصنع تنبؤات كمّية دقيقة. بينما قد يحتاج آخرون إلى صنع تنبؤات كيفية فحسب فيما يخص الظواهر المستهدفة. ولما كانت إحدى تعريفات المحاكاة السابق ذكرها أنها تقلد عملية عن طريق عملية أخرى، فإن التقليد يتطلب سحب علاقة تشابه بين الشيء الذي يقوم بالتقليد والشيء المُقلد. وما يعد محاكاة قد يعتمد على نسبية الملاحظ الملازمة.

رأى بعض فلاسفة المحاكاة من أمثال "فريج" و"ريس" أن هذه المعالم هي التى ستطرح تصورًا مفيدًا للمحاكاة بالمثل، وصرحا بأنه إذا "أدركنا أن الكثير من المشكلات الإبستمولوجية التى تطرحها عمليات المحاكاة علينا لها العديد من الأمور المشتركة مع تلك المثارة حول النماذج؛ يمكننا أخذ الأفكار المكتسبة في كلا المجالين معًا، ومحاولة إحراز تقدم في بناء إبستمولوجيا جديدة منشودة"[1]. ليرى كلاهما أن عمليات المحاكاة الحاسوبية هنا لا تطرح قضايا جديدة في فلسفة العلم تتجاوز تلك التى سبق طرحها حول النماذج العلمية. علاوة على أنه لطالما كان ملء الفجوات وضبط البارامترات جزءًا لا يتجزأ من عملية النمذجة، ولا يوجد شيء فريد أو خاص هنا حول المحاكاة الحاسوبية.

على الرغم من أن هذه النظرة الواسعة للنماذج كوسطاء شبه مستقلين تبدو مناسبة لعمليات المحاكاة، يجب على المرء أن يكون على دراية بالفروق والاختلافات المُهمة بينهما أيضًا. فقد اعُتبرت السياقات الكلاسيكية للكشف التى يقع فيها عملية بناء النموذج غير ذات

[1] Frigg, R. & Reiss, J. (2009). The Philosophy of Simulation, *Op.Cit*, p. 611.

صلة بالتقييم الفلسفي المعياري لما إذا كانت النماذج مبررة أم لا. وعزز كل من "فريج" و"ريس" فكرة التمييز الواضح عن طريق التعويل على الافتراض المسبق السائد القائل بأن التحقق والصحة عمليتان مستقلتان ومنفصلتان[١]. فالصحة عملية تأسيس أن المحاكاة بمثابة تمثيل حسن، أي المفهوم الجوهري للتبرير. أما التحقق فهي عملية ضمان أن المحاكاة الحاسوبية قد جسدت بشكل كاف المعادلات التى بُنيت منها. ليمثل التحقق فحسب عندهما الجوانب الجديدة للنمذجة التى تطرحها المحاكاة. وهي ممارسة محض رياضية لا صلة لها بأسئلة الصحة. وبالتالي لا تتضمن عمليات المحاكاة قضايا جديدة بخصوص التبرير تتجاوز تلك المطروحة تجاه النماذج الاعتيادية.

بينما اعترض "وينسبرج" ذاهبًا إلى أنه لا يوجد في الممارسة فصل واضح بين عمليات التحقق والصحة. فالمعادلات المختارة لتمثيل نظام لم يتم اختيارها ببساطة على أساس مدى صحتها، وإنما على أساس القرارات المتعلقة بإمكانية التتبع الحاسوبي أيضًا. ويقع معظم ما يثبت صحته من تمثيل في الممارسة في المرحلة النهائية، بعد تطبيق جميع التقنيات الضرورية للتقريب والأمثلة العددية، عن طريق مقارنة نتائج عمليات المحاكاة بالبيانات. ومن ثم، يصرح "وينسبرج" بأنه "إذا أردنا فهم سبب اعتبار نتائج المحاكاة قابلة للتصديق، فعلينا النظر إلى إبستمولوجيا المحاكاة ككل متكامل، وليس كتقسيم لتحقق وصحة، إذ سيبدو كل منهما غير ملائم للمهمة"[٢]. ومن ثم تتشابك عمليتي الكشف والتبرير داخل سياق المحاكاة الحاسوبية.

---

[١] Winsberg, E. (2010). *Science in the Age of Computer Simulation, Op.Cit*, pp. 24-25.

[٢] Winsberg, E. (2013) Computer simulations in science. *Op.Cit*.

ويكمن الفارق الثاني في طرق تحليل النماذج والعتامة الإبستمولوجية الحاضرة في عمليات المحاكاة الحاسوبية. يشتهر اللورد "كلفن" بتصريحه القائل: "إنني لا أشعر بالرضا البتة إلا بصنع نموذجًا ميكانيكيًا لشيء. فإذا كان بإمكاني صنع نموذجًا ميكانيكيًا يمكن حينئذ فهمه"[1]. وجزء مهم من هذه المهمة هو تحديد مختلف جوانب النموذج تحديدًا كميًا بطريقة مرتبطة بقياس القيم والبارامترات المختلفة. وعادة ما يمثل العلماء النظم الفعلية أو المتخيلة عن طريق استخدام النماذج الرياضية. والطريقة الشائعة لتحليل النماذج الرياضية في العلوم الطبيعية أو في الاقتصاد هي إيجاد حل لمجموعة من المعادلات التى يتألف منها النموذج. ويُوظف حساب التفاضل والتكامل وحساب المثلثات وغيرها من التقنيات الرياضية من أجل هذا الغرض. فإن القدرة على كتابة الحل بهذه الطريقة يجعل المرء متأكدًا تمامًا من الكيفية التى سيسلك بها النموذج تحت أي ظرف من الظروف، وهذا ما يسمى بالحل التحليلي. ومع ذلك تعمل الحلول التحليلية في حالة النماذج البسيطة فحسب. بينما في حالة النماذج المركبة تصبح الرياضيات أكثر تعقدًا. وبدلًا من ذلك يمكن حل النماذج عن طريق استخدام عمليات محاكاة حاسوبية تجري آلاف وملايين العمليات الحسابية المتكررة.

بالطبع عادة ما يصرح بأن النماذج صناديق بيضاء أو رمادية أو سوداء بناء على كيفية تمثيلها للنظام المستهدف. ولكن الأمر أكثر غموضًا في حالة عمليات المحاكاة الحاسوبية؛ لأننا لا نستطيع – على نحو ما يؤكد "همفريز" – مراقبة كل خطوة فردية في المحاكاة التى قد تُجرى عبر ملايين من الخطوات ذات الصلة إبستمولوجيًا قبل أن تقود إلى

[1] Morrison, M (2009) Models, measurement and computer simulation: The changing face of experimentation. *Philosophical Studies*, 143(1: 33–57), p. 33.

نتائجها[١]. يقول "همفريز": "تعد العملية غامضة إبستمولوجيًّا بشكل أساسي بالنسبة إلى (س) إذا كان من المستحيل فحسب، نظرًا لطبيعة (س)، على (س) معرفة جميع العناصر الإبستمولوجية المرتبطة بالعملية"[٢]. ويرى "همفريز" أن سبب عد هذه المشكلة مشكلة إبستمولوجية جديدة هو أنه "قبل الأربعينيات من القرن الماضي لم يكن العلم النظري قادرًا على أتمتة العملية من النظرية إلى التطبيقات بالطريقة التى تجعل تفاصيل أجزاء تلك العملية ليس بإمكان البشر الوصول إليها"[٣]. مما يترتب عليه غموض التبرير؛ نتيجة لعدم قدرتنا على اتباع جميع الخطوات اللاحقة. ويثير ذلك مشكلة إبستمولوجية جديدة ومهمة: إذا كانت (ص) نتيجة مقترحة اعتمادًا على محاكاة حاسوبية، كيف نعرف (ص)؟ وكيف نبرر اعتقادنا في (ص) عندما لا نفهم جميع الخطوات اللاحقة التى قادت إليها؟ إذا كان الغموض الإبستمولوجي لا غنى عنه في نماذج المحاكاة المعقدة، وإن كانت احتمالات التنبؤات قائمة؛ فهل سيؤدي هذا إلى وضع منظور جديد للفهم العلمي؟ هذا هو ما يجعل المناهج التقليدية غير كافية لعمليات المحاكاة الحاسوبية.

وربما هذا الغموض هو ما جعل علماء الاقتصاد يتجنبون – في كثير من الأحيان – المحاكاة الحاسوبية عندما يلتمسون الفهم من عملية الحل التحليلي نفسها. وهو أيضًا ما يشكل فارقًا مُهمًّا بين النماذج القياسية (القابلة للحل التحليلي) وعمليات المحاكاة الحاسوبية.

---

[١] Humphreys, P. (2009). The philosophical novelty of computer simulation methods. *Op.Cit*, p. 618.

[٢] *Ibid*, p. 618.

[٣] *Ibid*, p. 618.

المحاكاة الحاسوبية والتجارب الفكرية

هل المحاكاة الحاسوبية مجرد شكل من التجارب الفكرية؟ إحدى المعوقات التى تجعل من الصعب الإجابة عن هذا السؤال هو عدم وجود اتفاق على معنى مصطلحات مثل التجربة الفكرية، ولا إجماع تعريفي مُحدد لها في الدراسات، وإنما تُستخدم للإشارة إلى مجموعة واسعة من الكيانات. واقترح بعض فلاسفة العلم أن المحاكاة قد تلعب دورًا في التجارب الفكرية وصياغة النظريات العلمية؛ كونها تستطيع الاعتماد على تمثيلات مكانية وإدراك كالقدرات العقلية.

تعمل كل من التجارب الفكرية وعمليات المحاكاة دون تدخل في العالم الطبيعي، وتستكشف كل منهما عوالم فرضية، وإن كان عبر وسائل مختلفة؛ حيث يعمل كل منهما عن طريق السماح لنا بمعرفة كيف سيتجلى سيناريو، ولا تكون النتيجة معروفة من البداية. وبدلًا من ذلك تأخذ النتيجة في الظهور كجزء من عملية تُبرز ما ضُمن بالفعل في الفروض. كما تستفيد كل من التجارب الفكرية وعمليات المحاكاة من التكرار. وتنطوي بعض نماذج المحاكاة على أمثليَّات، ومن ثم يصبح للخيال فيها دور، على شاكلة دعم التجارب الفكرية لتخيل عوالم خيالية، وإن كان هناك بالطبع خطوط تفكير مختلفة حول طبيعة الخيال ودوره في العلم.

انطلاقًا من أوجه التشابه هذه ذهب باحثون من أمثال "إيزيكل دي باولو" و"جايسون ثوبل Jason Noble" و"سيث بولوك Seth Bullock"[1] إلى ضرورة اعتبار التجارب الفكرية نقطة انطلاق للمقارنة. وصنف جميعهم عمليات المحاكاة بأنها «تجارب فكرية مُعتمة opaque thought experiments»، بمعنى أنها تستكشف التفاعل القائم بين

[1] Di Paolo EA, Noble J, Bullock S. (2000). Simulation models as opaque thought experiments, *Op.Cit*.

الافتراضيات، ولكن بطريقة حاسوبية لا يستطيع البشر تتبع كل خطواتها، ومن ثم تتطلب المزيد من الاستقصاء النظامي عبر التحقيق في سلوك النماذج. وستلعب فكرة العتامة هذه دورًا كبيرًا في المناقشة التالية. ومع ذلك يبدو من المضلل بعض الشيء إدراج عمليات المحاكاة تحت فئة التجارب الفكرية. فإن الشفافية الإبستمولوجية شرط قبلي ضروري للتجارب الفكرية؛ وبالتالي الحديث عن تجارب فكرية مُعتمة يبدو غير ملائم.

يمكن التصريح بأن أحد جوانب التجربة الفكرية المُهمة كونها تسهل الوصول إلى بعض أوجه الحدس. وبالتالي عليها أن تستوفي معايير عالية من الوضوح؛ لكون العملية تقع برمتها في الإدراك. فإذا كان من غير الواضح ما يحدث بعد ذلك من نتيجة معينة، تفشل التجربة الفكرية. وبهذا المعنى تعد الشفافية شرطًا مُسبقًا لجدوى التجريب في الفكر. ويجب أن تتدفق جميع مراحل التجربة بشكل متواصل دون خلق أية فجوة في العقل. بالطبع لا يحدث ذلك في المحاولة الأولى؛ لذا قد يتطلب الأمر بعض التكرارات التى إذا نجحت تكشف عن شفافية ووضوح مبدئي، ومن ثم حكم حدسي واضح.

بينما تختلف عمليات المحاكاة الحاسوبية الخوارزمية كثيرًا عن العمليات الحدسية. قد تبدو العتامة الخاصة بالمحاكاة مفارقة للوهلة الأولى؛ كون برامج الحاسوب وعتاده المرن القابل للتنفيذ لا يجب أن يحمل أي غموض؛ لضرورة تحديد الخطوة التالية في كل خطوة من خطوات البرنامج على وجه التحديد؛ وإلا لن تحدث العملية برمتها. ومع ذلك، لا يضمن هذا الأمر الشفافية والوضوح. ليست عمليات المحاكاة مُعتمة؛ لأنه سيكون من غير الواضح كيف ستتبع الخطوة التالية سابقتها، وإنما لكونها تتألف من عدة خطوات متداخلة يمكن أن تجعل العملية برمتها غامضة.

ولقد شخص "همفريز" هذه المشكلة قائلًا: "يمكن أن تقود هذه العتامة إلى فقدان الفهم؛ لأنه في معظم النماذج الساكنة التقليدية يستند فهمنا على القدرة على تحليل العملية بين مُدخلات ومُخرجات النموذج إلى خطوات موجهة، تُقبل كل منها ميثودلوجيًّا بشكل منفرد، وبالاشتراك مع الخطوات الأخرى"[١]. بينما حتى لو كانت التفاعلات الواقعة في نظام مستهدف لعملية محاكاة بسيطة ومنمذجة بطريقة مبسطة، يمكن لعدد كبير منها أن يؤدي إلى ديناميكيات نموذجية معقدة للغاية، خصوصًا عندما تكون الأحداث البسيطة التى للنظام المستهدف مرتبطة بعضها ببعض للغاية. هنا تصبح عملية تحليل هذه النظم المستهدفة معقدة للغاية أمام المعالجة الرياضية التحليلية. ومن ثم، يجب اختبار ديناميكيات النظام عبر عملية المحاكاة. وبعبارة أخرى؛ تعد الشفافية الخوارزمية شرطًا لتنفيذ البرامج، ولكنها مع ذلك تتوافق مع خلق عتامة إبستمولوجية. مثال على ذلك نموذج "إيسنج" الفيزيائي Ising model الذي يعمل على شبكة منتظمة، تأخذ فيها كل نقطة شبكة واحدة من حالتين (الدوران لأعلى – الدوران لأسفل)، وتؤثر الخلايا المجاورة على بعضها البعض، كاتخاذ موقف معين من الجيران على سبيل المثال. ليطرح هذا النموذج صعوبات كبيرة أمام المعالجة الرياضية التحليلية نتيجة للتعقد الحاسوبي الذي ينشأ من مستوى عالٍ من الاعتماد المتبادل بين حالة جيران النقاط الشبكية وبعضها البعض.

ومن النقاط الأخرى التى سبق التأكيد عليها هى إمكانية أن تصبح عمليات المحاكاة الحاسوبية مركبة للغاية؛ لأنه لا يمكن حتى في العلوم الطبيعية أن تقوم عمليات المحاكاة دائمًا على نظرية واحدة، لكنها تعتمد أحيانًا على نظريات مختلفة من أصول مختلفة. وتعد عمليات المحاكاة المناخية مثال معروف على ذلك. وحتى لو قامت عمليات المحاكاة على

[١] Humphreys, P. (2004). *Extending ourselves, Op.Cit.* p. 148.

نظرية واحدة، فإنها تعتمد عادة على أنواع مختلفة من التقريبات والنماذج المحلية والتقنيات الحاسوبية التى لا يمكن اشتقاقها من النظرية، وإنما تحتاج إلى أوراق اعتماد مستقلة لكل منها. وسبق وأن وصف "وينسبرج" هذا الوضع في دراسات فلسفة المحاكاة تحت صيغة كونها متنوعة ومستقلة جزئيًا.

وحتى لو لم يكن للعتامة تأثير على استخدام المحاكاة، واهتممنا عادة بالمُدخلات والمُخرجات فحسب، سنجدها تؤثر على التبرير الإبستمولوجي. ففي التجارب الفكرية كل خطوة واضحة شفافة، وبالتالي يتمثل تبرير العملية في تبرير الخطوات الفردية بشكل أساسي. ويمكن القيام بذلك عن طريق المناهج التقليدية التى على شاكلة الاستقراء أو الاستنباط أو القياس الاحتمالي أو المبادئ البايزية التى قد توفر لها تبريرًا مشروعًا. بينما على نحو ما رأينا تتسبب عتامة عمليات المحاكاة الحاسوبية الإبستمولوجية في طرح مشكلات جديدة بخصوص التبرير. والقضية الرئيسة هنا هي عدم القدرة على تفكيك العملية إلى الخطوات الفردية. ونعتقد أن هذا يلغي التشابه الإبستمولوجي – على الأقل – بين المحاكاة الحاسوبية والتجارب الفكرية.

عندما يفكر بعض الفلاسفة في المحاكاة الحاسوبية كعملية تولد مُخرجات لمُدخلات معينة؛ فقد يميلون إلى الاستنتاج القائل بأنها في النهاية مجرد برنامج حاسوبي يعيد ترتيب الرموز بطريقة منطقية، وبالتالي لا يمكنه الوصول إلى معرفة جديدة عما هو موجود بالفعل في المُدخلات. وتشبه هذه المشكلة الإبستمولوجية حالة التجارب الفكرية. إذ ذهب "جون نورتن John Norton" إلى أن التجربة الفكرية "تعتمد على ما نعرفه بالفعل"[1]؛ لأن "كل ما

[1] Norton, J. D. (2004). Why thought experiments do not transcend empiricism. In C. Hitchcock (Ed., *Contemporary Debates in the Philosophy of Science* . Bodmin: Blackwell, (pp. 44–66, p. 45.

يمكن أن يفعله الفكر المجرد هو تغيير ما نعرفه بالفعل"[١]. ولكن هناك اختلافًا بين إبستمولوجيا عمليات المحاكاة الحاسوبية وإبستمولوجيا التجارب الفكرية من حيث هذه النقطة نود الإشارة إليه. لا تستحضر عمليات المحاكاة معرفة جديدة فحسب عند استخدامها للعمل على معرفة موجودة بالفعل، فهي ليست واضحة بذاتها بسبب العتامة، ومن ثم نجدها تكتشف بالمعنى الحرفي للكلمة، وتجعل ما كان مخفيًّا في السابق مرئيًّا، أو المتعذر علينا الوصول إليه سابقًا ممكنًا.

وعلى الرغم من هذا الفصل المهم القائم بين الشفافية والعتامة؛ هناك تشابه ميثودلوجي مهم بين المحاكاة الحاسوبية والتجربة الفكرية[٢]: ألا وهو استخدام التكرار. وحدد "يوهانس لينهارد Johannes Lenhard" نمطين من التكرارات: نمط «التلاقي» ونمط «أطلس». يُستخدم النمط الأول في حالات مثل استكشاف طريق جديد، يصبح في نهاية المطاف طريقك الروتيني. في البداية يكون هناك الكثير من الشك، ولكن بعد بضعة تكرارات يبدأ الطريق في الاستقرار، ويصبح المسار الروتيني المفهوم. ويمكن لهذا النمط أن يؤثر على الحدس، لكنه عادة ما يرتبط بسياق ثابت. أما النمط الثاني من التكرار فيعمل عن طريق

---

[١] *Ibid*, p. 49.

[٢] وربما هناك تشابه ميثودلوجي بين المحاكاة الحاسوبية والتجارب بشكل عام من حيث طبيعة الأسئلة المطروحة أيضًا: فإذا كانت عمليات المحاكاة مترابطة معًا عن طريق العديد من المجموعات المستقلة من النظريات والتقريبات والتحسينات الخوارزمية وغيرها، فمن الممكن أن تُشير أُطروحة "دوهيم–كواين" إلى مشكلة محتملة. فإذا فشلت الصحة مثلًا بسبب خطأ في التنبؤ الإمبريقي هنا؛ فلا يمكن للمرء معرفة أي جزء من سلسلة التفكير النظري والمجموعات المستقلة فشله قاد إلى هذا التنبؤ الإمبريقي. ويعني هذا عدم استطاعة المرء معرفة ما إذا كانت النظرية التي انطلقت منها المحاكاة أم تبسيطات النمذجة أم كود البرنامج هو الذي فشل. ومن ثم، قد تواجه صحة عمليات المحاكاة فيما يتعلق بأُطروحة "دوهيم–كواين" تحديات ميثودلوجية من النوع نفسه.

استنفاد الاحتمالات، ومن ثم إنشاء ملخص أو أطلس. ويعمل على مستوى أكثر تجريدية. ويُستخدم التكرار هنا لاستكشاف مجموعة من الخيارات في ظل مغايرات تسيطر عليها، فيتم تجميع النتائج ثم الحصول على لمحة عامة. فإذا كان عدد الاحتمالات عاليًا، فعلى المرء أن يلجأ إلى التكرارات الآلية، وهو بالضبط ما تبرع فيه أجهزة الحاسوب[١].

هكذا ينتهي لينهارد إلى ارتباط التجارب الفكرية بنمط التلاقي في التكرار. فعندما تقوم بتجربة فكرية؛ يزيل التنفيذ المعاد والمتكرر الغموض الأولي. هذا من ناحية، ومن ناحية أخرى تنطوي تجارب المحاكاة على نمط أطلس في التكرار. وما يجريه النموذج من تكرار هنا لا يعمل على إزالة العتامة، وإنما يستكشف فضاء سلوك النموذج المحتمل[٢]. وبناء عليه؛ يمكن فهم العمليات الديناميكية بوصفها أطلس يجمع العديد من الخرائط الفردية. وتحل هنا مجموعة النتائج المجمعة محل يقين الحدس. ويصبح الاختلاف بين التجربة الفكرية والمحاكاة الحاسوبية اختلافًا في أنواع المناهج المستخدمة، حيث تتطلب المعالجة في الحدس الشفافية، بينما الاستبصارات التى توفرها عمليات المحاكاة من جمع العديد من النتائج شيء لا تستطيع التجربة الفكرية توفيره.

ومن الواضح أن هناك فروقًا برجماتية كبيرة بين الاشتقاق الحدسي والتكامل التدريجي. فالأول من اليسير على الإنسان القيام به عبر أدوات الكتابة والورق والدماغ. بينما تخلق عمليات المحاكاة الحاسوبية تحسينات معرفية تتجاوز تلك الموارد، وتمكن العلماء من

---

[١] Lenhard, J. (2018). Thought experiments and simulation experiments: Exploring hypothetical worlds. In M. Stuart, et al. (Eds., The Routledge companion to thought experiments. London: Routledge, (pp. 484–497). pp. 489-490.

[٢] *Ibid*, p. 490.

دراسة السلوكيات المعقدة الديناميكية غير الخطية للظواهر التى يُركز عليها حاليًا في العلوم المعاصرة.

ولقد دفع ذلك فلاسفة من أمثال "نانسي نرسيسان Nancy Nerssessian" وآخرين إلى التصريح بأن المحاكاة الحاسوبية تُجلب نهاية التجربة الفكرية؛ لكون عمليات المحاكاة أكثر موثوقية وتفصيلًا، وبنوا هذا الاستنتاج على ثلاثة اعتبارات:

- التجارب الفكرية نتاج لبيئة إشكالية محدودة ماديًا للغاية، بينما البيئة الإشكالية المادية الحالية أكثر ملاءمة للنمذجة الحاسوبية.
- يمكن أن يوفر بناء النماذج الحاسوبية استبصارات أعمق للمشكلات مما قد يوفر بناء التجارب الفكرية.
- تدعم بالفعل النماذج الحاسوبية الدور المعرفي المركزي للتجارب الفكرية التى هي شكل من التفكير القائم على نموذج ومنفذ بالنماذج العقلية، ولكنها تسمح بإجراء عمليات محاكاة أكثر تعقدًا أيضًا[١].

ومع ذلك تبقى أنماط التفكير العقلية الممارسة في التجارب الفكرية ضرورية للعلماء؛ كونها تعيد صياغة النتائج أو الرؤى المطورة عن طريق أشكال أخرى صديقة للبشر ويمكن فهمها، كما قد تكون بالمثل سبلًا لتوسيع المخططات الأولية للأفكار والفروض العلمية، وتخدم في إنجاز مزيد من التحقيق عن طريق السيناريوهات المخالفة للواقع.

---

[١] Chandrasekharan, S., Nersessian, N. J., and Subramanian, V. (2012). Computational modeling: Is this the end of thought experimenting in science? In Brown, J., Frappier, M., and Meynell, L. (Eds, *Thought experiments in philosophy, science and the arts*. London: Routledge, (pp. 239–260), P. 239.

الخاتمة

على نحو ما رأينا فضل كلٌّ من "فريج" و"ريس" تصور أكثر تجريدًا للمحاكاة الحاسوبية، لا يجعلها مختلفة إلى حد كبير عن النماذج، بينما فضل آخرون تصورات متضمنة بوضوح في البرمجة والتنفيذ الحاسوبي للمحاكاة، ومتحيزة لخصوصيتها وجدتها. وربما لكل من الموقفين مزاياه وعيوبه. فإن الموقف الأول المتشكك في جدة إبستمولوجيا المحاكاة الحاسوبية وميثودلوجيتها يُساعد المرء على عدم تشتت الانتباه عند محاولة تفسير كيفية عمل العلم الحديث؛ إذ يتجنب استبعاد القضايا المركزية المستمرة بالنسبة إلى المشكلات الجديدة، وإن كان لا يعطي المحاكاة الحاسوبية وضعها الميثودلوجي والإبستمولوجي الفعلي. في حين يأخذ موقف الجدة الممارسات الفعلية الحالية للعلماء والمشكلات الخاصة بها وحدها على محمل الجد للغاية، وإن كان يتطرف في بعض الأحيان متجاهلًا تناول بعض مشكلات فلسفة العلم الميثودلوجية والإبستمولوجية التقليدية بالمناقشة بالنسبة إلى قضايا المحاكاة الحاسوبية.

لقد سبق ومُنح للتجارب والنماذج والتجارب الفكرية والمحاكاة الحاسوبية أدورًا مختلفة في النشاط العلمي. فعلى سبيل المثال عادة ما اعتبرت التجارب المصدر الدليلي لإثبات التمثيلات النظرية وتأييدها أو دحضها، وللتجارب الفكرية كسبل لاستكشاف التصورات المفاهيمية وتطوير التنظير، وللمحاكاة الحاسوبية كسبل لتوفير التفسيرات النظرية أو لصنع التنبؤات. وأبرز مؤلفون مختلفون في العقود الأخيرة التصريح القائل بأن الحدود الواقعة بين أنشطة النمذجة أو التجريب أو المحاكاة ليست دائمًا حادة للغاية. ويمكن للمرء ملاحظة استخدام العلماء أحيانًا لهذه الأنشطة المختلفة بالتبادل لحل المشكلات. فمن الممكن تصنيف مقاربات حل مشكلات ديناميكا الموائع بأنها تحليلية وتجريبية ومحاكية حاسوبية في الوقت

نفسه؛ ففي ديناميكا الموائع التحليلية يستخدم المرء أدوات الرياضيات والنمذجة الفيزيائية لتطوير حلول للمشكلات الهندسية، وفي ميكانيكا الموائع التجريبية تتضمن الأدوات أنفاق الرياح والمياه لافتراض حالة تدفق معينة، وفي ميكانيكا الموائع الحاسوبية تُستخدم المحاكاة الحاسوبية الرقمية كل الأشكال التقريبية لمعادلات حركة الموائع المختلفة.

ويمكن استخدام كل من التجارب والنمذجة والتجارب الفكرية وعمليات المحاكاة الحاسوبية أحيانًا لأداء الدور الوظيفي نفسه داخل النشاط العلمي، ككشف السيناريوهات. مما يقود إلى الأخذ في الاعتبار بعض التشابهات الملحوظة بينها. ومع ذلك، لا يلتزم هذا الموقف الوظيفي سوى بشكل ضعيف بطبيعة هذه الأنشطة؛ نظرًا لإمكانية إنجاز الوظائف العلمية عن طريق عمليات مختلفة تمامًا. ولا يعني الاستبدال الوظيفي ضمنيًّا الاستبدال الإبستمولوجي. وإنما كل ما يعنيه التشابه الوظيفي – ببساطة – إمكانية عمل هذه الأنشطة الشيء نفسه دون امتلاك الإمكانيات نفسها. وتفسر الفروق الإبستمولوجية بين هذه الأنشطة سبب عدم كونها طرق زائدة عن الحاجة.

قد يرى بعض الفلاسفة –عبر نظرة هجينة– إمكانية اعتبار النماذج والتجارب وعمليات المحاكاة رموزًا من النوع نفسه، تقع بطريقة أو بأخرى، بين عبارتنا حول العالم والعالم نفسه. لكن هذه النظرة الهجينة غير مفيدة إلى حد ما؛ لأنه ليس حالًا يمكننا تعميمه ببساطة على طبيعة البيانات المحاكة حاسوبيًّا، أو الجوانب الميثودلوجية للمحاكاة الحاسوبية نفسها. ولا يخبرنا الكثير حول تحديد موضع بيانات المحاكاة الحاسوبية في المشهد الإبستمولوجي. ويرجع أحد أسباب ذلك إلى وجود عدد من الأنواع المختلفة للمحاكاة الحاسوبية تستخدم ميثودلوجيات مختلفة، وتُستخدم في سياقات تجريبية مختلفة. علاوة على أن التدرب على قائمة طويلة من التشابهات والاختلافات مع كل من التجريب والنمذجة لا يحقق الكثير

عند تأسيس أية استنتاجات إبستمولوجية. وبدلًا من ذلك، ينبغي أن ينصب التركيز مباشرة على عمليات المحاكاة الحاسوبية ومُخرجاتها، وكيفية توليدها واستخدامها من أجل تقييم وضعها الإبستمولوجي.

ويكشف الفحص عن قرب لهذه الجوانب المختلفة أنه على الرغم من أن للمحاكاة روابط بمعالم ميثودلوجية خاصة بالتجربة والنمذجة، لا ينبغي دمجها ببساطة مع أي منهما، كما لا ينبغي اعتبارها هجينة أيضًا. إذ توفر البنية الميثودلوجية المرتبطة بالمحاكاة الحاسوبية نمطًا من المعرفة يولد بشكل فريد، ويثير اهتمامات وأمور إبستمولوجية خاصة بها وحدها، مما يتطلب مقاربة دقيقة حذرة عند تقييم الصحة الإبستمولوجية.

إن "فريج" و"ريس" على حق في أنه عند بعض مستويات عمليات المحاكاة لم تتغير الأسئلة الإبستمولوجية الأساسية المرتبطة بتبرير النماذج. ومع ذلك، ما يبدو جديد بحق في حالة المحاكاة هو تعقد المشكلات الفلسفية الخاصة بالتمثيل والموثوقية، والإستراتيجيات الميثودلوجية والإبستمولوجية المختلفة التى أصبحت متاحة لمصممي النماذج نتيجة للمحاكاة. ومن ثم تقييم دقة الآليات المحاكية التحتية ومعقوليتها لحل مشكلة العتامة الإبستمولوجية، وتسوية شكل من الفهم العلمي.

وتسوية هذا النوع من الفهم هو خيار يتخذه الباحثون للتعامل مع المشكلات والنظم الأكثر تعقدًا باستخدام عمليات المحاكاة التى تقود بدورها إلى تحول عميق في طبيعة ومستوى المشاركة المعرفية البشرية في العمليات المنتجة علميًّا ومُخرجاتها. فقد قامت معظم دراسات فلسفة العلم على أساس أفكار تخص القدرات المعرفية البشرية، ومفاهيمنا عن التفسير والفهم مبنية ضمنيًّا على أساس ما يمكننا فهمه كبشر. لذا؛ قد تجعل المحاكاة الحاسوبية وعلوم البيانات الضخمة هذه الأنواع من التشخصيات غير دقيقة أو غير ذات صلة.

إننا نؤكد أن لتقنيات المحاكاة حياتها الخاصة، بمعنى أنها تحمل أوراق اعتمادها الخاصة بها وحدها، وأن عملية المحاكاة ككل – بما فيها من بناء واستخدام وتحسين – جديرة بإبستمولوجيا خاصة بها داخل فلسفة العلم. وينبغي على الفلاسفة توخي الحذر عند تطوير هذه الإبستمولوجيا؛ نظرًا لاختلاف دور عمليات المحاكاة الحاسوبية وأنواعها وتقييمها الإبستمولوجي من حالة إلى أخرى، كما ينبغي تبرير التعميمات الجزئية أو تجنبها مبدئيًّا على الأقل.

المصَادر والمرَاجع

1. Barberousse, A., Franceschelli, S., & Imbert, C. (2009). Computer simulations as experiments. *Synthese*, 169(3), 557-574.
2. Chandrasekharan, S., Nersessian, N. J., and Subramanian, V. (2012). Computational modeling: Is this the end of thought experimenting in science? In Brown, J., Frappier, M., and Meynell, L. (Eds), *Thought experiments in philosophy, science and the arts*. London: Routledge, (pp. 239–260).
3. Di Paolo EA, Noble J, Bullock S. (2000). Simulation models as opaque thought experiments. In Bedau MA, McCaskill JS, Packard NH, Rasmussen S (Eds) **Artificial Life VII:** Proceedings of the Seventh International Conference on Artificial Life. MIT Press, Cambridge MA, (pp. 497–506).
4. Eckhart, A. (2010). *Tools or toys?* Stuttgart: Institute of Philosophy, University of Stuttgart.
5. Fox Keller, E. (2003). Models, simulations, and computer experiments. In H. Radder (Ed.), *The Philosophy of Scientific Experimentation*. Pittsburgh, PA: University of Pittsburgh Press, (pp. 198–215).
6. Frigg, R. & Reiss, J. (2009). The Philosophy of Simulation: Hot New Issues or Same Old Stew. *Synthese*, 169(3): 593–613.
7. Galison, P. (1996). Computer simulations and the trading zone. In P. Galison & D. Stump (Eds.), *The Disunity of Science: Boundaries, Contexts, and Power*, Stanford: Stanford Univ. Press, (pp. 118–157).

8. Giere, R. N. (1988). *Explaining Science: A Cognitive Approach*, University of Chicago Press, Chicago, IL.

9. Guala, F. (2002). Models, simulations, and experiments. In L. Magnani and N.J. Nersessian (Eds) *Model-Based Reasoning: Science, Technology, Values*, New York: Kluwer, (pp. 59–74).

10. Hartmann, S. (1996). The world as a process. Simulations in the natural and social sciences. In R. Hegselmann et al. (Eds.), *Modelling and simulation in the social sciences from the philosophy of science point of view*. Dordrecht: Kluwer, (pp. 77–100).

11. Humphreys, P. (1991). Computer Simulations. In A. Fine, M. Forbes and L. Wessels (Eds.). *PSA 1990, Vol. 2*, East Lansing: Philosophy of Science Association, (pp. 497–506).

12. Humphreys, P. (2004). *Extending ourselves: computational science, empiricism, and scientific method*. Oxford University Press.

13. Humphreys, P. (2009). The philosophical novelty of computer simulation methods. *Synthese*, 169(3):615–626.

14. Lenhard, J. (2018). Thought experiments and simulation experiments: Exploring hypothetical worlds. In M. Stuart, et al. (Eds.), The Routledge companion to thought experiments. London: Routledge, (pp. 484–497).

15. Morgan, M. S. (2003). Experiments without material intervention: Model experiments, virtual experiments and virtually experiments. In H. Radder (Ed.), *The philosophy of scientific experimentation*. Pittsburgh, PA: University of Pittsburgh Press, (pp. 217-235).

16. Morgan, M. S. (2005). Experiments versus models: New phenomena, inference and surprise. *Journal of Economic Methodology*, *12*, 317–329.

17. Morgan, M. S., and Morrison, M. (1999). *Models as Mediators: Perspectives on Natural and Social Sciences*, Cambridge University Press, Cambridge, MA.

18. Morrison, M. (2009). Models, measurement and computer simulation: The changing face of experimentation. *Philosophical Studies*, 143(1): 33–57.

19. Norton, J. D. (2004). Why thought experiments do not transcend empiricism. In C. Hitchcock (Ed.), *Contemporary Debates in the Philosophy of Science* . Bodmin: Blackwell, (pp. 44–66).

20. Peschard, I. (2011). Making sense of modeling: Beyond representation. *European Journal for Philosophy of Science*, *1*, 335–352.

21. Rohrlich, F. (1991). Computer Simulation in the Physical Sciences. In A. Fine, M. Forbes and L. Wessels (Eds.). *PSA 1990, Vol. 2*, East Lansing: Philosophy of Science Association, (pp. 507–518).

22. Schelling, T. C. (1971a). Dynamic models of segregation. Journal of Mathematical Sociology 1:143–186.

23. Schiff, J.L. (2008). *Cellular automata: a discrete view of the world*, 1st edn. Wiley, Hoboken.

24. Simpson, J. (2006). Simulations are not Models. Proceedings Models and Simulations, *Paris*, 1-33.

25. Suppe, F. (1974). *The Structure of Scientific Theories*, University of Illinois Press, Chicago, IL.

26.Winsberg, E. (1999). Sanctioning Models: The Epistemology of Simulation. *Science in Context*, 12 (2): 275–292.

27.Winsberg, E. (2001). Simulations, Models, and Theories: Complex Physical Systems and their Representations. **Philosophy of Science,** 68 : S442-S454.

*28.*Winsberg, E. (2003). Simulated experiments: Methodology for a virtual world. *Philosophy of Science*, 70: 105–125.

29.Winsberg, E. (2009). A tale of two methods. *Synthese*, 169: 575–592.

30.Winsberg, E. (2010). *Science in the Age of Computer Simulation*. Chicago: The University of Chicago Press.

31.Winsberg, E. (2013) Computer simulations in science. In: The Stanford Encyclopedia of Philosophy, ed. By E.N. Zalta (Stanford Univ: Stanford), http:// plato.stanford.edu/cgi-bin/encyclopedia/archinfo. cgi?entry=simulations-science.

Abstract

This study investigates how one should understand the exact **methodological nature of computer simulations and the degree of justification for their use. Philosophers of science have adopted a number of different perspectives when it comes to answerring the question: Where do computer simulation techniques site on the traditional methodological map? Through a critical analysis, this study compares computer simulations with the nature of theory, scientific models and thought experiments, and takes into account whether these simulations raise new methodological and epistemological issues or not. The study emphasizes that despite the existence of common features between the methodology of theories, models, thought experiments and simulations, there are many features that distinguish it and make it a new scientific tool whose powers and limits have not been perfectly understood yet.**

Descriptors: Computer simulations– Epistemic opacity– Syntactic view– Semantic view– Models.

Computer Simulation Site on the Methodological Map

By

Dr. Mena Sity Youssef Fanous

Philosophy Of Scienceslecturer:

Psychology Department Of Philosophy,

Facutlty Of Arts University, Cairo, Egypt