العلاقة بين المحاكاة الحاسوبية والتجربة

مينا سيتى (مصر)

تُناقش هذه الدراسة طبيعة العلاقة القائمة بين المحاكاة الحاسوبية والتجربة، من المنظور الإبستمولوجي، ومن المنظور الأنطولوجي. وقد تبوأرت الدراسة حول محاولة الإجابة عن أسئلة مثل: هل للمحاكاة الحاسوبية معالم إبستمولوجية مستجدة؟ وهل هناك جوانب مُشتركة بين هذه الإبستمولوجيا وإبستمولوجيا التجربة لدى مدرسة التجريبية الجديدة؟ وإذا كانت هناك فروق إبستمولوجية وأنطولوجية بينهما، فما هي طبيعة مثل هذه الفروق؟

استهدفت هذه الدراسة إثبات أن إبستمولوجيا المحاكاة الحاسوبية لها بضعة معالم فريدة، ولها كذلك بضع معالم أخرى مُشتركة مع إبستمولوجيا التجريب المعروفة، وأن مسألة درجة القوة الاستدلالية والفروق الأنطولوجية بينهما تعتمد على سياق الاستخدام النسبي والخلفية المعرفية المتوفرة عن النظام المُستَهدف، وذلك عن طريق التحليل النقدي المنهجي الإبستمولوجي لهما. وبالتالي تخلص هذه الدراسة إلى أن عمليات المحاكاة الحاسوبية لها حياتها الخاصة في العلم وفي فلسفته.

ظهرت أولى عمليات المحاكاة الحاسوبية في مشروع مانهاتن خلال الحرب العالمية الثانية لنمذجة عملية تفجير نووي، ثم في مشروع الهدف منه النهوض بكل البحوث المتعلقة بالتنبؤ بالطقس وتطوير الأسلحة النووية. ومنذ ذلك الحين أصبح لا غنى عنها في جميع المجالات العلمية التي استعاضت – بشكل جزئي – عن النشاط التجريبي المختبري الاعتيادي بنشاط مختبري حاسوبي. وتتضمن قائمة العلوم التي تستخدم هذه العمليات على نطاق واسع الفيزياء الفلكية والفيزياء عالية الطاقة والفيزياء الهيدرولوجية والهندسة والطب وعلم الأوبئة وعلم المناخ وميكانيكا الموائع والبيولوجيا التطوّرية والإيكولوجيا والاقتصاد والعلوم الاجتماعية والتطبيقات العلمية الطبية والهندسية والتكنولوجية المختلفة..وغيرهما.

كما أصبح لا مندوحة عن المحاكاة الحاسوبية في تصميم الطائرات ومحاكاة الطيران وتصميم شبكات المرور ومعاملات الأسواق المالية ومحاكاة حوادث السيارات وتصميم الروبوتات ومحاكاة المعارك العسكرية لتقويم نظم الأسلحة المختلفة وتدريب

رواد الفضاء على قيادة مركبة فضائية وصنع تصميمات مستقبلية للتلوث البيئي والتغيرات المناخية التي تنتاب الأرض التي نعيش عليها. كما ازداد الاهتمام بالمحاكاة الحاسوبية في مجال التعليم والدراسة الآكاديمية على وجه الخصوص؛ كونها تعمل على تيسير عمليات إجراء التجارب الكيميائية والتجارب الفيزيائية على سبيل المثال، بطريقة توفر الأمن والسلامة والدقة والوقت والتكلفة، وتحل مشكلة إجراء التجارب العلمية التقليدية في المدارس ذات الفصول المكتظة بالطلاب.

وعلى الرغم من أن المحاكاة الحاسوبية تلعب دورًا مهمًا يوما بعد يوم في الأبحاث العلمية، إلا أن الدراسات المُفصلة عن أهميتها بالنسبة لفلسفة العلم لم تنبثق إلا في تسعينيات القرن المنصرم[١]. ونمت من ذلك الحين المناقشات الحيوية حول ما إذا كانت عمليات المحاكاة الحاسوبية قد أنتجت تغييرات تستحق الاهتمام الفلسفي[٢]. كما تم طرح مجموعة من الأسئلة الفلسفية مثل: ما هي بنية إبستمولوجيا المحاكاة الحاسوبية؟ هل تعد التجارب الحاسوبية تجارب فعلية experiments؟ وإذا كانهذا هو الحال بالفعل، فبأي معنى؟ هليمكن اعتبارها شكل من أشكال التجارب الفكرية Thought Experiments[٣]؟ هل تطرح المحاكاه الحاسوبية تحديات وأسئلة جديدة على فلسفة العلم؟ وما الذي تعلمه لنا المحاكاة الحاسوبية حول دور النماذج models [٤]وبنية النظريات العلمية ودور الخيال العلمي في عملية النمذجة؟.. وهلم جرا.

يتم استخدام مصطلح المحاكاة[٥] الحاسوبية **بمعنى ضيق وآخر واسع** في فلسفة العلم. بحسب المعنى الضيق نجده "يُشير إلى استخدام حاسوب الكتروني رقمي لتنفيذ نوع معين من الخوارزمية التي يتم تصميمها لحل معادلات رياضية تمثل كيفية تغير خصائص النظام الفرضي المُستَهدف بمرور الزمن. وتصبح مثل هذه الخوارزمية نموذج محاكاة حاسوبية عند تنفيذها على حاسوب معين"[٦]. ومن أمثلة عمليات المحاكاة الحاسوبية بهذا المعنى تلك التي يتم تنفيذها يوميا في مجال التنبؤ بالطقس. وتحدث هذه العملية عبر تقدير متكرر لحلول المعادلات الممثلة للكيفية التي ستطوّر بها ظروف مثل درجة الحرارة والضغط الجوي في مناطق متفرقة على مدى فترات زمنية قصيرة.

أما بمعناها الواسع "تُشير المحاكاة الحاسوبية إلى الممارسة الكاملة لعملية نمذجة المحاكاة الحاسوبية التي تتألف على الأقل من تشييد نماذج محاكاة حاسوبية، وتشغيل مثل هذه النماذج لإنتاج عمليات محاكاة حاسوبية بمعناها الضيق، وتقييم نماذج المحاكاة الحاسوبية، والقيام باستدلالات تنتقل من نتائج المحاكاة الحاسوبية إلى

استنتاجات حول النظم المُستَهدفة، وتبرير مثل هذه الاستدلالات"[٧]. وعندما يكتب فلاسفة العلم عن المحاكاة الحاسوبية، ويضعون ادعاءات حول طبيعة الخصائص الإبستمولوجية أو الميثودلوجية لعمليات المحاكاة الحاسوبية، فإنهم عادة ما يقصدون المصطلح بحسب ما هو مفهوم في هذا المعنى الواسع.

ويتم استخدام كافة أنواع عمليات المحاكاة الحسوبية (سواء كانت العمليات القائمة على المعادلات أو العمليات القائمة على الوكيل العقلاني أو العمليات متعددة المقاييس أو عمليات محاكاة مونتي كارلو[٨]) لتحقيق أغراض وأهداف مُختلفة : كالتنبؤ أو فهم ممارسات النظم أو للتفسير أو للاستكشاف. وينبغي أن نضع في اعتبارنا اعتماد الإجراءات اللازمة لتعقب نتائج عمليات المحاكاة الحاسوبية على أي نوع من هذه الأهداف سيتم بناء المحاكاة.

وتستهدف دراستنا هنا بالتحديد طرح سؤال مُحدد: إذا كان العلماء الذين يستخدمون المحاكاة الحاسوبية يقعون احيانا في الخلط، فيصنف البعض منهم أنفسهم كنظريين والبعض الآخر كتجريبيين، وإذا كان العديد من العلماء المعاصرين ينخرطون في الوقت الحاضر فيما يسمى بالتجارب الحاسوبية، فما العلاقة القائمة بين المحاكاة الحاسوبية والتجربة بمعناها التقليدي المتعارف عليه[٩]؟ مما يستدعى قيام مناقشة فلسفية حول المقصود بالتجارب الحاسوبية وطبيعة صلتها بالتجارب التقليدية المعتادة في العلم، بهدف إثبات أنه بالرغم من وجود جوانب ميثودلوجية وإبستمولوجية وأنطولوجية مشتركة بين التجريب والمحاكاة الحاسوبية إلا أن للمحاكاة الحاسوبية «حياتها الخاصة».

أولًا: أوجه التشابه الإبستمولوجي بين المحاكاة الحاسوبية والتجربة

تحتاج المحاكاة الحاسوبية إلى إبستمولوجيا؛ كونها تنتهي إلى نتائج واستنتاجات. مما يدفعنا إلى البحث عن معايير لتحديد ما إذا كان لمثل هذه النتائج ما يبررها أم لا.وكما سبق وذكرنا أثبتت طرق المحاكاة الحاسوبية واستدلالتها نفسها في عدة تخصصات ومجالات علمية. ليصبح السؤال الفلسفي المركزي هنا: ما الذي يبرر مثل هذه الاستدلالات؟ وكيف يمكن تقييم نتائج عمليات المحاكاة الحاسوبية؟ وما مدى موثوقيتها؟ وهل يمكن الثقة في تنبؤاتها؟ تلك هي الأسئلة المركزية في إبستمولوجيا المحاكاة الحاسوبية. ولسوف نحاول الإجابة على هذه الأسئلة عبر طرح سؤالين: (١) هل تحظى إبستمولوجيا المحاكاة الحاسوبية بمعالم مستجدة؟ (٢) وما القواسم المُشتركة

الكائنة، إن كانت هناك قواسم مُشتركة بالفعل، بين هذه الإبستمولوجيا وإبستمولوجيا التجربة؟

إن الخطوة الأولى في الإجابة عن هذين السؤالين، والسؤال الأول بالأخص، هى طرح مثال على نوع من عمليات المحاكاة الحسوبية؛ مما يمكننا من تسليط الضوء على الخطوات الاستنتاجية المختلفة الواقعة خلال عملية المحاكاة، وتحديد العوامل المتنوعة المشتركة فيها، مما يمنحنا صورة إبستمولوجية دقيقة عما يجرى فيها. ولما كانت هناك أنواع مختلفة من عمليات المحاكاة الحاسوبية، بعضها ينطلق من المعادلات والنظريات والبعض الآخر من الوكيل العقلاني.. وغيرهما، سنتناول المثال الذي طرحه إريك وينسبرج Eric Winsberg[١٠] [١١] على نوع عمليات المحاكاة الحاسوبية الشائع استخدمها في العلوم الفيزيائية والقائمة على معادلات ومدفوعة نظريًا.

أولى خطوات مثل 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 ميكانيكيًا 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) ديناميكي 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[١٢]. **(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 مثل هذا النموذج مبتكر. فقد يتضمن استبعاد بعض الاعتبارات الموجودة في النموذج الديناميكي أو صنع اعتبارات جديدة.

واحيانا 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 نسبيًا 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 عينيًا 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[١٣].

يقوم المحاكي بعد ذلك للتأكد من دقة مخرجات عملية المحاكاة الحاسوبية بإجرائين: التحقق Verification والصحة Validation. 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 مخرجات المحاكاة تمثل النظام الأصلي الحقيقي المُستَهدف بدقة كافية في النواحي ذات الصلة، وفي ضوء الأسئلة التي يأمل العلماء الإجابة عليها حول النظام المُستَهدف[١٤].

إنها إبستمولوجيا فريدة وغير مألوفة في فلسفة العلم التي كانت إبستمولوجيا النظريات فيها تهتم بتأييد[١٥] النظريات وتبريرها لا بتطبيقات مثل هذه النظريات. فقد كانت إبستمولوجيا فلسفة 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 يجرى في إبستمولوجيا المحاكاة الحاسوبية هو اتجاه عكسي. ينطلق من إقرار مستقل للاستنتاجات التي نستخلصها من النظريات العلمية، وغالبًا ما لا تحمل مخرجات 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 احدى اغراض 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 فقط تبرير ما تنتجه من مُخرجات وكفى.

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 مهمًا 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 فقط، 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(١٦).

ركز وينسبرج عند صياغة هذه الشروط على عمليات المحاكاة الحاسوبية القائمة على المعادلات في العلوم الفيزيائية، حيث عادة ما تكون المحاكاة مدفوعة بنظرية. بينما قد تكون هناك شروط أخرى أكثر ملاءمة للمحاكاة الحاسوبية القائمة على الوكيل العقلاني في العلوم الاجتماعية على سبيل المثال، حيث يتم بناء النماذج في قليل من الأحيان على نظرية كمّية مؤسسة. إن شروط وينسبرج لم تول اهتمامًا كافيًا للأهداف المتنوعة التي يتم من أجلها استخدام أنواع مختلفة من عمليات المحاكاة الحاسوبية. وبناء عليه ربما ينبغي تشخيص إبستمولوجيا المحاكاة الإبستمولوجية من نواحي أخرى. ومع ذلك تؤكد حتى مثل هذه التشخصيات المُختلفة فرادة إبستمولوجيا المحاكاة الحاسوبية وجدتها على أي حال.

دعنا ننتقل الآن إلى السؤال الثاني: ما القواسم المُشتركة الواقعة، إن كانت هناك قواسم مُشتركة بالفعل، بين إبستمولوجيا المحاكاة الحاسوبية وإبستمولوجيا التجارب؟ عندما نلق نظرة سريعة على تاريخ تطوّر إبستمولوجيا التجريب وفلسفته منذ القرن العشرين وحتى الوقت الحالي، نجد أن هناك ثلاثة مراحل مرت بها هذه الإبستمولوجيا. مرحلة أولى ما قبل ثمانينيات القرن العشرين اعتادت خلالها فلسفة العلم على أن يكون

شغلها الشاغل موجه نحو النظريات والمفاهيم العلمية وإعطاء اهتمام ضئيل للتجارب. بينما وقعت في المرحلة الثانية خلال الثمانينيات بدايات سريعة لتطوّر فلسفة التجريب مع ظهور مدرسة التجريبية الجديدة New Experimentalism، ثم الافتقاد إلى مثل هذه اللحظة في المرحلة الثالثة خلال العقد التالي. ولإثبات ذلك يكفي الرجوع إلى الاعداد الأخيرة لمجلات فلسفة العلم المعروفة ومؤلفاتها أيضًا.

وبناء عليه سنتناول إبستمولوجيا التجريب على نحو ما تبدت في المرحلة الثانية كمنطلق للمقارنة بينهما وبين إبستمولوجيا المحاكاة الحاسوبية. وعند الرجوع إلى هذه المرحلة سنجد أنه قد أصبحت نظرة «النظرية أولاً» خلال الثمانينيات موضع هجوم ضارٍ. فقد دعا إيان هاكنج Ian Hacking إلى ضرورة إعادة فحص الأهمية الإبستمولوجيّة للتجريب. فتبعاً له التجريب له "**حياته الخاصة**"(١٧).

إن التجربة مستقلة عن النظرية التي هى واسعة النطاق. وهذا تناقض واضح مع النظرية البوبرية التي تذهب إلى أن النظرية تسبق التجارب وأنه ليس هناك تجربة بلا نظرية(١٨). بينما هناك العديد من الأمثلة التي يمكن استخلاصها من تاريخ العلم بوصفها مضادة للنظرة البوبرية، فإن الملاحظات الأصيلة لاكتشاف كارولين هرشيل Carolyn Herschel للمذنبات، وعمل وليام هيرشيل على «الحرارة الإشعاعية»، وملاحظة ديفي Davy للغاز الصادر من قبل الطحالب... وغيرهما، لا نجد في أي من هذه الحالات أي نظرية للظواهر الواقعة تحت التحقيق لدى المجرب. ولربما تلاحظ – أيضا – أن قياسات القرن التاسع عشر للأطياف الذرية والعمل القائم على طبقات وخصائص الجزيئات الأولية خلال الستينيات كل منهما أجريا بدون أي توجيه من قبل النظرية. مما يعني أن جزءاً كبيراً من الممارسة التجريبية مستقل عن النظريات عالية المستوى وليس غرضه اختبار مثل هذه النظريات. ولهذا نمو المعرفة التجريبية له ديناميكيته الداخلية الخاصة به. علاوة على ذلك يذهب هاكنج إلى أن الإجابات على بعض الأسئلة الفلسفية القديمة المتعلقة بطبيعة المعرفة العلمية يمكن أن تأتي فقط من خلال الفحص المباشر لما يفعله العلماء داخل المختبر(١٩).

انضم إلى هاكنج فلاسفة فيزياء وبيولوجيا ومؤرخو علم باقتناعات مختلفة تماماً في الحركة التي أطلق عليها روبرت إكرمانَ Robert Ackerman في عام ١٩٨٩ اسم «التجريبية الجديدة». وهي اتجاه ذو تأثير عال في فلسفة العلم الأخيرة التي تقدم المناهج الإحصائية لتأسيس التجارب ولاختبار الخوارزميات وللتعلم من أخطاء ونجاحات

النتائج. فضلاً عن أن التجريبيين الجدد هم الباحثون عن القاعدة الآمنة للعلم على نحو نسبي، ليس في النظرية ولا الملاحظة ولكن في التجربة. وذلك للحصول على الأدوات التي تعمل بوصفها محاكية للدراسات التي تحدث بالفعل. ومن الممثلين المهمين لهذا الاتجاه نجد فلاسفة فيزياء من أمثال هاكنج وبيتر جاليسون Peter Galison وديفيد غودينغ David Gooding وديبورا مايو Deborah Mayo وآلان فرانكلين Alan Franklin وإكرِمانَ وآخرون.

منطلق أو بداية حركة التجريبية الجديدة كانت من جانب الفيزياء التجريبية، وعلى وجه الخصوص من كتاب الفيزيائي التجريبي آلان فرانكلين«إهمال التجربة»[٢٠]. فقد عرض فيه تخطيطاً للبيانات التي تتعلق بالسلاسل التجريبية في الفيزياء. ولقد وضع التجريبيون الجدد العديد من المنطلقات التي تأسر بشكل حسن الكثير من جوانب العلم التجريبي، منها على سبيل المثال لا الحصر : تخدم التجارب –أحياناً– أدواراً أخرى غير تقرير قيمة صدق النظريات المحمولة بشكل مسبق. على سبيل المثال إنها ربما تخدم في أن تقوم بدور استكشافي بدون أن تكون ضريرة[٢١]. وهناك معرفة تجريبية لها استقرار داخلي خاص بها يبقى مستمراً حتى إذا ما حدث تحولات محورية في النظريات عالية المستوى[٢٢]. كما تؤدى العديد من التجارب - بما في ذلك التجارب التحضيرية والاستكشافية – إلى ارتفاع وتيرة المفاجآت[٢٣].

قام بعض فلاسفة العلم المهتمين بالمحاكاة الحاسوبية بتوضيح التماثلات القائمة بين عمليات المحاكاة الحاسوبية وإبستمولوجيا التجربة على نحو ما تبدت عند أنصار مدرسة التجريبية الجديدة. فعلى سبيل المثال، ذهب كلٌّ من وينسبرج وتوماس وايسرت Thomas Weissert إلى أن الكثير من استراتيجيات الآن فرانكلين التي يستخدمها العلماء لبناء ثقة في النتائج التجريبية نظائر في سياق المحاكاة الحاسوبية[٢٤]. ومع ذلك لم يطرحوا تحليلًا تفصيليًا لماهية هذه النظائر مثلما فعلت ويندي باركر Wendy Parker[٢٥] التي طرحت خمس استراتيجيات لفرانكلين ونظائرها في تقييم النموذج وتقييم الكود داخل المحاكاة الحاسوبية[٢٦]. ومن ضمن هذه النظائر الخمسة نذكر على سبيل المثال (للإطلاع على بقية مثل هذه النظائر الخمسة يمكننا الرجوع إلى مقالته[٢٧]):

استراتيجيات فرانكلين	استراتيجيات تقييم النموذج	استراتيجيات تقييم الكود
١- تعطى الأدوات نتائج أخرى تطابق النتائج المعروفة.	تتلائم مُخرجات المحاكاة بشدة مع مختلف بيانات الملاحظة.	تتلائم الحلول المقدرة بشدة مع الحلول التحليلية و/أو الحلول العددية الأخرى.
٢- تستجيب الأدوات بالشكل المتوقع بعد التدخل في النظام التجريبي.	تتغير نتائج المحاكاة بالشكل المتوقع بعد التدخل في بارامترات النموذج الأساسية.	تتغير الحلول بالشكل المتوقع بعد التدخل في البارامترات الخوارزمية.

وعن طريق الاستلهام من ديبورا مايو، فيلسوفة أخرى من فلاسفة مدرسة التجريبية الجديدة، تقترح باركر علاجًا لبعض أوجه القصور في المقاربات الحالية لعملية تقييم نماذج المحاكاة الحاسوبية ونتائجها[٢٨].

إن مايو لديها محاولة لتقديم بديل للبايزية، فهي تدعو إلى استعمال الاحتمالات في الاستدلال العلمي بالمثل، ولكن ليس بمقياس الاحتمالات الذاتية البايزية. فاحتمالات مايو موضوعية وتقيس التكرار النسبي حيث إجراء الاختبار التجريبي يسمح بمرور الفرض الكاذب. فإذا كانت احتمالية الخطأ منخفضة للغاية، فحينئذ الاختبار يظفر بعلامة «حاد Severe»[٢٩].

تعد فكرة الاختبار الحاد Severe Test مركزية بالنسبة لحساب الاحتمالات عند مايو. والحدة مفهوم تقنى مستلخص من الاختبار الإحصائي في نظرية بيرسون-نيومان. إنها متعلقة باحتمالية أن بعض الإجراءات الاختبارية قد ترفض الفرض الصفرى (العدمى Hypothesis (Null على الرغم من صحته. يطلق الإحصائيون على هذا النمط اسم خطأ من النوع الأول Type I error. واحتمال ارتكاب هذا الخطأ سمي «إحتمال الخطأ». أي إجراء اختباري يربح علامة "حاد" على نحو دقيق إذا احتمال الخطأ منخفض للغاية، وعلى نقيض البايزية لا تفسر مايو الاحتمالات بوصفها درجات ذاتية من الاعتقاد. بدلاً من ذلك الاحتمالات الخطأ هي تكرارات نسبية في فئة مرجعية معينة من الاختبارات. وهكذا تتبنى مايو تفسير موضوعي للاحتمال. علاوة على ذلك

احتمالات الخطأ لا ترتبط بالقضايا ولا بالفروض. فهى خاصية من خواص الاختبارات.فضلاً عن أنه من المهم التفرقة بين حدة بوبر وحدة مايو. فالحدة عند الأخيرة تقول بأن الفرض H يمر من الاختبار الحاد إذا الفرض نفسه تم اختباره.وليس من المهم - على نحو ما ادعى البراديم البوبري - أن تكون كل الفروض البديلة لـ H فاشلة، بحيث يكون الفرض H هو الوحيد الذي مر من الاختبار.

ومصطلح «الخطأ Error» هنا عند مايو لا يفترض بالضرورة أن يكون له المعنى التقني الذي تعطيه النظرية الاختبارية الإحصائية الصورية (أي نمط الخطأ الاحصائي من النوع الأول). ولكن المعنى الأكثر عقلانية «للغلط Mistake». فالغلطات المعترف بها في التحقيقات التجريبية تشمل - على سبيل المثال لا الحصر:

١. غلط المعالجة اليدوية التجريبية للمعلومات الحقيقية Real Effects أو غلط المعلومات المصادفة للارتباطات أو الانتظامات الأصيلة؛
٢. غلطات كمية Quantity أو غلطات في قيمة Value البارامتر؛
٣. غلطات حول عامل علّيّ Causal Factor؛
٤. غلطات حول افتراضات البيانات التجريبية(٣٠).

وعلى الرغم من تنوع الأخطاء الممكنة تلك، تعتقد مايو أن هناك حجة مشتركة مخططة واقعة تحت الاختبارات Tests التي لها بعض الوسائل للسيطرة على الأخطاء الممكنة تلك، يُطلق عليها الحجة المستخلصة من الخطأ Argument from Error (كما تظهر في ١أ و ٢أ) :

(١أ) معروف أن الخطأ يغيب عندما {وفقط إلى الحد الذي} إجراء التحقيق {الذي يشتمل على عدة اختبارات} يرافقه احتمالية عالية لاكتشاف الخطأ إذا – وفقط إذا – وُجد برغم ذلك عدم اكتشاف خطأ.

(٢أ) معروف أن الخطأ يظهر عند إجراء التحقيق الذي له احتمالية عالية لعدم اكتشاف الخطأ إذا – وفقط إذا – لا يجد برغم ذلك اكتشاف خطأ(٣١).

تذهب باركر إلى أن مقاربة الخطأ الاحصائي تلك التى كانت تتناول التجربة. التقليدية قادرة على تسليط الضوء على إبستمولوجيا المحاكاة الحاسوبية. فإن السؤال المحوري في إبستمولوجيا المحاكاة الحاسوبية من منظور مقاربة الخطأ الاحصائي يصبح «ما الذي يضمن اعتبارنا محاكاة حاسوبية اختبار حاد لبعض الفروض المتعلقة

بالعالم الطبيعي؟» هل حقًا بإمكان نماذج الطقس والمناخ، أو نماذج المحاكاة الحاسوبية في الحقول الأخرى، أن توفر دليل حسن بخصوص الفروض المتعلقة بنظم العالم الحقيقي المُستَهدفة؟ فتقترح مقاربة مايو، في حالة التجريب التقليدي، مناشدة نتائج الاختبارات الحادة التي تسبر غور مصادر مُحددة للخطأ على نحو ما رأينا. ولسوف تتضمن مثل هذه الاستراتيجية في حالة المحاكاة الحاسوبية إثبات أن مصادر الخطأ المعيارية والمُتعارف عليها في دراسات المحاكاة الحاسوبية إما غائبة أو من غير المحتمل تاثيرها على نتائج المحاكاة بشكل يتجاوز حد معين.

ولقد صاغ العلماء وبعض الفلاسفة بالفعل بعض التصنيفات لمصادر الخطأ التي من الممكن أن تؤثر على نتائج المحاكاة الحاسوبية. وعرضت باركر محاولة أولية لتصنيف يتضمن: أخطاء في تصميم الدراسة المحاكية، وأخطاء نمذجة أساسية، وأخطاء في معالجة البيانات، وأخطاء في خوارزمية الحل، وأخطاء عددية، وأخطاء برمجة، وأخطاء متعلقة بالعتاد الصلب[٣٢].

كما استخدم وينسبرج بطريقة مماثلة أعمال هاكنج لسحب تشابه قائم بين إبستمولوجيا المحاكاة الحاسوبية وإبستمولوجيا التجربة. فيقول هاكنج "لقد كتبت [ذات مرة] أن للتجارب حياتها الخاصة. لقد أردت بشكل جزئي نشر الواقعة القائلة بأن التجارب عضوية ومتطوّرة ومتغيرة، ولكنها مع ذلك تحتفظ بتطور معين طويل الأمد مما يمكننا من الحديث عن تكرار التجارب وإعادتها... إنني أعتقد أن للتجارب حياة: ناضجة ومتطوّرة ومتكيفة وليست مجرد عملية إعادة تدوير، ولكنها بالمعني الحرفي إعادة تجهيز"[٣٣].

يأتي هذا المقطع من فقرة ذهب فيها هاكنج إلى أن التجارب الفكرية – بخلاف التجارب الحقيقية – ليس لها حياتها الخاصة. ويود وينسبرج التأكيد على أن لتقنيات المحاكاة الحاسوبية حياتها الخاصة أيضًا[٣٤]. ويقصد وينسبرج بكلمة تقنيات هنا "كل الأنشطة والممارسات والافتراضات التي تدخل في عملية تنفيذ هذه المحاكاة"[٣٥]. ويتم اعتماد بعض التقنيات التي يستخدمها القائمين بالمحاكاة الحاسوبية لبناء نماذجهم بالطريقة نفسها التي صرح هاكنج بأن الأدوات والإجراءات والطرق التجريبية تفعلها؛ كونها تطوّر أوراق اعتمادها الخاصة عبر فترة طويلة من الزمن وتصبح الزامية بعمق، وبعبارة أخرى إنها مُبررة ذاتيًا.

فبحسب وينسبرج عندما يُشيد القائمين بالمحاكاة الحاسوبية نموذج، فإن مصداقية

النموذج لا تأتي فقط من النظرية الحاكمة، وإنما من حيثيات اعتماد تقنيات بناء النموذج المؤسسة سابقًا التي تم وضعها على مدى طويل من التوظيف والاستخدام. وما يقصده وينسبرج من أن لمثل هذه التقنيات حياة خاصة هو كونها تحمل معها تاريخها الخاص الحافل بالإنجازات والنجاحات السابقة. وعندما يتم استخدامها بشكل سليم، فإنها تحمل معها تفويض مستقل للاعتقاد في النماذج التي تستخدمها للبناء. لتصبح الكثير من تقنيات النمذجة الحاسوبية شبيهة إلى حد بعيد بالميكروسكوبات وغرف الفقاقيع التي وصفها كلٌّ من هاكنج وجاليسون.

ثانيًا: أوجه الاختلاف بين المحاكاة الحاسوبية والتجربة إبستمولوجيًا وأنطولوجيًا

سبق وذكرنا في القسم السابق أن لعمليات المحاكاة الحاسوبية معالم إبستمولوجية مُشتركة مع التجارب. ولكن هل هناك فروق نوعية إبستمولوجية وأنطولوجية بين هذين النشاطين؟ وإذا كانت هناك بالفعل مثل هذه الفروق، كيف يمكن تشخيصها؟ هل هناك نواحي تختلف فيها طبيعة العلاقة الإبستمولوجية والعلاقة الأنطولوجية بين الأداة والطبيعة[٣٦] في الحالتين؟

يمكننا عبر الإطلاع على الدراسات الفلسفية التي تناولت هذا الموضوع بالمناقشة أن نرى عدد من وجهات النظر المُختلفة. فهناك من يميل إلى الاعتقاد بأن النشاط التجريبي ونشاط المحاكاة الحاسوبية يختلفان عن بعضهما البعض، طارحًا أسبابه وبراهينه على ذلك. وهناك من يركز في المُقابل على الصفات التجريبية لعمليات المحاكاة الحاسوبية، ولا يجد أي اختلاف جوهري نوعي بين التجربة والمحاكاة الحاسوبية بحسب مُنطلقاته الخاصة وأدلته. ولسوف نقوم بطرح وجهات النظر المختلفة تلك والردود عليها؛ حتى نصل إلى الرأي الأقوى والأصوب من وجهة نظرنا.

١- الموضوع الفعلي موضع الاهتمام

هناك من فلاسفة العلم من يرى أن المُجرب يعمل على إنتاج معرفة تجريبية جديدة حول الموضوع الفعلي موضع الاهتمام عن طريق تطويع مثل هذا الموضوع الفعلي نفسه. بينما لا يفعل المُحاكي الحاسوبي شيء من هذا القبيل، بل يجرب باستخدام نموذج للموضوع الفعلي. فقد ذهب كلٌّ من جيلبرت Gilbert وترويتز Troitzsch إلى أن الفارق الرئيس بين التجربة والمحاكاة الحاسوبية "يكمن في أنه بينما يتحكم المرء في التجربة في الموضوع الفعلي موضع الاهتمام (وليكن على سبيل المثال المواد الكيميائية قيد التحقيق في التجربة الكيميائية)، يُجرب المرء في المحاكاة بنموذج وليس بالظاهرة

نفسها[٣٧].

لكن مثل هذا الرأي يواجه مشكلة واضحة الا وهي "أن العديد من الأمثلة البراديمية للتجارب – كما في الدراسات المُختبرية التي تتعرض فيها الفئران للمواد الكيميائية على أمل معرفة ما إذا كان لمثل هذه المواد تأثيرات مسرطنة على البشر أم لا – تشتمل على تدخل في نماذج للنظم المُستَهدفة، لا النظم المُستَهدفة ذاتها"[٣٨]. إنها سمة مشتركة للعمل التجريبي بكل أنواعه. فعادة ما تختلف الإعدادات المُختبرية في جوانب جوهرية عن فئات الموضوعات الطبيعية موضع الاهتمام. ولنأخذ في الاعتبار هنا قيام جاليليو بالقاء جسمين مختلفين من فوق قمة برج بيزا المائل للحصول على معرفة حول سقوط جميع الاجسام أو تطويع مندل لنباته البازلاء للحصول على معرفة حول كيفية انتقال صفات الآباء والأبناء الوراثية في جميع أنحاء الممالك النباتية والممالك الحيوانية على السواء.

٢- التشابه المادي والقوة الإبستمولوجية

عادة ما يرتكز الاعتقاد في الامتياز الإبستمولوجي للتجارب على عمليات المحاكاة الحاسوبية على أفكار متعلقة بالقوة الاستدلالية النسبية لديهما. وعلى وجه الخصوص الفكرة القائلة بأن التجارب تقود إلى وضع استدلالات أفضل حول النظم أو الظواهر الطبيعية عما تفعل المحاكاة الحاسوبية. ويرتبط مثل هذا الفارق بالعلاقة القائمة بين موضوعات الدراسة وأهداف التحقيق. فعندما يدرس باحث نظامًا واحدًا بقصد عمل استدلالات حول نظام آخر، فإن الأول يكون موضوعه والثاني هدفه. وهناك من فلاسفة العلم من استخلص حالة تميز للتجارب من الاعتقاد القائل بأن لموضوعات الدراسة التجريبية ارتباط قوي بالأهداف في العالم الطبيعي بحكم طبيعتهما المادية المُشتركة.

إن فرانشيسكو جوالا Francesco Guala يدعي أن هناك فرقًا أنطولوجيًا أساسيًا قائمًا بين عمليات المحاكاة الحاسوبية والتجارب. ويكمن مثل هذا الفرق بحسبه في "نوع العلاقة القائمة بين التجربة ونظامها المُستَهدف من ناحية والمحاكاة وهدفها من ناحية أخرى. فيوجد في الحالة الأولى تطابق عميق، على المستوى «المادي»[٣٩]، بينما التشابه القائم في الحالة الثانية مجرد تشابه صوري مجرد"[٤٠]. وبعبارة أخرى يكمن الفرق – بحسبه – في أنه بينما في التجربة العلاقة القائمة بين الموضوع والهدف هي التشارك المادي العميق، فإن العلاقة القائمة بين الموضوع والهدف في المحاكاة الحاسوبية ليست سوى علاقة صورية مجردة.

ولقد زعمت ماري مورجان Mary Morgan وجهة نظر مماثلة[٤١]. بل وذهبت

ابعد من ذلك حين حثت على أن مثل هذا الفارق هو بالضبط ما يجعل التجارب تتمتع بإمتياز إبستمولوجي مقارنة بعمليات المحاكاة الحاسوبية. فبحسب مورجان "تمتلك التجارب التقليدية إمكانية أكبر على صنع استدلالات قوية حول العالم...لكون التكافؤ الأنطولوجي يوفر قوة إبستمولوجية"(٤٢). فإن الواقعة القائلة بأن موضوع المحاكاة يحمل فقط تشابه صوري مع هدفه يجعل – وفقا لها – مُهمة تأسيس الصحة الخارجية للمحاكاة الحاسوبية أصعب بكثير من القيام بها في حالة التجربة.

قد يبدو لأول وهلة أن هناك بعض أوجه الحقيقة في هذا الاعتقاد. فعادة ما يكون التجريب على عينة فعلية أو تقريبية فيزيقية للهدف في العالم الطبيعي أفضل سبيل لفهمه عندما نعرف القليل للغاية عن الهدف موضع السؤال، وحينما تكون الخلفية المعرفية ذات الصلة قليلة للغاية. فعلى سبيل المثال عندما يصبح لدينا قليل من الثقة في فهمنا للكيفية التي ستعمل بها مجموعة جديدة من الأدوية في جسم الإنسان من البديهي أن نضع مزيدًا من الثقة في اختبارات الفئران.

ولكن هل من الصحيح أن الاستدلالات الواقعة حول النظم المُستَهدفة تكون أكثر قوة وتبريرًا عندما تكون النظم التجريبية والنظم المُستَهدفة من الفئة نفسها عنه عندما يكون كلاهما من فئات مختلفة؟

ترى باركر أن هذا ليس صحيحًا دائمًا. ففي حالة التنبؤ بالطقس يريد العلماء التنبؤ بشكل موثوق فيه بدرجات الحرارة وقت الظهيرة في مختلف المدن. ولكن من الصعب للغاية بناء نموذج مختبري من الفئة نفسها يمكن استخدامه لصنع مثل هذه التنبؤات؛ جزئيًا لأنه من الصعب للغاية وضع مثل هذا النموذج في حالة أولية تعكس ما يكفي من بنية درجة الحرارة المُركبة في الغلاف الجوي الحقيقي. وبدلًا من ذلك يتم عند الممارسة استخدام المحاكاة الحاسوبية. ولما كان العلماء يعرفون من الاستخدام السابق أن بعض هذه النماذج غالبًا ما نجح في التنبؤ، ولو بدرجات قليلة، بدرجات حرارة وقت الظهيرة على الأقل لبعض المدن موضع الاهتمام، فمن الممكن أن يكون أكثر تبريرًا في استخلاص استنتاجات حول درجات الحرارة تلك على أساس تنبؤات نماذجهم المحاكية الحاسوبية. وليس على أساس تجارب النماذج المختبرية التي من الفئة نفسها على الغلاف الجوي(٤٣).

تذهب باركر بهذا إلى أن الاهتمام بالمادية كما رأينا هو اهتمام في غير محله؛ لأن ما يهم في النهاية عندما يتعلق الأمر بالاستدلالات المُبررة حول النظم المُستَهدفة

ليس المادية، وإنما التشابه ذي الصلة. فإن كل ما يحتاجه العلماء لكي يُبرروا مثل هذا الاستدلال هو دليل على أن النظام التجريبي مُشابه للنظام المُستَهدف في أي نواحي ذات صلة، وبحسب السؤال المُحدد الذي يريدون الإجابة عليه حول النظام المُستَهدف. ولهذا قد تكون مثل هذه التشابهات ذات الصلة تشابهات صورية أو تشابهات مادية أو مزيجًا من الاثنين، وذلك بحسب نوع التجربة والنظام اللذين في المتناول. إن صنع النظم التجريبية والنظم المُستَهدفة من المواد نفسها ليس ضمانًا للحصول على التشابهات ذات الصلة كما هو الحال في التنبؤ بالطقس. ويمكن القول انه حتى عندما يتم صنع النظم التجريبية والنظم المُستَهدفة من المواد نفسها، قد يكون هناك عدة أسباب لعدم تشابه النظم في جميع النواحي ذات الصلة، وبالتالي تصبح الاستدلالات المحددة حول النظم المُستَهدفة غير مُبررة.

إن فكرة التشابه المادي ضعيفة للغاية؛ فقد يكون للموضوع التجريبي نفسه عدة أهداف، وربما يتطابق ماديًا مع هدف معين بينما من غير الواضح ما إذا كان يتطابق ماديًا مع الأهداف أخرى. كما أن فكرة مجرد التشابه الصوري غامضة أيضًا.

٣- نسبية سياق الاستخدام والخلفية المعرفية

يبدو حتى اللحظة الراهنة أن التجارب ليست أكثر قوة إبستمولوجية من عمليات المحاكاة الحاسوبية. ولكن هل هناك فروق إبستمولوجية وأنطولوجية مُهمة بينهما من حيث التحديات التي يواجهها كل منهما؟

يحاول وينسبرج معالجة هذه القضية عن طريق الاعتقاد بأن هناك اختلافات إبستمولوجية بين التجربة والمحاكاة الحاسوبية حتى على الرغم من أن الأولى قد لا تكون أكثر قوة إبستمولوجية من الثانية. فعلى الرغم من أن كلا النشاطين يواجهان تحديات إبستمولوجية، إلا أنه يذهب إلى أن أنواع التحديات التي يواجهها كل منهما مختلفة للغاية. وما يميز الاثنين هو طابع الحجة الممنوحة لشرعية الاستدلال من الموضوع للهدف وطابع الخلفية المعرفية المؤسسة لهذه الحجة. وبالرغم من شيوع هذه الممارسة في التجريب المعتاد يدعي وينسبرج أن ما نهتم بنمذجته في التجربة التقليدية ما أطلق عليه الموضوع الواقع تحت الدراسة وليس النظام المُستَهدف. ومن ثم يتم استخدام مبادئ بناء النموذج لتبرير الصحة الداخلية للتجربة. بينما نهتم في المحاكاة الحاسوبية بالنظام المُستَهدف وعلاقته بالعالم الخارجي، وبالتالي ما نهتم به هنا هو الصحة الخارجية(٤٤).

ليخلص وينسبرج إلى أن أيًا من هذه الشروط لا يعني أن للمحاكاة الحاسوبية إمكانية أقل في صنع استدلالات قوية حول العالم. ولكن بالرغم من أننا نتفق بالتأكيد على أن المحاكاة الحاسوبية قادرة بالقدر نفسه على صنع استدلالات حول العالم، ليس من الواضح بالنسبة لنا أن الفرق بين التجربة والمحاكاة الحاسوبية ينبغي أن يقوم على الفرق بين الصحة الداخلية والصحة الخارجية. فعند تأسيس فرض حول نظام فيزيائي نجد أن تأسيس الصحة الداخلية للتجربة هي ببساطة أول خطوة في هذه العملية. وبدون ذلك لا يكون لدينا أي أساس لافتراض شرعية النتيجة. ولكن الصحة الخارجية أمر بالغ الأهمية أيضًا في التجربة عند افتراض أن النتائج التجريبية صادقة حول العالم الفيزيائي. وبناء عليه يتركنا التركيز فقط على الصحة الداخلية عند تشخيص التجربة بلا أي منهجية لصنع الاستدلالات المطلوبة.

إننا نريد الذهاب إلى أنه من الصعب – وليس من الصحة في شيء– إطلاق أحكام عامة حول الفروق الإبستمولوجية والفروق الأنطولوجية بين التجربة بمعناها التقليدي والمحاكاة الحاسوبية. فإن مثل هذه الفروق، وكذلك مسألة ما إذا كان للتجربة قوة إبستمولوجية أعلى أو متساوية أو أقل مما للمحاكاة الحاسوبية أو العكس، تعتمد بشكل أساسي ونسبي على **سياق** استخدام كل منهما، و**الخلفية المعرفية** المتوفرة عن الظاهرة المُستَهدف دراستها وكيفية نمذجتها بدقة كافية. لكل منهما ظروف استخدام ولكل منهما حياته الخاصة.

فإن المحاكاة الحاسوبية للنظام الشمسي، المستنده على نماذج أكثر تطورًا حول الديناميكيات السماوية، ستنتج تمثيلات أفضل لمدارات الكواكب من أي تجربة. وفي الوقت نفسه يمكن تحقيق أنواع معينة من الاكتشافات العلّيّة فقط عبر التجارب التقليدية المعتادة.

الخاتمة

إننا نذهب إلى أن المحاكاة الحاسوبية ظاهرة جديدة نوعيًا في الممارسة العلمية، بل ونذهب إلى حد القول أنها ظاهرة تغير الممارسة العلمية ليس فقط من حيث التجريب ولكن بالنسبة للعلم ككل. ولقد اوضحت دراستنا هنا كيف تحظى إبستمولوجيا المحاكاة الحاسوبية بمعالم جديدة خاصة بها وفي الوقت نفسه تشابهات مشتركة مع آليات إبستمولوجيا التجربة على نحو ما تبدت عند أنصار مدرسة التجريبية الجديدة. وقمنا

بذلك عبر جهود بعض فلاسفة علم المحاكاة الحاسوبية من آمثال باركر ووينسبرج.

وقد قمنا بعرض وجهات النظر المُختلفة حول طبيعة الفروق الإبستمولوجية والفروق الأنطولوجية بين هذين النشاطين. ووجدنا أنه من الصعب طرح أحكام عامة حول مثل هذه الفروق بشكل مفصل؛ كونها مسألة تعتمد بشكل محوري على السياق النسبي الذي يتم فيه استخدام التجربة أو المحاكاة الحاسوبية، ومدى توافر الخلفية المعرفية المتاحة عن النظام أو الظاهرة المُستَهدفة.

فعندما تكون المعرفة الأساسية ذات الصلة في موضعها الصحيح، تستطيع المحاكاة الحاسوبية أن توفر معرفة موثوق فيها عن النظام أكثر مما تفعل التجربة. فعلى سبيل المثال من اليسير نسبيًا في دراسات المحاكاة الحاسوبية استقصاء النظم الفرضية التي تنتهك عدد من قوانين الطبيعة بينما من غير الواضح كيفية إجراء ذلك عبر التجربة التقليدية؛ كوننا نعمل فيها داخل الأجسام الفيزيائية التي تتصرف بحسب تلك القوانين. وبالتالي يمكننا استخدام النماذج المحاكية الحاسوبية للتحقيق في جوانب تغيرات المناخ المستقبلية التي يتعذر الوصول إليها بأي قياسات فعلية. وينطبق الأمر نفسه في مجال الفيزياء الفلكية، عندما تقع محاولات فهم بنية المجرات وحياة النجوم، بدون الزعم بأن مثل هذه المعرفة التي نحصل عليها عن طريق المحاكاة الحاسوبية في مثل هذه السياقات أدنى بأي حال.

وفي بعض الاحيان الأخرى يكون المردود الإبستمولوجي للتجربة التقليدية، بسبب اتصال علّيّ بالنظام المُستَهدف، أعلى ثقة في التوافق الواقع بين النموذج والنظام المُستَهدف. وإلا ما انفقنا أموالًا طائلة لبناء متصادمات ضخمة تم تصميمها لاختبار النتائج التى توصلت إليها عمليات محاكاة مونتي كارلو الحاسوبية لتفاعلات الجسيمات.

الهوامش:

(١) نذكر من ضمن هذه الدراسات:

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.

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. 507–18.

Hughes, R. (1999). The Ising Model, Computer Simulation, and Universal Physics. In M. Morgan and M. Morrison (eds.). *Models as Mediators.* (pp. 66–96).Cambridge: Cambridge University Press.

Winsberg, E. (1999a). *Simulation and the philosophy of science: Computationally intensive studies of complex physical systems*. Ph.D. diss. Indiana University.

Winsberg, E. (1999b). Sanctioning Models: The Epistemology of Simulation. *Science in Context.* 12 (2): 275–92.

(٢) بالرغم من اعتراف كلٌّ من فريج Frigg ورايس Raiss (Frigg, R. & Reiss, J. (2009). The Philosophy of Simulation: Hot New Issues or Same Old Stew. *Synthese*. 169(3): 593–613.) أن عمليات المحاكاة الحاسوبية قد ساهمت بشكل كبير في إحداث تغييرات مُهمة في العلوم المختلفة، ينكرون استحقاق مثل هذه التغييرات أي اهتمام فلسفي. وأحد الأهداف الرئيسة لهذا البحث توضيح خطأ مثل هذا التصريح.

(٣) التجربة الفكرية: طريقة لاختبار فرض ما بتخيل، أو بالتفكير في، ما من شأنه أن يحدث (أي ما الذي يمكن ملاحظته؛ وما الاختلاف الذي يمكن أن ينتج) إذا كان هذا الفرض صادقًا. وأيًا كان الأمر، فإن مثل هذه التجربة مثيرة للجدل، وإن كانت كتقنية تتمتع برواج كبير فيما بين الفلاسفة والعديد من العلماء، بمن فيهم جاليليو ونيوتن وآينشتين (بسيلوس، ستاتس.(٢٠١٨). **فلسفة العلم من الألف إلى الياء**. ترجمة: د. صلاح عثمان.(ط.١). (عدد ٢٥٣٩). القاهرة: المركز القومي للترجمة، ص ص ٣٥١-٣٥٢).

(٤) حظت النماذج بأهمية كبيرة عند العلم، كما أقر الفلاسفة بأهميتها. وقد كان مُحصلة ذلك كثرة أنواع النماذج في الدراسات الفلسفية؛ كونها تتعلق بمشاكل وأسئلة مختلفة. من ضمن هذه الأسئلة: ما هي نوعية الأشياء المدعوة نماذج؟ كيف تمثل النماذج؟ وكيف نحصل على معرفة عن طريقها؟ ما مدى موثوقية معرفتها؟ ما هي صلتها بالنظريات؟ ما هي الآثار المترتبة عليها فيما يتعلق بالواقعية العلمية والتفسير..إلخ؟ وبالطبع كان لاختراع الحاسوب في مرحلة معينة تأثير كبير؛ كونه يسمح بحل المعادلات التى لا يمكن التعامل معها إلا بالمحاكاة الحاسوبية. لترتبط هذه المحاكاة – على وجه الخصوص – بالنماذج الديناميكية التي تمثل التطوّر الزمني للنظام المُستَهدف. وبالتالي يمكن للنموذج الديناميكي أن يكون في حالات مختلفة في أوقات مختلفة، وعادة ما تتوافق كل حالة مع مجموعة مُحددة من القيم التي تتخذها المتغيرات الواقعة في النموذج.

وسيصبح مثل هذا النموذج قادرًا على أن يكون ممثلًا للحالات المختلفة بحسب التبدلات الممكنة منطقيًا أو فيزيائيًا للقيم التي تتخذها المتغيرات. وبناء عليه يستعين المحاكي الحاسوبي ببناء نموذج ديناميكي للنظام الذي يريد دراسته، بوصفه تمثيلًا دقيقًا له، ليتعامل بعد ذلك مع هذا النموذج بدلًا من النظام المُستَهدف نفسه. فإن المحاكاة الحاسوبية هنا تقلد عملية عن طريق عملية أخرى.

(٥) تعني المحاكاة في المعجم العربي في مدلولها العام المماثلة والمشابهة في الفعل والقول، ويعود أصل لفظ المحاكاة إلى فعل حكى. ففي معجم "لسان العرب" نجد أنها جاءت من "حكي: الحكاية: كقولك حكيت فلانا وحاكيته، فعلت مثل فعله أو قلت مثل قوله سواء لم أجاوزه، وحكيت عنه الحديث حكاية، وحكوت عنه حديثا في معنى حكيته، وفي الحديث: ما سرني أني حكيت إنسانا وأن لي كذا وكذا أي فعلت مثل ما فعله. يقال: حكاه وحاكاه، وأكثر ما يستعمل فى القبيح المحاكاة، والمحاكاة المشابهة تقول : فلان يحكي الشمس حسنا ويحاكيها بمعنى" (ابن منظور.(١٩٩٤). **لسان العرب**. (ط.٣).(المجلد ١٤). بيروت: دار الصادر، ص ١٩١). وفي "المعجم الوجيز" نجد أنها تعود إلى فعل حكى، "يقال: حكي الشيء حكاية، أي أتبمثله وشابهه، والمضارع يحكي أي يشابه ويماثل، وحاكاه أي شابهه في القول والفعل أو غيرهما" (مجمع اللغة العربية.(١٩٩٧).**المعجم الوجيز**. القاهرة: الهيئة العامة لشؤون المطابع الأميرية، ص ١٦٥). ويُقصد فى المعجم الإنجليزي أكسفورد Oxford بالمحاكاة Simulation أنها "أسلوب لتقليد سلوك أو موقف أو نظام (اقتصادي، ميكانيكى) عن طريق استخدام نموذج مشابه، وذلك إما لجمع المعلومات الملائمة عن النظام أو لتدريب أشخاص على هذا الموقف" (Thompson, D (ed.). (1996). *Oxford Dictionary of Current English*. Oxford: Oxford University Press, P 851). وقد استعمل مفهوم المحاكاة لأول مرة مع الفلاسفة والمفكرين، فالمحاكاة مفهوم يوناني، ميتافيزيقي الأصل Mimesis، حيث استحوذ هذا المفهوم اهتمام كبير من قبل أفلاطون وأرسطو خاصة فى ميدان الأدب والفن بكل تجلياته، ومنه قول أرسطو «الفن محاكاة للطبيعة». فأفلاطون وأرسطو كان لكل منهما تصورا خاصا حول نظرية المحاكاة (وهبة، مجدي والمهندس، كامل.(١٩٨٤). **معجم المصطلحات العربية في اللغة والأدب**. (ط.١). بيروت: مكتبة لبنان، ص ٣٣٩). لكن ما يهمنا في هذه الورقة هو كيف نفهم مفهوم المحاكاة حاسوبيا؟والمحاكاه بوصفها تقنية هي "تمثيل وظائف النظام؛ وهذا بإعادة تمثيل سلوكه باستعمال نموذج تطوره عبر الزمن بدلالة قواعد معينة، وهذا من أجل الاستنباط" (صليبا، جميل.(١٩٩٤).**المعجم الفلسفي**.(ط.١). (ج.٢). بيروت-لبنان: الشركة العالمية للكتاب، ص ٣٤٩).

(6) Parker, W. (2013). Computer Simulation. In S. Psillos and M. Curd (eds.). *The Routledge Companion to Philosophy of Science* (pp 135-145), 2nd Edition.

London: Routledge, p. 135.

(7) Ibid, p. 136.

(٨) طريقة مونتيكارلو هي طريقة لحل المشاكل المختلفة في الرياضيات الحسابية عن طريق بناءعملية عشوائية لكل مشكلة تكون لها متغيرات تساوي الكميات المطلوبة في المشكلة. ويتم تحديد المجاهيل تقريبًا عن طريق عمل ملاحظات عل بالعملية العشوائية وحساب الخصائص الإحصائية والتي تتساوى تقريبا مع المتغيرات المطلوبة (Sobol, I. M. (1974) . *The Monte Carlo method*. Translated and adapted from the second Russian edition by Robert Messer, John Stone, and Peter Fortini. Chicago: University of Chicago Press, p. 9).

(٩) يقصد بالتجربة وفق المعنى التقليدي أنها نشاط تحقيقي يتضمن تدخل في النظام وملاحظة كيف تتغير خصائص هذا النظام موضع الاهتمام في ضوء هذا التدخل.

(١٠) أستاذ فلسفة العلوم المساعد في جامعة جنوب فلوريدا.

(11) Winsberg, E. (1999b). Sanctioning Models, Op.Cit.

(12) Ibid, pp 279-282.

(13) Ibid, pp 282-283.

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

(١٥) التأييد Confirmation: هو العلاقة بين البينة والنظرية، والتي بمقتضاها تدعم البينة النظرية(بسيلوس، ٢٠١٨، فلسفة العلم من الألف إلى الياء، مرجع سبق ذكره، ص ٧٣).

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

(17) Hacking, I. (1983). *Representing and Intervening: Introductory Topics in the Philosophy of Natural Science*. Cambridge: Cambridge University Press, p 150.

(١٨) بوبر، كارل.(١٩٨٦).**منطق الكشف العلمي**. ترجمة: د. ماهر عبد القادر.(ط.١). بيروت: دار النهضة العربية، ص ١٥٣.

(19) Hacking, I. (1983). *Representing and Intervening*, Op.Cit, pp149-166.

(20) Franklin, A. (1996). *The Neglect of Experiment*. Cambridge: Cambridge University Press.

(21) Hacking, I. (1983). *Representing and Intervening*, Op.Cit, p 154.

(22) Ibid, p 167.

(23) Ibid, p 134.

(24) Weissart, T. (1997). *The genesis of simulation in dynamics.* New York: Springer.
Winsberg, E. (1999a). *Simulation and the philosophy of science*, Op.Cit.
Winsberg, E. (1999b). Sanctioning Models, Op.Cit.

(٢٥) أستاذة فلسفة العلوم المساعد في جامعة دورهام.

(26) Parker, W. (2008a). Franklin, Holmes and the Epistemology of Computer Simulation. *International Studies in the Philosophy of Science*. 22(2): 165–83.

(27) Ibid, p 168.

(28) Parker, W. (2008b). Computer Simulation through an Error-Statistical Lens. *Synthese*. 163(3): 371–84.

(29) Mayo, D. (1996). *Error and the Growth of Experimental Knowledge*. Chicago: University Of Chicago Press.
(30) Weber, M. (2005). *Philosophy of Experimental Biology*. Cambridge: Cambridge University Press, pp 113-114.
(31) Mayo, D. (1996). *Error and the Growth of Experimental Knowledge*. Op.Cit, pp184-185.
(32) Parker, W. (2008b). Computer Simulation through an Error-Statistical Lens, Op.Cit, p 376.
(33) Hacking, I. (1992). Do thought experiments have a life of their own? Comments on James Brown, Nancy Nersessian and David Gooding. *PSA: Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association* 2: 302–308, p 307.
(34) Winsberg, E. (2003). Simulated Experiments: Methodology for a Virtual World. *Philosophy of Science*. 70, 105–125, pp 121-125.
(35) Ibid, p 121.

(٣٦) بالطبع ليست كل عمليات المحاكاة عمليات محاكاة حاسوبية. فهناك فئة من التقنيات التي يتم استخدامها للتحقيق في الطبيعة تنطوي على شيء ندعوه محاكاة، وليس له علاقة بأجهزة الحاسوب، أيضًا.

(37) Gilbert, N. &Troitzsch, K. (1999). *Simulation for the Social Scientist*.Philadelphia: Open University Press, p 13.
(38) Parker, W. (2013). Computer Simulation, Op.Cit, p 140.

(٣٩) يقصد جوالا، بحسب نصه، بالتطابق المادي أن الموضوع والهدف في التجربة «مصنوعين من المادة نفسها». وبعبارة أخرى بينهما علاقة هوية، واعتبار الموضوع عينة من فئة الهدف الأنطولوجية نفسها، على نحو ما يجرب علماء الكيمياء على عينات من اليورانيوم لمعرفة المزيد عن خصائصه.

(40) Guala, F. (2005). *The methodology of experimental economics*. Cambridge: Cambridge University Press, p 214.
(41) Morgan, M. (2002). Model experiments and models in experiments. In M. Lorenzo and N. Nancy (eds.). *Model-Based Reasoning: Science, Technology, Values* (pp 41–58). New York: Kluwer.

Morgan, M. (2003). Experiments without material intervention: Model experiments, virtual experiments and virtually experiments. In *The Philosophy of Scientific Experimentation* (pp 216–35). Radder, H. (ed.). Pittsburgh, PA: University of Pittsburgh Press.

(42) Morgan, M. (2005). Experiments versus models: New phenomena, inference, and surprise. *Journal of Economic Methodology*. *12*(2), 317–329, p 317.
(43) Parker, W. (2009). Does Matter Really Matter? Computer Simulations, Experiments and Materiality. *Synthese*. 169(3): 483–96, p 492.
(44) Winsberg, E. (2010). *Science in the Age of Computer Simulation*, Op.Cit, p 66.

المصَادر والمرَاجع

أولًا: المصَادر والمرَاجع باللغةِ العربيَّة

١. ابن منظور.(١٩٩٤). **لسان العرب**. (ط.٣).(المجلد ١٤). بيروت: دار الصادر.

٢. بسيلوس، ستاتس.(٢٠١٨).**فلسفة العلم من الألف إلى الياء**. ترجمة: د. صلاح عثمان.(ط.١). (عدد ٢٥٣٩). القاهرة: المركز القومي للترجمة.

٣. بوبر، كارل.(١٩٨٦).**منطق الكشف العلمي**. ترجمة: د. ماهر عبد القادر.(ط.١). بيروت: دار النهضة العربية.

٤. صليبا، جميل.(١٩٩٤).**المعجم الفلسفي**.(ط.١). (ج.٢). بيروت–لبنان: الشركة العالمية للكتاب.

٥. مجمع اللغة العربية.(١٩٩٧).**المعجم الوجيز**. القاهرة: الهيئة العامة لشؤون المطابع الأميرية.

٦. وهبة، مجدي والمهندس، كامل.(١٩٨٤). **معجم المصطلحات العربية في اللغة والأدب**. (ط.١). بيروت: مكتبة لبنان.

ثانيًا:المصَادر والمرَاجع باللغةِالإنجليزيَّة

1. Franklin, A. (1996). *The Neglect of Experiment*. Cambridge: Cambridge University Press.
2. Frigg, R. & Reiss, J. (2009). The Philosophy of Simulation: Hot New Issues or Same Old Stew. *Synthese*. 169(3): 593–613.
3. Gilbert, N. &Troitzsch, K. (1999). *Simulation for the Social Scientist*.Philadelphia: Open University Press.
4. Guala, F. (2005). *The methodology of experimental economics*. Cambridge: Cambridge University Press.
5. Hacking, I. (1983). *Representing and Intervening: Introductory Topics in the Philosophy of Natural Science*. Cambridge: Cambridge University Press.
6. Hacking, I. (1992). Do thought experiments have a life of their own? Comments on James Brown, Nancy Nersessian and David Gooding. *PSA: Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association* 2: 302–308.
7. Hughes, R. (1999). The Ising Model, Computer Simulation, and Universal Physics. In M. Morgan and M. Morrison (eds.). *Models as Mediators*. (pp. 66–96).Cambridge: Cambridge University Press.
8. 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.
9. Mayo, D. (1996). *Error and the Growth of Experimental Knowledge*. Chicago: University Of Chicago Press.

10. Morgan, M. (2002). Model experiments and models in experiments. In M. Lorenzo and N. Nancy (eds.). *Model-Based Reasoning: Science, Technology, Values* (pp 41–58). New York: Kluwer.
11. Morgan, M. (2003). Experiments without material intervention: Model experiments, virtual experiments and virtually experiments. In *The Philosophy of Scientific Experimentation* (pp 216–35). Radder, H. (ed.). Pittsburgh, PA: University of Pittsburgh Press.
12. Morgan, M. (2005). Experiments versus models: New phenomena, inference, and surprise. *Journal of Economic Methodology. 12*(2), 317–329.
13. Parker, W. (2008a). Franklin, Holmes and the Epistemology of Computer Simulation. *International Studies in the Philosophy of Science*. 22(2): 165–83.
14. Parker, W. (2008b). Computer Simulation through an Error-Statistical Lens. *Synthese*. 163(3): 371–84.
15. Parker, W. (2009). Does Matter Really Matter? Computer Simulations, Experiments and Materiality. *Synthese*. 169(3): 483–96.
16. Parker, W. (2013). Computer Simulation. In S. Psillos and M. Curd (eds.). *The Routledge Companion to Philosophy of Science* (pp 135-145), 2nd Edition. London: Routledge.
17. 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. 507–18.
18. Sobol, I. M. (1974). *The Monte Carlo method*. Translated and adapted from the second Russian edition by Robert Messer, John Stone, and Peter Fortini. Chicago: University of Chicago Press.
19. Thompson, D (ed.). (1996). *Oxford Dictionary of Current English*. Oxford: Oxford University Press.
20. Weber, M. (2005). *Philosophy of Experimental Biology*. Cambridge: Cambridge University Press.
21. Weissart, T. (1997). *The genesis of simulation in dynamics.* New York: Springer.
22. Winsberg, E. (1999a). *Simulation and the philosophy of science: Computationally intensive studies of complex physical systems*. Ph.D. diss. Indiana University.
23. Winsberg, E. (1999b). Sanctioning Models: The Epistemology of Simulation. *Science in Context.* 12 (2): 275–92.
24. Winsberg, E. (2001). Simulations, Models, and Theories: Complex Physical Systems and their Representations. *Philosophy of Science.*68 : S442-S454.
25. Winsberg, E. (2003). Simulated Experiments: Methodology for a Virtual World. *Philosophy of Science*. 70, 105–125.
26. Winsberg, E. (2010). *Science in the Age of Computer Simulation*. Chicago: The University of Chicago Press.