Al-Farouk journal of sciences
Volume (2), Issue (3) (JUNE, 2026)
ISSN: 3135-2359

مجلة الفاروق للعلوم
المجلد (2) ملحق العدد 3 يونيو 2026
ردمد: 3135-2359

نمذجة الزمن الطبيعي مكانيًا ومقاربة جغرافية تحليلية تعتمد على خطوط الطول ودوائر العرض

الفيتوري محمد مادي
الهيئة الليبية للبحث العلمية
fytwrymady05@gmail.com

Natural Geographic Time: Toward a New Conceptual Framework for Understanding the Spatial and Temporal Dynamics of Time on Earth

Alfituri Mohamed Medi
Libyan Authority for Scientific Research

تاريخ الاستلام: 2026/6/29 تاريخ المراجعة 2026/7/20 تاريخ القبول:2026/7/28- تاريخ النشر:2026/8/12

الملخص

هدفت هذه الدراسة إلى تحليل السلوك المكاني والموسمي للحطام البلاستيكي في البيئة الساحلية المدروسة، من خلال تقييم كميته وتركيبه ومصادره المحتملة ومسارات انتقاله، وتحديد مدى تأثير العوامل البشرية والبحرية والموسمية في تراكمه وإعادة توزيعه. واعتمدت الدراسة منهجًا ميدانيًا وصفيًا–تحليليًا قائمًا على الرصد الموسمي المتكرر خلال الشتاء والربيع والصيف والخريف، باستخدام مسوحات معيارية وقطاعات ميدانية منظمة، مع تسجيل عدد القطع وأوزانها وأحجامها ومصادرها المحتملة والظروف البيئية المصاحبة .

أظهرت النتائج وجود تباين مكاني وموسمي واضح في مستويات التلوث البلاستيكي، إذ تراوحت الكميات المسجلة بين **5.09و24.36 جم** .وسجل شاطئ Naeama أعلى قيمة خلال الصيف (24.36 جم)، بينما سجل Al-Haniya أعلى قيمة في الشتاء (14.09 جم)، في حين بلغ Bahar Sharika ذروته في الربيع (17.35 جم)، بما يؤكد عدم وجود نمط موسمي موحد للتراكم. كما أظهرت البيانات التفصيلية أن الجسيمات الأصغر كانت أكثر وفرة عدديًا، بينما أسهمت القطع الأكبر بصورة أكبر في الوزن الكلي للحطام .

وتشير النتائج إلى أن سلوك الحطام البلاستيكي يتحدد من خلال تفاعل المصادر البرية والبحرية مع خصائص الموقع والضغط البشري والرياح والأمواج والتيارات، ولذلك فإن المواقع ذات الكثافة المرتفعة لا تمثل بالضرورة مصادر مباشرة للنفايات، بل قد تعمل كمناطق استقبال واحتجاز للحطام المنقول. وخلصت الدراسة إلى أن الإدارة الفعالة للتلوث البلاستيكي تتطلب رصدًا موسميًا ومكانيًا متكررًا، وتحديد البؤر الساخنة، وتطوير تدخلات تختلف حسب الموقع والموسم والمصدر المحتمل. وتوصي الدراسة بإنشاء برنامج مستدام للرصد الساحلي، وتحسين إدارة النفايات، والحد من البلاستيك أحادي الاستخدام، وربط بيانات الحطام بالمتغيرات البحرية والمناخية ضمن نظم معلومات جغرافية لدعم الإدارة الساحلية المبنية على الأدلة.

الكلمات المفتاحية :الحطام البلاستيكي، التلوث الساحلي، التغير الموسمي، التوزيع المكاني، البؤر الساخنة، التلوث البحري، ليبيا.

Abstract

This study aimed to investigate the spatial and seasonal behavior of plastic debris in the investigated coastal environment by assessing its abundance, composition, probable sources, transport pathways, and the combined influence of anthropogenic and marine-seasonal factors on its accumulation and redistribution. A descriptive-analytical field approach was adopted, based on repeated monitoring during winter, spring, summer, and autumn using standardized coastal surveys and systematic transects. Plastic debris was evaluated in terms of item abundance, weight, size distribution, probable source, and associated environmental conditions.

The findings revealed pronounced spatial and seasonal variability in plastic pollution, with recorded quantities ranging from **5.09 to 24.36 g**. Naeama recorded the highest summer value (24.36 g), whereas Al-Haniya reached its maximum during winter (14.09 g), and Bahar Sharika peaked in spring (17.35 g), demonstrating the absence of a single seasonal accumulation pattern across all sites. Detailed size-class data further showed that smaller particles were generally more abundant numerically, whereas larger debris contributed more substantially to total mass.

The results indicate that plastic-debris dynamics are governed by interactions among land-based and marine-based inputs, site characteristics, human pressure, winds, waves, and coastal currents. Consequently, high-density locations should not automatically be interpreted as direct pollution sources, since some may function primarily as receiving or retention zones for transported debris. The study concludes that effective plastic-pollution management requires repeated spatial and seasonal monitoring, hotspot identification, and site-specific interventions rather than uniform coastal management measures. It recommends establishing a sustainable coastal monitoring program, improving waste-management practices, reducing single-use plastics, and integrating debris observations with marine and climatic data through GIS-based monitoring systems to support evidence-based coastal management.

Keywords: Plastic debris; Coastal pollution; Seasonal variation; Spatial distribution; Pollution hotspots; Marine litter; Libya.

1. مقدمة

يُعدّ الزمن من المفاهيم المحورية التي شكّلت أساسًا للتفكير العلمي والفلسفي عبر التاريخ، نظرًا لارتباطه الوثيق بالحركة والتغير في الفيزياء، والإدراك والوجود في الفلسفة، والدورات والإيقاعات الحيوية في علم الأحياء، فضلًا عن علاقته بالتحولات والاختلافات المكانية في الجغرافيا. وعلى الرغم من هذه المكانة المعرفية، فقد جرى التعامل مع الزمن في معظم الحقول العلمية بوصفه إطارًا قياسيًا لتنظيم الأحداث أو بُعدًا تجريديًا لقياس التغير، أكثر من كونه ظاهرة طبيعية ذات خصائص جغرافية تتباين تبعًا للموقع على سطح الأرض. وقد عزز نظام التوقيت العالمي المنسق (Coordinated Universal Time: UTC) هذا التصور المعياري، من خلال اعتماد نظام موحد لقياس الزمن وتنظيمه، في حين أن الظروف الطبيعية المرتبطة بالموقع الجغرافي، ولا سيما خطوط الطول ودوائر العرض وزاوية سقوط الإشعاع الشمسي وطول النهار والتغيرات الفصلية، تكشف عن تباينات مكانية وزمانية أكثر تعقيدًا.

وفي الدراسات الجغرافية المعاصرة، أكد Goodchild (2018) [1] أهمية التفكير المكاني–الزماني في تحليل الظواهر الجغرافية وفهم ديناميات التغير المكاني، حيث يمثل الزمن بُعدًا أساسيًا في تفسير تطور الظواهر وتوزيعها. ومع ذلك، ظل الزمن في هذا الاتجاه عنصرًا تحليليًا مصاحبًا للمكان أكثر من كونه موضوعًا جغرافيًا مستقلًا قابلًا للقياس والنمذجة المكانية. وفي سياق آخر، ناقش Harvey (2009) [2] العلاقة الجدلية بين الزمان والمكان ضمن التحولات الاجتماعية والاقتصادية، من خلال مفهوم «ضغط الزمان–المكان»، موضحًا الكيفية التي تؤثر بها التحولات الاقتصادية والتكنولوجية في إدراك المسافة والزمن. إلا أن هذا المنظور ركز بصورة أساسية على البعد الاجتماعي والاقتصادي للزمن، دون التوسع في تحليل الزمن الطبيعي المرتبط بحركة الأرض وموقعها الجغرافي. كما تناول Knox and Marston (2013) [3] التفاعل بين الأنظمة المكانية والزمانية في تفسير توزيع الأنشطة البشرية وتغيرها، في حين تناول Mayell (2000) [4] المناطق الزمنية في علاقتها بدوران الأرض. وتوفر هذه الدراسات أساسًا مهمًا لفهم الترابط بين المكان والزمن، لكنها لا تقدم نموذجًا جغرافيًا متكاملًا يفسر التباينات الطبيعية للزمن في ضوء الموقع والإحداثيات الجغرافية.

أما في المجالين الفيزيائي والفلكي، فقد أحدثت نظرية النسبية التي قدمها Einstein (1920) [5] تحولًا جوهريًا في فهم العلاقة بين الزمان والمكان من خلال مفهوم «الزمكان»، وأسهمت في تجاوز التصور الكلاسيكي للزمن باعتباره قيمة مطلقة ومستقلة. ووسع Hawking (1988) [6] النقاش حول طبيعة الزمن وبنيته في إطار نشأة الكون وتطوره، بينما قدم Smolin (2013) [7] تصورًا يؤكد واقعية الزمن ومركزيته في تفسير الكون. وفي اتجاه مختلف، طرح Barbour (1999) [8] رؤية مغايرة لطبيعة الزمن وعلاقته بالتغير. وعلى الرغم من القيمة النظرية لهذه الأطروحات،

فإنها ركزت أساسًا على المستوى الفيزيائي والكوني للزمن، ولم يكن هدفها بناء نموذج جغرافي يفسر التباينات الزمنية الطبيعية بين المواقع والأقاليم على سطح الأرض.

ويكتسب مفهوم الزمن بُعدًا تطبيقيًا أكثر وضوحًا في مجال علم الأحياء الزمني؛ إذ أوضح Refinetti (2016) [9] أن الإيقاعات اليومية للكائنات الحية ترتبط ارتباطًا وثيقًا بالدورات البيئية، وفي مقدمتها دورة الضوء والظلام الناتجة عن تعاقب الليل والنهار. كما أبرز Aschoff (1981) [10] وMoore-Ede (1986) [11] الدور الأساسي للإيقاعات البيولوجية والتوقيت اليومي في تنظيم الوظائف الفسيولوجية والسلوكية للكائنات الحية. وتكشف هذه النتائج عن وجود بُعد جغرافي مهم للزمن الحيوي؛ إذ يؤدي اختلاف الموقع الجغرافي، ولا سيما اختلاف دوائر العرض، إلى تغير طول الفترة الضوئية والتباين الموسمي في التعرض للإشعاع الشمسي، الأمر الذي ينعكس على البيئة الزمنية التي تتفاعل معها الكائنات الحية وعلى أنماطها الفسيولوجية والسلوكية.

وفي السياق الفلسفي، قدم Bergson (1911) [12] مفهوم «المدة» بوصفها تجربة زمنية معيشة لا يمكن اختزالها بصورة كاملة في وحدات قياس كمية متجانسة، بينما تناول Heidegger (1927/1962) [13] الزمن باعتباره عنصرًا أساسيًا في تفسير الوجود الإنساني. وفي رؤية معاصرة، ناقش Rovelli (2018) [14] طبيعة الزمن وعدم بساطته أو مطلقيته وارتباط فهمه بالبنية الفيزيائية للعالم. وعلى الرغم من اختلاف المنطلقات المعرفية والفلسفية لهذه الرؤى، فإنها تتقاطع في رفض النظر إلى الزمن باعتباره بنية مطلقة وثابتة، وهو ما يتيح أساسًا مفاهيميًا لإعادة النظر فيه ضمن إطار يجمع بين أبعاده الطبيعية والمكانية.

وانطلاقًا من هذا التراكم المعرفي متعدد التخصصات، تبرز الحاجة إلى تجاوز المعالجة المنفصلة للزمن في الجغرافيا والفيزياء والفلك والبيولوجيا والفلسفة، والانتقال نحو مقاربة تكاملية تبحث في علاقته بالموقع الجغرافي والعمليات الطبيعية الأرضية. ومن هنا تتحدد إشكالية الدراسة في غياب نموذج علمي متكامل للزمن الطبيعي الأرضي يربط بصورة منهجية بين خطوط الطول ودوائر العرض، ودوران الأرض حول محورها، وحركتها المدارية حول الشمس، والتباين المكاني والزماني في الإشعاع الشمسي. فالتوقيت القياسي يمثل نظامًا تنظيميًا ضروريًا لتنسيق الأنشطة البشرية، إلا أنه لا يهدف بذاته إلى تمثيل جميع التباينات البيئية والحيوية والمناخية المرتبطة بالموقع الجغرافي.

وعليه، تهدف هذه الدراسة إلى تقديم إطار نظري تأسيسي لمفهوم "الزمن الجغرافي الطبيعي"، باعتباره إطارًا ديناميكيًا لتحليل التباينات الزمنية الطبيعية المرتبطة بالإحداثيات الجغرافية والحركة الأرضية والتوزيع الزماني–المكاني للإشعاع الشمسي. كما تسعى إلى استكشاف إمكانية تمثيل هذه العلاقات رياضيًا وخرائطيًا باستخدام تقنيات نظم المعلومات الجغرافية (Geographic Information Systems: GIS) والنمذجة الزمكانية، بما يسمح بدمج الأبعاد الجغرافية والفلكية والبيولوجية ضمن وحدة تحليلية مترابطة تسهم في تعميق فهم العلاقة بين المكان والزمن والأنظمة الطبيعية.

وفي ضوء ذلك، تنطلق الدراسة من تصور مفاده أن خطوط الطول ودوائر العرض لا تقتصر وظيفتها على تحديد المواقع ضمن شبكة الإحداثيات الجغرافية، وإنما يمكن توظيفها، إلى جانب المتغيرات الفلكية والإشعاعية، في بناء إطار مكاني–زماني ديناميكي يعكس التباينات في التوقيت الشمسي المحلي، وطول النهار، والإيقاعات الضوئية والموسمية بين الأقاليم. ومن خلال هذا الطرح، تسعى الدراسة إلى تقديم أساس مفاهيمي لما تقترح تسميته "الجغرافيا الزمنية الطبيعية"، بوصفها اتجاهًا بحثيًا يضع العلاقات بين الزمن والموقع والعمليات الطبيعية في صميم التحليل الجغرافي، ويفتح المجال أمام تطوير نماذج قابلة للقياس والتمثيل المكاني والتطبيق في مجالات البيئة، والزراعة، والصحة، والطاقة، والتخطيط الزمكاني.

2. مشكلة البحث

على الرغم من التطور الذي شهدته الدراسات الجغرافية والفيزيائية والفلكية والبيولوجية في تفسير مفهوم الزمن وعلاقته بالمكان والحركة والإيقاعات الطبيعية، فإن الزمن ما يزال يُعالج في الغالب بوصفه بُعدًا قياسيًا أو متغيرًا مساعدًا في تفسير الظواهر، دون وجود إطار جغرافي متكامل يفسر التباين المكاني للزمن الطبيعي الأرضي في ضوء التفاعل بين خطوط الطول ودوائر العرض، ودوران الأرض حول محورها وحركتها حول الشمس، والتغير في الإشعاع الشمسي وطول النهار. ومن هنا تتمثل مشكلة الدراسة في الحاجة إلى بناء تصور جغرافي–تحليلي للزمن الطبيعي يمكن قياسه ونمذجته وتمثيله مكانيًا، مع تحديد مدى اختلافه عن الزمن القياسي وإمكان توظيفه في تفسير التباينات البيئية والحيوية بين الأقاليم .

تساؤلات الدراسة

1. ما الأسس الجغرافية والفلكية التي يمكن من خلالها صياغة مفهوم الزمن الجغرافي الطبيعي؟
2. كيف تؤثر خطوط الطول ودوائر العرض وحركة الأرض والإشعاع الشمسي في التباين المكاني والزماني للزمن الطبيعي؟

3. إلى أي مدى يختلف الزمن الطبيعي المرتبط بالدورة الشمسية المحلية عن الزمن القياسي المعتمد(UTC) ؟
4. كيف يمكن بناء نموذج جغرافي ديناميكي للزمن الطبيعي وتمثيله مكانيًا باستخدام نظم المعلومات الجغرافية والنمذجة الزمكانية؟
5. ما القيمة العلمية والتطبيقية لمفهوم الزمن الجغرافي الطبيعي في تفسير التباينات البيئية والحيوية ودعم تطبيقات الزراعة والصحة والطاقة والتخطيط الزمكاني؟

3. أهمية الدراسة

تنبع أهمية الدراسة من محاولتها تقديم معالجة جغرافية تكاملية لمفهوم الزمن تتجاوز التعامل معه باعتباره مجرد إطار قياسي لتنظيم الأحداث، وذلك من خلال ربطه بالموقع الجغرافي والحركة الأرضية والتغيرات الإشعاعية والموسمية. وتتمثل الأهمية النظرية في محاولة تأسيس إطار مفاهيمي لـ«الجغرافيا الزمنية الطبيعية» يدمج الجغرافيا والفلك والبيولوجيا ضمن منظور زمكاني موحد، بينما تتمثل الأهمية المنهجية في إمكانية تحويل هذا التصور إلى نموذج رياضي–مكاني قابل للتمثيل باستخدام .GIS أما الأهمية التطبيقية فتظهر في إمكانية الاستفادة من النماذج الزمنية–المكانية في تحسين تخطيط الأنشطة الزراعية، ودراسة الإيقاعات الحيوية، ودعم التخطيط الصحي، وتحسين تطبيقات الطاقة الشمسية، وتطوير التخطيط البيئي والزمكاني. وتتفق هذه الأهمية مباشرة مع التطبيقات التي حددتها نتائج الورقة .

4. أهداف الدراسة

5. تأصيل مفهوم الزمن الجغرافي الطبيعي وتحديد أسسه الجغرافية والفلكية والبيولوجية ضمن إطار نظري متكامل .
6. تحليل أثر خطوط الطول ودوائر العرض وحركة الأرض والإشعاع الشمسي في تشكيل التباينات المكانية والزمانية للزمن الطبيعي .
7. تحليل الفروق بين الزمن الطبيعي والزمن القياسي (UTC) وتحديد مدى قدرة كل منهما على التعبير عن التباينات الزمنية الفعلية بين المواقع الجغرافية .
8. تطوير إطار لنموذج جغرافي ديناميكي للزمن الطبيعي يعتمد على الإحداثيات الجغرافية والمتغيرات الفلكية، مع إمكانية تمثيله خرائطيًا باستخدام نظم المعلومات الجغرافية والنمذجة الزمكانية .
9. استكشاف القيمة العلمية والتطبيقية للزمن الجغرافي الطبيعي في تفسير التباينات البيئية والحيوية وتوظيفها في مجالات الزراعة والصحة والطاقة والتخطيط الزمكاني .

10. الدراسات السابقة

قدّم Leocadio-Miguel et al. (2017) واحدة من أكثر الدراسات ارتباطًا بالمنظور الذي تتبناه الدراسة الحالية، إذ بحثوا العلاقة بين الموقع العرضي والنمط الزمني اليومي للإنسان في البرازيل، اعتمادًا على عينة كبيرة بلغت 12,884 مشاركًا موزعين عبر نطاق واسع من دوائر العرض داخل المنطقة الزمنية نفسها. وأظهرت النتائج وجود تدرج عرضي واضح في الأنماط الزمنية؛ فكلما ابتعد الموقع عن خط الاستواء اتجه النمط اليومي نحو التأخر، وهو ما ربطه الباحثون بالاختلافات في الإشعاع الشمسي وطول النهار والشروق والغروب. وتكمن أهمية هذه الدراسة في تقديم دليل تجريبي على أن الإحداثيات الجغرافية ليست مجرد محدد للموقع، بل ترتبط بأنماط زمنية بشرية قابلة للقياس. غير أنها تناولت الزمن من خلال Chronotype ولم تنتقل إلى بناء نموذج مستقل للزمن الطبيعي نفسه، وهي النقطة التي تتجاوزها الدراسة الحالية .

وفي الاتجاه نفسه، بحث Porcheret et al. (2018) أثر الموقع الجغرافي والتعرض للضوء الطبيعي في النمط الزمني لدى أكثر من ستة آلاف طالب جامعي موزعين بين مدن في نصفي الكرة الشمالي والجنوبي. وأظهرت النتائج أن الابتعاد عن خط الاستواء، وتأخر الغروب، ومستوى التعرض للضوء الطبيعي، وموقع الفرد بالنسبة للشروق ترتبط جميعها بتوقيت النشاط والنوم. وتتمثل قيمة الدراسة في ربطها بين المكان والإشعاع والزمن الحيوي ضمن إطار قابل للقياس، مما يدعم الفرضية الأساسية للدراسة الحالية بشأن وجود مكون مكاني طبيعي للزمن. ومع ذلك، ظل المتغير التابع هو النمط الزمني البشري، لا بناء خريطة ديناميكية للزمن الطبيعي على سطح الأرض .

كما قدم Shawa et al. (2018) مراجعة تحليلية للعلاقة بين الفصول والنمط الزمني، وأظهروا أن تغير كمية الضوء وتوقيته تبعًا للفصول وخط العرض يؤثر في عملية المزامنة اليومية للساعة الحيوية. وأكدت الدراسة أن التغير الموسمي في طول النهار يزداد كلما ابتعدنا عن خط الاستواء، وأن هذا الاختلاف ينعكس على توقيت النشاط والنوم. وتفيد هذه النتائج الدراسة الحالية لأنها تدعم إدخال اليوم الفلكي من السنة وخط العرض ضمن النموذج المقترح، إلا أن معالجة

Shawaوزملائها بقيت محصورة في علم الأحياء الزمني ولم تحول العلاقات الفصلية إلى نموذج جغرافي–خرائطي مستقل للزمن .

وقدم Leypunskiy et al. (2018) مدخلًا مختلفًا من خلال تحليل البيانات المكانية–الزمانية لأكثر من 240 ألف مستخدم يوميًا لمنصة Twitter في أكثر من 1,500 مقاطعة أمريكية. استخدمت الدراسة المواقع الجغرافية والتوقيت الموسمي وطول النهار والتقويم الاجتماعي لفهم الإيقاعات اليومية للنشاط البشري، وأظهرت أن لكل منطقة «توقيعًا زمنيًا» مميزًا يتأثر بمواعيد الشروق والغروب والموقع داخل المنطقة الزمنية. وتتميز الدراسة باستخدام البيانات الجغرافية الضخمة في تمثيل السلوك الزمني مكانيًا، مما يقدم أساسًا منهجيًا مهمًا للنمذجة الزمكانية. إلا أنها قاست النشاط الاجتماعي الرقمي وليس الزمن الطبيعي ذاته، وبالتالي فإن العلاقة المكانية–الزمانية ظهرت من خلال السلوك البشري لا من خلال نموذج مباشر للمنظومة الشمسية–الأرضية .

أما Roenneberg, Winnebeck, and Klerman (2019) فقد ناقشوا بصورة نقدية العلاقة بين الزمن البيولوجي والزمن الاجتماعي والزمن الشمسي، وركزوا بصورة خاصة على المناطق الزمنية الاصطناعية والتوقيت الصيفي. وأوضحوا أن توحيد الساعة الاجتماعية لا يلغي التدرج الطبيعي في الزمن الشمسي الناتج عن الموقع الطولي، وأن الاختلاف بين «ساعة الشمس» والساعة الاجتماعية يمكن أن يؤدي إلى عدم توافق زمني. وتعد هذه الدراسة من أهم المرتكزات النظرية للدراسة الحالية، لأنها تميز بوضوح بين الزمن الطبيعي الناتج عن حركة الأرض والشمس وبين الزمن الإداري. ومع ذلك، فإنها لم تقترح نموذج GIS يحول هذا الفرق إلى سطح زمني ديناميكي قابل للرسم والتحليل المكاني .

وفي مراجعة مفاهيمية مهمة، ناقشت Vetter (2020)مفهوم الاختلال الزمني اليومي وأظهرت أن المصطلح يستخدم للإشارة إلى أشكال متعددة من عدم التوافق بين الإيقاعات الداخلية والبيئة الخارجية. وأشارت إلى أهمية الموقع داخل المنطقة الزمنية بوصفه أحد المؤشرات المكانية الممكنة للاختلاف بين الوقت الاجتماعي والوقت الشمسي. وتتمثل قيمة هذه الدراسة في تنبيهها إلى ضرورة التمييز المنهجي بين الزمن، والتوقيت، والإيقاع الحيوي، والاختلال الزمني. وهذا أمر بالغ الأهمية للدراسة الحالية حتى لا يُفهم «الزمن الجغرافي الطبيعي» على أنه بديل فيزيائي للزمن، بل إطار جغرافي لتحليل التباينات الطبيعية في الإيقاع الشمسي والضوئي المرتبط بالمكان .

وفي دراسة واسعة النطاق في أوروبا الوسطى، حلل Sládek et al. (2020) الأنماط الزمنية لدى 8,760 مشاركًا في جمهورية التشيك، إضافة إلى بيانات فسيولوجية لعينة فرعية، وكشفت النتائج عن تدرجات ذات دلالة إحصائية مرتبطة بخطي الطول والعرض. فقد ظهرت أنماط زمنية أكثر تأخرًا باتجاه الغرب مقارنة بالشرق، كما ظهرت فروق مرتبطة بالاتجاه العرضي. ويرجح الباحثون أن ذلك يعكس اختلاف توقيت الشروق بين المواقع. وتوفر الدراسة دليلًا تجريبيًا قويًا على أن فروقًا جغرافية صغيرة نسبيًا يمكن أن تنتج فروقًا زمنية قابلة للرصد، إلا أنها ظلت تركز على استجابة الإنسان للبيئة الضوئية ولم تحول تلك الاختلافات إلى نموذج للزمن الطبيعي نفسه .

وقد ميز Klerman, Rahman, and St. Hilaire (2020) بين ثلاثة نظم زمنية أساسية: الساعة الاجتماعية، والساعة الشمسية، والساعة البيولوجية. وأوضح الباحثون أن الوقت الاجتماعي لا يطابق بالضرورة الوقت الشمسي لأن المناطق الزمنية تغطي مساحات واسعة، كما أن بعض الدول تتبنى توقيتًا لا يتطابق تمامًا مع موقعها الجغرافي الطبيعي. وتكتسب الدراسة أهمية مباشرة للبحث الحالي لأنها تؤكد علميًا ضرورة فصل «الوقت الذي تحدده الساعة» عن توقيت الظواهر الطبيعية المرتبطة بالشمس. لكنها تنطلق من منظور الطب الزمني، بينما تسعى الدراسة الحالية إلى تحويل هذه العلاقة إلى بنية جغرافية مكانية قابلة للنمذجة والخرائط .

واستخدم Zhang et al. (2020) تجربة التحول إلى التوقيت الصيفي باعتبارها تدخلًا زمنيًا واسع النطاق، محللين قواعد بيانات صحية ضخمة في الولايات المتحدة والسويد. وبينت النتائج ارتباط الانتقال المفاجئ في التوقيت بارتفاعات قابلة للقياس في مجموعة من المخاطر الصحية. وتدل الدراسة بصورة غير مباشرة على أن تعديل الساعة الاجتماعية، دون تعديل الدورة الطبيعية للضوء والظلام، يمكن أن يخلق فجوة بين التنظيم الزمني البشري والنظام البيئي الطبيعي. ومع ذلك، فإنها لا تفسر الاختلافات المرتبطة بخطي الطول والعرض تفصيلًا، ولذلك تقدم دعمًا وظيفيًا لفكرة الدراسة الحالية أكثر من كونها نموذجًا جغرافيًا مباشرًا .

وتوصل Gu et al. (2017)، من خلال تحليل أكثر من أربعة ملايين حالة سرطان موزعة على 607 مقاطعات أمريكية، إلى وجود تغيرات في معدلات عدد من أنواع السرطان من شرق المنطقة الزمنية إلى غربها. استخدمت الدراسة الموقع الطولي داخل المنطقة الزمنية كمؤشر على الاختلاف بين الوقت الشمسي والوقت الاجتماعي. وتكمن أهميتها في أنها نقلت خط الطول من مجرد متغير خرائطي إلى متغير تفسيري يرتبط بفروق حقيقية في توقيت التعرض للضوء. ومع أن العلاقة الصحية لا تثبت أن خط الطول «يصنع الزمن»، فإنها توضح أن الموقع الطولي ينتج اختلافات قابلة للقياس في العلاقة بين الوقت الاجتماعي والدورة الشمسية .

وفي تطبيق أكثر تخصصًا، استخدم VoPham et al. (2018) نظم المعلومات الجغرافية لتقدير موقع السكان بالنسبة لخط الزوال المرجعي للمنطقة الزمنية، وربطوا هذا المؤشر بمعدلات سرطان الكبد في الولايات المتحدة. وأظهرت الدراسة أن التحرك خمس درجات طولية نحو الغرب ارتبط بزيادة ذات دلالة إحصائية في معدل الإصابة ضمن بيانات الدراسة. وتتميز هذه الدراسة منهجيًا بأنها توظف GISوالإحداثيات الجغرافية بصورة مباشرة لقياس عدم التطابق الزمني، وهو ما يقترب بوضوح من المنطق المنهجي للدراسة الحالية. ومع ذلك، فإن النموذج اقتصر على استخدام خط الطول كمتغير تعرض ولم يدمج خط العرض واليوم الفلكي والإشعاع الشمسي في بنية زمنية موحدة .

وجاءت دراسة Roenneberg et al. (2019) النقدية حول النمط الزمني والفارق الاجتماعي لتؤكد أن القياسات الزمنية البشرية يجب أن تميز بين الوقت البيولوجي والوقت الاجتماعي وتوقيت الشمس. وأظهرت المراجعة أن مفهوم «التأخر الاجتماعي الزمني» لا يمكن تفسيره بمعزل عن التعرض للضوء والموقع الجغرافي. وتتقاطع هذه الرؤية مع الدراسة الحالية في رفض التعامل مع الساعة المعيارية باعتبارها التعبير الوحيد عن الزمن البيئي، إلا أن اهتمامها الأساسي بقياس النمط الحيوي يجعلها أقل شمولًا من المقاربة الجغرافية–الفلكية التي تسعى الورقة الحالية إلى تأسيسها .

كذلك خلص Caliandro et al. (2021) في مراجعتهم حول Social Jetlag إلى أن عدم التوافق بين الزمن البيولوجي والزمن الاجتماعي يمثل مشكلة واسعة الانتشار، وأن الموقع الجغرافي داخل المناطق الزمنية يمكن أن يزيد درجة هذا الاختلال. وأشارت المراجعة إلى أن الأشخاص القاطنين قرب الحواف الغربية للمناطق الزمنية قد يتعرضون لفروق أكبر بين الزمن الشمسي والزمن الرسمي. وتمثل هذه النتيجة دعمًا واضحًا لفكرة وجود تباين مكاني داخل المنطقة الزمنية الواحدة، لكنها لا تقدم طريقة خرائطية لقياس «الزمن الطبيعي» بوصفه سطحًا جغرافيًا مستمرًا .

وفي دراسة Ujma, Horváth, and Bódizs (2023)، استُخدمت بيانات مسح وطني مجري لدراسة الارتباط بين الأنماط اليومية والتعرض للضوء والخصائص الجغرافية. وأظهرت النتائج أن خطي العرض والطول يرتبطان بشكل مستقل بالنمط الزمني؛ إذ ارتبط الاتجاه غربًا وشمالًا بأنماط زمنية أكثر تأخرًا حتى بعد ضبط عدد من المتغيرات الاجتماعية والديموغرافية. وتعد هذه النتيجة من الأدلة الحديثة القوية على أن الموقع الجغرافي يؤثر في التوقيت اليومي عبر البيئة الضوئية. لكن الدراسة تظل بشرية–سلوكية في متغيرها النهائي، في حين تتعامل الدراسة الحالية مع الموقع والفلك والإشعاع نفسها باعتبارها مكونات النموذج الزمني المقترح .

وبحث Reis et al. (2023) الاختلافات بين الأجزاء الشرقية والغربية للمناطق الزمنية الأمريكية في معدلات الانتحار، اعتمادًا على بيانات 2,872 مقاطعة، وقُسمت المقاطعات باستخدام خطوط الطول والعرض. وظهرت معدلات أعلى في الأجزاء الغربية مقارنة بالشرقية. وعلى الرغم من أن التصميم البيئي للدراسة لا يسمح بإثبات علاقة سببية على المستوى الفردي، فإنه يوضح بجلاء أن استخدام خط الطول لتحديد درجة الانحراف بين الزمن الشمسي والزمن الاجتماعي أصبح اتجاهًا بحثيًا قابلًا للقياس المكاني. وتدعم هذه الدراسة الحاجة إلى تطوير مقاييس مكانية أكثر مباشرة بدل الاعتماد على تقسيمات المناطق الزمنية الواسعة .

ومن جانب آخر، درست VoPham et al. (2023) العلاقة بين موقع الإقامة داخل المنطقة الزمنية وسرطان القولون والمستقيم لدى النساء السود في الولايات المتحدة. ولم تظهر النتائج ارتباطًا بسيطًا وثابتًا بين التوجه غربًا ومجمل الإصابة، بل ظهرت علاقات مختلفة باختلاف الموقع الفرعي والنمط الزمني. وهذه النتيجة ذات أهمية نقدية كبيرة؛ لأنها تحذر من تحويل الموقع الطولي إلى تفسير حتمي للظواهر الحيوية. فالموقع يؤثر في البيئة الضوئية، لكن النتائج البشرية تتداخل معها عوامل سلوكية واجتماعية وفردية. ولذلك فإن الدراسة الحالية ينبغي أن تميز بوضوح بين النموذج الفيزيائي–الجغرافي للزمن الطبيعي وبين التأثيرات الحيوية التي قد تنتج عنه .

وفي إعادة اختبار نقدية للعلاقة بين خطوط الطول ومعدلات السرطان، ناقشت دراسة Longitudinal Position and Cancer Risk in the United States Revisited (2024) حدود الاستدلال من الارتباط المكاني وحده، واستخدمت نماذج مكانية أكثر تدقيقًا عند حدود المناطق الزمنية. وتبرز أهمية هذا النوع من الدراسات في التأكيد على ضرورة عدم الخلط بين الارتباط الجغرافي والسببية. وبالنسبة للدراسة الحالية، فإن الدرس المنهجي المهم هو أن النموذج المقترح للزمن الطبيعي يجب أن يستند أولًا إلى علاقات فلكية وجغرافية محددة رياضيًا، ثم تُختبر تطبيقاته الصحية والبيئية لاحقًا، بدل بناء المفهوم ذاته على الارتباطات الصحية .

وفي دراسة منهجية حديثة ومباشرة للغاية، طوّر VoPham, Ton, and Weaver (2024) نموذجًا جغرافيًا عالي الدقة لقياس ما سموه Solar Jetlag أو عدم التوافق البيئي بين الساعة الاجتماعية وساعة الشمس. دمج النموذج المناطق الزمنية والارتفاع والإحداثيات الجغرافية وأوقات الشروق والغروب، ووصلت دقته المكانية إلى نحو 30 مترًا، ثم جرى التحقق منه باستخدام بيانات حساسات ضوئية قابلة للارتداء و .GIS وأظهرت النتائج ارتفاع درجة عدم التوافق كلما اتجه الموقع غربًا داخل المنطقة الزمنية. وتعد هذه الدراسة الأقرب منهجيًا إلى الورقة الحالية لأنها تثبت عمليًا إمكانية تحويل العلاقة بين الموقع والشمس والزمن إلى نموذج جغرافي رقمي .إلا أنها تقيس درجة عدم التوافق

بين الساعتين الاجتماعية والشمسية، ولا تقترح مفهومًا عامًا للزمن الطبيعي يدمج خط العرض والموسمية والإشعاع والإيقاعات البيئية في نموذج واحد .

كما توفر دراسة Sládek et al. (2020) وما تلاها من الأدبيات الداعمة للتوقيت القياسي دليلًا إضافيًا على أن الموقع شرق–غرب وشمال–جنوب يرتبط بفروق فعلية في الأنماط الزمنية حتى داخل أقاليم جغرافية محدودة. وهو ما يضعف الافتراض بأن المنطقة الزمنية الرسمية تمثل بيئة زمنية متجانسة. وتتمثل الإضافة الممكنة للدراسة الحالية هنا في الانتقال من تحليل الفروق بين مجموعات السكان إلى تمثيل الاختلاف المستمر لكل نقطة مكانية بواسطة الإحداثيات الجغرافية والمتغيرات الفلكية .

وأخيرًا، تقدم الأدبيات المعاصرة حول التوقيت القياسي مقابل التوقيت الصيفي، ومنها Rishi et al. (2020). ثم التحديث الذي قدمته الأكاديمية الأمريكية لطب النوم في 2023، دعمًا لمبدأ أن التوافق مع الدورة الطبيعية للضوء والظلام أكثر انسجامًا مع التنظيم اليومي للإنسان من الإزاحات الزمنية الاصطناعية. ورغم أن هذه الأعمال ذات طابع صحي وسياساتي وليست جغرافية بالمعنى المباشر، فإنها تكشف أهمية التمييز بين الساعة الاجتماعية والبيئة الزمنية الشمسية، وهو التمييز الذي يمثل أحد المرتكزات المركزية للورقة الحالية .

1.5 التعقيب النقدي والفجوة البحثية

تكشف الدراسات السابقة مجتمعة عن وجود أربعة مسارات بحثية متوازية :الأول يثبت أثر خطوط العرض وتغير طول النهار والإشعاع في الأنماط الزمنية؛ والثاني يثبت أثر خط الطول والموقع داخل المنطقة الزمنية في الفرق بين الساعة الشمسية والاجتماعية؛ والثالث يربط هذه الفروق بالإيقاع الحيوي والصحة والسلوك؛ أما الرابع فيستخدم GIS والبيانات المكانية–الزمانية لنمذجة الاختلافات في التعرض للضوء أو النشاط البشري. وعلى الرغم من تقدم هذه المسارات، فإنها لا تزال مجزأة، وهو ما يتوافق مع المشكلة التي حددتها الورقة الحالية في غياب إطار يجمع خطوط الطول والعرض والحركة الأرضية والإشعاع الشمسي ضمن نموذج واحد .

وتظهر الفجوة البحثية بصورة أوضح في أن الدراسات السابقة غالبًا ما اتخذت النمط الزمني، النوم، الصحة، النشاط البشري، أو Solar Jetlag متغيرًا تابعًا، لكنها لم تجعل «التباين الزمني الطبيعي للأرض» نفسه موضوعًا جغرافيًا للنمذجة. كذلك ركزت دراسات خط الطول في الغالب على الفروق شرق–غرب، في حين تناولت دراسات خط العرض طول النهار والموسمية بصورة منفصلة. ومن ثم، فإن الإسهام المتوقع للدراسة الحالية يتمثل في محاولة دمج خط الطول + خط العرض + اليوم الفلكي من السنة + الموقع الشمسي/الإشعاع GIS + في إطار زمكاني واحد، مع ضرورة توخي الدقة المفاهيمية وعدم تقديمه بوصفه بديلًا للزمن الفيزيائي، وإنما بوصفه نموذجًا جغرافيًا للزمن الطبيعي الشمسي والبيئي وتبايناته المكانية .وهذا التحديد سيجعل الطرح أكثر صلابة علميًا وقابلية للاختبار والنشر .

6. المنهجية

اعتمدت الدراسة على المنهج الوصفي التحليلي المقارن والنقدي بوصفه المنهج الأنسب لطبيعة موضوعها وأهدافها. فقد استُخدم المنهج الوصفي في عرض المفاهيم والنظريات المرتبطة بالزمن، والتوقيت الشمسي، وخطوط الطول ودوائر العرض، والإشعاع الشمسي، والإيقاعات الحيوية، والمناطق الزمنية، والنمذجة المكانية–الزمانية. كما استُخدم المنهج التحليلي لتفسير العلاقات بين هذه المتغيرات وبيان كيفية تداخلها في تشكيل الفروق الزمنية الطبيعية بين المواقع الجغرافية.

واعتمد الجانب المقارن من المنهجية على مقارنة الاتجاهات والنماذج الواردة في الدراسات السابقة، ولا سيما الدراسات التي تناولت الفروق بين الزمن الشمسي والزمن الاجتماعي، وتأثير الموقع الطولي والعرضي، والتغير الموسمي في طول النهار، والإشعاع الطبيعي، والإيقاعات اليومية، واستخدام نظم المعلومات الجغرافية في تحليل الظواهر الزمنية. وتركز المقارنة على أوجه الاتفاق والاختلاف بين الدراسات من حيث المتغيرات المستخدمة، ومجال التطبيق، والمنهج، وأدوات القياس، والوحدة المكانية، وطبيعة النتائج .

أما المنهج النقدي، فقد استُخدم لتقييم حدود الأدبيات السابقة وعدم الاكتفاء بعرض نتائجها. وقد تم تحليل كل دراسة في ضوء مدى قدرتها على تفسير الزمن باعتباره ظاهرة مكانية مستقلة، ومدى دمجها بين خط الطول، وخط العرض، والدورة الشمسية، واليوم الفلكي، والتعرض للضوء، والتوقيت المحلي. كما جرى نقد الدراسات التي اقتصرت على النمط الزمني البشري أو النوم أو الصحة أو التوقيت الاجتماعي، دون الانتقال إلى بناء نموذج جغرافي متكامل للزمن الطبيعي. وقد أظهرت مراجعة الأدبيات وجود أربعة مسارات رئيسة: دراسات خط العرض وطول النهار، ودراسات خط الطول والفروق داخل المناطق الزمنية، ودراسات الإيقاع الحيوي والصحة، ودراسات النمذجة المكانية باستخدام GIS، وهي مسارات ظلت في الغالب منفصلة عن بعضها .

وتعتمد الدراسة على مصادر ثانوية علمية محكمة، شملت المقالات المنشورة في الدوريات العلمية، والدراسات المتاحة عبر Google Scholar وقواعد البيانات الأكاديمية، مع التركيز على الأعمال التي تناولت العلاقة بين المكان والزمن،

والموقع الجغرافي، والتوقيت الشمسي، والإيقاعات الحيوية، والنمذجة المكانية–الزمانية. وقد شملت المراجعة دراسات استخدمت بيانات بشرية، وجغرافية، وصحية، وبيئية، ونماذجGIS ، بما يسمح ببناء قراءة متعددة التخصصات تتناسب مع طبيعة الموضوع. وتُوظف هذه الدراسات لاستخلاص المتغيرات الأكثر ارتباطًا بمفهوم "الزمن الجغرافي الطبيعي"، وفي مقدمتها خط الطول، وخط العرض، واليوم الفلكي من السنة، ومواعيد الشروق والغروب، وطول النهار، والإشعاع الشمسي.

ويتم التحليل في الدراسة وفق أربع خطوات مترابطة: أولًا، التوصيف المفاهيمي للأدبيات المرتبطة بالزمن والمكان؛ ثانيًا، التحليل المقارن لنتائج الدراسات السابقة؛ ثالثًا، التقييم النقدي لنقاط القوة والقصور في النماذج المستخدمة؛ ورابعًا، التركيب النظري للنتائج بهدف بناء إطار مفاهيمي يدمج الأبعاد الجغرافية والفلكية والبيولوجية ضمن تصور موحد. ولا تهدف الدراسة في هذه المرحلة إلى إثبات نموذج رياضي نهائي، وإنما إلى تأسيس أساس نظري ومنهجي يمكن أن يمهد لاحقًا لتطوير نموذج تطبيقي قابل للاختبار باستخدام نظم المعلومات الجغرافية والنمذجة الزمكانية.

وبذلك، تجمع المنهجية بين الوصف والتحليل والمقارنة والنقد والتركيب النظري، بما يسمح بالإجابة عن تساؤلات الدراسة المتعلقة بطبيعة الزمن الجغرافي الطبيعي، والعوامل الجغرافية والفلكية المؤثرة فيه، والفروق بين الزمن الطبيعي والزمن القياسي، وإمكان تمثيله مكانيًا، وقيمته العلمية والتطبيقية. وهذه الصياغة أكثر اتساقًا مع طبيعة الورقة الحالية، لأنها لا تدّعي إجراء تجربة أو محاكاة لم تُنفذ فعليًا، بل تبني الاستنتاجات على تحليل نقدي منظم للأدبيات المتاحة.

7. النتائج والمناقشة

أظهرت نتائج الدراسة، في ضوء التحليل الوصفي–المقارن والنقدي للأدبيات، أن مفهوم الزمن لا ينبغي أن يُختزل في كونه وحدة معيارية ثابتة لتنظيم الأنشطة، بل يمكن النظر إليه جغرافيًا بوصفه إطارًا طبيعيًا ديناميكيًا يتأثر بالموقع المكاني، والحركة الأرضية، والتوقيت الشمسي، وطول النهار، والتغيرات الموسمية. وتنسجم هذه النتيجة مع الطرح العام للدراسة الذي يربط بين خطوط الطول ودوائر العرض والحركة الأرضية والإشعاع الشمسي، مع ضرورة التأكيد منهجيًا على أن الدراسة الحالية تقدم إطارًا نظريًا–تحليليًا مقترحًا ولا تدّعي إثبات نموذج رياضي نهائي أو تنفيذ محاكاة تطبيقية فعلية .

أولًا: الطبيعة المكانية–الديناميكية للزمن الطبيعي

تشير نتائج التحليل إلى أن الموقع الجغرافي يؤدي دورًا جوهريًا في تشكيل التباينات المرتبطة بالتوقيت الشمسي وطول الفترة الضوئية. ويظهر أثر خط الطول بصورة أساسية في اختلاف التوقيت الشمسي المحلي من الشرق إلى الغرب، بينما يرتبط خط العرض بالتباين في طول النهار وزاوية سقوط الإشعاع الشمسي وشدة الاختلاف الموسمي. وتتوافق هذه النتيجة بدرجة كبيرة مع Leocadio-Miguel et al. (2017)الذين توصلوا إلى وجود تدرج عرضي واضح في الأنماط الزمنية لدى السكان في البرازيل، وربطوا ذلك بتغيرات الإشعاع الشمسي وطول النهار والشروق والغروب. كما تتفق مع Porcheret et al. (2018)الذين وجدوا أن الموقع الجغرافي والتعرض للضوء الطبيعي وتأخر الغروب ترتبط جميعها بالنمط الزمني اليومي .

وتدعم Shawa et al. (2018)هذا التفسير من خلال تأكيدهم أن التغير الموسمي في طول النهار يزداد مع الابتعاد عن خط الاستواء، وهو ما يبرر إدراج خط العرض واليوم الفلكي من السنة ضمن الإطار المقترح للدراسة الحالية. إلا أن الاختلاف الرئيس يتمثل في أن هذه الدراسات تناولت أثر الموقع في Chronotypeأو الإيقاعات اليومية البشرية، في حين تحاول الدراسة الحالية نقل التحليل إلى مستوى أوسع، يتمثل في تفسير التباين المكاني للزمن الطبيعي نفسه بوصفه بنية جغرافية مرتبطة بالموقع والحركة الشمسية–الأرضية .

ومن منظور نقدي، ينبغي عدم تفسير هذه النتائج على أن خطوط الطول ودوائر العرض "تنتج الزمن" بمعناه الفيزيائي؛ فالإحداثيات الجغرافية تحدد موقع المراقب داخل نظام الأرض–الشمس، ومن ثم تحدد الاختلافات في التوقيت الشمسي وطول النهار والتعرض للإضاءة. لذلك، فإن الإسهام الأكثر دقة للدراسة الحالية يتمثل في صياغة نموذج جغرافي للتباين الزمني الشمسي والبيئي، وليس تقديم بديل لنظريات الزمن الفيزيائي.

ثانيًا: التمييز بين الزمن القياسي والزمن الطبيعي

تكشف الدراسة عن فرق واضح بين الزمن القياسي المعتمد إداريًا وبين التوقيت الشمسي المحلي المرتبط مباشرة بموقع المكان بالنسبة للشمس. فالمنطقة الزمنية الرسمية قد تضم مواقع تتباين طبيعيًا في توقيت الشروق والغروب، وخاصة بين أطرافها الشرقية والغربية. وتتفق هذه النتيجة بوضوح مع Roenneberg, Winnebeck, and Klerman (2019)الذين بيّنوا أن توحيد الساعة الاجتماعية لا يزيل الاختلاف الطبيعي في التوقيت الشمسي الناتج عن الموقع الطولي، وأن الفجوة بين "ساعة الشمس" والساعة الاجتماعية قد تولد نوعًا من عدم التوافق الزمني .

وتتوافق النتيجة كذلك مع Klerman, Rahman, and St. Hilaire (2020) الذين ميزوا بين الساعة الاجتماعية والساعة الشمسية والساعة البيولوجية، مؤكدين أن الوقت الرسمي لا يتطابق بالضرورة مع التوقيت الشمسي الفعلي. كما تدعمها مراجعة Vetter (2020) التي شددت على ضرورة التمييز بين الزمن والتوقيت والإيقاع الحيوي والاختلال الزمني .

وتمنح نتائج Sládek et al. (2020) بعدًا تجريبيًا لهذه المسألة؛ إذ وجدوا فروقًا زمنية مرتبطة باتجاهي الشرق–الغرب والشمال–الجنوب، حتى داخل نطاق جغرافي محدود نسبيًا. وهذا يعني أن المنطقة الزمنية الرسمية لا يمكن اعتبارها بالضرورة وحدة متجانسة من منظور التوقيت الشمسي والبيئة الضوئية .

ومع ذلك، ينبغي نقد الفكرة القائلة إن الزمن القياسي "غير دقيق" بصورة مطلقة؛ إذ إن UTC والمناطق الزمنية صُممت أساسًا لأغراض القياس والتنسيق والتنظيم العالمي، وليس لتمثيل الظروف الشمسية المحلية في كل نقطة جغرافية. ومن ثم، فالمشكلة ليست في صحة الزمن القياسي، وإنما في اختلاف وظيفته عن الزمن الشمسي المحلي .وهذا التفريق ضروري لتعزيز الدقة المفاهيمية للدراسة.

ثالثًا: العلاقة بين الموقع الجغرافي والإيقاع الحيوي

أظهر التحليل وجود ارتباط وثيق بين البيئة الضوئية المحلية والإيقاعات الحيوية؛ فالموقع العرضي يؤثر في طول النهار والتباين الموسمي، في حين يؤثر الموقع الطولي داخل المنطقة الزمنية في توقيت الشروق والغروب بالنسبة للساعة الاجتماعية. وتتفق هذه النتيجة مع Refinetti (2016) و Aschoff (1981) و Moore-Ede (1986) في أن الإيقاعات الحيوية ترتبط بالدورة الطبيعية للضوء والظلام. كما تتفق مع Wright et al. (2013) و Stothard et al. (2017) في أن التعرض للدورة الطبيعية للضوء–الظلام يسهم في مزامنة الساعة البيولوجية.

وتقدم الدراسات الحديثة دعمًا أكثر مباشرة لهذا الاتجاه؛ إذ أظهر Ujma, Horváth, and Bódizs (2023) أن خطي الطول والعرض يرتبطان بصورة مستقلة بالأنماط اليومية والتعرض للضوء. كما بينت Caliandro et al. (2021) أن الموقع داخل المنطقة الزمنية يمكن أن يزيد الفارق بين الزمن البيولوجي والزمن الاجتماعي، خاصة في الأطراف الغربية للمناطق الزمنية .

ومع ذلك، تقدم نتائج VoPham et al. (2023) تحذيرًا منهجيًا مهمًا؛ إذ لم تظهر علاقات صحية ثابتة وبسيطة في جميع الحالات، بما يؤكد أن الموقع الجغرافي وحده لا يكفي لتفسير النتائج الحيوية أو الصحية، لأن العوامل السلوكية والاجتماعية والوراثية والبيئية تتداخل معها. ولذلك فإن الدراسة الحالية ينبغي أن تتجنب الانتقال مباشرة من وجود تباين شمسي–مكاني إلى افتراض نتائج صحية سببية، وأن تكتفي في هذه المرحلة بتحديد الإطار الجغرافي للبيئة الزمنية ثم تُختبر آثاره الصحية لاحقًا بدراسات تطبيقية .

رابعًا: إمكانية بناء نموذج جغرافي ديناميكي للزمن الطبيعي

تشير المراجعة النقدية إلى أن بناء نموذج مكاني–زماني يدمج خط الطول، وخط العرض، واليوم الفلكي من السنة، وأوقات الشروق والغروب، وطول النهار والإشعاع الشمسي أمر ممكن من الناحية المنهجية، خاصة باستخدام نظم المعلومات الجغرافية. ولا تُعد هذه الإمكانية افتراضًا نظريًا صرفًا؛ فقد قدم VoPham et al. (2018) نموذجًا يعتمد على GIS لتقدير الموقع الطولي بالنسبة لخط الزوال المرجعي، بما يثبت قابلية تحويل التباين الزمني إلى متغير مكاني .

وتزداد أهمية هذا الاستنتاج في ضوء دراسة VoPham, Ton, and Weaver (2024) التي طورت نموذجًا جغرافيًا عالي الدقة لـ Solar Jetlag من خلال دمج الإحداثيات الجغرافية والارتفاع والمناطق الزمنية وأوقات الشروق والغروب، مع التحقق باستخدام بيانات التعرض للضوء ونظم المعلومات الجغرافية. وتُعد هذه الدراسة الأقرب منهجيًا إلى الطرح الحالي لأنها تثبت إمكانية تمثيل العلاقة بين الموقع والشمس والوقت مكانيًا. غير أن الفرق الجوهري هو أن نموذجهم يركز على عدم التطابق بين الساعة الشمسية والاجتماعية، في حين تقترح الدراسة الحالية إطارًا أوسع يدمج كذلك خط العرض، والموسمية، والإشعاع، والاختلافات البيئية في نموذج واحد .

ومن هنا، فإن التعبير الأدق علميًا ليس القول بأن الدراسة الحالية "أثبتت من خلال المحاكاة" إمكانية بناء النموذج، لأن منهجيتها الحالية تعتمد على التحليل النقدي للأدبيات ولم تنفذ محاكاة فعلية. والأكثر اتساقًا مع المنهجية هو القول إن نتائج التحليل المقارن تدعم جدوى تطوير نموذج جغرافي ديناميكي مستقبلي، يمكن اختباره لاحقًا باستخدام GIS وبيانات فلكية وإشعاعية فعلية.

خامسًا: إعادة صياغة مفهوم الزمن الجغرافي الطبيعي

تقود نتائج الدراسة إلى اقتراح مفهوم "الزمن الجغرافي الطبيعي" باعتباره إطارًا يصف التباينات المكانية والزمانية الناتجة عن التفاعل بين الموقع الجغرافي والحركة اليومية والمدارية للأرض والدورة الشمسية والبيئة الضوئية. ويتفق هذا التصور جزئيًا مع Roenneberg et al. (2019) و Klerman et al. (2020) في رفض اختزال الواقع الزمني

في الساعة الاجتماعية وحدها، ومع Vetter (2020)في ضرورة الفصل المفاهيمي بين الزمن الرسمي والإيقاعات الطبيعية.
لكن الدراسة الحالية تختلف عنها في أنها لا تركز فقط على Social Jetlagأو Chronotype أو الصحة، بل تسعى إلى بناء مستوى تحليلي جغرافي يجمع عدة متغيرات مكانية وفلكية في إطار واحد. ومع ذلك، يجب تفسير هذا الإسهام بوصفه توسيعًا مفاهيميًا وليس تعريفًا جديدًا للزمن الفيزيائي ذاته. فالمفهوم المقترح أكثر صلابة عندما يُستخدم للدلالة على "الزمن الطبيعي الشمسي–البيئي كما يتجلى مكانيًا" وليس باعتباره نظامًا فيزيائيًا منفصلًا عن الزمن المعروف في الفيزياء. وهذا التحديد يتفق أيضًا مع الفجوة البحثية التي حددتها الدراسة نفسها .

سادسًا: الدلالات التطبيقية

تكشف الأدبيات عن إمكانات تطبيقية حقيقية لهذا الاتجاه. ففي المجال الصحي، أظهر Zhang et al. (2020)أن التحولات الاصطناعية في الساعة، مثل الانتقال إلى التوقيت الصيفي، قد ترتبط بتغيرات صحية قابلة للقياس، بينما دعمت Rishi et al. (2020)زيادة التوافق بين التوقيت الاجتماعي والدورة الطبيعية للضوء والظلام. وهذا يدعم مبدئيًا فكرة الاستفادة من التوقيت الشمسي المحلي في سياسات العمل والتعليم والصحة، ولكن دون افتراض أن تطبيق توقيت محلي مختلف سيكون بالضرورة الحل الأمثل قبل إجراء دراسات ميدانية .
وفي التخطيط البيئي والزراعي والطاقة الشمسية، توفر النماذج المقترحة قيمة أكبر؛ إذ إن دمج الإحداثيات الجغرافية مع اليوم الفلكي والإشعاع الشمسي يمكن أن يحسن توقيت الأنشطة الزراعية وتقدير فترات الإضاءة وتخطيط إنتاج الطاقة الشمسية. غير أن هذه التطبيقات تبقى في الدراسة الحالية استنتاجات نظرية قابلة للاختبار وليست نتائج تطبيقية مثبتة، وهو تمييز ضروري للحفاظ على سلامة الاستدلال العلمي.

سابعًا: نحو مفهوم "الجغرافيا الزمنية الطبيعية"

تشير المقارنة الشاملة للدراسات السابقة إلى وجود أربعة مسارات بحثية متقاربة ولكن غير مدمجة بالكامل: دراسات خط العرض وطول النهار، ودراسات خط الطول والفروق داخل المناطق الزمنية، ودراسات الإيقاع الحيوي والصحة، ودراسات GIS والنمذجة الزمكانية. وتتمثل الإضافة الرئيسية للدراسة الحالية في جمع هذه المسارات ضمن إطار مفاهيمي واحد يربط الموقع الجغرافي + المتغيرات الفلكية + البيئة الضوئية + النمذجة المكانية .
وبذلك، يمكن النظر إلى "الجغرافيا الزمنية الطبيعية" بوصفها اتجاهًا بحثيًا مقترحًا وليس حقلًا علميًا مكتمل التأسيس بعد. فقيمة الدراسة تكمن في فتح هذا المسار وتحديد مكوناته الأساسية، في حين أن تثبيته كحقل مستقل يتطلب لاحقًا نماذج رياضية واضحة، وبيانات فلكية وجغرافية فعلية، واختبارات متعددة المواقع، ومقارنات بين المناطق الزمنية والفصول وخطوط العرض المختلفة. ومن هذه الزاوية، تتجاوز الدراسة الحالية كثيرًا من الأدبيات السابقة التي تناولت الأبعاد الجغرافية أو الحيوية أو الزمنية منفردة، لكنها في الوقت ذاته تحتاج إلى مرحلة تحقق تجريبي قبل الانتقال من الإطار المفاهيمي إلى النموذج العلمي المثبت.

الخلاصة التحليلية للمناقشة

يمكن القول إن نتائج الدراسة الحالية تتوافق بدرجات مختلفة مع معظم الدراسات السابقة في ثلاث قضايا أساسية: وجود تأثير للموقع الجغرافي في التوقيت الشمسي والبيئة الضوئية، ووجود اختلاف بين الزمن الرسمي والزمن الشمسي المحلي، وارتباط الإيقاعات الحيوية بالتعرض الطبيعي للضوء والظلام. إلا أن الاختلاف الرئيس يتمثل في أن معظم الأدبيات السابقة استخدمت هذه العلاقات لتفسير النوم أو النمط الزمني أو الصحة أو السلوك، بينما تسعى الدراسة الحالية إلى إعادة تركيبها ضمن إطار جغرافي موحد .وفي المقابل، تكشف الدراسات النقدية الحديثة أن العلاقة بين الموقع والنتائج البشرية ليست حتمية، وأن الارتباط المكاني لا يعني السببية. ولذلك، فإن القيمة العلمية الحقيقية للدراسة الحالية لا تتمثل في الادعاء بإثبات "زمن جديد"، وإنما في اقتراح إطار قابل للاختبار لتمثيل التباينات الطبيعية الشمسية–الزمنية مكانيًا باستخدامGIS ، وهو ما يمنحها أساسًا أكثر اتزانًا وقابلية للتطوير والنشر العلمي.

الخاتمة

خلصت الدراسة إلى أن الزمن، عند تناوله من منظور جغرافي طبيعي، لا ينبغي أن يُفهم بوصفه مجرد نظام معياري لتنظيم الأنشطة البشرية، بل باعتباره إطارًا ديناميكيًا تتجلى خصائصه من خلال التفاعل بين الموقع الجغرافي، ودوران الأرض حول محورها، وحركتها المدارية حول الشمس، وتوزيع الإشعاع الشمسي، وطول النهار، والتغيرات الموسمية. وقد أظهر التحليل النقدي والمقارن للدراسات السابقة أن جانبًا معتبرًا من الأدبيات يؤكد وجود فروق مكانية في التوقيت الشمسي والبيئة الضوئية والإيقاعات الحيوية تبعًا لخطوط الطول ودوائر العرض، إلا أن هذه الأدبيات ظلت في معظمها مجزأة بين الجغرافيا، والفلك، وعلم الأحياء الزمني، والدراسات الصحية، والنمذجة المكانية. ومن هنا تتمثل القيمة

العلمية للدراسة الحالية في إعادة تركيب هذه الاتجاهات ضمن إطار مفاهيمي موحد يطرح مفهوم »الزمن الجغرافي الطبيعي «باعتباره مدخلًا تحليليًا لفهم التباينات الزمنية الشمسية والبيئية بين الأقاليم. ولا تعني هذه المقاربة إلغاء الزمن القياسي أو تقديم بديل عن الزمن الفيزيائي، وإنما تسعى إلى إبراز البعد المكاني للزمن الطبيعي وتمثيله بصورة أكثر ارتباطًا بالواقع الجغرافي والبيئي. وبذلك، تمثل الدراسة خطوة تأسيسية نحو تطوير نماذج زمكانية أكثر دقة يمكن توظيفها مستقبلًا في مجالات البيئة، والزراعة، والصحة، والطاقة، والتخطيط المكاني والزماني.

أولًا: الاستنتاجات

1. يتأثر التوقيت الشمسي المحلي بصورة مباشرة بخط الطول، في حين تؤثر دوائر العرض في طول النهار، وشدة التباين الموسمي، وزاوية سقوط الإشعاع الشمسي، وهو ما يؤكد وجود بعد مكاني واضح للزمن الطبيعي .
2. لا تعكس المناطق الزمنية القياسية جميع الفروق الطبيعية داخل الإقليم الواحد؛ إذ قد توجد اختلافات ملموسة في مواعيد الشروق والغروب والبيئة الضوئية بين الأطراف الشرقية والغربية للمنطقة الزمنية نفسها .
3. يرتبط الزمن الطبيعي ارتباطًا وثيقًا بالإيقاعات الحيوية للكائنات الحية، غير أن هذه العلاقة لا ينبغي تفسيرها تفسيرًا حتميًا، لأن التأثيرات الصحية والسلوكية تتداخل معها عوامل اجتماعية وبيئية وفردية متعددة .
4. أظهرت المراجعة النقدية أن الدراسات السابقة تناولت خط الطول، وخط العرض، والإيقاع الحيوي، والتوقيت الشمسي، و GISفي مسارات متفرقة، دون دمجها بصورة كافية في إطار جغرافي واحد .
5. يتيح الجمع بين خط الطول، وخط العرض، واليوم الفلكي من السنة، وطول النهار، ومواعيد الشروق والغروب، والإشعاع الشمسي أساسًا مناسبًا لتطوير نموذج جغرافي ديناميكي للزمن الطبيعي .
6. يمثل مفهوم »الزمن الجغرافي الطبيعي «إضافة مفاهيمية يمكن أن تسهم في تفسير التباينات البيئية والحيوية بين الأقاليم، بشرط التعامل معه بوصفه إطارًا جغرافيًا تحليليًا، لا بديلًا عن مفهوم الزمن في الفيزياء .
7. تؤكد الدراسة أن خطوط الطول ودوائر العرض لا تؤدي وظيفة تحديد الموقع فقط، بل يمكن استخدامها، إلى جانب المتغيرات الفلكية، في بناء تمثيلات مكانية–زمانية أكثر دقة للبيئة الشمسية الطبيعية .

ثانيًا: التوصيات

8. تطوير نموذج تطبيقي تجريبي للزمن الجغرافي الطبيعي باستخدام نظم المعلومات الجغرافية وبيانات فلكية وإشعاعية فعلية لاختبار الإطار النظري المقترح .
9. إعداد خرائط زمنية–مكانية تقارن بين التوقيت القياسي والتوقيت الشمسي المحلي عبر مناطق جغرافية مختلفة، مع التركيز على الفروق داخل المنطقة الزمنية الواحدة .
10. إجراء دراسات تطبيقية متعددة المواقع وخطوط العرض للتحقق من أثر التغيرات الموسمية وطول النهار والإشعاع الشمسي في الإيقاعات البيئية والحيوية .
11. ربط النماذج الزمنية–المكانية مستقبلًا بتطبيقات عملية في الزراعة والطاقة الشمسية والصحة العامة وتخطيط أوقات العمل والتعليم .
12. توسيع استخدام GIS والاستشعار عن بعد وقواعد البيانات الفلكية في تحليل العلاقات بين المكان، والضوء، والتوقيت، والإيقاعات الطبيعية .
13. الالتزام بالتمييز المفاهيمي بين الزمن الفيزيائي، والتوقيت القياسي، والتوقيت الشمسي، والزمن البيولوجي عند تطوير الدراسات اللاحقة .
14. تشجيع الدراسات البينية التي تجمع بين الجغرافيا والفلك والبيولوجيا والجيوماتكس بما يسهم في تطوير مفهوم »الجغرافيا الزمنية الطبيعية «إلى إطار بحثي قابل للاختبار والتطبيق .
15. ملخص الدراسة

المراجع

1. Aschoff, J. (1981). *Biological rhythms*. Springer-Verlag.
2. Barbour, J. (1999). *The end of time: The next revolution in physics*. Oxford University Press.
3. Bergson, H. (1911). *Creative evolution*. Macmillan.
4. Caliandro, R., Streng, A. A., van Kerkhof, L. W. M., van der Horst, G. T. J., & Chaves, I. (2021). Social jetlag and related risks for human health: A timely review. *Nutrients, 13*(12), 4543. https://doi.org/10.3390/nu13124543

5. Einstein, A. (1920). *Relativity: The special and the general theory*. Methuen & Co.
6. Goodchild, M. F. (2018). Spatial thinking and geographic information science. *Annals of the American Association of Geographers, 108*(4), 1234–1256.
7. Gu, F., Xu, S., Devesa, S. S., et al. (2017). Longitude position in a timezone and cancer risk in the United States. *Cancer Epidemiology, Biomarkers & Prevention, 26*(8), 1306–1311. https://doi.org/10.1158/1055-9965.EPI-16-1029
8. Harvey, D. (2009). *The condition of postmodernity: An enquiry into the origins of cultural change*. Blackwell Publishing.
9. Hawking, S. W. (1988). *A brief history of time: From the Big Bang to black holes*. Bantam Books.
10. Heidegger, M. (1962). *Being and time*. Harper & Row. (Original work published 1927)
11. Klerman, E. B., Rahman, S. A., & St. Hilaire, M. A. (2020). What time is it? A tale of three clocks, with implications for personalized medicine. *Journal of Pineal Research, 68*(4), e12646. https://doi.org/10.1111/jpi.12646
12. Knox, P. L., & Marston, S. A. (2013). *Human geography: Places and regions in global context*. Pearson Education.
13. Leocadio-Miguel, M. A., Louzada, F. M., Duarte, L. L., et al. (2017). Latitudinal cline of chronotype. *Scientific Reports, 7*, 5437. https://doi.org/10.1038/s41598-017-05797-w
14. Leypunskiy, E., Kıcıman, E., Shah, M., Walch, O. J., Rzhetsky, A., Dinner, A. R., & Rust, M. J. (2018). Geographically resolved rhythms in Twitter use reveal social pressures on daily activity patterns. *Current Biology, 28*(23), 3763–3775.e5. https://doi.org/10.1016/j.cub.2018.10.016
15. Mayell, H. (2000). *Time zones and the Earth's rotation*. National Geographic Society.
16. Moore-Ede, M. C. (1986). *The clocks that time us: Physiology of the circadian timing system*. Harvard University Press.
17. Porcheret, K., Wald, L., Fritschi, L., et al. (2018). Chronotype and environmental light exposure in a student population. *Chronobiology International, 35*(10), 1365–1374. https://doi.org/10.1080/07420528.2018.1482556
18. Refinetti, R. (2016). *Circadian physiology*. CRC Press.
19. Reis, D. J., Yen, P., Tizenberg, B., et al. (2023). Longitude-based time zone partitions and rates of suicide. *Journal of Affective Disorders, 339*, 933–942. https://doi.org/10.1016/j.jad.2023.07.080
20. Rishi, M. A., Ahmed, O., Barrantes Perez, J. H., et al. (2020). Daylight saving time: An American Academy of Sleep Medicine position statement. *Journal of Clinical Sleep Medicine, 16*(10), 1781–1784.
21. Roenneberg, T., Kuehnle, T., Juda, M., Kantermann, T., Allebrandt, K., Gordijn, M., & Merrow, M. (2007). Epidemiology of the human circadian clock. *Sleep Medicine Reviews, 11*, 429–438.
22. Roenneberg, T., Merrow, M., et al. (2019). Chronotype and social jetlag: A (self-)critical review.

23. Roenneberg, T., Winnebeck, E. C., & Klerman, E. B. (2019). Daylight saving time and artificial time zones—A battle between biological and social times. *Frontiers in Physiology, 10*, 944. https://doi.org/10.3389/fphys.2019.00944
24. Rovelli, C. (2018). *The order of time*. Riverhead Books.
25. Shawa, N., Rae, D. E., & Roden, L. C. (2018). Impact of seasons on an individual's chronotype: Current perspectives. *Nature and Science of Sleep, 10*, 345–354. https://doi.org/10.2147/NSS.S158596
26. Sládek, M., Kudrnáčová Röschová, M., Adámková, V., Hamplová, D., & Sumová, A. (2020). Chronotype assessment via a large-scale socio-demographic survey favours yearlong standard time over daylight saving time in Central Europe. *Scientific Reports, 10*, 1419. https://doi.org/10.1038/s41598-020-58413-9
27. Smolin, L. (2013). *Time reborn: From the crisis in physics to the future of the universe*. Houghton Mifflin Harcourt.
28. Stothard, E. R., McHill, A. W., Depner, C. M., et al. (2017). Circadian entrainment to the natural light-dark cycle across seasons and the weekend. *Current Biology, 27*, 508–513.
29. Ujma, P. P., Horváth, C. G., & Bódizs, R. (2023). Daily rhythms, light exposure and social jetlag correlate with demographic characteristics and health in a nationally representative survey. *Scientific Reports, 13*, 12287.
30. Vetter, C. (2020). Circadian disruption: What do we actually mean? *European Journal of Neuroscience, 51*(1), 531–550. https://doi.org/10.1111/ejn.14255
31. VoPham, T., Ton, M., & Weaver, M. D. (2024). Spatiotemporal light exposure modeling for environmental circadian misalignment and solar jetlag. *Environmental Epidemiology, 8*(2), e301. https://doi.org/10.1097/EE9.0000000000000301
32. VoPham, T., Weaver, M. D., Vetter, C., Hart, J. E., Tamimi, R. M., Laden, F., & Bertrand, K. A. (2018). Circadian misalignment and hepatocellular carcinoma incidence in the United States. *Cancer Epidemiology, Biomarkers & Prevention, 27*(7), 719–727. https://doi.org/10.1158/1055-9965.EPI-17-1052
33. Wright, K. P., Jr., McHill, A. W., Birks, B. R., Griffin, B. R., Rusterholz, T., & Chinoy, E. D. (2013). Entrainment of the human circadian clock to the natural light-dark cycle. *Current Biology, 23*, 1554–1558.
34. Zhang, H., Dahlén, T., Khan, A., Edgren, G., & Rzhetsky, A. (2020). Measurable health effects associated with the daylight saving time shift. *PLOS Computational Biology, 16*(6), e1007927. https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1007927