E-ISSN: 1658-9602
www.jahs.qu.edu.sa

مجلة العلوم العربية والإنسانية
Journal of Arabic Sciences & Humanities
مجلة دورية علمية محكمة ربع سنوية

إدارة الجمعيات والمجلات العلمية
Administration of Scientific Journals & Associations

استخدام تحليل المسار الأقل تكلفة في استكشاف المسار الأثريّ الذي يربط بين منازل حاتم الطَّائي ومَوقِده

Using Least Cost Path Analysis to Explore the Archaeological Path Connecting between Hatim al-Taie Houses and his Stove

18، (4)، شوّال، 1446
April, 2025

إيمان عبدالعزيز السيف

قسم الجغرافيا، كلية اللغات والعلوم الإنسانية، جامعة القصيم، بريدة، المملكة العربية السعودية

الملخَّص:

يعدُّ إحياء المسارات القديمة بين المواقع الأثريَّة في المناطق الجبليَّة وتحسين إمكانيَّة الوصول إليها موضوعًا بالغ الأهميةِ؛ إذ إنه دافعٌ لتنمية الاقتصاد المحلّي وتحقيق التنمية السياحية المستدامة. تتمتَّع منطقة حائل ببيئة جغرافية فريدة من نوعها، إذ توجد فيها: الجبال، والأودية، والأراضي الزراعية، والقرى والمناطق الحضرية، وهي غنية جدًّا بالمواقع التاريخية، والتي يقع الكثير منها في المناطق الجبليَّة. ويتمثل العائق الرئيس في ضعف أو عدم إمكانية الوصول إلى هذه المواقع. تهدف هذه الدراسة إلى استكشاف المسار الذي يربط قديما بين موقعين أثريَّين؛ هما: منازل حاتم الطَّائي ـ بتوارن في غرب مدينة حائل ـ وموقده بجبل السمراء في شرق مدينة حائل، والتحقق من صحة المسار. وتتخذ الدراسة منهج التحليل المكانيّ اتجاها لتحقيق أهدافها، ويتم إنتاج المسار بناءً على وظيفة التحليل الأقل تكلفة بنظم المعلومات الجغرافية. وقد أنتجت الدراسة مسارين، ويعد المسار المعتمد على المنحدر هو المسار الأمثل، حيث إنه أكثر توافقًا مع البيانات الأثرية المتاحة.

الكلمات المِفتاحيَّة: المواقع الأثريَّة، الموقد، المسار الأقل تكلفة، سطح التكلفة، نظم المعلومات الجغرافيَّة.

Abstract

Reviving ancient paths between archaeological sites in mountainous regions and improving accessibility to them is very important; it drives local economic development and achieves sustainable tourism. Hail Province possesses a unique geographical environment, with mountains, valleys, agricultural lands, villages, and urban areas. It is rich in archaeological sites, many of which are located in mountainous areas. The primary obstacle lies in the difficulty or impossibility of accessing these sites. The study aims to exploration the path linking two sites: Hatim Al-Tai's houses in Tuwairan il, and Hatim Al-Tai's fireplace in Jabal Al-Samra, and verify its validity. The study takes a spatial analysis approach to achieve its objectives. The path is produced using least cost path analysis in geographic information systems,.The study proposed two possible routes, with the gradient-based route being identified as the most optimal, as it exhibits the highest degree of concordance with the available archaeological evidence.

Keywords: Archaeological sites, Stove, Least Cost Path, Cost Surface, Geographic Information Systems.

الإحالة APA Citation:

السيف، إيمان. (2025). استخدام تحليل المسار الأقل تكلفة في استكشاف المسار الأثريّ الذي يربط بين منازِل حاتم الطائي ومَوقِده. *مجلة العلوم العربية والإنسانيَّة*، *18*، (4)، 192-214.

استُلم في: 15-03-1446/ **قُبل في** 23-05-1446/**نُشر في** 28-10-1446

Received on: 19-09-2024/**Accepted on:** 25-11-2024/**Published on:** 26-10-2025

1. المقدِّمة

يؤثِّر استكشاف الطرق القديمة وتحويلها إلى مسارات سياحيَّة، وبخاصةٍ في المناطق الجبليَّة، في تطوُّرات تلك المناطق الاقتصادية والبيئيَّة والاجتماعيَّة؛ إذ نستطيع رفع قيمة المناظر الطبيعية ـ بشكل كبير ـ عن طريق وجود مسارات سياحية تربط بين المواقع الثقافيَّة والترفيهيَّة فيها، ويمكن تلبية ذلك وإنتاج المسارات بكفاءة من خلال التحليل المكاني ونماذج المسار الأقل تكلفة داخل بيئة نظم المعلومات الجغرافية.

يعمل استخدام تحليل المسار الأقل تكلفة في الدراسات الأثريَّة ـ في المقام الأول ـ على إنشاء نماذج استكشافية لإعادة بناء الطرق القديمة وشبكات الاتصالات، التي لا يوجد بها سوى آثار قليلة أو معدومة تم الحفاظ عليها (Conolly and Lake, 2006; Surface-Evans and White,2012;Anderson,2012; Herzog 2013; White, 2015; Diwan & Doumit,2017). وقد تم تطبيق مبدأ النمذجة لتحليل المسار الأقل تكلفة على العديد من دراسات الحالات الأثرية خلال العقد الماضي (Herzog,2014; Diwan & Doumit, 2017) ، كما تم استخدام نظام المعلومات الجغرافية أداةً للنمذجة الاستكشافية الأثرية بشكل متزايد في جميع أنحاء العالم (Balla et al, 2014; Diwan & Doumit, 2017).

يعتمد تحليل مسار التكلفة الأقل (LCP) على مبدأ الجهد الأقل (Zipf, 1949; Lewis, 2017)، الذي يفترض أن البشر سيستخدمون كل المعرفة المتاحة لمنطقة أو مهمة معينة لتوفير سلوكهم، فعند السفر من خلال المناظر الطبيعية، سيحاول البشر ـ بشكل طبيعي ـ تقليل تكاليف السفر واختيار المسار الأقل مقاومة؛ ولذلك فإن احتمال التفاعل بين البشر والمناظر الطبيعية يرتبط ارتباطًا مباشرًا بسهولة الوصول إليها (Surface Evans and White, 2012; Lewis, 2017). وباستخدام تحليل المسار الأقل تكلفة (LCP)، يمكن العثور على الاتصال الأمثل بين المواقع بناءً على المسافة بين النقاط والجهد اللازم لتغطية المسافة (Verhagen and Jeneson, 2012)؛ مما يسمح بصياغة عمليات إعادة بناء الروابط المندثرة بين الأشخاص والأماكن الطبيعية (Surface-Evans and White, 2012). في حينِ إنَّ خرائط التكلفة والمسارات الأقل تكلفة عادة ما تكون غير موجودة أثناء تصميم خرائط المسارات التقليدية التي لا تستخدم تقنيات نظم المعلومات الجغرافية (Effat et al., 2023).

2.مُشكلةُ الدِّراسةِ وأهميَّتها

تم اختيار منطقة حائل لدراسة الحالة؛ لأنها تتمتع بتراث طبيعيٍّ وثقافيٍّ غني يوفر إمكانات عالية للسيّاحة البيئيَّة والثقافيَّة، وعلى الرّغم من امتلاك منطقة حائل قرابة 559 موقعا أثريًّا (الحاج والهياجي، 2023، ص. 234; سجل مواقع التراث الثقافي بمنطقة حائل، 2020)، أحدها تم إدراجه على قائمة التراث العالميّ (الفن الصخري في جبة وشمّيمس)، إلا أن هناك عددًا من الوجهات السياحية والأثرية غير مستغلة وتعاني من بعض العوائق التي منها عدم إمكانية الوصول إلى مثل هذه المواقع؛ نظرًا لوقوعها في المناطق الجبليَّة، ويعد الوصول إلى المواقع التراثية والثقافية النائية عاملًا رئيسًا لتحقيق التنمية السياحية المستدامة.

يقترح البحث مسارًا أقل تكلفة للرَّبط وتوفير إمكانية الوصول بين موقعين أثريين في منطقة حائل، الموقع الأول هو: منازل حاتم الطائي في توارن (المكان الذي عاش فيه حاتم الطائي)، أحد المعالم الأثرية الأكثر إثارة للإعجاب في المنطقة، وبه قبران، ويقع على مقربة منه وادي وسد توارن،أما الموقع الثاني فهو: موقد حاتم الطائي (المكان الذي كان حاتم يوقد فيه النار للضيوف)، ويقع في جبل السمراء(الموقد). ويعد جبل الموقد جبلا شاهقا ويطل على مدينة حائل من الناحية الشرقية[1] (الحارث، 2010، ص. 54). وهذان الموقعان لهما أهمية ثقافية كبيرة، ولايوجد مسار حاليا يربط بينهما، وفي حال استكشاف المسار الأثري الذي يربط بينهما؛ فإن هذا المسار المقترح يوفر: إمكانية الوصول بين منازل حاتم الطائي في توارن، وموقده التي كان يوقد فيها النار في جبل السمراء،كما أنه سيوفر فرصة كبيرة لتطوير المنطقة ثقافيًّا وسياحيًّا، ويمكن أن يكون هذا المسار قاعدة لتنمية السياحة البيئية والثقافية في تلك المنطقة وتزويدها بالبِنيَة التحتية اللازمة، ولهذا فائدة كبرى لصنَّاع القرار والمخطِّطين، ويعدُّ نواة لمشروع يتم تبنيه من قبل الجهات الحكومية ذات العلاقة، مثل أمانة منطقة حائل، وذلك بناءً على الخرائط وتقنية نظم المعلومات الجغرافية، علاوة على ذلك يمكن أن يوفر فرصًا للعمل ودخلًا للسُّكان.

3.أهداف الدِّراسة

هدفت الدراسة إلى:

- استخدام تقنية نظم المعلومات الجغرافية لتخطيط المسار الأقل تكلفة (LCP) والذي يربط بين منازل حاتم الطائي في توارن وموقده.
- التأكد من صحة المسار المقترح باستخدام البيانات الأثرية المتاحة.

4. الدِّراسات السَّابقة

منذ أوائل السبعينيات؛ أدَّت نظم المعلومات الجغرافية دورًا مهما في الأبحاث الأثرية (Schild, 2016; Effat et al., 2023). وكان المسار الأقل تكلفة (LCP) سائدا في العلوم الاجتماعية لبعض الوقت، غير أنَّ التطبيق على علم الآثار جديد نسبيًّا (وقد زاد بشكل كبير خلال العقدين الماضيين (Herzog, 2013).

وقد ركَّزت معظم الدراسات السابقة على نمذجة الحركة القديمة عبر المناظر الطبيعية، إذ أصبح استخدام أدوات نظم المعلومات الجغرافية لاستكشاف حركة البشر في السياقات الأثرية أمرًا شائعًا في السنوات الأخيرة. وقد حقق تطبيق المسارات الأقل تكلفة (LCP) نجاحًا خاصًا في استكشاف مسارات الحركة البشرية، وإعادة بناء تخطيط الطرق القديمة قديما (Effat et al., 2023).

استخدم باترن وكلارك (Batten & Clark, 2007) المسارات الأقل تكلفة (LCP) المحددة طبوغرافيًا للتحقيق في دور التجارة في بناء المستوطنات في شرق وسط نيو مكسيكو، وخلص الباحثان إلى أنه لا يوجد ارتباط واضح بين المسار الأقل تكلفة (LCP) ومصارف نظام نهر بيكوس واستانيكا، ومع ذلك توجد ثلاثة مواقع مهمة على الأقل، قريبة جدًا من المسار الأقل تكلفة في حوض غاليستيو.

وقام شيلد (Schild, 2016) بدراسة لاستخدام التحليل الأقل تكلفة للتجارة عبر جبال أمانوس؛ لرسم خريطة للطرق المحتملة للتجار. وقد أنتجت الدراسة مسارات فردية أقل تكلفة لسبع مجموعات من المواقع، وأفادت المسارات النموذجية في توضيح عدَّة ممرات عبر الجبال، التي ربما تم استخدامها في سفر التجار في العصر البرونزي.

كما استخدمت لويس (Lewis, 2017) تقنية المسار الأقل تكلفة (LCP)؛ لفحص مدى ملاءمة استخدام تحليل المسار الأقل تكلفة (LCP)؛ لاستكشاف بموقع الطرق الرومانية في منطقتين متميزتين في بريطانيا الرومانية، وخلص الباحث إلى أن الخصائص الاجتماعية لمنطقة الدراسة يجب أن تكون معروفة وقابلة لدمجها ضمن حساب المسار الأقل تكلفة (LCP). كما أن نماذج الارتفاع الرقمية (DEM) ذات الدقة الأعلى تولد مسارات أقل تكلفة (LCP) أكثر دقة، ويجب أن تكون البيانات البيئية القديمة متاحة لإجراء تحليل المسار الأقل تكلفة (LCP)؛ لاستكشاف الطرق التاريخية القديمة.

وقد أجرى ديوان ودوميت (Diwan & Doumit, 2017) دراسة حالة لإيجاد المسار الأقل تكلفة للطريق القديم الذي يربط مستعمرة بيريتوس بممتلكاتها الإقليمية في البقاع الشمالي، والتي تشمل مدينة هليوبوليس وبعلبك في لبنان. تهدف دراسة الحالة هذه إلى إيجاد المسار الأقل تكلفة للطريق بين المدينتين، بناءً على الوظائف المعتمدة على المنحدرات باستخدام تقنيات نظم المعلومات الجغرافية، واستنتج المؤلفون أن المسار النموذجي الذي تم التحقق منه يظل افتراضيًّا طالما أن الأدلة الأثريَّة على هذا المسار لا تزال غير موجودة.

في حين تناول زهير واريكسون جيني (Zohar & Erickson-Gini, 2020) رسم جزء من طريق البخور الذي كان يستخدم لتسهيل نقل المواد العطرية (اللِّبان المرّ) من شبه الجزيرة العربية إلى حوض البحر الأبيض المتوسط، وذلك في الجزء الواقع بين البتراء وغزة. استخدمت الدراسة تحليلات نظم المعلومات الجغرافية (GIS) والمسارات الأقل تكلفة (LCP) ؛ لإعادة بناء المسار الأصلي لطريق البخور، وكذلك التحقق من العوامل المؤثرة في إنشائه، وأفادت المسارات الناتجة مدى ارتباطها ببعض الأدلة الأثرية في طريق السفر بين البتراء وعبدة، كما وجدت الدراسة أن درجة الانحدار والمسافة إلى الموارد المائية هي العوامل المهيمنة في إعادة بناء المسار الدقيق لطريق البخور.

إن عملية إنشاء المسار الأقل تكلفة تتم باستخدام خوارزمية المسار الأقل تكلفة (LCP) التي تتيح للمستخدمين تحديد المسار "الأقل جهدا" الذي يربط بين نقطتين على سطح التكلفة أو الاحتكاك. يتم استخدام الخريطة الخلوية لتوضيح سطح التكلفة، ولكل خلية تكلفة مخصَّصة لها تشير إلى مدى تكلفة المرور فوق تلك الخلية، ويمكن العثور على الخط الذي يربط نقطة البداية بالوجهة باستخدام المسار الأقل تكلفة (LCP) عن طريق إنشاء سطح التكلفة المتراكمة (Douglas, 1994).

وتقوم دالة الانتشار بربط شبكة سطح التكلفة بشبكتين إضافيتين تمثلان نقاط المصدر ونقاط الوجهة، وتحدد البيانات الخلوية لمسافة التكلفة، في كل خلية، أقل مسافة تكلفة إجمالية عبر سطح التكلفة إلى موقع المصدر المحدد، الذي قد يكون خلية أو مجموعة من الخلايا، أو معلمًا (معالم) أو موقعًا (مواقع). كما تحدد البيانات الخلوية للارتباط الخلفي الاتجاه إلى الخلية المجاورة التالية عبر مسار التكلفة التراكمية الأقل من خلية معينة للوصول إلى مصدرها الأقل تكلفة (Esri Arc GIS 10.8 help)، تحتوي البيانات الخلوية للارتباط الخلفي على قيم من 0 إلى 8.

يتم إيجاد المسار الأقل تكلفة بين أي نقطة وجهة والبداية المحددة مسبقًا، عن طريق التحرك للخلف من نقطة الوجهة فوق سطح التكلفة المتراكمة، خطوة بخطوة، واختيار الخلايا ذات القيمة المتناقصة، ويتم تتبع سطح التكلفة المتراكمة من نقطة المغادرة إلى الوجهة، وإيجاد خط (مسار) التكلفة الأقل (Lee & Stucky, 1998; Bagli et al., 2011; Yakan & Celik, 2014; Singh & Sing, 2017; Effat et al., 2023) .

وقد أظهرت مراجعة الأدبيات وجود قلة في التطبيقات البحثية لاختيار المسار الأقل تكلفة (LCP) ؛ لتحسين إمكانية الوصول في السياحة الجبلية، إذ إن تطبيق إحياء وربط المواقع الأثرية المعزولة وتحسين إمكانية الوصول إلى هذه المواقع من خلال استكشاف المسارات القديمة (وبخاصةٍ في المناطق الجبلية)، والاستفادة من نظم المعلومات الجغرافية، ما يزالُ أمرًا قليلًا، وبخاصةٍ في المملكة العربيَّة السعوديَّة فمثلا؛ بناء المسارات وتنميتها في منطقة حائل لم تلق الاهتمام في الدراسات السابقة، وهذا يدل على الحاجة للتركيز على مجال المسارات التاريخية.

ومن الإنصاف القول: إن هذه الدراسات السابقة التي تم عملها على مناطق مختلفة من العالم، مهدت السبيل لهذه الدراسة في التطبيق المنهجي لاستكشاف المسار الأثري الذي يربط بين منازل حاتم الطائي في توارن وموقده ، وكيفية الاستفادة من نظم المعلومات الجغرافية في ذلك.

5.منطقة الدِّراسة

تقع منطقة الدراسة في محافظة حائل التي توجد في شمال المملكة العربية السعودية، وتتحدد منطقة الدراسة فلكيا بين دائرتي عرض 4.45" 40'27°-8.46"20´27° شمالا، وبين خطي طول 22.28"17' 41° - 13.98"52'41° شرقا. وتبلغ مساحتها 1407 كم مربع. تتكون منطقة الدراسة من مظاهر سطح متعدِّدة تشكل الجبال العالية، وأبرزها جبل السمراء وسط منطقة الدراسة، وجبال أجا غرب منطقة الدراسة، والتي يتخللها عدد من الأودية، مثل: وادي توارن، وشعيب جو، وشعيب أبا عدي، وشعيب الشعبين، وشعيب صحا، وشعيب صحي، وشعيب ثرمد. وتعد الواحات والمناطق الصالحة للزراعة والسياحة البيئية مناظر طبيعية مميزة، وهذه المكونات الجغرافية جعلتها موطنًا لحضارات قديمة مختلفة، كان من أبرز نتاجها مواقع لمنشآت تراثية ثقافية متنوعة. ولكن تلك المواقع تعاني من ضعف إمكانية الوصول؛ لذلك تربط هذه الدراسة بين موقعين أثريَّين، هما: منازل حاتم الطائي ـــــ في توارن وتقع على دائرة عرض 10.07" 35'27°شمالا وخط طول40.41"26'41° شرقا ويبلغ ارتفاعها 1113متر(شكل1) ـ وموقد حاتم الطائي بجبل السمراء ـ والذي يقع على خط عرض 22.64" 31' 27°شمال وخط طول 8.25"44' 41°شرقا ويبلغ ارتفاعه 1129متر شكل (2) ـــــ ، وذلك عن طريق استكشاف المسار الأثري بين الموقعين، إذ إن فكرة ربطهما من شأنها إحياء التراث وتسريع الوصول للأنشطة والخدمات السياحية، وهذه الفكرة هي هدف الدراسة الحالية.

ويظهر الشكلان (3و4) موقع منطقة الدراسة، بالإضافة إلى معالم الغطاء الأرضي الرئيسة شكل (5).

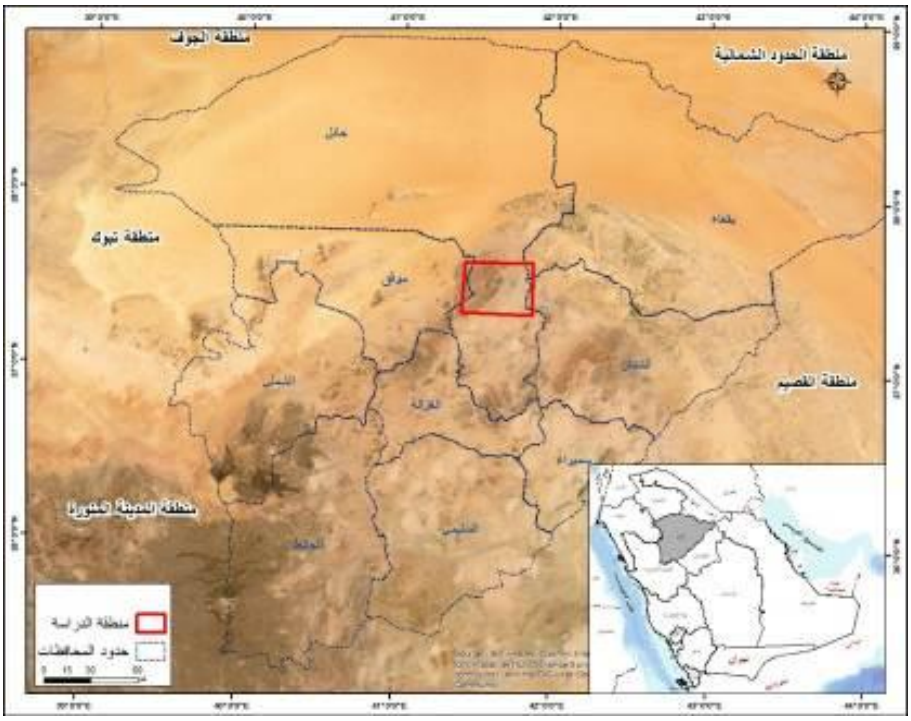
شكل (1) منازلُ حاتمِ الطَّائي في توارن

المصدر: دليلك للمواقع الأثرية، أمانة منطقة حائل.
https://www.amanathail.gov.sa/new_portal/HailGuide/View?id=1

شكل (2) جَبلُ السمراء، وفي أعلَاه الموقِد

المصدر: جبل السمراء بحائل، الهيئة السعودية للسياحة.
https://www.visitsaudi.com/ar/see-do/destinations/hail/as-samra-park-in-hail

شكل (3) منطِقةُ الدِّراسةِ وموقعِها بالنسبةِ لمنطقةِ حَائِلِ

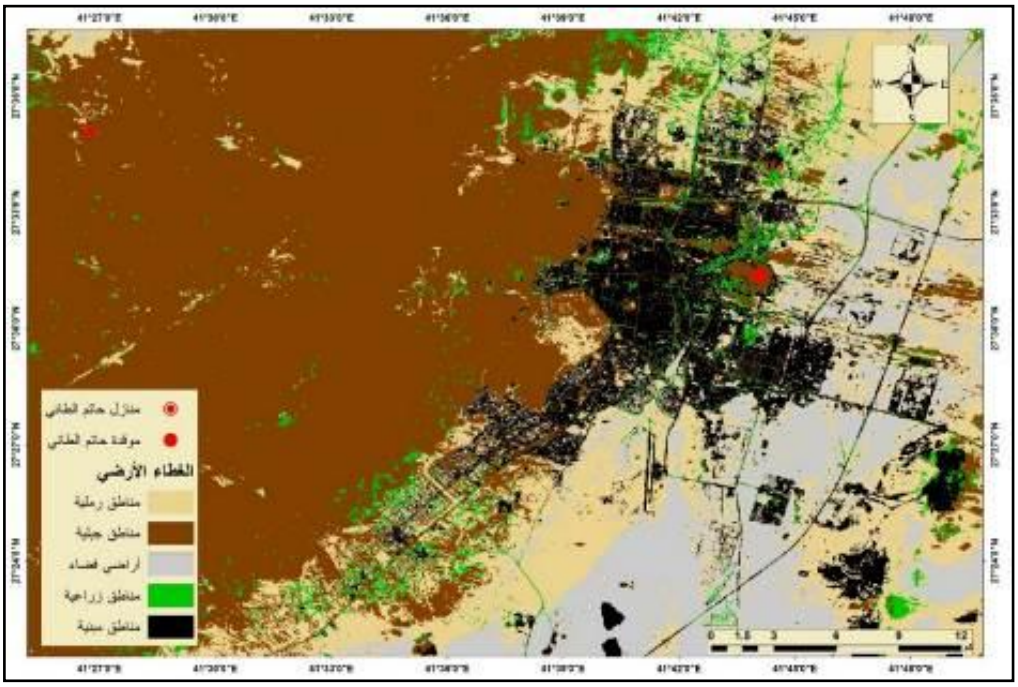


المصدر: الباحثة اعتمادا على بيانات وزارة الشؤون البلدية والقروية، 2020.

شكل (4) صورةٌ فضائيةٌ لمنطقةِ الدِّراسةِ

المصدر: الباحثة اعتمادًا على بيانات القمر الصناعي SENTINEL-2 دقة مكانية 10 متر من هيئة المساحة الجيولوجية الأمريكية (USGS) 2021.

شكل (5) الغطاء الأرضيّ لمنطقة الدراسة



المصدر: الباحثة عام 2024 استنادًا إلى بيانات صورة فضائية من القمر الصناعيSENTINEL-2 .

6.موادُّ البحث وطرائقه

ـ منهج البحث

استخدمت هذه الدراسة منهج التحليل المكانيّ لتحقيق أهدافها، ويعرف التحليل المكاني بأنه: مجموعة فرعية من التقنيات التحليليَّة التي تعتمد نتائجها على النطاق المكاني، وتتغير إذا تغير االنطاق المكاني، أو إذا أعيد وضع الظاهرات بداخله (Goodchild& Longley, 1999).

ـ بيانات الدراسة ومعالجتها:

تم جمع نوعين من البيانات الضرورية لبناء المسار الأقل تكلفة (LCP)، هما:البيانات الثقافية والبيئية،جدول (1).

- البيانات الثقافية، مثل: موقع المستوطنات، حيث تعد أساسَ المشهد الثقافي، وتحدد نقاط البداية والنهاية للتفاعل بين الناس والأماكن (Surface-Evans and White, 2012; Lewis, 2017). وهي في هذه الدراسة موقعان أثريَّان، هما: منازل حاتم الطائي والموقد، وتم تحديدهما من خلال برنامج Google Earth Pro.
- الخصائص البيئية للمناظر الطبيعية، مثل: الطبوغرافيا؛ وذلك من أجل توفير تمثيل لتضاريس العالم الحقيقي، وتم استخدام نماذج الارتفاع الرقمية(DEM) ومن الأفضل ألا تزيد دقتها عن 30 مترًا؛ إذ إنَّ النماذج الرقمية

ذات الدقة التي تزيد عن 30 مترًا خشنة جدًّا، بحيث لا تمثل العالم الحقيقي بشكل مناسب (Kantner, 2012; Lewis, 2017)؛ مما يؤدي إلى سطح تكلفة مشتق لا يشبه كثيرًا المناظر الطبيعية (Gillings& Wheatley 2002; Lewis, 2017). وقد تم الحصول على نموذج ارتفاع رقمي لمنطقة الدراسة بدرجة وضوح مكاني 30 مترًا (98 قدمًا)، شكل (6)، وتم تنزيل البيانات مجانًا من هيئة المساحة الجيولوجية الأمريكية، وهذه البيانات تم الحصول عليها في فبراير 2000 من قبل بعثة طبوغرافيا الرادار المكوكية (SRTM)، وهي من أحدث البيانات التي تم نشرها في عام 2014 . وأيضا تم الحصول على شبكة الأودية من الخريطة الطبوغرافية بمقياس رسم 1:250000.

ومن أجل إنتاج البيانات الخلوية للدراسة يجب معالجة البيانات، كما يلي:

- تحديد نظام إحداثي مناسب، وقد تم تحديد نظام إحداثيات بحيث يكون موحدًا لجميع الطبقات، وهو WGS_1984_UTM_Zone_37N.
- معالجة نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) قبل استخلاص سطوح التكلفة؛ إذ كان من الضروري إزالة كافة القيم 0 (مستوى سطح البحر) من النموذج.
- اقتطاع جميع الطبقات على منطقة الدراسة.

جدول (1) مصادر البيانات ونوعها

البيانات	نوعها	مصدرها
موقع منازل حاتم الطائي والموقد	رقمية–خطية	جوجل ايرث برو، 2024
مواقع بلاد طيء	ورقية	الفايد، 2015
نموذج ارتفاع رقمي بدقة 30 متر	رقمية–خلوية	هيئة المساحة الجيولوجية الأمريكية، 2014
الأودية	رقمية–خطية	الخريطة الطبوغرافية بمقياس رسم1:250000،الهيئة العامة للمساحة والمعلومات الجيومكانية

ـ أساليب الدراسة

اعتمدت الدراسة على الأسلوب الكارتوجرافي، وهو أسلوب يستخدم لمعالجة البيانات وتحليلها بهدف حل بعض المشكلات العلمية أو مشكلات صنع القرار. وقامت الدراسة بمايلي:

أ- إنتاج سطح التكلفة:

يُعَدُّ سطحُ التكلفة بياناتٍ خلويةً تحدد الجهد المبذول (التكلفة) للانتقال من خلية إلى أخرى، والانتقال في النهاية من وإلى مواقع محددة، وتم تحديد سطح التكلفة للمسارين المقترحين كما يلي:

- المسار المقترح الأول، تم تحديد سطح التكلفة عن طريق:

بيانات المنحدر، إذ يتمتع المنحدر بتاريخ طويل من الاستخدام في تحليل المسار الأقل تكلفة (Kantner, 2012; Lewis, 2017) ؛ لأنه عنصر حاسم في جميع رحلات المشاة (Howey, 2007; Lewis, 2017) ، وتعتمد جميع دراسات المسار الأقل تكلفة (LCP) الأثرية تقريبًا على المنحدر (Herzog, 2013; Lewis, 2017; Diwan & Doumit 2017). وباستخدام المحلل المكاني (Spatial Analysis) تم إنشاء المنحدر الخلوي باستخدام أداة الانحدار (Slop)، ثم أعيد تصنيف المنحدر، وتم اعتمادها كبياناتٍ للتكلفة الخلوية المدخلة شكل (7).

- أما المسار المقترح الثاني فقد تم تحديد سطح التكلفة عن طريق:

- اختيار متغيرين رئيسيَّين، وهما: المنحدر والعقبات الهيدروغرافية المتمثلة بالأودية.
- إنشاء المنحدر الخلوي باستخدام أداة الانحدار (Slop).
- إعادة تصنيف وترجيح قيم المنحدر: تم إعادة تصنيف قيم المنحدر المرجَّحة إلى تسع فئات مختلفة من (1-9) باستخدام أداة (Reclassify Spatial Analyst) تمثل هذه الفئات قيم المنحدر. حيث إن الفئة الأقل انحدارًا تأخذ الوزن رقم 9 في التصنيف، لأنها الأكثر ملاءمة للمسار.
- تحويل البيانات التي تمثل الأودية وذلك من النوع الخطي إلى النوع الخلوي باستخدام أداة التحويل إلى خلوي (Convert to Raster).
- إعادة تصنيف وترجيح شبكة الأودية: تم إعادة تصنيف طبقة الأودية باستخدام أداة (Reclassify Spatial Analyst) وذلك إلى فئتين: بحيث تكون الفئة رقم (1) مناسبة للمسار وفي غير مسارات الأودية، والفئة رقم (2) غير مناسبة؛ لوجود مسارات للأودية.

- تم بعد ذلك الجمع بين الطبقتين الخلويتين المرجحتين (طبقتي المنحدر والأودية) باستخدام أداة التراكب الموزون (Whigted overlay) وذلك بإعطاء وزن 70% للانحدار كأكثر عامل تأثير، ووزن 30% للأودية، واستخدام الطبقة الناتجة كطبقة تكلفة خلوية.

ب- بناء المسار الأقل تكلفة:

إن نموذج التكلفة الناتج باستخدام في هذه الدراسة هو متطابق وغير متباين (isotropic)، وهو ما يعني أن اتجاه الحركة لا يؤخذ في الحسبان، وتبعا لذلك تكون تكاليف السفر بين الموقعين ذهابًا وإيابًا متطابقة (Surface-Evans and White, 2012;Lewis, 2017). وتم بناء المسار كما يلي:

- إنشاء البيانات الخلوية لمسافة التكلفة (Cost Distance).

باستخدام البيانات الخلوية للتكلفة للمسار الأول (المنحدر الخلوي) والبيانات الخلوية للتكلفة للمسار الثاني (المنحدر والأودية)، وطبقة المصدر (منازل حاتم الطائي)، يتم إنتاج طبقة خلوية لكل مسار بحيث توضح مسافة التكلفة المتراكمة من نقطة المصدر إلى كل خلية في الطبقة.

- إنشاء البيانات الخلوية للارتباط الخلفي (Backlink Raster).

تستخدمُ ـ أيضًا ـ البياناتُ الخلويةُ للارتباط الخلفي بياناتِ التكلفةِ الخلويَّةِ للمسارين المقترحَينِ والمصدر (منازل حاتم الطائي)، وتنتج لنا طبقتين خلويتين توضحان الاتجاه لكل خلية إلى الخلية المجاورة الأقل تكلفة (على سبيل المثال، من أين سيأتي المسار الأقل تكلفة للوصول إلى هذه الخلية؟) وعادةً ما تكون القيمة اتجاهًا مكوَّدًا بالأرقام، وهو رقم بين 0-8.

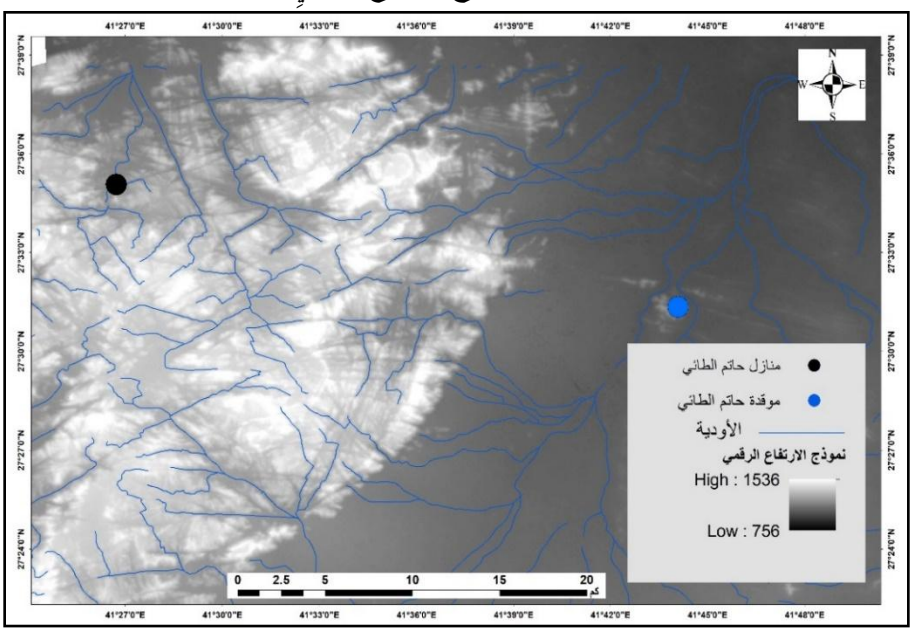
- الحصول على المسار الأقل تكلفة:

مدخلات هذه الخطوة هي موقع نقطة الوجهة (الموقد)، والبيانات الخلوية لمسافة التكلفة للمسارين والرابط الخلفي، وتتم عن طريق استخدام أداة مسار التكلفة (Cost Path) لإنشاء أقصر المسارات التي سيكون لها أقل تكلفة. والطبقة المخرجة هي طبقة خلوية جديدة لكل مسار وتوضح المسار من نقطة الأصل إلى الوجهة.

- تم بعد ذلك تحويل كل مسار مستخرج إلى متعدد الخطوط باستخدام تحويل من خلوي إلى متعدد الخطوط.
- تقسيم كل مسار إلى قطع مستقيمة عن طريق استخدام الأداتين (Densify) و (Split line at vertices).
- إضافة بيانات انحدار كل مسار عن طريق استخدام أداة (Add surface information)، واستخراج البيانات الإحصائية للمسارات.

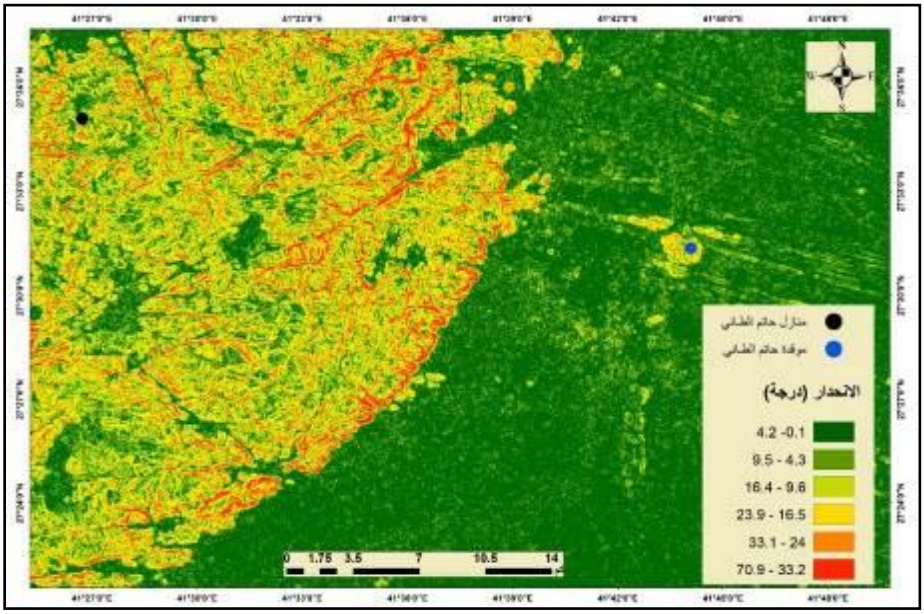
- استخدام أداة النطاق المكاني (Buffer)؛ للتأكد من صحة المسار وتحديد مواقع بلاد طَيء التي تقع داخل المسارين، ويُظهر الشكل (8) مخطط تدفق المنهجية.

شكل(6)نموذج الارتفاع الرقميّ



المصدر: الباحثة عام 2024 استنادًا إلى نموذج ارتفاع رقمي لمنطقة الدراسة بدرجة وضوح مكاني 30 مترًا، من هيئة المساحة الجيولوجية الأمريكية (USGS) 2014.

شكل(7) انحدار منطقة الدراسة



المصدر: الباحثة عام 2024 استنادًا إلى نموذج ارتفاع رقمي لمنطقة الدراسة بدرجة وضوح مكاني 30 مترًا، من موقع https://www.usgs.gov/centers/ eros.

شكل(8) خطوات منهجية الدراسة

المصدر: الباحثة استنادًا إلى (Esri Arc GIS 10.8 Help).

7.نتائج الدراسة

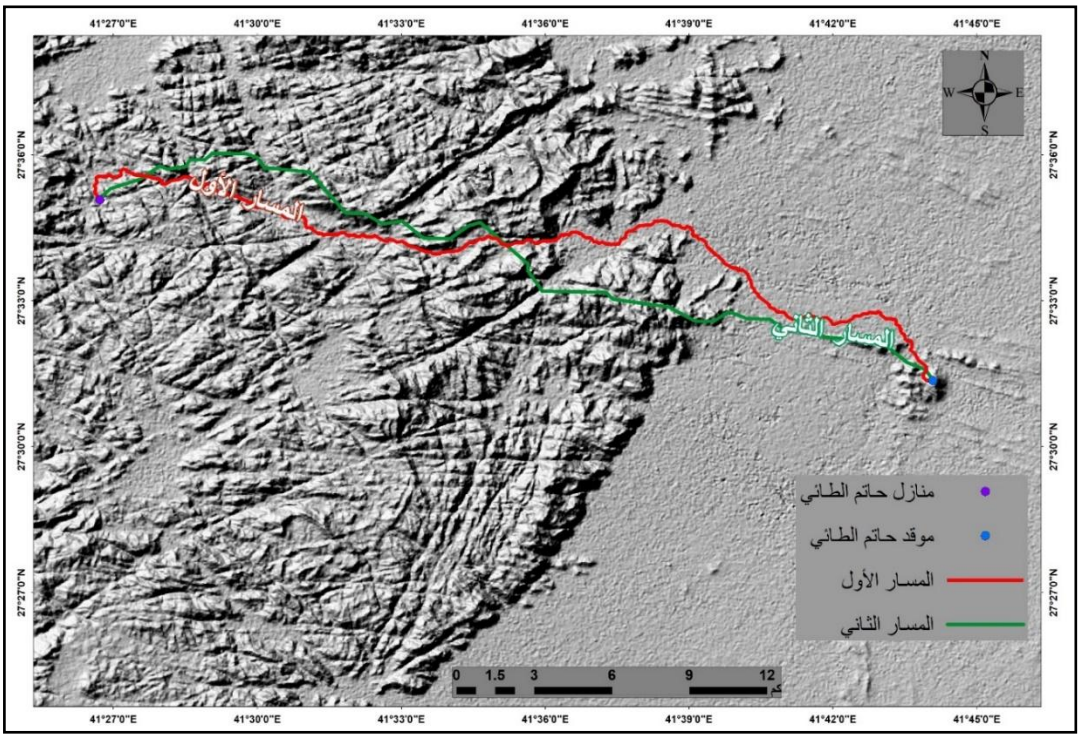
تم رسم المسارين الأقل تكلفة، حيث إن المسار الأول تم رسمه استنادًا إلى تكلفة الانحدار، ويتجه من الغرب إلى الشرق و يمر المسار بالمناطق الأقل انحدارًا، ويتجنب المناطق المرتفعة التي تربط بين الموقعين الأثريين (منازل حاتم الطائي والموقد) كلما كان ذلك ممكنًا، شكل (9). وبلغ أقصى انحدار للطريق بشكل عام 23.62 درجة بينما أدنى انحدار للطريق بلغ 0.34درجة، أما متوسط الانحدار فقد بلغ 3.7 درجة. ويبدو من ذلك أن المسافرين قديما يفضلون خفض تكلفة الطاقة عن طريق الحد من اجتياز المنحدرات الشديدة، جدول(2).

أما المسار المقترح الثاني فتم إنتاجة بناء على تكلفة الأودية والانحدارات ، ويتجنب هذا المسار مناطق الأودية، ويتجه من الغرب الى الشرق وبلغ اقصى انحدار للطريق 27.41 درجة بينما أدنى انحدار للطريق بلغ 4.61درجة، أما متوسط الانحدار بشكل عام فقد بلغ 10.49درجة،جدول(2).

وهذا يعني أن المسار الأول هو أقل انحدارا من المسار الثاني؛ وذلك لأن المسار الثاني يتجنب مناطق الأودية وهذه المناطق تتميز دائما بانخفاض السطح واستوائه، ويشق المسار الثاني طريقه في بعض أجزائه عبر المرتفعات، ويبين الجدول (3) أن90% من المسار الأقل تكلفة الأول يتبع فئات المنحدر التي أقل من 8 درجة، أي أن 90% من

طول المسـار يبلغ انحداره 8 درجات وأقل بطول 32 كم من المسـار، بينما المسـار الثاني فيبين الجدول (4) أن 78% من طول المسـار يتبع فئات المنحدر الأعلى من 8.1-13 درجة و31.1-28 درجة وذلك بطول 26.64 كم من المسار، ويبين شكل (10) فئات الانحدار للمسارين.

شكل(9) المساران الأقل تكلفة



المصدر: الباحثة استنادًا إلى تحليل المسار الأقل تكلفة،2024.

جدول (2) بيانات المسارين الأقل تكلفة

المسار	متوسط الانحدار	متوسط الأعلى انحدار	متوسط الأقل انحدار	المسافة	اتجاه المسار	الزمن70/كلم ساعة
1	3.68	23.62	0.34	38كم	من الغرب الى الشرق	33 دقيقة
2	10.49	27.41	4.61	33كم	من الغرب الى الشرق	28 دقيقة

المصدر: الباحثة استنادًا إلى تحليل المسار الأقل تكلفة،2024.

جدول(3) البيانات الأحصائية للمسار الأول

فئات الانحدار(درجة)	أقل متوسط انحدار	أعلى متوسط انحدار	متوسط الانحدار	الانحراف المعياري	متوسط الارتفاع(متر)	طول المسار(كم)	النسبة المئوية للطول%
0–3	0.35	2.93	1.81	0.69	1052	21.09	55.36
3.1–5	3.04	4.99	3.89	0.58	1096	7.93	20.82
5.1–8	5.03	7.28	5.97	0.63	1136	5.72	15.00
8.1–13	8.17	12.92	10.13	1.35	1133	2.60	6.83
13–28	15.36	23.63	18.46	3.33	1142	0.76	1.99

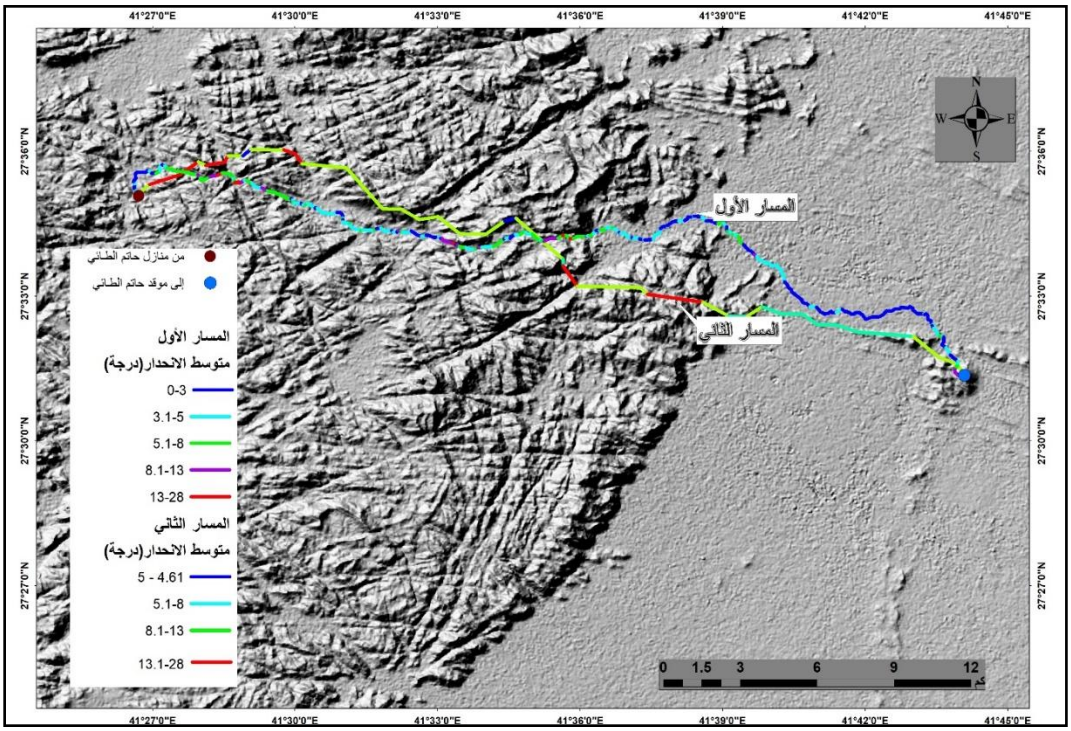
المصدر: الباحثة استنادا على نتائج التحليل الإحصائي،2024.

جدول (4) البيانات الإحصائية للمسار الثاني

فئات الانحدار(درجة)	أقل متوسط انحدار	أعلى متوسط انحدار	متوسط الانحدار	الانحراف المعياري	متوسط الارتفاع(متر)	طول المسار(كم)	النسبة المئوية لطول المسار%
0–3	–	–	–	–	–	–	–
3.1–5	4.61	4.62	4.62	0.01	1297	0.77	2.29
5.1–8	5.01	6.58	5.73	0.57	1057	6.41	19.04
8.1–13	8.26	12.86	10.19	1.37	1209	19.73	58.65
13–28	13.76	27.42	17.51	4.64	1177	6.73	20.02

المصدر: الباحثة استنادا على نتائج التحليل الإحصائي،2024.

شكل(10) فئات متوسط الانحدار للمسارين



المصدر: الباحثة استنادًا إلى تحليل المسار الأقل تكلفة،2024.

غيرَ أنَّ إعادة بناء نماذج الطرق القديمة باستخدام تحليل المسار الأقل تكلفة يتطلب التحقق من الصحة من خلال الأدلة المنطقية الأثرية؛ وذلك نظرًا لمحدوديَّة قدرات برمجيات نظم المعلومات الجغرافية في التحقق، وبدون التحقق من الصحة، فإن نتائج المسار الأقل تكلفة (LCP) هي مجرد تخمين(Herzog, 2013;Diwan & Doumit 2017) ، واستكشافية بحتة (Herzog 2013; Herzog 2014) ولذلك؛ فإن اختبار صحة المسار سيعتمد بشكل كبير على مدى توافق مخطط المسارين مع البيانات الأثرية والتاريخية المتاحة، أو التحقق من المسار على أرض الواقع. ويمكن التحقق عن طريق المقارنة بين المسار الأقل تكلفة (LCP) وبقايا مسار الطرق القديمة، أو بمواقع مؤشرات على المسار، مثل: تلال الدفن (Herzog 2014). ومع ذلك، فإن هذا غير شائع؛ لأن معظم الدراسات لا تتضمن التحقق من صحة نتائج المسار الأقل تكلفة (LCP) (Vermeulen,2006;Herzog,2014).

وبناء على ذلك، فإن نموذج المسار الأول ـ الذي يربط بين منازل حاتم الطائي والموقد، استنادًا إلى وظيفة المسار الأقل تكلفة، وبناء على تكلفة الانحدار ـ هو المسار الأمثل بين الموقعين، وبالرغم من أن مسافة المسار الثاني والزمن المستغرق لقطعه أقل من المسار الأول؛ فإن المسار الأول ـ الذي تبلغ مسافته 38 كم، وزمنه 33 دقيقة ـ إذا افترضنا أن هذه المسافة كانت تُقطَعُ عن طريق ركوب الخيل في القرن السادس الميلادي وحسب سرعة الخيل والتي تعادل

70/كم في الساعة ـ يتميز بمروره عبر المناطق المنخفضة، حيث إن المناطق المنخفضة هي مناطق جيدة للحركة ويسلكها المسافرون في رحلاتهم، وهذا مؤشر أوَّلي على وجود هذا المسار قديما للسفر خلال اليوم بين الموقعين، علاوة على ذلك يبدو المسار الأول الأمثل المقترح متسقا ومتوافقا مع بيانات أخرى، على سبيل المثال بعض الأودية؛ وذلك لأن الأودية تعد مناطق ذات انحدارات أكثر اعتدالا من بقية التضاريس المحيطة بها، ويسلكها المسافرون، إذ يمر المسار الأول الأمثل بشعيب أبا عدي، نسبة إلى حاتم الطائي المكنى بأبي عدي، كما أن البيانات الأثرية المتاحة كالمواقع التي ذكرها حاتم الطائي في شعره في بلاد طيء، مثل: شعيب جو، وغيلان، وشغيرة، وبالقرب منه شعيب ثرمد، والشميلة، وشعب الشعبين (الفايد، 2015)، يقع ثلاثة منها في النطاق المكاني المحدد ب500 متر من المسار الأول، بينما في المسار الثاني يقع واحدا منها فقط في النطاق المكاني المحدد ب500 متر،جدول(5). وبناء على ما سبق يمكن القول: إن هناك توافقًا بين البيانات الأثرية المتاحة والمسار المقترح الأول كمسار أمثل. ويوضح الشكل (11)، النطاق المكاني للمواقع التي ذكرها حاتم في شعره في بلاد طيء والتي تقع في النطاق المكاني 500 متر.

جدول (5) مواقع بلاد طيء التي تقع في النطاق المكاني 500 متر للمسارين

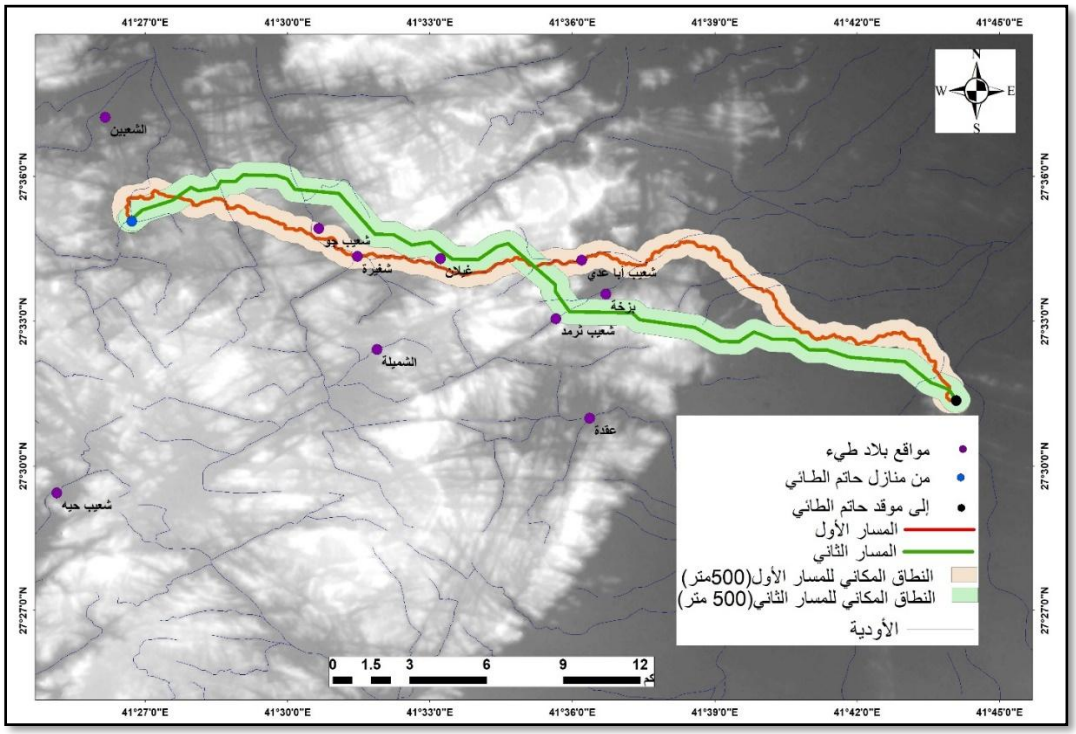
المسار	عدد مواقع بلاد طيء التي تقع في النطاق المكاني 500 متر	اسم الموقع
الأول	3	شعيب أبا عدي– شغيرة–شعيب جو
الثاني	1	غيلان

المصدر: الباحثة استنادا الى نتائج التحليل للنطاق المكاني،2024.

8. الخاتمة

في هذه الدراسة، تم استخدام نظم المعلومات الجغرافية كأداة لتحديد المسار القديم الذي يربط بين الموقعين الأثريين (منازل حاتم الطائي والموقد)، وذلك باستخدام تحليل المسار الأقل تكلفة؛ إذ إنَّ الأساليب التقليدية التي تعتمد على الخرائط الورقية والصور الجوية والميدانية يمكن أن تؤدي إلى نتائج غير متناسقة، كما أنَّها عملية مكلفة تستغرق وقتًا طويلًا، وتتطلب عمالة مكثفة (De Lima et al., 2016; Diwan & Doumit, 2017).

شكل (11) النطاق المكاني500 متر لأبرز المواقع التي ذكرها حاتم الطائي في شعره في بلاد طيء



المصدر: الباحثة استنادًاإلى نتائج التحليل للنطاق المكاني،2024.

وقد اقترح البحث نموذجين عبارة عن مسارين أقل تكلفة: اتبع المسار المقترح الأول منهما المناطق الأقل انحدارًا، بينما المسار المقترح الثاني اتبع المناطق الأقل انحدارا مع تجنب مناطق الأودية،وتم الاستنتاج بأن المسار الأقل تكلفة الأول هو المسار الأمثل لتوافقه مع البيانات الأثرية المتاحة للمنطقة.

ويمكن ربط مخرجات هذا المسار مع شبكة الطرق العامة في المنطقة ـ عن طريق تحليل الشبكات في نظم المعلومات الجغرافية ـ وذلك لإتاحة سهولة التنقل، كما أن استحداث وصلة من هذا المسار الجديد بين مشار وتوارن يختصر المسافة للوصول الى توارن، بدلًا من الوصول إليها من طرق أخرى بعيدة، مثل: طريق جبة، وطريق الحفير. علاوة على ذلك ـ يمكن باستخدام تحليل الشبكات ـ عمل مسار سياحي يربط بين هذين الموقعين ومواقع سياحية أخرى بالقرب منها، أو الاستفادة من هذا المسار المقترح في عمل عربات معلقة تربط مابين الموقد ومنازل حاتم الطائي، وبالرغم من ذلك فإن هناك عقبات عند تنفيذه، مثل وقوع المسار على مجاري الأودية وتجمعات المياه، ويمكن تجاوز ذلك بعمل الجسور لشق الطرق في هذه المناطق الجبلية.

ومن ناحية أخرى، يمكن إعادة حساب التكلفة والمسار باستخدام نماذج التكلفة غير المتطابقة ذهابا وإيابا، مثل وظيفة توبلر للمشي (Tobler Hiking Function) لمسافات طويلة، وهي وظيفة تعتمد على الوقت، ومن ثم المقارنة

بين المسار الناتج باستخدام وظيفة توبلر للمشي لمسافات طويلة والمسار الناتج من هذه الدراسة. كما أنه يمكن استكشاف المسارات باستخدام معايير أخرى اقتصادية واجتماعية وبيئية، والمقارنة فيما بين مساراتها.

وتوصي الدراسة باستخدام المسار الأقل تكلفة في استكشاف المسارات القديمة واستخدامها أداةً لصنع القرار والتخطيط السياحي؛ لتوفير الوقت والجهد والدعم. حيث أن هذه المسارات عند تنفيذها تنشِّط المنطقة وتحفِّز التنمية السياحية، وتقوم بتزويد المنطقة التي حول المسار بالبنى التحتية اللازمة والخدمات.

الهوامش

(1) هناك آراء مختلفة للعلماء والباحثين حول تحديد المكان الذي عاش فيه حاتم الطائي، ومكان قبره، إلا أن هذا الموضوع وتفصيل الآراء فيه ليس ضمن أهداف هذه الدراسة. وفي هذا الصدد، يروى أن حاتمًا الطائيّ، الذي عاش في القرن السادس الميلادي، واشتهر بالكرم، كان يوقد النار فوق جبل وسط حائل، وغالبا اشعال النار ليلا يكون على اليفاع، وهي المرتفع من الأرض؛ ليشاهدها الضيف من بعيد أو يهتدي بها المسافر الضال أو لجمع القوم لحدث مهم كقتال قبيلة معتدية (الفايدي، 2012).

مراجع البحث

دليلك للمواقع الأثري. (3/1/2024). في أمانة منطقة حائل.
https://www.amanathail.gov.sa/new_portal/HailGuide/View?id=1

الحاج، محمد؛ الهياجي، ياسر. (2023). إدارة التراث الثقافي الأثري بمنطقة حائل ودوره في تحقيق التنمية السياحية المستدامة، مجلة العلوم الإنسانية والإدارية، 11(1)، https://search.mandumah.com/Record/1447107 262 – 232.

الحارث، عواطف الشريف. (2010). تنمية السياحة البيئية والأثرية بمنطقة حائل باستخدام نظم المعلومات الجغرافية، سلسلة بحوث جغرافية، 32،1-87. https://search.mandumah.com/Record/1447107

الفايد، عبد الله عبدالعزيز. (2015).تعرف على حاتم الطائي، دياره، مكان قبره،بدون ناشر، حائل.

الفايدي، تنيضيب عوادة. (2012). حاتم الطائي سيرته وثقافة عصره، تنيضيب الفايدي، المدينة المنورة.

جبل السمراء بحائل.(30/1/2024). في الهيئة السعودية للسياحة.
https://www.visitsaudi.com/ar/see-do/destinations/hail/as-samra-park-in-hail

Alfāyd, ʻAbd Allāh ʻAbd-al-ʻAzīz. (2015). taʻrifu ʻalá Ḥātim al-Ṭāʼī dyārh makān qbrh, bi-dūn Nāshir, Ḥāʼil.

Al-Fāyidī, tnyḍyb ʻwādh. (2012). Ḥātim al-Ṭāʼī sīratuhu wa-thaqāfat ʻaṣrihi, tnyḍyb al-Fāyidī, al-Madīnah al-Munawwarah.

Al-Ḥājj, Muḥammad; alhyājy, Yāsir. (2023). Idārat al-Turāth al-Thaqāfī al-Atharī bi-Minṭaqat Ḥā'il wa-dawruhu fī taḥqīq al-tanmiyah al-siyāḥīyah al-mustadāmah, Majallat al-'Ulūm al-Insānīyah wa-al-idārīyah, (11), (1), Jāmi'at Shaqrā'

Al-Ḥārith, 'Awāṭif al-Sharīf. (2010). Tanmiyat al-Siyāḥah al-bī'īyah wa-al-atharīyah bi-Minṭaqat Ḥā'il bi-istikhdām naẓm al-ma'lūmāt al-jughrāfīyah, Silsilat Buḥūth jughrāfīyah, al-Jam'īyah al-jughrāfīyah al-Miṣrīyah, (32), al-Qāhirah. https://search.mandumah.com/Record/1447107

Al-Hay'ah al-Sa'ūdīyah lil-Siyāḥah, Jabal al-samrā' bi-Ḥā'il, tamma alāstrjā' fī 2024/1 / 30 min: https://www.visitsaudi.com/ar/see-do/destinations/hail/as-samra-park-in-hail

Amānat minṭaqat Ḥā'il, Dalīluka lil-mawāqi' al-Atharī, tamma alāstrjā' fī 2024/1 / 3 min: https://www.amanathail.gov.sa/new_portal/HailGuide/View?id=1

Anderson, D. G. (2012). Least Cost Pathway Analysis in Archaeological Research: Approaches and Utility, **in** White and S. L. Surface- Evans (eds.), *Least Cost Analyses of Social Landscapes: Archaeological Case Studies,* (pp. 239–258). University of Utah Press, Salt Lake City.

Bagli, S., Genelettib, D., & Orsi, F. (2011). Pathing of power lines through least-cost path analysis and multicriteria evaluation to minimise environmental impacts. *Environmental Impact Assessment Review, 31*, 234–239. http://dx.doi.org/10.1016/j.eiar.2010.10.003

Balla, A, Pavlogeorgatos, G, Tsiafakis, D and Pavlidis, G. (2014). Recent advances in archaeological predictive modeling for archeological research and cultural heritage management. *Mediterranean Archaeology and* Archaeometry, *14*(4), 143-153. https://www.maajournal.com/index.php/maa/article/view/814

Conolly, J. Lake, M. (2006). *Geographical Information Systems in Archaeology*. University Press: Cambridge. https://doi.org/10.1017/CBO9780511807459

De Lima, R. M., Osis, R., de Queiroz, A. R., & Santos, A. H. M. (2016). Least-cost path analysis and multi-criteria assessment for routing electricity transmission lines. *IET Generation, Transmission & Distribution, 10*(16), 4222–4230. http://dx.doi.org/10.1049/iet-gtd.2016.1119

Diwan, G. A., & Doumit, J. (2017). The Berytus-Heliopolis Baalbak road in the Roman period: A least cost path analysis. *Mediterranean Archaeology & Archaeometry, 17*(3), 225-225. https://doi.org/10.1080/03344355.2024.2327802

Douglas, D. H. (1994). Least cost path in GIS using an accumulated cost surface and slope lines. *Cartographica, 31*(3), 37–51. https://doi.org/10.3138/D327-0323-2JUT-016M

Effat, H. A., El-Zeiny, A., Sowilem, M., Mansour, K., & Elwan, K. (2023). Geospatial modeling for planning an optimum and least-cost route to link three historical sites in El-Fayoum desert, Egypt. *Environment, Development and Sustainability*, 1-21. http://dx.doi.org/10.1007/s10668-023-03784-y

Goodchild, M. F., & Longley, P. A. (1999). The future of GIS and spatial analysis. *Geographical information systems, 1,* 567-580. https://www.geos.ed.ac.uk/~gisteac/gis_book_abridged/files/ch40.pdf

Herzog, I. (2013). The potential and limits of Optimal Path Analysis, **in** Bevan, A. Lake, M. (eds.), *Computational Approaches to Archaeological Spaces*. (pp.179-211). Left Coast Press, Walnut Creek.

Herzog, I. (2014). A Review of Case studies in Archaeologival Least-Cost Path Analaysis. *Archeologia e Calcolatori, 25*, 223-239. https://doi.org/10.11141/ia.34.7

Howey, M.C.L. (2007).Using multi-criteria cost surface analysis to explore past regional landscapes: a case study of ritual activity and social interaction in Michigan, *Journal of Archaeological Science, 34*, 1830-1846. http://dx.doi.org/10.1016/j.jas.2007.01.002

Lee, J., & Stucky, D. (1998). On applying viewshed analysis for determining least-cost paths on digital elevation models. *International Journal of Geographical Information Science, 12*, 891–905. https://doi.org/10.1080/136588198241554

Lewis, J. (2017). The suitability of using least cost path analysis in the prediction of Roman Roads in the Highland and Lowland Zones of Roman Britain.[Doctoral dissertation, University of Leicester], Leicester, UK. https://josephlewis.github.io/Dissertation.pdf

Schild, A. (2016). *Archaeological least cost path modeling : A behavioral study on the middle bronze age merchant travel routes Across the Anamus Mountains*. [Master's thesis, university of Southern California], California. https://spatial.usc.edu/wp-content/uploads/2016/04/Schild-Alex.pdf

Singh, M. P., & Sing, P. (2017). Multi-criteria GIS modeling for optimum path alignment planning in outer region of Allahabad City. *India. Arabian Journal of Geosciences, 10*(294), 1–16. http://dx.doi.org/10.1007/s12517-017-3076-z

Surface-Evans, S. L. and White, D. A. (2012). An Introduction to the Least Cost Analysis of Social Landscapes , **in** D.A. White and S. L. Surface- Evans (eds.), *Least Cost Analyses of Social Landscapes: Archaeological Case Studies*, (pp. 1–10). University of Utah Press, Salt Lake City. https://muse.jhu.edu/pub/282/edited_volume/book/41407

United States Geological Survey (USGS), https://earthexplorer.usgs.gov

Verhagen, P. Jeneson, K. (2012). A Roman Puzzle: Trying to find the Via Belgica with GIS, **in** Chrysanthi, A. Flores, P.M. Papadopoulos, C. (eds.), *Thinking beyond the Tool: Archaeological Computing and the Interpretative Process*.(pp.123-130). British Archaeological Reports International Series, Oxford. https://www.academia.edu/568972/Thinking_beyond_the_Tool_Archaeological_Computing_and_the_Interpretive_Process

Vermeulen, F. (2006). Understanding Lines in the Roman Landscape: A study of Ancient Roads and Field Systems Based on GIS Technology, **in** Mehrer, M.W. Wescott, K.L. (eds.), *GIS and Archaeological Site Location Model*. (pp.266-291). Taylor & Francis ,New York. http://doi.org/10.1201/9780203563359.sec6

Wheatley, D. Gillings, M. (2002). *Spatial Technology and Archaeology: The Archaeological Application of GIS*. CRC Press: London. https://doi.org/10.1201/b12806

White, D. A. (2015). The Basics of Least Cost Analysis for Archaeological Applications, *Advances in Archaeological Practice.3*(4),407-414. https://doi.org/10.7183/2326-3768.3.4.407.

Yakan, F., & Celik, F. (2014). A highway alignment determination model incorporating GIS and Multicriteria decision making. *KSCE Journal of Civil Engineering, 18*(6), 1847–1857. http://dx.doi.org/10.1007/s12205-014-0130-1

Zipf, G.K. (1949) *Human Behavior and the Principle of Least Effort: An Introduction to Human Ecology*. Addison-Wesley, Cambridge.

Zohar, M., & Erickson-Gini, T. (2020). The 'Incense Road'from Petra to Gaza: an analysis using GIS and Cost functions. *International Journal of Geographical Information Science, 34*(2), 292-310. https://doi.org/10.1080/13658816.2019.1669795

معلومات عن الباحث

د. إيمان عبدالعزيز السيف، أستاذ مشارك في الخرائط الرقمية ونظم المعلومات الجغرافية بكلية اللغات والعلوم الإنسانية في جامعة القصيم في المملكة العربية السعودية. حاصلة على درجة الدكتوراه في علم الخرائط من جامعة الملك سعود عام 2019. تدور اهتماماتها البحثية حول تطوير التطبيقات الخرائطية، التحليل باستخدام التقنيات الجيومكانية، التفكير المكاني عبر الخرائط، وعلم المعلومات الجغرافية بشكل عام.

Biographical Statement

Dr. Eman Al-Saif, is an Associate Professor of Digital Maps and Geographic Information Systems at the College of Languages and Humanities at Qassim University, Saudi Arabia. She holds a PhD in cartography from King Saud University in 2019. Her research interests revolve around developing cartographic applications, analysis using geospatial techniques, thinking Spatial through maps, and geographic information science in general.

Email: als.eman@qu.edu.sa