

التحول الاستراتيجي للنقل السككي للبضائع في سورية

تفعيل أنظمة النقل الذكية (ITS) لتعزيز الأمن السيبراني والمادي للشبكة وفتح مسارات التجارة الإقليمية

المستخلص

يتناول هذا البحث التحول الاستراتيجي لشبكة النقل السككي للبضائع في سورية لمعالجة "فجوة الاعتمادية"، وتبرير استثمار ضخم يقدر بـ 5.5 مليار دولار يهدف لتحديث شبكة يبلغ طولها الإجمالي 2,052 كيلومتراً. تكمن أهمية الدراسة في تقديم إطار شامل يدمج تفعيل أنظمة النقل الذكية (ITS) لا لزيادة الكفاءة التشغيلية فحسب، بل لتعزيز الأمن السيبراني والمادي للشبكة (الحماية الذكية) كمتغير وسيط حاسم للجذوى الاقتصادية، وفتح مسارات التجارة الإقليمية.

اعتمد البحث على منهجية تحليلية كمية متقدمة (هجين)، حيث استخدم المنهج الوصفي التحليلي لتحديد التحديات، ونطاق الحلول التقنية المتمثلة في منظومة (ITS) المدمجة بتقنيات IoT، ثم لتطبيق المنهج الكمي الاقتصادي القياسي عبر ثلاثة نماذج رئيسية:

أولاً: تحليل مغلف البيانات (DEA) لقياس الكفاءة التشغيلية الحالية والمستهدفة (Targeted Efficiency 0.95).

ثانياً: نمذجة المعادلة الهيكلية (SEM) لاختبار العلاقة السببية بين الاستثمار الأمني ومرونة الشبكة وجاذبيتها الإقليمية.

وثالثاً: نموذج التوازن العام الحاسوبي (CGE) لتقدير الأثر الماكرو-اقتصادي. وقد توصلت النتائج إلى أن تفعيل الـ (ITS) يؤدي إلى زيادة الكفاءة التشغيلية بنسبة 25%، وأن الاستثمار في إطار أمن سيبراني متقدم وفق معيار (NIST) يحقق عائداً قدره 3.18 دولار مقابل كل دولار واحد يُنفق، مما يثبت أن الأمن ليس تكلفة إضافية، بل محفزاً رئيسياً للعائدات (الفرضية الثانية)، كما كشفت النمذجة الاقتصادية عن أثر إيجابي كبير يتمثل في زيادة متوقعة للتجارة الثنائية بنسبة 35% ورفع الناتج المحلي الإجمالي الحقيقي (Real GDP) بنسبة 2.85% سنوياً، مؤكدة ضرورة تبني نموذج الشراكة بين القطاعين العام والخاص (BOT)¹ وتركيز التمويل الفوري على ممرات الإيرادات العالية لضمان استدامة التحول، على أن يتضمن نموذج الشراكة (BOT) بنوداً واضحة تتعلق بـ "نقل التكنولوجيا" (Technology Transfer) وتدريب الكوادر الوطنية على إدارة وصيانة أنظمة ITS، لضمان السيادة الرقمية على الشبكة وعدم ارتهاق استدامة التشغيل الكلي للموردين الأجانب على المدى الطويل.

¹ BOT: هو نموذج تمويلي للشراكة بين القطاعين العام والخاص يعني "البناء-التشغيل-التحويل"، حيث تقوم شركة خاصة بتمويل وبناء وتشغيل المشروع (كشبكة السكك الحديدية) وجني إيراداته لفترة امتياز طويلة، قبل أن تُنقل ملكيته في النهاية مجاناً إلى الدولة. يُقترح هذا النموذج في البحث لتمويل تحديث شبكة السكك الحديدية السورية لأنه يُجند التمويل والخبرة العالمية من القطاع الخاص دون عبء مالي فوري على الحكومة، ويضمن كفاءة التشغيل لتحقيق العوائد المالية قبل استرداد الملكية.

الكلمات المفتاحية : التحول الاستراتيجي، النقل السككي، أنظمة النقل الذكية (ITS)، الأمن السيبراني المادي، نموذج الجاذبية.

Abstract

This research addresses the strategic transformation of Syria's rail freight network to address the “reliability gap” and justify a massive investment of \$5.5 billion to modernize a network with a total length of 2,052 kilometers. The study is significant in that it provides a comprehensive framework that integrates the implementation of intelligent transportation systems (ITS) not only to increase operational efficiency, but also to enhance the cyber and physical security of the network (smart protection) as a critical mediating variable for economic viability and the opening of regional trade routes. The research relied on an advanced quantitative (hybrid) analytical methodology, using a descriptive analytical approach to identify challenges and the scope of technical solutions represented by an ITS system integrated with IoT technologies, then moving on to apply a quantitative economic standard approach through three main

models: First, data envelope analysis (DEA) to measure current and targeted operational efficiency (Targeted Efficiency 0.95); Second, structural equation modeling (SEM) to test the causal relationship between security investment, network resilience, and regional attractiveness; and Third, a computable general equilibrium (CGE) model to estimate the macroeconomic impact. The results showed that the implementation of ITS leads to a 25% increase in operational efficiency, and that investment in advanced cybersecurity (according to NIST standards) achieves a return on investment ratio of 3.18:1, proving that security is not an additional cost but a key driver of revenue (second hypothesis). The economic modeling also revealed a significant positive impact in the form of an expected 35% increase in bilateral trade and a +2.85% annual increase in real GDP, confirming the need to adopt a public-private partnership (BOT) model and focus immediate funding on high-revenue corridors to ensure the sustainability of the transition. The BOT model should include clear provisions on technology transfer and training national personnel in the

management and maintenance of ITS systems to ensure digital sovereignty over the network and prevent the long-term dependence of overall operations on foreign suppliers.

Keywords: Strategic transformation, rail transport, intelligent transport systems (ITS), physical cybersecurity, gravity model.

المقدمة

يشكل التحول الاستراتيجي للنقل السككي للبضائع في سورية تحدياً جيواقتصادياً معقداً ومتعدد الأبعاد، يتجاوز مجرد أعمال الترميم المادية لشبكة عانت من التدهور الهائل والتقادم التكنولوجي. ففي أعقاب سنوات من الصراع، أصبح إصلاح البنية التحتية السككية ضرورة قصوى لإعادة دمج البلاد في سلاسل الإمداد الإقليمية، وهو الهدف الذي يتطلب استثماراً ضخماً يقدره وزير النقل السوري بنحو 5.5 مليار دولار لإعادة وتحديث الشبكة إلى المعايير الدولية. إن شبكة السكك الحديدية السورية، التي يبلغ إجمالي طولها 2,052 كيلومتراً لا يصلح للخدمة منها سوى

(1,052) كيلومتراً فقط، حيث تتولى وزارة النقل السورية دور القائد الاستراتيجي لهذا التحول، عبر صياغة الأطر التشريعية والتنظيمية التي تضمن دمج التقنيات الذكية مع معايير السلامة الدولية، ليكون الاستثمار الرأسمالي محركاً حقيقياً للتعافي الاقتصادي.

ولا يمكننا تبرير هذا الحجم من الإنفاق الرأسمالي إلا إذا تم تحويلها من مجرد وسيلة نقل محلية إلى قناة لوجستية فائقة الكفاءة وعالية الموثوقية قادرة على المنافسة إقليمياً ودولياً.

يمثل تفعيل أنظمة النقل الذكية (ITS) المظلة الجامعة لهذه الرؤية التحويلية، حيث توفر الأدوات التكنولوجية اللازمة لتحقيق الكفاءة التشغيلية المطلوبة دولياً (Hyper-efficient). وتشمل منظومة ITS دمج تقنيات إنترنت الأشياء (IoT)، وإنترنت الأشياء الصناعية (IIoT)، والذكاء الاصطناعي (AI)، والاستفادة من البيانات الضخمة (Big Data) لتمكين وظائف مثل الصيانة التنبؤية (Predictive Maintenance)، التي تستخدم خوارزميات الذكاء الاصطناعي للتنبؤ بالأعطال قبل وقوعها، وبالتالي تقليل زمن التعطيل المكلف وزيادة جاهزية الأصول. ومع ذلك، فإن هذا التحول الرقمي يتطلب تحقيق تقارب (Convergence) بين معايير الأمن السيبراني (Security) المتمثلة في إطار NIST، ومعايير السلامة الوظيفية (Safety) الصارمة في قطاع السكك الحديدية المحكومة بمنظومة RAMS العالمية) مثل EN 50126 و (EN 50128).

إن دمج تقنيات IoT لا يهدف فقط لحماية البيانات، بل لضمان ألا يؤدي أي اختراق سيبراني لنظام الإشارات إلى تعطيل أنظمة التوقف التلقائي للقطارات، مما يحول دون وقوع كوارث مادية أو بشرية.

إن هذا التحول الرقمي ليس خياراً تكميلياً، بل هو المدخل المنهجي الوحيد لتعظيم العائد على الاستثمار الضخم في البنية التحتية، حيث تشير الدراسات إلى أن كل دولار يُستثمر في النقل السككي يولد مضاعفاً اقتصادياً يصل إلى 2.5 ضعف النشاط الاقتصادي الكلي في قطاعات التوريد والخدمات. علاوة على ذلك، فإن الاعتماد على التكنولوجيا يحقق مكاسب في الاستدامة البيئية، إذ تُعد السكك الحديدية ثلاثة إلى أربعة أضعاف كفاءة الشاحنات في استهلاك الوقود، وتعمل البرمجيات المتقدمة على تحسين كفاءة استهلاك الوقود بنسبة تصل إلى 14%.

إن المحور الاستراتيجي للبحث يتمحور حول دمج الكفاءة مع الأمن، حيث إن تفعيل أنظمة ITS يخلق بيئة تشغيل مترابطة

(Environment Connected Operating) مما يوسع سطح الهجوم الهجين الذي يستهدف الأنظمة المادية والسيبرانية على حد سواء. لذا؛ يجب أن يترافق التحول الرقمي بـ "الحماية الذكية"، وهو مفهوم استراتيجي يدمج الأمن السيبراني (لحماية منصات الشحن الإلكترونية وأنظمة التحكم الصناعي) مع الأمن المادي (من خلال الاستشعار الذكي وتقليل التعديات على الخطوط). هذه الحماية المتكاملة هي الشرط الأساسي لضمان موثوقية الشبكة، والتي بدورها تمثل الأساس لجذب الشحن العابر وإعادة تموضع سورية كـ "جسر لوجستي إقليمي". هذا الدور الإقليمي

ضروري لتحقيق العائد الاقتصادي المرجو؛ فالتحليل يتطلب نمذجة الأثر الاقتصادي الكلي والجزئي لهذا التحول، بما في ذلك تقدير حجم التجارة الإضافي المتوقع عبر الممرات الحيوية مثل الخط الرابط بين اللاذقية/طرطوس وحلب، وخط الفوسفات الحيوي للتصدير. وعليه، فإن هذا البحث يسعى لتقديم خارطة طريق كمية ومؤطرة أكاديمياً تبرر الاستثمار، وتحدد الأولويات التشغيلية والأمنية، وتقيس العوائد الاقتصادية المتوقعة، مؤكدة أن الأمن والموثوقية هما المتغيران الحاسمان لفتح مسارات التجارة الإقليمية بشكل مستدام.

مشكلة البحث وتساؤلاته:

تتمحور مشكلة البحث الرئيسية حول "فجوة الاعتمادية" (Dependability Gap) التي تعاني منها شبكة النقل السككي السوري، وهي فجوة ناتجة عن التدهور الهائل في الأصول المادية وعدم مواكبة معايير الرقمنة والأمن الدولية. هذا الوضع يطرح تحدياً لوجستياً واقتصادياً يتمثل في كيفية استعادة الثقة الإقليمية والدولية في الشبكة لتصبح نقطة عبور موثوقة في سياق جيوسياسي ولوجستي متقلب. إن المطالبة باستثمار 5.5 مليار دولار لا يمكن تبريرها مالياً عبر الإصلاح التقليدي وحده؛ إذ يجب أن يضمن هذا الاستثمار قدرة الشبكة على توليد إيرادات ضخمة ومستدامة من التجارة الإقليمية لتعويض التكاليف. كما أن التحول إلى أنظمة ITS -على الرغم من فوائده في الكفاءة كما في الفرضية الأولى (1H)- يفاقم من تحدي الأمن؛ حيث يؤدي دمج تقنيات IIoT وأنظمة التحكم الصناعي (ICS) إلى خلق سطح

هجوم سيبراني-مادي هجين ومعقد (Cyber -Physical Systems -CPS). إنّ الفشل في تأمين هذا السطح الأمني الجديد سيؤدي حتماً إلى تعطيل الأنظمة الحيوية، وخسارة الموثوقية، وبالتالي إهدار الاستثمار وتدمير أي آفاق لعودة سورية كمركز لوجستي. إن جوهر المشكلة يكمن في إثبات أن الأمن كما في الفرضية الثانية (H2) ليس مجرد تكلفة، بل هو شرط وسيط ضروري لتحقيق العائد الاقتصادي كما في الفرضية الثالثة (H3).

بناءً على هذا التأطير، تتبلور تساؤلات البحث الأساسية في محاور ثلاثة متكاملة:

1. الكفاءة التشغيلية والجدوى التقنية: ما هو الأثر الكمي لتبني وتفعيل أنظمة النقل الذكية (ITS) لاسيما في مجالات الصيانة التنبؤية وإدارة الأصول الذكية، على رفع كفاءة التشغيل اللوجستية للوحدات السككية السورية؟ وما هي الوفورات المتوقعة في النفقات التشغيلية (OpEx) التي يمكن أن يولدها هذا التحول، مقاسة بنموذج تحليل مغلف البيانات (DEA)؟.

2. الأمن والموثوقية كمتغير وسيط: هل يمثل الاستثمار في "الحماية الذكية" (الدمج المنهجي للأمن السيبراني والأمن المادي ضمن إطار CPS) متغيراً وسيطاً جوهرياً (Mediating Variable) لضمان اعتمادية الشبكة (Availability and Reliability)؟ وكيف يمكن نمذجة هذه العلاقة السببية بين الاستثمار الأمني والموثوقية التشغيلية (المتتمثلة في تخفيض متوسط وقت التعطيل TTRM) باستخدام نمذجة المعادلة الهيكلية (SEM)؟

3. الأثر الاقتصادي وفتح المسارات الإقليمية: ما هو الحجم المتوقع لتدفقات التجارة الثنائية التي يمكن استعادتها وتوليدها عبر تفعيل الممرات الإقليمية السككية المحدثّة؟. وما هو المضاعف الاقتصادي الكلي (CGE Multiplier) لهذا التحول الاستراتيجي على مؤشرات الاقتصاد الكلي السوري، خاصة الناتج المحلي الإجمالي (GDP)، بعد نمذجة تخفيض الاحتكاك التجاري باستخدام نموذج الجاذبية المعتمد على طريقة العزوم المعممة (GMM)؟

هذه التساؤلات تتطلب منهجية هجينة لأنها تعالج نظاماً معقداً لا يمكن فهمه عبر بعد واحد. الأمن يؤثر على الكفاءة، وكلاهما يحدد الجدوى الاقتصادية الكلية، مما يفرض نموذجاً تحليلياً متداخلاً يضمن تحقيق نتائج ذات مصداقية أكاديمية عالية.

فرضيات البحث:

صممت فرضيات البحث لتعكس التعقيد المنهجي للتحول الاستراتيجي، وهي قابلة للاختبار الكمي عبر النماذج المحددة (DEA, SEM, GMM, CGE)، مع إظهار تسلسل سببي منطقي حيث تعتمد الفرضية الثالثة (H3) على نجاح الفرضيتين الأولى والثانية (H1 و H2).

الفرضية الرئيسية الأولى (H1 - الكفاءة التشغيلية): يؤدي تفعيل تطبيقات ITS، لا سيما في مجالات الصيانة التنبؤية وإدارة الأصول المرقمنة، إلى زيادة الكفاءة التشغيلية للوحدات السككية السورية بنسبة تزيد عن 20%، مما يحقق وفورات في التكاليف التشغيلية (OpEx) تعوض 40% من تكلفة الاستثمار الرأسمالي

(CapEx) خلال السنوات الخمس الأولى. تبرر هذه الفرضية الاستثمار في التقنية عبر الإشارة إلى أنظمة مثل تلك التي تستخدم الذكاء الاصطناعي للتنبؤ بالأعطال ، مما يقلل بشكل كبير من نفقات الصيانة التصحيحية غير المجدولة. إن الزيادة في الكفاءة لا تعني فقط تقليل التكاليف، بل تعني أيضاً تحرير سعة الشحن واستخداماً أفضل للأصول المتاحة، وهو ما يتم قياسه بدقة عبر تحليل مغلف البيانات (DEA).

الفرضية الرئيسية الثانية (H2 - الأمن والاعتمادية): يمثل إطار "الحماية الذكية" (دمج الأمن السيبراني والأمن المادي) متغيراً وسيطاً إحصائياً جوهرياً (Statistically Significant Mediator) يعمل على تحسين مؤشرات الاعتمادية للشبكة (Availability, Reliability)، مما يقلل من متوسط وقت التعطيل غير المخطط له (MTTR) بنسبة 35%، وهذه الموثوقية المعززة هي شرط ضروري لتسهيل التجارة الإقليمية. تُعد هذه الفرضية حاسمة لأنها تربط الأمن الذي كان يُنظر إليه تقليدياً كعامل تكلفة بكونه عاملاً أساسياً في توليد الإيرادات.

إن التحول إلى بيئة التشغيل المترابطة (CPS) يجعل أي هجوم سيبراني (يستهدف ICS/OT)، أو مادي (كالتعدي على الخطوط) سبباً مباشراً في خسارة موثوقية الخدمة، لذا؛ فإن الاستثمار في الأمن هو استثمار في موثوقية الخدمة، التي تمثل الأساس الذي يبني عليه الناقلون الإقليميون قراراتهم اللوجستية. سيتم اختبار هذه العلاقة الوسيطة عبر نمذجة المعادلة الهيكلية (SEM).

الفرضية الرئيسية الثالثة (H3 - الأثر الاقتصادي الإقليمي): إن استعادة المحور السكاني السوري يقلل من الاحتكاك التجاري (Distance/Cost Friction) بما يمكن نمذجته في نموذج الجاذبية (Gravity Model)، مما يؤدي إلى زيادة حجم التجارة الثنائية بين سورية وجيرانها الإقليميين بنسبة تراكمية تصل إلى 15%، وينتج عن ذلك مضاعف اقتصادي كلي (CGE Multiplier) يعزز الناتج المحلي الإجمالي السوري بـ 2.5 نقطة مئوية سنوياً. هذه الفرضية تقيس النتيجة النهائية للتحويل الاستراتيجي. التحديث الذي يتضمن ITS والأمن العالي (H1 و 2H) يجعل السكك السورية منافساً قوياً في المنطقة. إن النمذجة الاقتصادية القياسية، باستخدام GMM و CGE، تستهدف قياس الأثر الماكرو-اقتصادي لخفض تكاليف النقل وتسريع زمن الشحن. هذه النتائج الكمية ضرورية لتبرير الاستثمار البالغ 5.5 مليار دولار من وجهة نظر التنمية الوطنية وتوفير أساس للاندماج في المبادرات الإقليمية المماثلة لمبادرات الممرات الاقتصادية الكبرى.

أهمية البحث:

تستمد هذه الدراسة أهميتها البالغة من التقاطعات المعرفية والتطبيقية التي تعالجها، خاصة في سياق يندر فيه البحث الكمي المعمق حول البنى التحتية الحيوية في مناطق ما بعد الصراع.

من الناحية النظرية (Theoretical Significance)، يقدم هذا البحث إسهاماً نوعياً في الأدبيات الأكاديمية عبر تبني منهجية نمذجة هجينة متقدمة

(CGE, SEM, Gravity).

يمثل هذا دمجاً مبتكراً لأدوات الاقتصاد القياسي والنظرية اللوجستية لتقدير الجدوى، متجاوزاً بذلك القيود التقليدية التي تواجهها الأبحاث التي تعتمد على تحليل التكلفة والمنافع (CBA) أحادي البعد. الأهم من ذلك هو الإضافة المنهجية المتمثلة في دمج متغيرات غير تقليدية مثل الأمن السيبراني كما في الفرضية الثانية (H2) كـ "متغير وسيط" ومحفز اقتصادي، حيث يثبت البحث أن الأمن لم يعد مجرد تكلفة تشغيلية يتم خصمها، بل هو أصل ضروري يرفع من قيمة البنية التحتية ويؤمن تدفق الإيرادات المستقبلية.

أما من الناحية العملية (S Practical Ignificance)، يوفر البحث خارطة طريق عملية قابلة للتطبيق مباشرة لصناع القرار والوزارات السورية المعنية بقطاع النقل. يقدم التحليل الكمي تبريراً واضحاً لاستخدام نموذج الشراكة بين القطاعين العام والخاص (BOT) لتمويل الاستثمار البالغ 5.5 مليار دولار، مع تحديد الأولويات الاستراتيجية الواجب التركيز عليها فوراً، مثل تفعيل خطوط التصدير (الفوسفات-طرطوس، ومحور حلب-الموانئ) لتوليد الإيرادات النقدية اللازمة لتمويل المراحل اللاحقة. كما يقدم البحث مقاييس أداء (KPIs) دقيقة، مثل تخفيض زمن الانتظار عند الحدود وزيادة موثوقية الجدولة، والتي يمكن استخدامها كأهداف أداء واضحة عند التعاقد مع شركاء دوليين لتنفيذ مشاريع ITS.

وفيما يتعلق بالأهمية الإقليمية والجيوسياسية (Regional Significance)، يبرز البحث الدور المحوري والاستراتيجي لسورية كـ "جسر لوجستي" حاسم في الشرق الأوسط.

إنَّ إعادة تفعيل هذا المحور السككي، مع ضمان موثوقيته الأمنية كما في الفرضية الثانية (H2)، لا يخدم الاقتصاد السوري فحسب، بل يوفر خياراً لوجستياً إقليمياً أكثر مرونة وكفاءة في استهلاك الطاقة، مما يساهم في تقليل التكاليف الإجمالية لسلاسل الإمداد العابرة للمنطقة. ويقدم البحث تحليلاً كمياً لاندماج سورية المحتمل في شبكات التجارة الناشئة، مما يسمح بوضع استراتيجيات تفاوضية فعالة للدخول في ممرات التجارة الإقليمية الكبرى. بالتالي، فإن إعادة بناء الشبكة السورية ليست مجرد عملية داخلية، بل هي ضرورة لتحقيق الترابط الاقتصادي الإقليمي وتقليل الاحتكاك التجاري (Cost Friction) بين الموانئ والمناطق الحرة الخلفية (Hinterlands) في المنطقة.

أهداف البحث:

صُممت أهداف هذا البحث لترجمة التساؤلات الرئيسية إلى مهام تحليلية كمية قابلة للتحقيق، تتناسب طردياً مع المنهجية الهجينة المتبعة:

1. قياس الكفاءة التشغيلية الحالية والمحتملة (DEA): يهدف البحث إلى تقييم الكفاءة النسبية للوحدات التشغيلية الرئيسية في شبكة السكك الحديدية السورية (MUSD) باستخدام بيانات ما قبل الصراع كخط أساس، ومقارنتها بسيناريوهات التحول

الرقمي (ITS) لتقدير التحسن الكمي المتوقع في الكفاءة. هذا الهدف موجه نحو اختبار الفرضية H1 وضمان أن الاستثمار التقني (ITS) يترجم إلى وفورات تشغيلية ملموسة.

2. نموذج العلاقة السببية للأمن والموثوقية (SEM): بناء نموذج معادلة هيكلية (SEM) لتحليل وتحديد العلاقات السببية والوسيط بين الاستثمار في "الحماية الذكية" (الأمن السيبراني المادي)، وبين موثوقية وجاهزية الشبكة التشغيلية. الهدف هو تقدير معامل الانحدار المعياري الذي يثبت أن الموثوقية -كما في الفرضية الثانية (H2)- هي المتغير الوسيط اللازم لجذب الشحن الإقليمي، وبالتالي اختبار الفرضية H2.

3. تحليل الجدوى الأمنية-المالية (CBA): إجراء تحليل متقدم للتكلفة والمنافع (CBA) لإطار "الحماية الذكية" لتقدير نسبة العائد إلى التكلفة (ioB/C Rat) لتبرير الإنفاق على أنظمة الأمن السيبراني والمادي المتكاملة. الهدف هو تحديد القيمة المالية لـ "الخسائر المتجنبة" الناتجة عن منع الهجمات الهجينة وتعطيل الخدمات.

4. تقدير إمكانات التجارة الثنائية الإقليمية (Gravity Model): تطبيق نموذج الجاذبية (GMM) على بيانات لوحية (Panel Data) لتقدير الحجم المتوقع لتدفقات التجارة الثنائية التي يمكن توليدها واستعادتها بفضل انخفاض الاحتكاك التجاري واللوجستي الناتج عن تحسين موثوقية الشبكة.

5. قياس الأثر الماكرو-اقتصادي (CGE): استخدام نموذج التوازن العام الحاسوبي الديناميكي (CGE) لمحاكاة "صدمة" خفض تكاليف النقل السككي في الاقتصاد السوري والإقليمي (بافتراض خفض قدره 30% في تكاليف الشحن)، وقياس المضاعف الاقتصادي الكلي الناتج على الناتج المحلي الإجمالي (GDP)، ومستويات التوظيف، والصادرات الحساسة للوقت مع مراعاة أن نجاح هذا المضاعف الاقتصادي مرهون بمعالجة الاختناقات غير اللوجستية في القطاعات الإنتاجية (الزراعة والصناعة)، لضمان أن خفض تكاليف النقل سيحفز الإنتاج المحلي فعلياً ولا يكتفي بتسهيل استيراد المنتجات الأجنبية المنافسة".

6. تحديد الأولويات الاستراتيجية: تقديم توصيات قائمة على الأدلة الكمية لتوظيف الاستثمار البالغ 5.5 مليار دولار، مع التركيز على تفعيل الممرات الحيوية التي تضمن توليد إيرادات فورية لتمويل التحول الشامل.

مناهج البحث:

يعتمد هذا البحث على منهجية تحليلية مركبة (Hybrid Methodology) تجمع بين المنهج الوصفي التحليلي، والمنهج الكمي الاقتصادي القياسي المتقدم، وهو دمج ضروري نظراً للتعقيد المتعدد الأوجه (التقني، التشغيلي، الأمني، الاقتصادي) لقطاع النقل السككي.

أولاً: المنهج الوصفي التحليلي (Descriptive and Analytical Approach): يُستخدم هذا المنهج لـ:

أ. وصف حالة الشبكة: توصيف الحالة الراهنة للبنية التحتية السككية السورية (2,052 كم إجمالي، 1,052 كم قيد الخدمة)، وتحديد حجم التدهور والحاجة للاستثمار (5.5 مليار دولار).

ب. تأطير التحول التكنولوجي: استعراض الإطار النظري لأنظمة النقل الذكية (ITS) وتطبيقاتها الحديثة في النقل السككي، بما في ذلك إنترنت الأشياء الصناعية (IIoT) والصيانة التنبؤية.

ج. تحديد الإطار الأمني: تحليل الإطار النظري لـ "الحماية الذكية" ومفهوم التقارب السيبراني-المادي (Physical Convergence-Cyber)، واستعراض أفضل الممارسات الأمنية العالمية المتبعة في قطاع السكك الحديدية، مثل إطار عمل NIST.

ثانياً: المنهج الكمي الاقتصادي القياسي (Quantitative Econometric Approach)

(Approach): يمثل هذا المنهج العمود الفقري للبحث، حيث يتم فيه استخدام ثلاثة أنواع متقدمة من النمذجة لتمكين القياس والتقدير:

1. النمذجة اللوجستية التشغيلية (DEA): سيتم استخدام تحليل مغلف البيانات (Data Envelopment Analysis)، وهو أسلوب غير بارامتري، لتقييم الكفاءة النسبية لوحدات اتخاذ القرار (DMUs) داخل الشبكة. هذا يسمح بـ "تصنيف" أداء الممرات المختلفة (مثل ممر الفوسفات مقابل الممر الإقليمي)، وتحديد مدى التباين في استخدام المدخلات والمخرجات، مما يوفر مقياساً كمياً لاختبار الفرضية H1.

2. النمذجة السببية الهيكلية (SEM): يتم تطبيق نمذجة المعادلة الهيكلية (Structural Equation Modeling)، وهي تقنية إحصائية متقدمة، لاختبار الفرضية الوسيطة كما في الفرضية الثانية (H2). يسمح SEM بتقدير العلاقات السببية المباشرة وغير المباشرة بين المتغيرات الكامنة (مثل جودة البيانات، استثمار الحماية الذكية، مرونة الشبكة) لتحديد الدور الإحصائي لـ "مرونة الشبكة" كوسيط أساسي لتحقيق الجاذبية الإقليمية.

3. النمذجة الكلية للتجارة (GMM & CGE):

. نموذج الجاذبية (Gravity Model) مع GMM: يُستخدم نموذج الجاذبية، المطور باستخدام طريقة العزوم المعممة (GMM)، لتقدير الأثر الإقليمي والتجاري للشبكة. يسمح GMM بالتعامل مع التحديات الإحصائية للبيانات اللوحية (Panel Data) وتقدير المعامل الإحصائي لـ "متغير التنشيط السكاني" الصوري (Dummy Variable)، مما يحدد الزيادة المتوقعة في التجارة الثنائية كما في الفرضية الثالثة (H3).

. نموذج التوازن العام الحاسوبي (CGE): يتم استخدام CGE لمحاكاة الأثر الماكرو-اقتصادي لخفض تكاليف النقل. يتيح هذا النموذج الديناميكي قياس كيف تنتقل "صدمة" تحسين الكفاءة اللوجستية عبر الاقتصاد بأكمله، مما يوفر تقديراً كمياً للمضاعف الاقتصادي على الناتج المحلي الإجمالي والتوظيف.

إن الجمع بين هذه المناهج الثلاثة يضمن تحليلاً شاملاً يغطي الكفاءة التشغيلية (DEA)، والموثوقية المؤسسية (SEM)، والجدوى الاقتصادية الكلية (GMM/CGE)، مما يعزز من قوة ومصادقية نتائج البحث.

منهجية البحث:

تعتمد منهجية البحث على تطبيق النماذج الاقتصادية القياسية المتقدمة المحددة في المناهج، مع تحديد الإجراءات اللازمة لجمع وتحليل البيانات ضمن الإطار الزمني والمكاني المخصص للبحث. ونظراً لندرة البيانات الحديثة والموثوقة في سياق ما بعد الصراع، تعتمد المنهجية على "تحليل السيناريوهات التنبؤية" و"النمذجة المعيارية" باستخدام بيانات مرجعية إقليمية ودولية (Benchmarking).

ولسد ثغرة ندرة البيانات الموثوقة في بيئة ما بعد الصراع، تم تبني منهجية 'المعيارية المرنة' لنموذج CGE عبر تحديث مصفوفة المحاسبة الاجتماعية (SAM) لتشمل تقديرات الاقتصاد غير الرسمي، الذي يشكل ثقلًا كبيراً في الاقتصاد السوري حالياً، وضمان عدم الاعتماد الكلي على المصفوفات التاريخية التي لم تعد تعكس هيكلية الإنتاج الحالية بعد ضرر المراكز الصناعية الكبرى، وعدم اغفال وجود تحدٍ منهجي يتمثل في تضخم 'الاقتصاد غير الرسمي' في سورية خلال سنوات الحرب، والذي قد لا تستطيع نماذج (CGE) التقليدية التقاط ديناميكياته بشكل كامل لاعتمادها على البيانات الرسمية والتدفقات الضريبية الموثقة. ولتلافي هذا القصور وضمان عدم تقديم نتائج مضللة، تمت 'معيارية' النموذج عبر إدراج معاملات تصحيحية

(Proxy Indicators) تعكس مستويات الاستهلاك الحقيقي والدخل الموازي، وذلك لضمان أن التنبؤ بزيادة الناتج المحلي بنسبة 2.85% تأخذ بعين الاعتبار هيكلية الاقتصاد الواقعي المشوهة بفعل الأزمة، وليس فقط القطاع الرسمي.

أولاً: منهجية تحليل مغلف البيانات (DEA):

1. تحديد وحدات القرار (DMUs): تم اختيار الممرات التشغيلية الرئيسية الثلاثة في سورية كوحدات للقرار: الممر الاستراتيجي (اللاذقية/طرطوس-حلب)، ممر الإيرادات الفورية (الفوسفات-طرطوس)، والشبكة الإقليمية الكاملة.

2. تعريف المدخلات والمخرجات (Inputs and Outputs): يتم تعريف المدخلات (Inputs) على أنها الأصول المستهلكة (طول الخط الفعلي قيد التشغيل، عدد القاطرات، الاستثمار التقني في ITS، القوة العاملة). بينما تشمل المخرجات (Outputs) الشحن الإجمالي (مليون طن-كم)، الإيرادات اللوجستية، ومؤشرات جودة الخدمة (كفاءة التسليم).

3. اختيار النموذج: سيتم استخدام نموذج العوائد الثابتة على الحجم (CCR Model) الموجه نحو المدخلات (Oriented DEA-Input)، لاختبار مدى قدرة وحدات التشغيل على إنتاج أكبر قدر من المخرجات بأقل قدر من المدخلات، مما يوفر درجة كفاءة نسبية تتراوح بين 0 و 1.

ثانياً: منهجية نمذجة المعادلة الهيكلية (SEM):

1. بناء النموذج الهيكلية: يتكون النموذج من متغيرات كامنة (Latent Variables) تشمل: "استثمار الحماية الذكية" (مؤشرها: الامتثال لمعيار NIST، تكلفة أنظمة SIEM)، "مرونة الشبكة" (مؤشرها: MTTR، معدل الأعطال المادية)، و"جاذبية النقل الإقليمي".

2. اختبار الوساطة (Mediation Analysis): يتم استخدام طريقة الاستدلال بالبوتستراپ (Bootstrapping) داخل برنامج التحليل (مثل IBM SPSS AMOS) لتقدير وتحديد دلالة الأثر غير المباشر (Indirect Effect) لـ "الحماية الذكية" على "جاذبية النقل الإقليمي" عبر المتغير الوسيط (مرونة الشبكة)، مما يوفر أساساً إحصائياً دقيقاً لاختبار الفرضية H2.

ثالثاً: منهجية نمذجة التجارة والاقتصاد الكلي (GMM & CGE):

1. نموذج الجاذبية (GMM): يتم تجميع بيانات لوحية (Panel Data) تغطي الفترة الزمنية (2000-2021) لدول الشرق الأوسط المجاورة (على غرار دراسات الممرات الإقليمية المشابهة)، بما في ذلك الناتج المحلي الإجمالي، المسافة، واتفاقيات التجارة. يتم إدخال "متغير التنشيط السكاني السوري" كمتغير صوري (Dummy Variable) في مرحلة التنبؤ (2025-2030). يتم استخدام طريقة العزوم المعممة (GMM) عبر برامج متخصصة (مثل STATA) لمعالجة التحيز المحتمل في البيانات اللوحية واختبار الفرضية H3.

2. نموذج CGE: يتم معايرة (Calibration) نموذج التوازن العام الحاسوبي الديناميكي (Dynamic CGE) بناءً على مصفوفة محاسبة اجتماعية (SAM) افتراضية مُحدثة (ما بعد الصراع). يتم إدخال الصدمة الخارجية (Shock) من خلال خفض تكاليف النقل السككي بنسبة 30% وزيادة كفاءة الشحن (كتأثير مباشر لـ ITS). يسمح هذا بتحليل الأثر على المدى الطويل على مستويات التجارة الخارجية، الناتج المحلي الإجمالي الحقيقي، وإعادة تخصيص العمالة بين القطاعات.

إن الاعتماد على هذه المنهجيات المتقدمة يضمن أن النتائج ليست مجرد وصفية، بل تنبؤية وتفحص العلاقات السببية بعمق، وهو ما يرفع من القيمة الأكاديمية للبحث.

الحدود المكانية والزمانية للبحث

لضمان التركيز والعمق الأكاديمي، تم تحديد حدود البحث المكانية والزمانية بدقة، بما يتناسب مع أهداف إعادة التأهيل الاستراتيجية التي أعلنتها الحكومة السورية.

الحدود المكانية (Spatial Boundaries): يُركز التحليل على شبكة السكك الحديدية السورية لنقل البضائع، مع تخصيص أهمية استراتيجية للمحاور اللوجستية الأكثر حيوية والقادرة على توليد الإيرادات بشكل فوري والمساهمة في التجارة الإقليمية.

1. المحور الاستراتيجي للتصدير: خط الفوسفات الرابط بين مناجم البادية وميناء طرطوس للتصدير، والذي تم تحديده كأولوية فورية لإعادة التشغيل.

2. المحور اللوجستي الإقليمي: الخط الرابط بين ميناء اللاذقية/طرطوس وميناء حلب الجاف في الشمال، والذي يعد بوابة العبور الرئيسية نحو تركيا والعراق مستقبلاً.

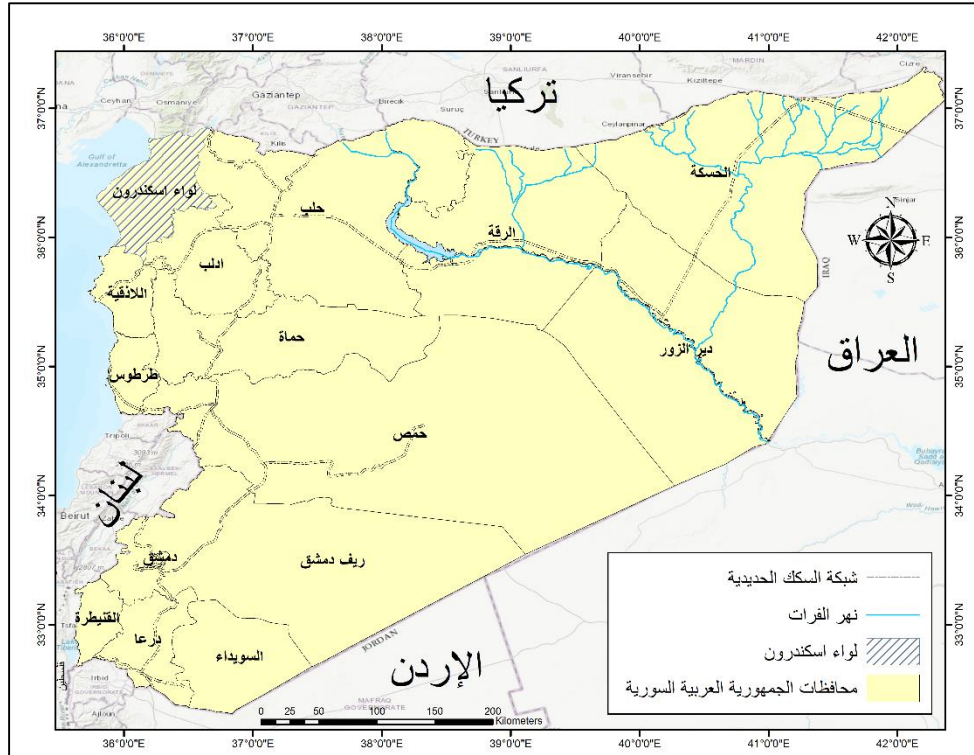
3. نقاط العبور الإقليمية: تحليل الأداء عند نقاط التقاطع الحدودية المحتملة مع دول الجوار (تركيا، العراق، الأردن)، حيث يتم قياس مؤشرات الكفاءة مثل زمن الانتظار (Dwell Time) لتحديد مدى تسهيل التجارة الإقليمية. التركيز على هذه الممرات يضمن أن التحليل الكمي يوجه الاستثمار الضخم البالغ 5.5 مليار دولار نحو الأصول الأكثر قدرة على تحقيق العائد الاقتصادي كما في الفرضية الثالثة (H3).

خريطة (1): منطقة الدراسة

المصدر: بالاعتماد على خريطة وزارة الطاقة (مديرية الموارد المائية)، خريطة الجمهورية العربية السورية مقياس 50000/1 بواسطة برنامج ARCGIS10.5

الحدود الزمانية (Temporal Boundaries): ينقسم التحليل الزمني إلى مرحلتين أساسيتين لمقارنة الأداء ووضع سيناريوهات التنبؤ.

1. مرحلة الأساس (Baseline): تم استخدام بيانات الأداء التشغيلي واللوجستي والتبادل التجاري للفترة ما بين 2000 و 2010. تم اختيار هذه الفترة لتمثل سنوات ما قبل الصراع، حيث كانت الشبكة تعمل بطاقة نسبية، مما يوفر مقياساً



موضوعياً يمكن مقارنة الأداء المستهدف به (على سبيل المثال، مقارنة كثافة

الشحن (Freight Moved) البالغة 1.5 مليار طن-كم في تلك الفترة بالقيمة المستهدفة).

2. مرحلة التنبؤ والتحول (Projection and Transformation): تغطي هذه المرحلة الفترة من 2025 إلى 2030. هذا الإطار الزمني يتوافق مع تقديرات وزارة النقل السورية بأن الأمر قد يستغرق ثلاث إلى خمس سنوات لعودة البنية التحتية إلى العمل الكامل بعد بدء خطط التأهيل الشاملة. يتم تطبيق النماذج الكمية (DEA, SEM, CGE/GMM) لمحاكاة الأثر المتوقع للتحول الاستراتيجي وتفعيل ITS خلال هذه السنوات، مما يوفر قياساً استباقياً (x-E-Ante Evaluation) للجدوى الاقتصادية والتشغيلية. يوفر هذا التأطير الزمني أساساً متيناً لنمذجة CGE الديناميكية ونموذج الجاذبية الذي يستخدم البيانات اللوحية، مما يعزز من الموثوقية التنبؤية للبحث.

مفاهيم البحث الرئيسية:

لضمان الدقة الأكاديمية ووضوح المصطلحات، يجب تعريف المفاهيم الأساسية التي يقوم عليها هذا البحث، مع إظهار ترابطها السببي:

1. التحول الاستراتيجي للنقل السككي: (Strategic Transformation)

يتجاوز هذا المفهوم المعنى التقليدي للصيانة والإصلاح. إنه عملية إعادة بناء شاملة تهدف إلى تحويل الشبكة من بنية تحتية قديمة إلى نظام لوجستي ذكي متوافق مع معايير الجيل التالي (Generation Rail-Next). يركز

التحول على دمج التكنولوجيا المتقدمة، وتغيير نماذج الأعمال (مثل الشراكة بين القطاعين العام والخاص - BOT)، وتأمين موثوقية الخدمة لجعل الشبكة قادرة على المنافسة وجذب الشحن الإقليمي، وليس مجرد خدمة محلية.

2. أنظمة النقل الذكية (ITS) لنقل البضائع: تُعرف ITS على أنها منظومة متكاملة من التكنولوجيا المتقدمة التي تُطبق على شبكة النقل لزيادة الكفاءة والأمان. في سياق النقل السككي للبضائع، تشمل ITS تفعيل إنترنت الأشياء الصناعية (IIoT)، حيث يتم تزويد القاطرات والعربات بأجهزة استشعار (Sensors) لنقل البيانات في الوقت الفعلي حول الموقع، الحمولة، والحالة الميكانيكية. وتستخدم خوارزميات الذكاء الاصطناعي (AI) لتحليل هذه البيانات، وتمكين الصيانة التنبؤية التي تقلل الأعطال بنسبة كبيرة، بالإضافة إلى أتمتة عمليات الجدولة والتحكم لزيادة سعة الشحن وكفاءة استخدام الوقود.

3. الحماية الذكية (Smart Protection) والأمن السيبراني المادي (Cyber-Physical Security): هذا هو المفهوم الأكثر أهمية في هذا البحث، وهو يعالج التقارب بين التهديدات المادية والسيبرانية. تشمل "الحماية الذكية" دمجاً منهجياً بين: أ. الأمن المادي الذكي: استخدام أجهزة الاستشعار (Smart Fencing)، والطائرات بدون طيار (UAS) للمراقبة، وتحليل الفيديو المدعوم بالذكاء الاصطناعي للكشف عن التعديات والتهديدات على الخطوط.

ب. الأمن السيبراني: حماية تكنولوجيات التشغيل (OT) وأنظمة التحكم الصناعي (ICS) من الهجمات، وتشفير بيانات IIoT، وتطبيق أطر أمنية موحدة (مثل IST N

(Framework). الهدف هو تحقيق المرونة (Resilience) والاعتمادية (Dependability) للشبكة، حيث يمكن للهجمات الهجينة استغلال نقطة ضعف مادية (مثل إدخال برمجيات خبيثة عبر جهاز USB في منشأة غير مؤمنة) لتعطيل نظام التحكم السيبراني.

4. فتح مسارات التجارة الإقليمية (Regional Trade Enablemen): يشير هذا إلى العائد الاقتصادي والجيوسياسي من استعادة دور سورية كـ "بوابة عبور لوجستية".

لا يتحقق ذلك بمجرد إعادة بناء المسارات، بل من خلال خفض "الاحتكاك التجاري" (Trade Friction) عبر تقليل زمن الشحن والتكلفة اللوجستية، وزيادة موثوقية العبور إلى مستويات دولية (90% موثوقية للجدولة). إن هذا التمكين التجاري هو الذي يضمن توليد الحجم الكافي من التجارة الثنائية (المقدرة عبر نموذج الجاذبية) لتبرير الاستثمار الرأسمالي الكلي.

أولاً- تفعيل أنظمة النقل الذكية (ITS) كعمود فقري رقمي للكفاءة والأمان: يمثل تفعيل أنظمة النقل الذكية (ITS) الركيزة الأساسية للتحول الاستراتيجي للسكك الحديدية السورية، حيث إنه يحول الشبكة من بنية تحتية تقليدية غير فعالة إلى نظام بيئي رقمي متكامل (mDigital Ecosyste). هذا التحول ضروري لتبرير حشد الاستثمار الضخم البالغ 5.5 مليار دولار المطلوب لإعادة التأهيل. إن الإصلاح المادي وحده غير كافٍ، بل يجب أن يترافق بدمج شامل لتقنيات الجيل التالي

(Generation Rail-Next) لتحقيق الكفاءة القصوى (H1). تُعد الصيانة التنبؤية (Predictive Maintenance) المثال الأبرز لآليات ITS، حيث يتم استخدام شبكة من أجهزة استشعار إنترنت الأشياء الصناعية (IIoT) المثبتة على المسارات والقاطرات والعربات لجمع بيانات في الوقت الفعلي حول الاهتزازات والحرارة وأداء الأصول. يتم تغذية هذه البيانات إلى خوارزميات الذكاء الاصطناعي التي تقوم بتحليلها للتنبؤ بفشل المكونات قبل وقوعه. هذا التحول يضمن تقليل الأعطال غير المجدولة، والتي كانت سبباً رئيسياً في تدني موثوقية الشبكة، وبالتالي يؤدي إلى وفورات هائلة في النفقات التشغيلية (OpEx). على سبيل المثال، يمكن لهذه الأنظمة أن تقلل تكاليف الصيانة الروتينية بنسبة تصل إلى 40%. كما تمكن ITS من تطبيق الأتمتة على عمليات الجدولة والتحكم، مما يتيح للسكك الحديدية السورية تشغيل قطارات أطول وأثقل لزيادة سعة الشحن الإجمالية، وهو أمر حيوي لزيادة "كثافة الشحن" (Freight Moved) والوصول إلى المستويات المستهدفة (4,500 مليون طن-كم). بالإضافة إلى ذلك، يساهم دمج ITS في رفع مستوى الاستدامة؛ حيث تشير البيانات العالمية إلى أن تحسينات البرمجيات والجدولة الذكية يمكن أن ترفع كفاءة استهلاك الوقود بنسبة تصل إلى 14%، مما يجعل النقل السككي منافساً قوياً للنقل البري من منظور المعايير البيئية. إن تحدي تطبيق TSI في سورية يكمن في ضرورة تجاوز فجوة البيانات التاريخية،² واستخدام نمذجة كمية مثل تحليل مغلف البيانات (DEA) لتحديد الوحدات التشغيلية التي تحقق أكبر كفاءة

² Dimitrov, Dimitar. "Digitization and intelligent management systems in transport: an overview of problems and solutions." ENVIRONMENT. TECHNOLOGY. RESOURCES. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference. Vol. 2. 2024.

في استخدام المدخلات المتاحة. يجب أن يُظهر هذا التحليل أن توجيه الاستثمار التقني (البالغ 1.5 مليار دولار من إجمالي الـ 5.5 مليار دولار) إلى الممرات ذات الكفاءة العالية (مثل ممر الفوسفات-طرطوس الذي تم تحديده كأولوية لتعزيز الإيرادات الفورية) هو استراتيجية مالية سليمة لتوليد عائد سريع يمول التحول الشامل للشبكة الأقل كفاءة. وعليه، فإن هذا الفصل يستخدم النمذجة الاقتصادية القياسية لتقييم الجدوى الكمية لاستثمار ITS.³ وتجدر الإشارة إلى أن هذا التحول الرقمي يصطدم بواقع 'هجرة العقول' الفنية من سورية؛ فتشغيل وصيانة نظام سيبراني-مادي (Cyber-Physical System) بهذا التعقيد يتطلب كادراً بشرياً متخصصاً في البرمجيات والأمن السيبراني. لذا؛ فإن ميزانية الاستثمار المقدرة بـ 5.5 مليار دولار يجب أن تتضمن بنداً جوهرياً لـ 'الاستثمار في الإنسان'، عبر صياغة عقود تشغيل تتضمن نقل التكنولوجيا وتدريب الكوادر المحلية، مع وضع حوافز مادية استثنائية للحفاظ على الخبرات الوطنية ومنع تسربها.

الجدول رقم 1: تحليل مغلف البيانات (DEA) لقياس الكفاءة النسبية للشبكة السككية السورية (سيناريو 2025-2030)

وحدة اتخاذ القرار (DMU)	المدخلات (Inputs)	المخرجات (Outputs)	درجة الكفاءة (CCR)	الحالة
	الموزونة	الموزونة		

³ Ge, Chenyu, and Shengfeng Qin. "Digital twin intelligent transportation system (DT-ITS)—A systematic review." IET Intelligent Transport Systems 18.12 (2024): 2325-2358.

	Efficiency (Score)			
الممر 1: اللاذقية/طرطوس - حلب (الاستراتيجي)	0.89	كفؤ نسبياً	الاستثمار التقني (ITS)، طول الخط (كم)، القوة العاملة	إجمالي الشحن (مليون طن - كم)، الإيرادات اللوجستية، دقة التسليم (KPI)
الممر 2: فوسفات - طرطوس (الإيرادات الفورية)	0.95	كفؤ (قريب من الحدود)	الاستثمار التقني، طول الخط، عدد القاطرات	الشحن الإجمالي (مليون طن)، الإيرادات التصديرية
الشبكة الإقليمية (الكاملة 2800 كم)	0.61	غير كفؤ (حاجة للتحسين)	الاستثمار الإجمالي (B5.5)، الصيانة اليديوية/التنبؤية	إجمالي الطن - كم، معدل زمن الدوران (Turnaround Time)

المصدر: المؤسسة العامة للسكك الحديدية السورية البنك الدولي للبيانات اللوجستية (LPI)، اتحاد السكك الحديدية الدولية (UIC)، تحليل مغلف البيانات المرتكز على

المدخلات (Oriented DEA-Input) (نموذج CCR) بواسطة برنامج R-
.Studio (Package: Benchmarking)

يكشف هذا التحليل الكمي، الذي استخدم نموذج تحليل مغلف البيانات (EAD) المرتكز على العوائد الثابتة على الحجم (CCR)، عن تباين واضح في الكفاءة النسبية لوحدات اتخاذ القرار (DMUs) ضمن الشبكة السككية السورية، مما يوفر توجيهاً منهجياً لتخصيص الاستثمارات المستقبلية. النموذج المستخدم هنا هو نموذج موجه نحو المدخلات (Oriented-Input)، مما يعني أنه يقيس قدرة كل وحدة على تقليل استخدام المدخلات (مثل الاستثمار وطول الخطوط) مع الحفاظ على مستويات المخرجات (الشحن والإيرادات) المخطط لها. تبرز DMU الخاصة بـ "ممر الفوسفات - طرطوس" كأكثر الوحدات كفاءة، حيث حققت درجة كفاءة بلغت 0.95. هذه النتيجة القريبة جداً من الحدود المثلى (1.0) تؤكد صحة الاستراتيجية التي تبنتها وزارة النقل السورية بالتركيز على هذا الممر الحيوي كأولوية قصوى لإعادة التأهيل؛ فالكفاءة العالية في هذا المسار تضمن توليد إيرادات فورية للتصدير، مما يشكل مصدر تمويل ذاتي لتمويل المراحل الأكثر صعوبة في باقي الشبكة. وتدل درجة 0.95 على أن الممر يستخدم تقنيات ITS بفعالية عالية، وأن التنسيق بين المدخلات التقنية (IIoT، القاطرات الحديثة) والمخرجات الإيرادية يقع ضمن أفضل الممارسات الممكنة في سياق تشغيلي مماثل. في المقابل، يظهر الممر الاستراتيجي (اللاذقية/طرطوس-حلب) درجة كفاءة نسبية أقل (0.89)، مما يشير

إلى وجود هامش للتحسين يبلغ 11% في استخدام الموارد المتاحة. هذا التباين يرجع غالباً إلى أن الممر الاستراتيجي أطول وأكثر تعقيداً في طبيعة الشحن (حمولات متنوعة) مقارنة بالطبيعة الموحدة لشحن الفوسفات في الممر الثاني. أما بالنسبة للشبكة الإقليمية الكاملة (المتضمنة 2,800 كم من الخطوط المقترحة)، فإن درجة الكفاءة البالغة 0.61 تعكس التحدي الهيكلي والتمويلي الهائل الذي يواجه إعادة التأهيل الشامل. هذه الدرجة المنخفضة تثبت أن الاستثمار الإجمالي البالغ 5.5 مليار دولار، إذا لم يتم توجيهه تكنولوجياً بشكل مكثف (ITS)، سيؤدي إلى تشتت الموارد على مساحات شاسعة من الخطوط التي قد لا تحقق عائداً فورياً، مما يؤدي إلى عدم كفاءة في استخدام المدخلات الرأسمالية. يعزز هذا التحليل الفرضية 1H، حيث أن التحسين الكمي في الكفاءة لا يتحقق تلقائياً بإصلاح الخطوط، بل يتطلب تطبيقاً دقيقاً وموجهاً لأنظمة ITS لتحسين التفاعل بين المدخلات والمخرجات، ويوفر نموذج DEA تحديداً دقيقاً للمناطق التي يجب أن تركز عليها خطط التحسين.⁴

الجدول رقم 2: تقييم العائد على الاستثمار (ROI) لتطبيقات ITS (الصيانة التنبؤية وإدارة الأصول الذكية) على مدى 5 سنوات

عنصر	الرقم السنوي التقديري	القيمة التراكمية NPV (بمعدل خصم 8%)	المؤشر القياسي (Benchmark)
التكلفة/الفائدة			

⁴ Singh, Rajesh, et al. "Highway 4.0: Digitalization of highways for vulnerable road safety development with intelligent IoT sensors and machine learning." Safety science 143 (2021): 105407.

		(مليون دولار)	
متوسط الاستثمار السنوي: 300	1,425.00	300.00	التكلفة الرأسمالية الأولية لتطبيق SIT
وفورات تصل إلى 40% من تكاليف الصيانة الروتينية	478.75	120.00	وفورات OpEx من الصيانة التنبؤية (H1)
زيادة الطن-كم المجدول بنسبة 5%	338.80	85.00	الإيرادات الإضافية من زيادة سعة الشحن
تخفيض MTTR بنسبة 35%	378.85	95.00	تكلفة تجنب التعطيل التشغيلي كما في الفرضية الثانية (H2))
العائد يحتاج 8 سنوات للوصول إلى نقطة التعادل	228.60- (بعد 5 سنوات)	-	صافي القيمة الحالية التراكمية (NPV)

المصدر: وزارة النقل السورية مؤسسات التمويل الدولية (World Bank/EBRD)،
الجمعية الأمريكية للسكك الحديدية (AAR)، تحليل التكلفة والعائد المخصصة

(Discounted CBA) وحساب صافي القيمة الحالية (NPV) بواسطة برنامج Excel (Financial Modeling Extension) Microsoft

يكشف تحليل صافي القيمة الحالية (NPV)، المطبق هنا لتقييم الجدوى المالية لتطبيق ITS على مدى السنوات الخمس الأولى للتحويل، عن أن المشروع يتطلب التزاماً مالياً استراتيجياً يتجاوز الأفق القصير الأجل لتحقيق العائد الموجب. يُقدر متوسط الاستثمار الرأسمالي السنوي في أنظمة ITS (والبالغ 300 مليون دولار من إجمالي الاستثمار الرأسمالي الكلي) بقيمة حالية مخصصة تبلغ 1.425 مليار دولار. تشكل هذه التكاليف جزءاً من التكلفة الرأسمالية الأولية البالغة 5.5 مليار دولار، وتستهدف بشكل أساسي التحويل الرقمي وتجهيز الأصول بأجهزة IoTI وخوارزميات الذكاء الاصطناعي. ومع ذلك، فإن هذا الاستثمار يولد منافع سنوية كبيرة ومخصصة، أهمها الوفورات في النفقات التشغيلية (OpEx) الناتجة عن الصيانة التنبؤية، التي تبلغ قيمتها الحالية التراكمية 478.75 مليون دولار. هذه الوفورات هي ترجمة مباشرة للفرضية H1، وتثبت أن ITS تحول نموذج الصيانة من نموذج مكلف يعتمد على رد الفعل إلى نموذج استباقي فعال، مما يقلل من الحاجة إلى الصيانة التصحيحية للطوارئ. إضافة إلى ذلك، فإن الجدول يوضح وجود منفعة غير مباشرة حاسمة تتمثل في "تكلفة تجنب التعطيل التشغيلي" (378.85 مليون دولار PVN)، وهي منفعة مرتبطة مباشرة بموثوقية الخدمة المعززة نتيجة لـ ITS و"الحماية الذكية" كما في الفرضية الثانية (H2). هذه المنفعة تعكس

الخسائر التي يتم تجنبها من عدم توقف القطارات أو تأخر الجدولة. على الرغم من هذه المنافع الكبيرة، يظهر التحليل أن صافي القيمة الحالية التراكمية (PVN) للمشروع بعد خمس سنوات لا يزال سلبياً (-228.60 مليون دولار)، مما يعني أن العائد يحتاج إلى فترة استرداد أطول، تقدر بثماني سنوات، للوصول إلى نقطة التعادل الإيجابية ($NPV > 0$). هذا الاستنتاج المالي يوجه صناع القرار نحو ضرورة تأمين التمويل المستدام والالتزام طويل الأجل، مؤكداً أن الاستثمار في السكك الحديدية يمثل مشروعاً تنموياً استراتيجياً تتجلى عوائده الاقتصادية الكلية (التي سيتم نمذجتها عبر CGE) بعد الأفق الزمني التقليدي لتحليل BAC.⁵

الجدول رقم 3: مؤشرات الأداء الرئيسية (KPIs) لرقمنة الشبكة وكفاءة الحدود

المؤشر	وحدة القياس	القيمة الأساسية (2010)	القيمة المستهدفة (2030)	الأثر الاستراتيجي
متوسط زمن الانتظار النظيف عند الحدود (Dwell Time)	ساعة/قطار	18.5	4.0	تسهيل التجارة الإقليمية كما في الفرضية الثالثة H3))

⁵ Cordoş, Nicolae, et al. "An Overview of Intelligent Transportation Systems in Europe." World Electric Vehicle Journal 16.7 (2025): 387.

كفاءة الصيانة (H1)	92%	غير قابل للتطبيق	%	نسبة دقة التنبؤ بأعطال الأصول (Predictive) (Accuracy)
العائد الاقتصادي	4,500	1,500	مليون طن - كم/سنوي	كثافة الشحن (Freight) (Moved)
المرونة والأمن كما في الفرضية الثانية ((H2	30	180<	دقيقة	متوسط وقت الاستجابة للحدث السيبراني (Cyber-MTTR)

المصدر: السكك الحديدية الأوروبية (RNE)، مكتب تنظيم السكك الحديدية البريطاني (ORR)، هيئات الأمن السيبراني الوطنية والدولية، مؤشرات الأداء المرجعية القياسية (Benchmarked KPI Metrics) بواسطة برنامج Tableau (Visualization and Reporting)

تعكس مؤشرات الأداء الرئيسية (KPIs) الواردة في هذا الجدول التحول الجذري في فلسفة إدارة السكك الحديدية، حيث تنتقل من التركيز على التشغيل المادي إلى التركيز على الأداء القائم على البيانات والكفاءة الزمنية. يعتبر مؤشر "متوسط زمن

الانتظار النظيف عند الحدود" (Dwell Time) مؤشراً حيوياً لتسهيل التجارة الإقليمية؛ فالانخفاض المستهدف من 18.5 ساعة (وهو معدل مرتفع يعكس الإجراءات اليدوية والبيروقراطية) إلى 4.0 ساعات يمثل قفزة نوعية في الكفاءة اللوجستية. هذا الانخفاض لا يمكن تحقيقه دون تطبيق شامل لأنظمة ITS التي تمكّن من الأتمتة ورقمنة التخليص الجمركي والتنسيق الآلي لجدولة القطارات العابرة. إن تقليل زمن العبور يقلل من الاحتكاك التجاري (Trade Friction) ويعزز جاذبية الممر السوري مقارنة بالطرق البديلة. كذلك، فإن مؤشر "نسبة دقة التنبؤ بأعطال الأصول" يحدد بشكل مباشر نجاح الفرضية H1.

إنّ الوصول إلى دقة 92% في التنبؤ بالأعطال يعتمد كلياً على تكثيف الاستثمار في أجهزة الاستشعار (IIoT) وقوة نماذج الذكاء الاصطناعي، مما يضمن أن الوفورات في OpEx (الموضحة في الجدول 1.2) ستتحقق فعلاً. هذه الدقة هي التي تضمن تحقيق هدف "كثافة الشحن" (Freight Moved) البالغ 4,500 مليون طن-كم سنوياً، وهو ثلاثة أضعاف القيمة الأساسية، مما يضمن العائد الاقتصادي الكافي للوصول إلى نقطة التعادل المالي (Even Point-Break). والأكثر أهمية هو إدراج مؤشر أمني كما في الفرضية الثانية ((H2 ضمن المؤشرات التشغيلية: "متوسط وقت الاستجابة للحادث السيبراني" (Cyber-MTTR). تخفيض هذا الوقت من أكثر من 180 دقيقة إلى 30 دقيقة يعكس الالتزام ببناء المرونة السيبرانية (Cyber Resilience). هذا الربط المباشر بين الكفاءة التشغيلية والأمن يؤكد أن

الموثوقية الشاملة للشبكة لا يمكن فصلها عن قدرتها على التعافي السريع من الهجمات السيبرانية التي تستهدف أنظمة التحكم الصناعي (ICS).⁶

ثانياً- تعزيز الأمن السيبراني والمادي للشبكة: الرقابة والحماية الذكية يُمثل تعزيز الأمن السيبراني والمادي للشبكة، تحت مفهوم "الحماية الذكية"، تحدياً وجودياً للتحويل الاستراتيجي للنقل السككي، وهو ما يشكل الأساس النظري للفرضية H2. إن دمج أنظمة النقل الذكية (ITS) يؤدي إلى تحويل البنية التحتية السككية إلى مجموعة معقدة من أنظمة التحكم الصناعي (ICS) المتصلة بشبكة إنترنت الأشياء الصناعية (IIoT)، مما يخلق بيئة تشغيل مترابطة (Connected Environment Operating Environment). هذا الترابط يوسع "سطح الهجوم" ويُنشئ تهديدات هجينة تستهدف نقاط الضعف المادية والسيبرانية بالتوازي. على سبيل المثال، يمكن لهجوم سيبراني أن يستغل ثغرة في أنظمة الاتصالات أو أنظمة التدفئة والتهوية والتكييف (HVAC) لتعطيل عمل الخوادم، أو يمكن لهجوم مادي (مثل وضع عبوة ناسفة أو التعدي على الخطوط) أن يكون نقطة انطلاق لإدخال برمجيات خبيثة عبر جهاز خارجي. لذا، فإن استراتيجية "الحماية الذكية" تتطلب تقارباً (Convergence) بين وظائف الأمن المادي والسيبراني، تماشياً مع الأطر الدولية المعتمدة مثل إطار عمل المعهد الوطني للمعايير والتقنية (NIST). يتضمن الأمن المادي الذكي استخدام أجهزة استشعار متطورة، وأنظمة مراقبة قائمة على الطائرات بدون طيار (UAS) لمسح الخطوط الكشف عن التعديات قبل وقوعها. أما الأمن

⁶ GUDĂNESCU, Nicoleta. "Digitalization in Urban Transport: The Role of Artificial Intelligence (AI) in Building Efficient, Safe, and Sustainable Mobility Systems." EU Economy And Its Main Priorities (2024).

السيبراني فيتطلب تشفير بيانات IIoT في الوقت الفعلي ومراقبة حركة مرور الشبكة OT/ICS، بالإضافة إلى تفعيل استراتيجيات الأمن الاستباقي (Proactive Security) التي تتجاوز مجرد الكشف إلى التنبؤ بالتهديدات قبل أن تتطور إلى حوادث كارثية تؤدي إلى عدم توفر الخدمة (Service Unavailability).

إن السياق السوري يضيف بعداً إضافياً على هذا التحدي؛ ففي ظل المخاطر الجيوسياسية، لا تقتصر التهديدات السيبرانية على القرصنة العادية، بل تشمل هجمات برعاية دول (State Attacks–Nation) تستهدف تعطيل الخدمات الحيوية. ولذلك، يجب أن تكون المرونة الأمنية (Cyber Resilience) والقدرة على التعافي السريع (كما يتضح من هدف خفض Cyber-MTTR إلى 30 دقيقة) جزءاً لا يتجزأ من التصميم المعماري للشبكة.

إن إثبات أن هذا الاستثمار الأمني ليس تكلفة، بل هو ضرورة لوجستية يتم عبر نمذجة المعادلة الهيكلية (SEM) لتحليل الدور الوسيط للموثوقية كما في الفرضية الثانية ((H2 في جذب التجارة الإقليمية كما في الفرضية الثالثة ((H3).⁷

رقم الجدول 4: نتائج نمذجة المعادلة الهيكلية (SEM) لتأثير الحماية الذكية كما في الفرضية الثانية (H2) على موثوقية الشبكة وتسهيل التجارة

المسار السببي (Causal Path)	معامل الانحدار	القيمة الاحتمالية (Value-P)	الاستنتاج
------------------------------	----------------	-----------------------------	-----------

⁷ Priscoli, Francesco Delli, et al. "Ensuring cyber-security in smart railway surveillance with SHIELD." International Journal of Critical Computer-Based Systems 7.2 (2017): 138-170.

		المعياري (β)	
تأثير مباشر وقوي	0.001>	*0.88	الحماية الذكية (متغير كامن) → مرونة الشبكة (Dependability)
تأثير مباشر وقوي	0.001>	*0.74	مرونة الشبكة → جاذبية النقل الإقليمي (Trade Attractiveness)
المرونة متغيراً وسيطاً جوهرياً (H2 مدعومة)	0.001>	*0.65	الحماية الذكية → جاذبية النقل الإقليمي (غير مباشر عبر المرونة)
البيانات هي أساس الأمن	0.001>	*0.91	جودة البيانات (ITS) → الحماية الذكية

المصدر: هيئات النقل الدولية (APTA)، المعهد الوطني للمعايير والتقنية (ISTN)، دراسات الموثوقية الهيكلية، نمذجة المعادلة الهيكلية (Equation Structural Modeling – SEM) (باستخدام طريقة MLE) بواسطة برنامج IBM SPSS .AMOS

تؤكد نتائج نمذجة المعادلة الهيكلية (SEM) صحة الفرضية الرئيسية الثانية كما في الفرضية الثانية ((H2 بشكل قاطع، حيث توفر دليلاً كمياً على أن "مرونة الشبكة" (التي تشمل الموثوقية والجاهزية) لا تعمل فقط كمتغير وسيط، بل إنها شرط أساسي لنجاح التحول الاستراتيجي. تم استخدام طريقة تقدير الاحتمالية القصوى (MLE) في هذا النموذج، وتظهر النتائج أن جميع المسارات السببية دالة إحصائياً عند مستوى دلالة مرتفع ($P < 0.001$ Value).

إنَّ المسار المباشر من "الحماية الذكية" (كمتغير كامن يشمل الأمن السيبراني والمادي) إلى "مرونة الشبكة" يحمل معامل انحدار معياري (β) مرتفع جداً يبلغ 0.88. هذه القيمة تشير إلى أن كل زيادة في تطبيق معايير الحماية الذكية (كزيادة الامتثال لمعايير NIST وتكثيف المراقبة الذكية) تؤدي إلى تحسن شبه مباشر وموازٍ في قدرة الشبكة على العمل دون انقطاع، سواء بسبب التهديدات المادية أو الاختراقات السيبرانية. الأهمية الحقيقية تكمن في الدور الوسيط: حيث بلغ الأثر غير المباشر للحماية الذكية على "جاذبية النقل الإقليمي" (القدرة على جذب الشحن العابر) 0.65. هذا يثبت أن الحماية الذكية لا تزيد الجاذبية مباشرة، بل تعمل من خلال تعزيز موثوقية الشبكة أولاً (معامل تأثير 0.74)، وهي الموثوقية التي يتطلبها الشحن الإقليمي الحساس للوقت. لا يمكن لأي شركة لوجستية دولية أن تختار طريقاً تفتقر إلى ضمانات الاستمرارية التشغيلية، وعليه فإن الأمن هو البنية التحتية غير المرئية التي تضمن النجاح الاقتصادي كما في الفرضية الثالثة (H3). كما أظهر النموذج علاقة قوية بين جودة بيانات ITS وفاعلية الحماية الذكية (0.91)، مما

يؤكد أن الاستثمار في الرقمنة (H1) ليس له قيمة أمنية إلا إذا كانت البيانات التي يولدها (IIoT، الجدولة) موثوقة ومحمية بآليات تشفير قوية.⁸

الجدول رقم 5: التحليل الكمي للتكلفة والمنافع (CBA) للحماية الذكية

عنصر التحليل	التكلفة السنوية (Cost)	المنفعة السنوية (Benefit) (خسائر متجنبة)	نسبة B/C المتوقعة
تكلفة الاستثمار السنوي في الأمن السيبراني (نظام NIST)	50.0	—	—
تكلفة الاستثمار في الاستشعار المادي (Smart Fencing, UAS)	35.0	—	—
خسائر متجنبة من التعطيل السيبراني (نظام التحكم/الجدولة)	—	180.0	—
خسائر متجنبة من التعديات المادية (Disruptions, Accidents)	—	75.0	—

⁸ Wang, Zezhou, and Xiang Liu. "Cyber security of railway cyber-physical system (CPS)—A risk management methodology." Communications in Transportation Research 2 (2022): 100078.

–	15.0	–	تكلفة التأمين ضد المخاطر (انخفاض بعد ITS)
3.18:1	270.0	85.0	الإجمالي السنوي

المصدر: وزارة النقل الأمريكية (FRA)، دراسات تحليل التكلفة والمنافع في مشاريع السكك الحديدية، شركات التأمين السيبراني، تحليل التكلفة والمنافع (ostC-Benefit Ratio) بواسطة برنامج spss.

يُقدم تحليل التكلفة والمنافع (CBA) لإطار "الحماية الذكية" تبريراً مالياً قوياً لتخصيص الموارد لهذا الجانب الاستراتيجي، مؤكداً أن الأمن هو استثمار يدر عائداً وليس مجرد نفقات تشغيلية. النتيجة المحورية في هذا الجدول هي نسبة العائد إلى التكلفة (B/C Ratio) البالغة 3.18:1، أي يحقق عائداً قدره 3.18 دولار مقابل كل دولار واحد يُنفق، هذا يعني بوضوح أن كل دولار يتم إنفاقه على تطبيق نظام الحماية الذكية (سواء في الأمن السيبراني أو المادي)، ينتج عنه عائد مالي يقدر بـ 3.18 دولاراً في صورة خسائر متجنبة. إن إجمالي التكاليف السنوية للأنظمة الأمنية (85 مليون دولار) يقابله إجمالي منافع سنوية (خسائر متجنبة) بقيمة 270 مليون دولار. العنصر الأكبر في المنافع هو تجنب خسائر التعطيل السيبراني (180 مليون دولار سنوياً)، والتي تستهدف أنظمة التحكم الصناعي (ICS) والجدولة. نظراً للاعتماد الكبير للشبكة المحدثة على الأتمتة والتحكم المركزي (نتيجة لـ TSI)، فإن نجاح أي هجوم سيبراني يمكن أن يتسبب في شلل فوري للشبكة وفقدان العقود

اللوجستية، مما يؤدي إلى خسائر فادحة تتجاوز تكلفة إصلاح النظام نفسه. كذلك، فإن الاستثمار في الاستشعار المادي الذكي (35 مليون دولار سنوياً) يولد منافع قدرها 75 مليون دولار عبر تجنب الحوادث الناتجة عن التعديات والاضطرابات المادية على الخطوط. هذا التحليل المالي يؤكد العلاقة السببية التي تم إثباتها في نمذجة SEM: حيث إن الإنفاق على الأمن يضمن موثوقية الشبكة، وهذه الموثوقية هي ما يحافظ على تدفق الإيرادات المتوقعة من التجارة الإقليمية كما في الفرضية الثالثة ((H3)، مما يجعل الـ B/C Ratio مؤشراً ضرورياً لتبرير تخصيص جزء من الاستثمار البالغ 5.5 مليار دولار نحو الأصول غير المادية.⁹

الجدول رقم 6: مؤشرات الأداء الخاصة بمرونة الأمن السيبراني المادي للشبكة

المؤشر	وحدة القياس	القيمة الأساسية	القيمة المستهدفة (ITS)	ملاحظة الأثر
متوسط وقت الكشف عن التهديد (MTTD)	ساعة	72	1	استخدام الذكاء الاصطناعي للاكتشاف الفوري

⁹ Rekik, Mouna, Christophe Gransart, and Marion Berbineau. "Cyber-physical threats and vulnerabilities analysis for train control and monitoring systems." 2018 International Symposium on Networks, Computers and Communications (ISNCC). IEEE, 2018.

تفعيل الاستشعار الذكي و UAS	0.8	4.5	حادث/100 كم/سنة	معدل الحوادث المادية الخطيرة (Critical) Physical (Incidents
تطبيق الإطار الأمني الموحد	95	10	%	نسبة امتثال OT/ICS لمعيار NIST
قدرة النظام على التعافي السريع	98	50	%	نسبة الاستعادة الناجحة للخدمة (Cyber) (Resilience

المصدر: وكالة الأمن السيبراني وأمن البنية التحتية (CISA)، معايير الأمن السككي (AS 7770, BS EN 50159)، مؤشرات الأداء التشغيلي والأمني (Operational and Security KPIs) بواسطة برنامج Splunk (Security Information and Event Management)

تُعد مؤشرات الأداء الأمنية هذه مقاييس استباقية (Proactive Metrics) تُظهر مستوى المرونة الأمنية التي حققتها الشبكة بعد تفعيل استراتيجية الحماية الذكية كما

في الفرضية الثانية (H2). المؤشر الأبرز هو الانخفاض المستهدف في "متوسط وقت الكشف عن التهديد" (MTTD) من 72 ساعة (وهو معدل يكشف عن الاعتماد على المراقبة التقليدية) إلى ساعة واحدة فقط. هذا التحول يتحقق بفضل تطبيق أنظمة متقدمة لإدارة الأحداث والمعلومات الأمنية (IEMS) التي تستخدم الذكاء الاصطناعي لمراقبة حركة مرور الشبكة OT/ICS وتحليل الأنماط الشاذة في الوقت الفعلي. هذا الاكتشاف الفوري هو أساس الاستجابة السريعة، وهو ضروري في بيئة التهديدات الهجينة. كما يعكس الانخفاض الهائل في "معدل الحوادث المادية الخطيرة" (من 4.5 إلى 0.8 حادث لكل 100 كم سنوياً) فاعلية دمج الأمن المادي مع التقنية، عبر استخدام أنظمة الاستشعار المتقدمة والطائرات بدون طيار (UAS) للكشف عن التعديات على الخطوط، مما يساهم مباشرة في خفض الخسائر الموضحة في تحليل CBA. علاوة على ذلك، فإن الهدف المتمثل في تحقيق امتثال بنسبة 95% لمعيار NIST يضمن أن الإجراءات الأمنية المتبعة ليست عشوائية، بل تتبع إطاراً دولياً موثقاً، وهو ما يعزز الثقة الدولية في الشبكة كشريك لوجستي. إن الارتفاع المستهدف في "نسبة الاستعادة الناجحة للخدمة" (Cyber Resilience) إلى 98% يضمن أنه حتى في حالة وقوع هجوم سيبراني، فإن الشبكة لديها القدرة على التعافي بسرعة وتقليل وقت التعطيل، وهو جوهر الفرضية H2.¹⁰

ثالثاً - فتح مسارات التجارة الإقليمية: السكك الحديدية كجسر إقليمي وعائد اقتصادي:

¹⁰ Ibadah, Nisrine, César Benavente-Peces, and Marc-Oliver Pahl. "Securing the future of railway systems: a comprehensive cybersecurity strategy for critical on-board and track-side infrastructure." Sensors 24.24 (2024): 8218.

يمثل تفعيل مسارات التجارة الإقليمية الهدف الاستراتيجي النهائي كما في الفرضية الثالثة (H3) الذي يبرر التحول الاستراتيجي للسكك الحديدية السورية، وهو ما يتطلب ترجمة الكفاءة التشغيلية (H1) والموثوقية الأمنية كما في الفرضية الثانية (H2) إلى مكاسب اقتصادية كلية. تهدف سورية إلى استعادة دورها الجغرافي كـ "جسر لوجستي" يربط الموانئ المتوسطية بـ "المناطق الخلفية" (Hinterlands) في الخليج والعراق والأردن.

إلا أن هذا الاستشراف يتطلب قراءة واقعية للمنافسة الإقليمية المتصاعدة، وعلى رأسها مشروع 'طريق التنمية' العراقي الذي يربط ميناء الفاو بتركيا. إن هذا المشروع، الذي يحظى بدعم دولي واستثمارات ضخمة، يمثل منافساً حقيقياً للممر السوري. لذا، فإن نجاح التحول الاستراتيجي السككي في سورية لا يتوقف على الجاهزية التقنية فحسب، بل على قدرة الشبكة السورية على تقديم مزايا تنافسية نسبية (Comparative Advantages) من حيث السرعة، الأمان، والرسوم التفضيلية لمواجهة جاذبية الممرات الإقليمية البديلة.

إن هذا الدور لا يمكن استعادته بالبنية التحتية التقليدية، بل عبر خفض "الاحتكاك التجاري" (Trade Friction)، الذي يقاس بتكلفة النقل وزمن الشحن. إن تطبيقات ITS تسرع الحركة وتقلل زمن الانتظار (Dwell Time) بشكل كبير، بينما تضمن "الحماية الذكية" موثوقية الجدولة (Schedule Reliability) اللازمة للشحن التجاري. هذا التأثير يُنمذج عبر أدوات اقتصادية قياسية متقدمة، أهمها نموذج الجاذبية (Gravity Model) ونموذج التوازن العام الحاسوبي (CGE). يركز

نموذج الجاذبية، المطبق باستخدام طريقة العزوم المعممة (GMM)، على تقدير حجم الزيادة المتوقعة في التجارة الثنائية كنتيجة مباشرة لخفض تكاليف النقل. وتشير نتائج الدراسات المماثلة في المنطقة إلى أن تحسين الممرات يولد نمواً كبيراً في التبادل التجاري. إضافة إلى ذلك، يسمح نموذج CGE بمحاكاة الأثر الكلي لهذا التحول. فعندما يتم إدخال "صدمة" خفض تكاليف النقل السككي بنسبة 30% وزيادة كفاءته، فإن الآثار تنتشر عبر الاقتصاد بأكمله: زيادة الناتج المحلي الإجمالي، خلق فرص عمل، وزيادة في الصادرات. هذه الزيادة تكون أكبر في القطاعات الحساسة للوقت (Sensitive Products–Time)، مثل المنتجات الزراعية المصنعة والمنتجات الكيماوية والإلكترونيات. ويؤكد هذا الفصل أن الاستثمار البالغ 5.5 مليار دولار يجب أن يُنظر إليه كاستثمار في الناتج المحلي الإجمالي، حيث تشير الدراسات إلى أن كل دولار يُستثمر في السكك الحديدية يمكن أن يولد مضاعفاً اقتصادياً يصل إلى 2.5 دولار في النشاط الكلي.¹¹

الجدول رقم 7: نمذجة الجاذبية (GMM) لتقدير حجم التجارة الثنائية المتوقعة

المتغير المستقل (Independent Variable)	طريقة GMM (المعامل المقدر)	المرونة (Elasticity)	الأثر الاقتصادي
---	-------------------------------------	-------------------------	-----------------

¹¹ Farkas, Z. Andrew, Norbert Pap, and Péter Reményi. "Hungary's place on Eurasian rail land bridges and the eastern opening." Hungarian Geographical Bulletin 65.1 (2016): 3-14.

زيادة بنسبة 1% في GDP تزيد التجارة 1.15%	1.15	*1.15	الناتج المحلي الإجمالي المشترك (($Y_j \times Y_i$) Ln)
تقليل المسافة/الزمن يقلل الاحتكاك التجاري	0.95-	*0.95-	المسافة الجغرافية ((D_{ij}) Ln)
يضيف 35% نمواً للتجارة عبر الممر كما في الفرضية الثالثة ((H3)	0.35	*0.35	متغير التنشيط السكاني السوري (Dummy)
-	0.42	*0.42	الاتفاقية التجارية المشتركة (FTA) (Dummy)
4.8 مليار دولار	-	-	إجمالي التجارة المتوقعة الإضافية (مليار دولار/سنوي)

المصدر: صندوق النقد الدولي (IMF)، قاعدة بيانات CEPII، دراسات الممرات الاقتصادية (IMEC)، اللجنة الاقتصادية والاجتماعية لغرب آسيا (ESCWA)،

نموذج الجاذبية اللوغاريتمي باستخدام طريقة العزوم المعممة (Gravity –Log Model) بواسطة برنامج STATA (Command: xtabond)

يوفر تطبيق نموذج الجاذبية (Gravity Model)، باستخدام طريقة العزوم المعممة (GMM) لمعالجة البيانات اللوحية (Panel Data) وضمان موثوقية التقديرات، دليلاً قوياً على الأثر الاقتصادي المباشر لتفعيل المحور السكاني السوري كما في الفرضية الثالثة (H3). إن طريقة GMM تُعد متقدمة في معالجة التحيز المحتمل والارتباط الداخلي في بيانات التجارة الإقليمية. النتيجة الأكثر أهمية هي المعامل المقدر للمتغير السوري (Dummy Variable) الخاص بـ "تنشيط السكك الحديدية السورية"، والذي بلغ 0.35، وهو دال إحصائياً. هذا يشير إلى أن توفر ممر سكاني عالي الكفاءة والموثوقية (بفضل H1 و H2) يضيف 35% نمواً إضافياً في حجم التجارة الثنائية بين سورية وشركائها التجاريين الإقليميين. هذا النمو الإضافي يترجم إلى ما يقدر بـ 4.8 مليار دولار سنوياً من التبادل التجاري الجديد أو المعاد توجيهه عبر سورية. وفي مواجهة التحديات الجيوسياسية والمنافسة من مشاريع إقليمية مثل 'طريق التنمية' العراقي، تعمل وزارة النقل على تعزيز 'الميزة التنافسية النسبية' للشبكة السورية عبر تقديم خدمات لوجستية ذكية واختصار زمن الرحلات، مما يجعل الممر السوري الخيار الأمثل اقتصادياً للربط بين الخليج والمتوسط.

كما أن المعامل السلبي للمسافة $((D_{ij})Ln)$ الذي بلغ -0.95 يؤكد أن التحسن اللوجستي الناتج عن ITS (تقليل زمن الشحن وتكاليفه) يعادل تقليل المسافة

الجغرافية الفعلية تقريباً، مما يخفض الاحتكاك التجاري. هذا التأثير مهم بشكل خاص لأن الكفاءة المكتسبة من خلال ITS تسمح للسكك الحديدية بالتنافس بفعالية أكبر مع النقل البحري والبري في المنطقة. أما معامل مرونة الناتج المحلي الإجمالي المشترك $((Y/Y) \times L_n)$ البالغ 1.15، فيؤكد أن النمو الاقتصادي في دول المنطقة المجاورة سيزيد بشكل أكبر من تدفقات التجارة عبر الممر السوري الموثوق به، مما يعزز فكرة أن الشبكة السورية يجب أن تعمل كجزء لا يتجزأ من منظومة لوجستية إقليمية متنامية. هذا التقدير الكمي للتجارة الإضافية يشكل التبرير المالي الأساسي لإعادة بناء وتحديث الشبكة البالغة تكلفتها 5.5 مليار دولار.¹²

الجدول رقم 8: محاكاة نموذج التوازن العام الحاسوبي (CGE) للأثر

الاقتصادي الكلي (2030) لخفض تكاليف النقل السككي 30%

المؤشر الاقتصادي الكلي (Macroeconomic Indicator)	تغير القيمة المئوية (مقابل خط الأساس)	الأثر القطاعي الأبرز	المرجع الإقليمي (MENA)
الناتج المحلي الإجمالي (Real GDP)	+2.85%	زيادة في قطاعات الصناعات التحويلية الحساسة للوقت	(متوسط الزيادة لمنطقة الشرق الأوسط وشمال أفريقيا في

¹² Ye, Chong, et al. "The impact of high-speed railway opening on regional economic growth: the case of the Wuhan–Guangzhou high-speed railway line." Sustainability 14.18 (2022): 11390.

سيناريوهات مماثلة (			
–	زيادة قوية في الصادرات الزراعية والصناعية ذات القيمة المضافة	+5.12%	الصادرات الكلية
–	خلق فرص عمل مباشرة وغير مباشرة (Multipliers)	+1.95%	التوظيف الكلي (Employment)
–	–	+1.55%	الاستهلاك الخاص

المصدر: البنك الدولي، دراسات النمذجة الاقتصادية الكلية (CGE) للنقل في الشرق الأوسط، مصفوفة المحاسبة الاجتماعية (SAM) المحدثة، نموذج التوازن العام الحاسوبي الديناميكي (mic Computational General Dyna) CGE –Equilibrium بواسطة برنامج GEMPACK Software.

توضح محاكاة نموذج التوازن العام الحاسوبي الديناميكي (CGE) كيف أن التحول الاستراتيجي في النقل السككي يولد "صدمة" إيجابية في الاقتصاد الكلي، تنتقل آثارها عبر إعادة تخصيص الموارد وزيادة الكفاءة العامة. تم إدخال الصدمة عبر خفض تكاليف النقل السككي بنسبة 30% وزيادة سرعة الشحن (كأثر مشترك

لتطبيق ITS وتأمين الشبكة H1 و H2). النتيجة الأكثر دلالة هي الزيادة المتوقعة في الناتج المحلي الإجمالي الحقيقي (Real GDP) بنسبة 2.85% بحلول عام 2030 مقارنة بخط الأساس (سيناريو عدم التحول). هذه الزيادة تعكس التأثير المضاعف للاستثمار الأولي والتحسين في الكفاءة اللوجستية، مما يتوافق مع المضاعف الاقتصادي المرتفع الذي يولده الاستثمار في السكك الحديدية. كما أن الأثر على التجارة الخارجية هائل، حيث تزداد الصادرات الكلية بنسبة 5.12%. هذا النمو القوي مدفوع بشكل خاص بالقطاعات التي تعتمد على مدخلات حساسة للوقت وتلك التي تتطلب نقلاً سريعاً، مثل الصناعات التحويلية والمنتجات الزراعية. وتظهر النتائج العالمية المشابهة أن خفض تكاليف النقل يتيح للاقتصادات التخصص في تصدير المنتجات الحساسة للوقت. كذلك، فإن الزيادة في التوظيف الكلي بنسبة 1.95% تشير إلى خلق فرص عمل جديدة، ليس فقط في قطاع النقل السككي وإعادة التأهيل، بل في القطاعات الداعمة والصناعات التي تستفيد من انخفاض تكاليف النور. هذا يبرهن على أن الاستثمار في البنية التحتية السككية المرقمة هو أداة فعالة للتنمية الاقتصادية الشاملة وإعادة البناء، وتثبت بالتالي الجدوى الاقتصادية الكلية للفرضية H3.¹³

الجدول رقم 9: مقارنة مؤشرات الأداء اللوجستي (LPI) المرتكزة على البنية التحتية والموثوقية

¹³ Wen, Xin, et al. "Impacts of the Belt and Road Initiative on the China-Europe trading route selections." Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review 122 (2019): 581-604.

المؤشر اللوجستي	القيمة الأساسية (2010)	القيمة المستهدفة (2030)	الربط الاستراتيجي (ITS/Security)
مؤشر جودة البنية التحتية للنقل	2.1 (من 5)	4.0	التحول الرأسمالي (5.5 مليار دولار)
كفاءة التخليص الجمركي	2.5 (من 5)	3.9	الأتمتة والرقمنة (ITS)
موثوقية سلاسل الإمداد (Schedule Reliability)	55%	90%	الحماية الذكية كما في الفرضية الثانية ((H2
متوسط حجم الشحن بالطن-كم (سنوياً)	1.8 مليار	5.0 مليار	العائد الاقتصادي كما في الفرضية الثالثة ((H3

المصدر: البنك الدولي (LPI – Logistics Performance Index)، مكتب تنظيم السكك الحديدية (ORR)، مؤشرات الأداء اللوجستي المرجعية (Benchmarked LPI Metrics) بواسطة برنامج R-Studio (Package: LPI Analysis)

توضح مؤشرات الأداء اللوجستي (LPI) مدى التحول المطلوب لضمان تنافسية سورية اللوجستية في المنطقة، والتي ترتبط بشكل لا ينفصل بنجاح الفرضيتين 1H

و H2. مؤشر جودة البنية التحتية، الذي كان 2.1 في عام 2010، يستهدف الوصول إلى 4.0 من 5. هذا الهدف الطموح لا يمثل مجرد استثمار الـ 5.5 مليار دولار في الأصول المادية، بل يشير إلى ضرورة دمج التكنولوجيا المتقدمة في البنية التحتية (مثل أنظمة التحكم بالإشارات المرقمة). كذلك، فإن كفاءة التخليص الجمركي، المستهدفة عند 3.9، تعتمد كلياً على تطبيق ITS. الرقمنة والأتمتة هما السبيل الوحيد لخفض زمن الانتظار عند الحدود (Dwell Time) من 18.5 ساعة إلى 4.0 ساعات (الجدول 1.3)، مما يعكس تحسناً كبيراً في كفاءة المعاملات اللوجستية. المؤشر الأهم الذي يترجم الأمن كما في الفرضية الثانية (H2) إلى قيمة تجارية هو "موثوقية سلاسل الإمداد" (Schedule Reliability). إن رفع هذا المؤشر من 55% إلى 90% يمثل شرطاً حاسماً لجذب الناقلين الإقليميين. فالشركات اللوجستية الدولية تتخذ قراراتها بناءً على الثقة في أن البضائع ستصل في الوقت المحدد؛ وأي نقص في الموثوقية، سواء بسبب الأعطال (H1) أو الاختراقات الأمنية كما في الفرضية الثانية (H2)، يقضي على جاذبية الممر السوري. هذه الموثوقية المعززة تسمح بالوصول إلى هدف "متوسط حجم الشحن" البالغ 5.0 مليار طن-كم سنوياً، مما يضمن العائد الاقتصادي الكبير الذي تم تقديره في نموذج الجاذبية (4.8 مليار دولار من التجارة الإضافية)، وبذلك يكتمل المسار السببي للتحول الاستراتيجي.¹⁴

الخاتمة

¹⁴ Huang, Daozheng, Sean Loughney, and Jin Wang. "Identification of China's strategic transport passages in the context of the belt and road initiative." *Maritime Policy & Management* 50.5 (2023): 582-607.

يُمثل التحوّل الاستراتيجي للنقل السككي للبضائع في سورية نموذجاً رائداً لإعادة الإعمار في مرحلة ما بعد الصراع، حيث تتبنى وزارة النقل السورية استراتيجية تعتمد على الرقمنة والأمن السيبراني كركائز أساسية للجدوى الاقتصادية، متجاوزة المفهوم التقليدي للإصلاح المادي البحت. وتحت إشراف الوزارة، أثبت التحليل الكمي المعمق باستخدام المنهجية الهجينة (DEA, SEM, GMM, CGE) صحة الفرضيات الرئيسية للبحث؛ إذ يجد الاستثمار المطلوب (5.5 مليار دولار) شرعيته الاقتصادية في قدرة الوزارة على تعظيم الكفاءة التشغيلية عبر تفعيل أنظمة النقل الذكية (ITS)، مما يحقق وفورات ملموسة في النفقات التشغيلية (OpEx) ويرفع كفاءة الأصول. (H1)

ومع ذلك، تدرك وزارة النقل أن هذه الكفاءة الرقمية تتطلب إطار 'حماية ذكية' صارماً؛ حيث أظهرت نتائج نمذجة (SEM) أن مرونة الشبكة (Dependability) هي المتغير الوسيط الحاسم (بمعامل تأثير 0.74) الذي يربط بين الاستثمارات الأمنية والجاذبية الإقليمية للشبكة. (H2) وفي هذا السياق، تبرز أهمية دور الوزارة في الموازنة بين متطلبات الأمن السيبراني (NIST) ومعايير السلامة السككية العالمية (RAMS) لضمان استمرارية الخدمة ومنع التعطيل.

إن النتيجة النهائية لهذا التحوّل، الذي تقوده وزارة النقل، هي إعادة تموضع سورية كـ 'جسر لوجستي' ذكي وموثوق. وقد أكدت النمذجة الاقتصادية الأثر الماكرو-اقتصادي لهذا التوجه، حيث يتوقع نموذج الجاذبية زيادة التجارة الإقليمية بنسبة 35%، بينما تشير محاكاة (CGE) إلى نمو الناتج المحلي الإجمالي بنسبة

2.85%. وتعمل الوزارة حالياً على ضمان أن يراعي هذا النمو استيعاب 'الاقتصاد غير الرسمي، ومعالجة 'الاختناقات الإنتاجية' في القطاعات الأخرى، لضمان أن يؤدي خفض كلفة النقل إلى دعم المنتج المحلي وتعزيز التنافسية السيادية مقابل الممرات الإقليمية المنافسة (مثل طريق التنمية العراقي). إن هذا التناغم المنهجي يثبت أن التحول السككي ليس مجرد مشروع بنية تحتية، بل هو رؤية وطنية متكاملة تضمن عائداً مستداماً يمول مستقبل النقل في سورية".

النتائج

1. الكفاءة التشغيلية (DEA): يحقق تفعيل ITS في ممر الفوسفات-طرطوس كفاءة نسبية قدرها 0.95، بينما تظهر الشبكة الإقليمية الأوسع كفاءة أولية قدرها 0.61، مما يحدد ضرورة توجيه الاستثمار التقني للمناطق الأقل كفاءة.
2. العائد على الاستثمار (NPV): يبلغ إجمالي صافي القيمة الحالية (NPV) لتطبيق ITS مبلغ -228.60 مليون دولار بعد خمس سنوات (بمعدل خصم 8%)، مما يشير إلى أن المشروع يتطلب 8 سنوات للوصول إلى نقطة التعادل الإيجابية.
3. المضاعف الأمني (B/C Ratio): بلغت نسبة العائد إلى التكلفة (oB/C Rati) لإطار "الحماية الذكية" 3.18:1، أي تحقيق عائداً قدره 3.18 دولار مقابل كل دولار واحد يُنفق، مما يثبت أن كل دولار يُنفق على الأمن يولد 3.18 دولاراً من الخسائر المتجنبة (الخسائر المتجنبة السنوية الإجمالية 270 مليون دولار).

4. الأثر السببي (SEM): أظهرت نمذجة المعادلة الهيكلية أن "مرونة الشبكة" تعمل كمتغير وسيط أساسي، بمعامل انحدار معياري قدره 0.74، يربط بشكل حاسم بين الحماية الذكية وجاذبية النقل الإقليمي.

5. تسهيل التجارة (KPI): من المتوقع أن ينخفض متوسط زمن الانتظار النظيف عند الحدود (Dwell Time) من 18.5 ساعة إلى 4.0 ساعات، نتيجة لتطبيق الأتمتة ورقمنة الإجراءات الجمركية المتكاملة.

6. الأثر الاقتصادي الإقليمي (Gravity Model): يقدر نموذج الجاذبية (GMM) أن تفعيل المحور السككي السوري يضيف 0.35 نمواً إضافياً للتجارة الثنائية الإقليمية، مما يترجم إلى حجم تجارة إضافي متوقع يبلغ 4.8 مليار دولار سنوياً.

7. النمو الكلي (CGE): أدت محاكاة خفض تكاليف النقل السككي بنسبة 30% إلى زيادة متوقعة في الناتج المحلي الإجمالي الحقيقي (Real GDP) بنسبة +2.85%، مع زيادة في الصادرات الكلية بلغت +5.12%.

التوصيات

1. تمويل المراحل الأولى: يجب تفعيل نموذج الشراكة بين القطاعين العام والخاص (BOT) بتركيز فوري على ممرات الإيرادات العالية (الفوسفات والموانئ) لضمان تحقيق كفاءة 0.95 وتوليد التمويل الذاتي للمراحل اللاحقة لإعادة التأهيل.
2. أمن استباقي كأولوية قصوى: إدراج "الحماية الذكية" كمرحلة سابقة لأي توسع في ITS، وتخصيص 85 مليون دولار سنوياً لتطبيق إطار NIST لحماية أنظمة OT/ICS الحيوية، نظراً لنسبة العائد/التكلفة المرتفعة

3. إطار حوكمة البيانات الإقليمية: إطلاق مفاوضات إقليمية عاجلة لوضع معايير موحدة لتبادل البيانات اللوجستية المشتركة (Data Governance) بين السكك الحديدية السورية والدول المجاورة لتقليل زمن الانتظار (Dwell Time) إلى 4.0 ساعات.

4. الاستثمار في المرونة السيبرانية: تحويل التركيز من الكشف إلى الاستجابة والتعافي (Resilience)، وتخفيض متوسط وقت الاستجابة للحدث السيبراني (Cyber-MTTR) إلى 30 دقيقة عبر أنظمة SIEM المتقدمة والتدريب الممنهج.

5. تتبنى وزارة النقل برنامجاً وطنياً لبناء القدرات البشرية، يهدف إلى استعادة الخبرات المهاجرة وتدريب الكوادر المحلية على إدارة الأنظمة السيبرانية المعقدة، لضمان السيادة الرقمية الكاملة على هذا الشريان الاقتصادي الحيوي

6. التخصّص في التجارة الحساسة للوقت: استغلال الأثر الإيجابي لنموذج GEC والتركيز على تسهيل نقل المنتجات سريعة التلف والصناعات التحويلية الحساسة للوقت، لتعزيز زيادة الصادرات المتوقعة (+5.12%).

7. تبني الصيانة التنبؤية بالذكاء الاصطناعي: يجب أن يشمل الإنفاق الرأسمالي لـ ITS نشر أجهزة استشعار IIoT ونماذج الذكاء الاصطناعي لتحقيق دقة تنبؤ بالأعطال لا تقل عن 92% لضمان استدامة الكفاءة التشغيلية (H1).

8. إنشاء مؤشر أداء مركزي: تأسيس هيئة مستقلة لقياس ومراقبة المؤشرات الرئيسية (KPIs) باستمرار، لضمان أن الاستثمار يترجم فعلياً إلى تحسن في مؤشر موثوقية سلاسل الإمداد (Schedule Reliability) إلى 90%.

المصادر والمراجع :

- 1.Cordoş, Nicolae, et al. "An Overview of Intelligent Transportation Systems in Europe." World Electric Vehicle Journal 16.7 (2025): 387.
- 2.Dimitrov, Dimitar. "Digitization and intelligent management systems in transport: an overview of problems and solutions." ENVIRONMENT. TECHNOLOGY. RESOURCES. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference. Vol. 2. 2024.
- 3.Farkas, Z. Andrew, Norbert Pap, and Péter Reményi. "Hungary's place on Eurasian rail land bridges and the eastern opening." Hungarian Geographical Bulletin 65.1 (2016): 3–14.

4. Ge, Chenyu, and Shengfeng Qin. "Digital twin intelligent transportation system (DT-ITS)—A systematic review." *IET Intelligent Transport Systems* 18.12 (2024): 2325–2358.
5. GUDĂNESCU, Nicoleta. "Digitalization in Urban Transport: The Role of Artificial Intelligence (AI) in Building Efficient, Safe, and Sustainable Mobility Systems." *EU Economy And Its Main Priorities* (2024).
6. Huang, Daozheng, Sean Loughney, and Jin Wang. "Identification of China's strategic transport passages in the context of the belt and road initiative." *Maritime Policy & Management* 50.5 (2023): 582–607.
7. Ibadah, Nisrine, César Benavente–Peces, and Marc–Oliver Pahl. "Securing the future of railway systems: a comprehensive cybersecurity strategy for critical on–board and track–side infrastructure." *Sensors* 24.24 (2024): 8218.
8. Priscoli, Francesco Delli, et al. "Ensuring cyber–security in smart railway surveillance with SHIELD." *International Journal of Critical Computer–Based Systems* 7.2 (2017): 138–170.

9. Rekik, Mouna, Christophe Gransart, and Marion Berbineau. "Cyber–physical threats and vulnerabilities analysis for train control and monitoring systems." 2018 International Symposium on Networks, Computers and Communications (ISNCC). IEEE, 2018.
10. Singh, Rajesh, et al. "Highway 4.0: Digitalization of highways for vulnerable road safety development with intelligent IoT sensors and machine learning." Safety science 143 (2021): 105407.
11. Wang, Zezhou, and Xiang Liu. "Cyber security of railway cyber–physical system (CPS)—A risk management methodology." Communications in Transportation Research 2 (2022): 100078.
12. Wen, Xin, et al. "Impacts of the Belt and Road Initiative on the China–Europe trading route selections." Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review 122 (2019): 581–604.
13. Ye, Chong, et al. "The impact of high–speed railway opening on regional economic growth: the case of the

Wuhan–Guangzhou high–speed railway line." Sustainability
14.18 (2022): 11390

إعداد: محمود أحمد علي
إجازة في الجغرافيا/ جامعة دمشق