العوامل التشغيلية وتأثيرها على الزمن الدوري والجداول الزمنية لسفن الحاويات المنتظمة (دراسة حالة محطة حاويات قناة السويس و محطة حاويات دمياط)

اعداد
محمد منصور فريد نجا [١]، مصطفي عبد الحافظ [٢]
[١] شركة هاباج لويد ايجيبت
[٢] الأكاديمية العربية للعلوم والتكنولوجيا والنقل البحري

DOI NO. https://doi.org/10.59660/527243
Received 12/10/2025, Revised 20/11/2025, Acceptance 08/01/2026, Available online 01/07/2026

Abstract

This study addresses a critical challenge in contemporary maritime transport, namely the decline in schedule reliability of liner shipping services and the associated increase in vessel turnaround time (VTT) at ports. Recent international data indicate that global schedule reliability fell to 65.3% in August 2025, with an average delay of 4.8 days for late vessels, reflecting persistent operational inefficiencies that negatively affect global maritime networks and supply chain stability (Sea-Intelligence, 2025). World Bank reports further confirm that port congestion has increased vessel waiting times by up to 12%, intensifying economic pressures on shipping lines and cargo owners. (World Bank, 2025)

The study aims to analyze the impact of operational factors within container terminals on vessel turnaround time and schedule reliability, using the Suez Canal Container Terminal and Damietta Container Terminal as case studies. A mixed-methods approach was adopted through an explanatory sequential design with embedded simulation. Quantitative analysis employed multiple regression to assess the determinants of VTT and logistic regression to examine its effect on schedule reliability, while qualitative comparative case studies were used to interpret results within each port's operational context. Discrete Event Simulation (DES) was applied to test alternative operational scenarios prior to implementation.

The findings reveal that operational factors explain approximately 71% of the variance in vessel turnaround time. Handling volume, yard density, and arrival delays significantly increase VTT, whereas higher crane density leads to a statistically significant reduction. Moreover, VTT emerged as the most influential determinant of schedule reliability, with each additional hour spent in port increasing the probability of delay at the subsequent port by nearly 8%, confirming the existence of a domino effect within maritime networks. The results also show that VTT acts as a mediating variable through which operational factors affect schedule reliability.

The study recommends improving operational resource allocation—particularly cranes and yard capacity—enhancing institutional coordination among port stakeholders, expanding digitalization and smart scheduling systems, and adopting simulation-based decision support tools. These measures can reduce vessel turnaround time, improve schedule reliability, and strengthen the global competitiveness of Egyptian ports.

المستخلص

تتناول هذه الدراسة مشكلة رئيسية في صناعة النقل البحري المعاصرة، وهي تراجع موثوقية الجداول الزمنية للخطوط الملاحية وارتفاع الزمن الدوري للسفن داخل الموانئ .(Vessel Turnaround Time – VTT) وتشير البيانات إلى أن الالتزام العالمي بالجداول الزمنية لم يتجاوز ٦٥.٣% في أغسطس ٢٠٢٥، مع متوسط تأخير بلغ ٤.٨ أيام، مما يعكس اختلالات تشغيلية تؤثر على كفاءة الشبكات البحرية واستقرار سلاسل الإمداد.(Sea-Intelligence, 2025) كما أظهرت تقارير البنك الدولي أن ازدحام الموانئ زاد زمن انتظار السفن بنسبة تصل إلى ١٢%، مما يزيد الأعباء الاقتصادية على شركات الشحن وأصحاب البضائع (World Bank, 2025).

هدفت الدراسة إلى تحليل أثر العوامل التشغيلية في محطات الحاويات على الزمن الدوري للسفن وموثوقية الجداول الزمنية، مع تطبيق الدراسة على محطتي حاويات قناة السويس ودمياط، واستخدمت منهجية مختلطة تضمنت تحليلًا كميًا باستخدام الانحدار المتعدد واللوجستي، ودراسة حالة مقارنة، بالإضافة إلى نمذجة المحاكاة بالأحداث المنفصلة (DES) لاختبار سيناريوهات تشغيلية بديلة.

أظهرت النتائج أن العوامل التشغيلية تفسر نحو ٧١% من التباين في الزمن الدوري، حيث يزيد حجم المناولة وكثافة الساحة والتأخير عند الوصول الزمن الدوري، في حين يقلله ارتفاع كثافة الرافعات. كما تبين أن الزمن الدوري للسفن هو العامل الأكثر تأثيرًا على موثوقية الجداول الزمنية، إذ تزيد كل ساعة إضافية في الميناء من احتمال التأخير في الميناء التالي بنسبة ٨%، مؤكدةً وجود تأثير الدومينو. كما يعمل الزمن الدوري كمتغير وسيط يربط بين العوامل التشغيلية وموثوقية الجداول.

وتوصي الدراسة بتحسين تخصيص الموارد التشغيلية، خاصة الرافعات والساحات، وتعزيز التنسيق المؤسسي، وتوسيع الرقمنة واستخدام نظم الجدولة الذكية والتحليل اللحظي للبيانات، إلى جانب تبني أدوات المحاكاة لدعم اتخاذ القرار، بما يساهم في تقليل الزمن الدوري للسفن، رفع موثوقية الجداول الزمنية، وتعزيز تنافسية الموانئ المصرية عالميًا.

١. مقدمة

تشكل محطات الحاويات عنصرًا محوريًا في كفاءة التجارة البحرية العالمية، إذ يرتبط أداؤها التشغيلي مباشرة بموثوقية سلاسل الإمداد وتكلفة النقل البحري، وقد أسهمت التوترات الجيوسياسية والتحولات في أنماط التجارة في زيادة ازدحام الموانئ عالميًا، حيث سجلت تقارير الأونكتاد ارتفاعًا ملحوظًا في أزمنة انتظار السفن وأوقات الرسو خلال عام ٢٠٢٤، سواء في الدول المتقدمة أو النامية، مع زيادات وصلت إلى ١٥% في بعض الموانئ خلال فترات الذروة (UNCTAD, 2025). ويعد الزمن التشغيلي للسفينة (Turnaround Time) مؤشرًا حاسمًا في قرارات الخطوط الملاحية، نظرًا لتأثيره المباشر على التكاليف التشغيلية والالتزام بالجداول الزمنية (حسام البدوى واخرون، ٢٠٢٥)، إذ تشير الدراسات إلى أن كل ساعة إضافية في زمن التوقف قد ترفع تكلفة التشغيل بنسبة تتراوح بين ١.٥% و٢% لكل سفينة (Vacca et al., 2007)، مع تسجيل ارتفاع متوسط زمن توقف سفن الحاويات عالميًا إلى نحو ٠.٨ يوم، ووصوله إلى ١.٢ يوم لبعض السفن العملاقة في المحطات المزدحمة. (UNCTAD, 2025)

تمثل محطة حاويات قناة السويس (SCCT) ومحطة حاويات دمياط نموذجين ملائمين لدراسة هذه الديناميكيات في البيئة المصرية، في ظل الاستثمارات التوسعية والتكنولوجية الكبيرة التي شهدتاها مؤخرًا. فقد أسهمت توسعات SCCT، المدعومة باستثمارات رأسمالية وتمويل دولي من مؤسسة التمويل الدولية، في رفع الطاقة الاستيعابية وتحسين الكفاءة التشغيلية، إلى جانب تبني تقنيات صديقة للبيئة مثل الرافعات الكهربائية، بما انعكس على تقليل الانبعاثات وتحسين زمن دوران السفن (APM Terminals, 2025؛ IFC, 2025). وتؤكد الأدبيات أن استخدام أدوات المحاكاة والنماذج الرقمية والذكاء الاصطناعي يمكن أن يحقق خفضًا ملموسًا في أزمنة الانتظار وتحسينًا في تخصيص الموارد التشغيلية. (Said et al., 2014؛ Zhai et al., 2022)

تهدف هذه الدراسة إلى تحليل العوامل التشغيلية المؤثرة على الزمن الدوري للسفن في محطتي SCCT ودمياط، وقياس أثرها على الجداول الزمنية، بما يسهم في سد فجوة بحثية قائمة وتقديم توصيات علمية عملية لتعزيز الكفاءة التنافسية للموانئ المصرية وفق أفضل الممارسات العالمية.

٢. الإطار النظري والتحليلي لدراسة العوامل التشغيلية في محطات الحاويات المصرية

١.٢ ثورة الحاويات وتحول أنماط التجارة العالمية: من النقل السائب إلى سلاسل الإمداد البحرية الحديثة

شهد النقل البحري تحولًا جوهريًا مع ظهور نظام الحاويات الموحد منذ منتصف القرن العشرين، ما أسهم في تقليص أزمنة المناولة وخفض تكاليف النقل، ودعم نشوء سلاسل إمداد عالمية مترابطة. ومع تطور أحجام سفن الحاويات وظهور السفن العملاقة، تحققت وفورات الحجم، إلا أن ذلك فرض ضغوطًا تشغيلية متزايدة على الموانئ، أبرزها ازدحام الأرصفة والساحات وارتفاع الزمن الدوري للسفن، ما جعل كفاءة الإدارة التشغيلية عاملًا حاسمًا في الحفاظ على موثوقية الجداول الزمنية (Levinson, 2016; Stopford, 2009; Notteboom & Rodrigue, 2023).

٢.٢ تحليل الاضطرابات الكبرى وتأثيرها على النقل البحري

جدول رقم (١) تحليل الاضطرابات الكبرى وتأثيرها على النقل البحري

الحدث	الفترة	السبب الرئيسي	التأثير على الشحن	الأثر الاقتصادي
جائحة كوفيد-١٩	٢٠٢٠–٢٠٢٢	إغلاقات المصانع ونقص العمالة	ازدحام الموانئ، نقص الحاويات	ارتفاع أسعار الشحن، تضخم السلع (UNCTAD, 2022)
انسداد قناة السويس (Ever Given)	مارس ٢٠٢١	جنوح سفينة عملاقة	توقف الملاحة ٦ أيام	خسائر ٩.٦ مليار دولار/يوم (World Bank, 2021)
أزمة البحر الأحمر	٢٠٢٣–مستمر	هجمات جيوسياسية	تحويل مسارات السفن، زيادة ١٠–١٢ يوماً	تضاعف مؤشر SCFI، زيادة الوقود والانبعاثات (SCFI, 2023)

المصدر: (UNCTAD, 2022) (World Bank, 2021) (SCFI, 2023)

أبرزت الاضطرابات العالمية الأخيرة، مثل جائحة كوفيد-١٩، وانسداد قناة السويس، وأزمة البحر الأحمر، هشاشة سلاسل الإمداد البحرية واعتمادها الكبير على كفاءة الموانئ. فقد أدت هذه الأزمات إلى ارتفاع أزمنة الانتظار وعدم انتظام الجداول الزمنية، ما أكد أن تحسين الأداء التشغيلي داخل الموانئ يمثل أحد أهم أدوات امتصاص الصدمات وتقليل انتقال التأخيرات عبر الشبكات البحرية (UNCTAD, 2022; World Bank, 2021; Sea-Intelligence, 2025).

٣.٢ السياق المصري وأهمية الموانئ الاستراتيجية

مصر تتمتع بموقع استراتيجي محوري في التجارة البحرية العالمية عبر قناة السويس، ما يجعل أداء الموانئ المصرية عاملًا رئيسيًا في موثوقية الجداول الزمنية وكفاءة سلاسل الإمداد العالمية. ورغم التطورات في البنية التحتية والتقنيات التشغيلية بمحطتي SCCT ودمياط، لا تزال تحديات مثل كثافة الساحات وزمن دوران السفن والسفن العملاقة تؤثر على استدامة الأداء. ويبرز تحليل هذه التحديات أهمية خاصة في ضوء أهداف "رؤية مصر ٢٠٣٠" لتعزيز تنافسية الموانئ كمراكز لوجستية عالمية قائمة على الكفاءة التشغيلية والرقمنة والاستدامة البيئية (Tolba et al., 2018; UNCTAD, 2023; Ministry of Transport, 2022; SCCT Annual Report, 2024).

٤.٢ الزمن الدوري للسفينة وموثوقية الجداول الزمنية: الرابط بين الأداء التشغيلي وجودة الخدمة

يعد الزمن الدوري للسفينة (VTT) المعيار الأساسي لقياس الأداء التشغيلي في الموانئ، إذ يحدد الفترة الزمنية منذ وصول السفينة حتى مغادرتها الرصيف، شاملاً زمن الانتظار والمناولة، ويعكس كفاءة العمليات والبنية التحتية الداخلية (Tolba et al., 2018). وترتبط موثوقية الجداول الزمنية (Schedule Reliability) بجودة الخدمة البحرية، حيث تمكن الشاحنين من التخطيط الفعال للمخزون وتقليل التكاليف، وتؤثر على شركات الشحن من حيث السمعة والتكاليف التشغيلية والانبعاثات (Lee et al., 2011؛ Sea Intelligence, 2025). يشكل الزمن الدوري للسفينة متغيرًا وسيطًا في سلسلة سببية تؤثر على موثوقية الجداول، إذ يؤدي أي زيادة في زمن الدوران إلى استهلاك الوقت الاحتياطي وارتفاع احتمالية التأخير في الموانئ التالية، مع تأثر الموثوقية أيضًا بعوامل خارجية مثل الأحوال الجوية، ازدحام الممرات المائية، وقرارات الناقل الاستراتيجية. (UNCTAD, 2025 ؛Alessandria et al., 2023)

٥.٢ إطار تحليلي للعوامل التشغيلية المؤثرة على الزمن الدوري للسفينة وموثوقية الجداول الزمنية

لتقييم تأثير العوامل التشغيلية على الزمن الدوري للسفينة (VTT) وموثوقية الجداول الزمنية، يمكن تصنيفها بإيجاز إلى ثلاث فئات رئيسية:

عوامل الميناء: وتشمل كفاءة البنية التحتية والمعدات والعمليات التشغيلية، إضافة إلى دور الرقمنة والأتمتة والربط مع المناطق الداخلية في تحسين تخصيص الموارد وتقليل زمن التوقف (Tolba et al., 2018; MDPI, 2023).

عوامل الناقل: وتتعلق بخصائص السفن والبضائع، إلى جانب استراتيجيات الشبكة والجدولة مثل الوقت الاحتياطي وتكرار الخدمة وتخطي الموانئ للحد من التأخيرات (Alessandria et al., 2023).

العوامل النظامية والخارجية: وتشمل الازدحام المتراكم، الأحوال الجوية، المخاطر الجيوسياسية، والبيئة التنظيمية الدولية، خاصة متطلبات خفض الانبعاثات الصادرة عن المنظمة البحرية الدولية (UNCTAD, 2025).

٣. المنهجية والإطار المفاهيمي للدراسة

تعكس مشكلة الدراسة التراجع الملحوظ في موثوقية الجداول الزمنية لخطوط الحاويات العالمية، حيث تشير بيانات Sea-Intelligence إلى أن معدل الالتزام بالجداول لم يتجاوز ٦٥.٣% في أغسطس ٢٠٢٥، مع متوسط تأخير بلغ ٤.٨ أيام للسفن المتأخرة. يعكس هذا الواقع اختلالات تشغيلية عميقة في الموانئ تؤثر سلبًا

على كفاءة الشبكات البحرية العالمية. كما تؤكد تقارير البنك الدولي أن ازدحام الموانئ أسهم في زيادة زمن انتظار السفن بنسبة ١٢% تقريبًا، مما يفاقم عدم انتظام الجداول ويزيد التكاليف التشغيلية لشركات الشحن وأصحاب البضائع. وفي حين ركزت الدراسات السابقة على عوامل منفردة مثل تخصيص الأرصفة أو جدولة الرافعات، فإنها تفتقر إلى نموذج تحليلي متكامل يربط بين العوامل التشغيلية داخل محطات الحاويات والزمن الدوري الفعلي للسفن وموثوقية الجداول الزمنية، وهو ما تسعى هذه الدراسة إلى معالجته في السياق المحلي للموانئ المصرية.

يهدف البحث إلى تحليل أثر العوامل التشغيلية في محطات الحاويات على الزمن الدوري للسفن وموثوقية الجداول الزمنية للخطوط الملاحية المنتظمة، مع التركيز على محطتي حاويات قناة السويس ودمياط. وتتفرع من هذا الهدف الرئيسي مجموعة من الأسئلة البحثية الفرعية التي تتناول تحديد العوامل التشغيلية الرئيسة داخل المحطات، وقياس تأثيرها على الالتزام بالجداول الزمنية، وتحليل العلاقة بين كفاءة المناولة وتخصيص الموارد وبين تقليل زمن الدوران للسفن، إضافة إلى دراسة انتقال الاضطرابات التشغيلية وتأثيرها على أداء الشبكة البحرية ككل، واستكشاف الفروق التشغيلية بين المحطتين.

تعتمد الدراسة على منهج مختلط باستخدام تصميم تفسيري متسلسل مع مكون محاكاة مضمن، يجمع بين التحليل الكمي والنوعي والنمذجة التنبؤية. تشمل المرحلة الكمية استخدام تحليل الانحدار المتعدد لقياس أثر العوامل التشغيلية وخصائص السفن على الزمن الدوري وموثوقية الجداول الزمنية، بينما تهدف المرحلة النوعية إلى دراسة حالة مقارنة بين ميناء دمياط وSCCT لتفسير الاختلافات في الأداء التشغيلي والسياسات التنظيمية والبنية التحتية. أما المرحلة الثالثة فتركز على تطبيق نمذجة الأحداث المنفصلة لمحاكاة العمليات التشغيلية واختبار سيناريوهات مختلفة لتحسين الأداء قبل التنفيذ الفعلي، بما يتيح استشراف أثر المبادرات والسياسات المستقبلية على الكفاءة التشغيلية للموانئ.

يتكون مجتمع الدراسة من جميع السفن المنتظمة والمحطات التشغيلية والعاملين والخبراء بالميناءين، ويشمل بيانات كمية حول حركة السفن وإنتاجية الرافعات وكثافة الساحات وأوقات الانتظار، إضافة إلى آراء الخبراء حول كفاءة العمليات وانتظام الجداول الزمنية. تم اختيار عينة قصدية مكونة من ٥٠ سفينة و١٢٠ عاملًا وخبيرًا لضمان تمثيل كافٍ للمجتمع المستهدف، مع الالتزام بالمعايير الأخلاقية والسرية وموافقة المشاركين الطوعية، ما يعزز موثوقية النتائج وسلامة الاستنتاجات البحثية.

١.٣ مؤشرات الأداء والربط الملاحي: مقارنة دولية

يوفر التحليل الدولي لمؤشرات الأداء إطارًا موضوعيًا لتقييم مكانة الموانئ المصرية ضمن المشهد التنافسي العالمي، بالاعتماد على ثلاثة مقاييس رئيسية: مؤشر أداء موانئ الحاويات (CPPI) لقياس الكفاءة التشغيلية، مؤشر الربط الملاحي للخطوط المنتظمة (LSCI) لقياس التكامل مع شبكة الشحن العالمية، وحجم التداول السنوي لقياس القدرة السوقية. يوضح التحليل أن ميناء شرق بورسعيد (SCCT) يحتل المركز الثالث عالميًا والأول إفريقيًا في CPPI لعام ٢٠٢٤، مدعومًا بتحديثات تشغيلية متقدمة وأنظمة مجتمع الموانئ الرقمية، فيما يعكس ميناء دمياط نجاح التحول المؤسسي والنمو المتسارع، حيث سجل أعلى نسبة تغير في الإنتاجية على المستوى العالمي وفق تصنيف Lloyd's List بنسبة ٦٠.٢%.

يعكس هذا التباين بين الميناءين المصريين اختلاف ملفات الكفاءة؛ SCCT يمثل الكفاءة الثابتة، بينما يعكس دمياط التحسن الديناميكي، مع تحديات الحفاظ على الأداء والابتكار المستمر لكل منهما. وعلى صعيد الربط الملاحي، تحتل مصر مرتبة متقدمة نسبيًا، لكن بعض الموانئ المنافسة مثل طنجة المتوسط وجبل علي لا تزال تتفوق في عدد الخطوط وكثافة الخدمات المباشرة، ما يؤكد الحاجة لتعزيز الربط وتحسين التكامل مع الشبكة العالمية لتعزيز القدرة التنافسية للموانئ المصرية. (CPPI. 2024; SCCT Annual Report. 2024; Lloyd's List. 2024)

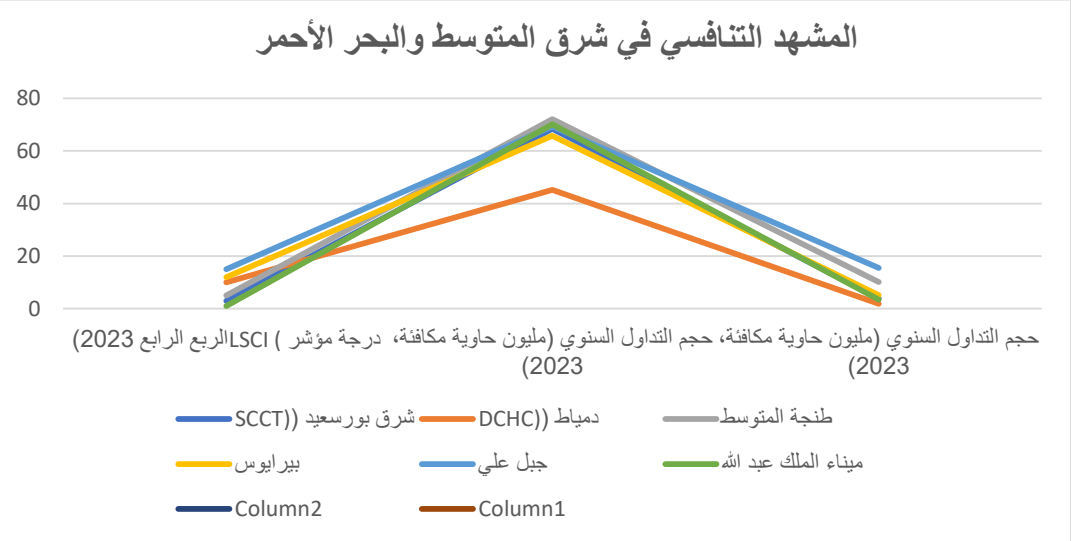
٢.٣ دراسات حالة في تطوير الموانئ: SCCT وDCHC

جدول (2) مؤشرات الأداء المقارنة للموانئ المحورية الرئيسية في شرق المتوسط والشرق الأوسط وشمال أفريقيا (بيانات ٢٠٢٣-٢٠٢٤)

الميناء	الدولة	الترتيب العالمي في مؤشر CPPI (2024)	درجة مؤشر LSCI الربع الرابع (٢٠٢٣)	حجم التداول السنوي مليون حاوية مكافئة، (٢٠٢٣)
شرق بورسعيد (SCCT)	مصر	3	68.5	4.0
دمياط (DCHC)	مصر	10 (تحسن كبير)	45.2	1.9
طنجة المتوسط	المغرب	5	72.1	10.2
بيرايوس	اليونان	12	65.8	5.2
جبل علي	الإمارات	15	69.3	15.5
ميناء الملك عبد الله	السعودية	1	70.1	3.5

المصدر: (CPPI, 2024)

تعكس المقارنة بين محطتي SCCT ودمياط اختلاف نماذج الكفاءة التشغيلية، حيث تمثل SCCT نموذج الكفاءة المستقرة المدعومة بالتوسع الرأسمالي والتقنيات المتقدمة، بينما يعكس ميناء دمياط نموذج التحسن الديناميكي القائم على التحول المؤسسي والرقمنة. ويبرز هذا التباين أهمية مواءمة الاستثمارات التشغيلية مع خصائص الطلب ودور الميناء داخل الشبكة البحرية. (CPPI, 2024; Lloyd's List, 2024) (UNCTAD, 2023؛ APM Terminals, 2024؛ SCCT Annual Report, 2024)



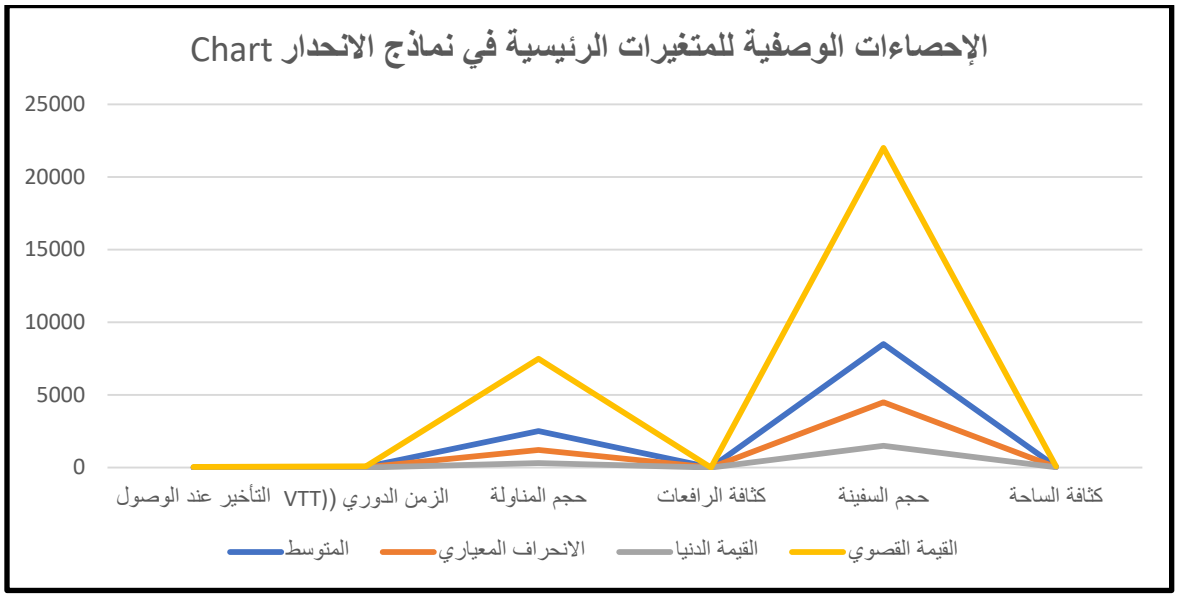
شكل (١) المشهد التنافسي في شرق المتوسط والبحر الأحمر المصدر: (CPPI, 2024)

٣.٣ التحليل القياسي لمحددات أداء الموانئ

استندت الدراسة إلى مجموعة بيانات تشغيلية شاملة تغطي زيارات السفن لمحطتي SCCT وDCHC، مأخوذة من السجلات التشغيلية ونظام التعريف الآلي للسفن (AIS)، شملت خصائص السفينة وحجم المناولة وكفاءة استخدام المعدات ومستويات الازدحام والساحات، توفر الإحصاءات الوصفية لمحة أولية عن طبيعة البيانات، حيث بلغ متوسط الزمن الدوري للسفينة ٣٢.٥ ساعة بانحراف معياري ١٥.٢، ومتوسط حجم المناولة ٢٥٠٠ TEU، مع متوسط كثافة الرافعات ٣.٢ واحتلال الساحات ٦٥%، بينما بلغ التأخير عند الوصول ٤.٥ ساعة. هذه القيم تمثل أساسًا للتحقق من ملاءمة البيانات للنماذج القياسية ولفهم العلاقة بين العوامل التشغيلية والأداء التشغيلي للموانئ، بما يدعم صياغة توصيات عملية قائمة على الأدلة لتحسين الكفاءة التشغيلية وجودة الخدمة.

جدول (٣) الإحصاءات الوصفية للمتغيرات الرئيسية في نماذج الانحدار

المتغير	الوصف	المتوسط	الانحراف المعياري	القيمة الدنيا	القيمة القصوى
الزمن الدوري (VTT)	إجمالي الوقت الذي تقضيه السفينة في الميناء (بالساعات)	32.5	15.2	8.0	95.0
حجم المناولة	إجمالي عدد الحاويات المكافئة المناولة(TEU)	2500	1200	300	7500
كثافة الرافعات	متوسط عدد رافعات الرصيف المخصصة للسفينة	3.2	1.1	1	6
حجم السفينة	سعة السفينة بالـTEU	8500	4500	1500	22000
كثافة الساحة	نسبة إشغال ساحة الحاويات(%)	65	18	30	95
التأخير عند الوصول	مدة تأخر السفينة عن الموعد المجدول (بالساعات)	4.5	8.2	0	48



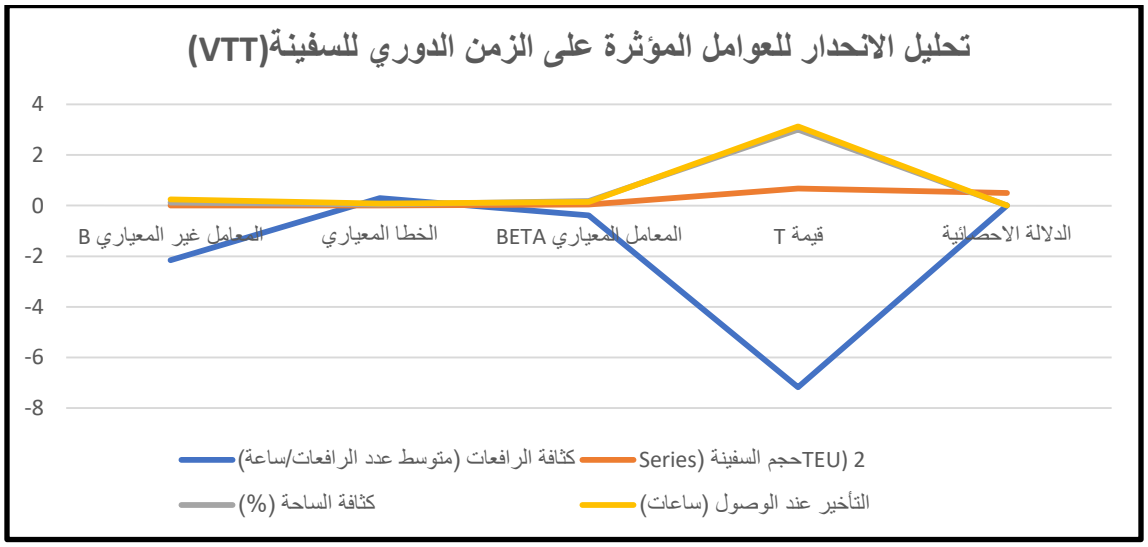
شكل رقم (٢) الإحصاءات الوصفية للمتغيرات الرئيسية في نماذج الانحدار

٤.٣ محددات الزمن الدوري للسفينة (VTT): تحليل الانحدار

جدول (4) تحليل الانحدار للعوامل المؤثرة على الزمن الدوري للسفينة (VTT)

المتغير المستقل	المعامل غير المعياري (B)	الخطأ المعياري	المعامل المعياري (Beta)	قيمة t	الدلالة الإحصائية (p-value)
(المقطع)	12.50	1.85		6.76	$ < 0.001 $
حجم المناولة (TEU)	0.008	0.001	0.45	8.00	$ < 0.001 $
كثافة الرافعات (متوسط عدد الرافعات/ساعة)	-2.15	0.30	-0.38	-7.17	$ < 0.001 $
حجم السفينة (TEU)	0.0002	0.0003	0.04	0.67	0.504
كثافة الساحة (%)	0.12	0.04	0.18	3.00	0.003
التأخير عند الوصول (ساعات)	0.25	0.08	0.15	3.13	0.002
إحصاءات النموذج	0.72				
المعدل	0.71				
إحصائيF	152.4				

تشير نتائج نموذج الانحدار الخطي متعدد المتغيرات إلى أن نحو ٧١% من التباين في الزمن الدوري للسفينة ($R^2 = 0.71$) يمكن تفسيره من خلال المتغيرات المستقلة المدرجة في التحليل. ويعكس هذا المؤشر قوة النموذج التفسيرية وملاءمته لفهم ديناميكيات العمليات التشغيلية في الموانئ المصرية، كما يوفر إطارًا علميًا لتحديد أولويات الاستثمار وإدارة الموارد التشغيلية.



شكل رقم (٣) تحليل الانحدار للعوامل المؤثرة على الزمن الدوري للسفينة (VTT)

٥.٣ العوامل المؤثرة على موثوقية الجداول الزمنية: نموذج الانحدار اللوجستي

يستهدف نموذج الانحدار اللوجستي تحليل العوامل التشغيلية التي تؤثر على احتمالية تأخر السفينة عن جدولها الزمني عند مغادرتها الميناء، وهو مؤشر حاسم لموثوقية الخدمة. يركز النموذج على متغيرات رئيسية تشمل حجم المناولة، كثافة الرافعات، كثافة الساحة، التأخير عند الوصول، ومدى ربط الميناء بالشبكة اللوجستية الداخلية والخارجية. ويسهم هذا التحليل في استنتاج استراتيجيات فعالة لتقليل احتمالية التأخير، وتحسين استقرار الجداول الزمنية، بما يعزز رضا الخطوط الملاحية وقدرة الموانئ المصرية على المنافسة إقليميًا ودوليًا.

جدول رقم (5) العوامل المؤثرة على موثوقية الجداول الزمنية: نموذج الانحدار اللوجستي

المتغير المستقل	المعامل (B)	الخطأ المعياري	نسبة الأرجحية (Odds Ratio)	الدلالة الإحصائية (p-value)
(المقطع)	-1.50	0.45		$ < 0.001 $
الزمن الدوري في الميناء الحالي(VTT)	0.08	0.015	1.08	$ < 0.001 $
الزمن الدوري في الميناء السابق	0.05	0.018	1.05	0.005
زمن العبور البحري (أيام)	0.12	0.05	1.13	0.016
ظروف جوية سيئة (متغير وهمي)	0.65	0.25	1.91	0.009
إحصاءات النموذج				
Pseudo R2 (Nagelkerke)	0.48			

٤. نتائج الدراسة

١.٤ نتائج الفرضيات

١.١.٤ الفرضية الأولى (H1): تأثير العوامل التشغيلية على الزمن الدوري للسفينة (VTT)

أظهر نموذج الانحدار المتعدد (جدول ٥) أن المتغيرات التشغيلية المدرجة تفسر حوالي ٧١% من التباين في الزمن الدوري للسفينة، مما يعكس قوة تأثير هذه العوامل على كفاءة المناولة في الموانئ المصرية. ومن بين النتائج البارزة: حجم المناولة (TEU) أظهر تأثيرًا إيجابيًا قويًا، حيث كل ١٠٠٠ حاوية إضافية تزيد الزمن الدوري بمقدار ٨ ساعات ($p < 0.001$). كما أظهرت كثافة الرافعات تأثيرًا سلبيًا قويًا، إذ كل رافعة إضافية تقلل الزمن الدوري بمقدار ٢.١٥ ساعة ($p < 0.001$)، في حين أظهرت كثافة الساحة تأثيرًا إيجابيًا على الزمن الدوري ($p = 0.003$)، مما يوضح أن ازدحام الساحة يمثل عنق زجاجة رئيسيًا في العمليات.

أما التأخير عند الوصول فقد سجل تأثيرًا إيجابيًا أيضًا ($p = 0.002$)، مؤكدًا وجود "تأثير الدومينو" بين السفن. وفي المقابل، لم يظهر لحجم السفينة تأثير دال إحصائيًا ($p = 0.504$)، مما يشير إلى قدرة الموانئ المصرية على التكيف مع السفن العملاقة بكفاءة. بناءً على هذه النتائج، تم دعم الفرضية الأولى، مؤكدًا الدور الحيوي للعوامل التشغيلية في تحديد الزمن الدوري للسفن.

٢.١.٤ الفرضية الثانية (H2): تأثير الزمن الدوري للسفينة على موثوقية الجداول الزمنية

أظهر نموذج الانحدار اللوجستي أن الزمن الدوري في الميناء الحالي يمثل المتغير الأكثر تأثيرًا وذو دلالة إحصائية عالية ($p < 0.001$) في التنبؤ باحتمالية التأخير في الميناء التالي. كما أظهرت نسبة الأرجحية (Odds Ratio) البالغة ١.٠٨ أن كل ساعة إضافية تقضيها السفينة في الميناء تزيد من احتمالية التأخير في الوصول إلى الميناء التالي بنسبة ٨%. توفر هذه النتائج دليلاً كمياً واضحًا على أن التأخير في الموانئ المصرية يمتد ليؤثر على جداول الموانئ اللاحقة، وهو ما يعزز مفهوم "تأثير الدومينو" في شبكة النقل البحري. وبناءً على هذه النتائج، تم دعم الفرضية الثانية.

٣.١.٤ الفرضية الثالثة (H3): الزمن الدوري للسفينة كمتغير وسيط بين العوامل التشغيلية وموثوقية الجداول الزمنية

تم إثبات هذه الفرضية من خلال تحليل هيكل "تأثير الدومينو"، حيث أظهرت النتائج أن العوامل التشغيلية مثل كثافة الرافعات وكثافة الساحة تؤثر بشكل كبير على الزمن الدوري للسفن (VTT)، وفي الوقت ذاته، يؤثر الزمن الدوري للسفن بشكل كبير على موثوقية الجداول الزمنية (احتمالية التأخير). كما أضاف التحليل دليلًا إضافيًا على انتقال التأخيرات بين الموانئ، إذ أظهر أن الزمن الدوري في الميناء السابق هو متغير دال إحصائيًا ($p = 0.005$) في التنبؤ بتأخير الميناء الحالي، مما يؤكد تأثير الدومينو على الشبكة البحرية. وبناءً على هذه النتائج، تم دعم الفرضية الثالثة، مؤكدة دور الزمن الدوري للسفن كمتغير وسيط يربط بين العوامل التشغيلية وموثوقية الجداول الزمنية.

٢.٤ النتائج الرئيسية: من الكفاءة التشغيلية المحلية إلى موثوقية الشبكات العالمية

- **أهمية الزمن الدوري للسفينة (Average Turnaround Time – ATT):** أظهرت الدراسة أن الزمن الدوري للسفينة يعد مؤشراً مركزياً للأداء التشغيلي في الموانئ، حيث يمتد تأثيره ليشمل التكاليف التشغيلية، كفاءة المناولة، والاستدامة البيئية عبر الشبكات البحرية العالمية. وقد أتاح تحليل الزمن الدوري

إلى مكوناته الأساسية تحديد الاختناقات التشغيلية المرتبطة بالرصيف والساحة والبوابات، فضلاً عن الإجراءات الإدارية، مما يكشف الآليات التي تؤثر على انتظام الجداول الزمنية لسفن الحاويات.

- **المحددات التشغيلية:** أشارت النتائج إلى أن حجم المناولة وحجم السفن يلعبان دوراً مهماً في زيادة الزمن الدوري، إذ أن السفن الأكبر وحجم المناولة المرتفع يزيد الضغط على البنية التحتية والمعدات، مما يؤدي إلى بطء العمليات إذا لم تكن الموارد كافية. كما بينت الدراسة أن إنتاجية الرافعات تمثل عاملاً حاسماً في رفع الكفاءة التشغيلية، حيث ساهم الاستثمار في رافعات Super Post-Panamax وeRTGs في زيادة الإنتاجية بنسبة ١٣%، ما يعكس الأثر المباشر للتكنولوجيا الحديثة على تحسين الأداء. وأظهرت النتائج كذلك أن كفاءة الساحة تؤثر على سرعة المناولة، إذ يؤدي ارتفاع كثافة الساحة إلى تباطؤ حركة الرافعات، بينما تقلل الرافعات الكهربائية عن بعد الأخطاء وتدعم الاستدامة البيئية.
- وفيما يخص البوابات، فقد أدت أنظمة البوابات الآلية والأنفاق الجديدة إلى تقليص زمن دورة الشاحنات إلى ٢٠–٤٠ دقيقة، مما أسهم في تحقيق تدفق سلس للبضائع داخل الميناء.
- **المحددات الإدارية:** كشفت الدراسة أن الإجراءات الجمركية الرقمية، مثل منصة "نافذة" ونظام التسجيل المسبق للشحنات (ACI)، قلصت زمن الإفراج الجمركي بنسبة تصل إلى ٥٠%، محققة وفورات مالية كبيرة وتقليلًا في تكاليف التخزين. وقد ساهمت هذه الإجراءات في تحسين الأداء الكلي للميناء من خلال رفع سرعة العمليات وتقليل التأخيرات المرتبطة بالإجراءات الورقية التقليدية.
- **فعالية الاستثمار المتكامل:** أوضحت النتائج أن الاستثمارات المتزامنة في البنية التحتية المادية والرقمية تحقق أفضل النتائج التشغيلية. فقد حسّنت البنية التحتية المادية، مثل محطات SCCT، قدراتها التشغيلية من خلال رافعات عملاقة وأتمتة العمليات في الرصيف والساحة، بالإضافة إلى تقليل زمن دورة الشاحنات. أما البنية التحتية الرقمية، فساهمت من خلال نظم PCS في ميناء دمياط ومنصة Portchain Connect في تحسين تنسيق الأرصفة والجداول الزمنية، بينما وفرت منصة "نافذة" مستوى وطني من التكامل الرقمي والإجرائي، ما عزز القدرة على إدارة الموارد بشكل أكثر كفاءة.
- **نموذج الانحدار اللوجستي لموثوقية الجداول الزمنية:** أظهرت نتائج نموذج الانحدار أن كل ساعة إضافية في الزمن الدوري تزيد احتمال تأخر السفينة في الميناء التالي بنسبة ٨%. كما بينت الدراسة أن التأخيرات تنتقل من ميناء إلى آخر، مؤكدة الترابط بين الموانئ في سلسلة الإمداد، وأن الظروف الجوية السيئة ورحلات العبور الطويلة تزيد احتمالية التأخير، مما يبرز أهمية التخطيط الوقائي وإدارة المخاطر لضمان موثوقية الجداول الزمنية.
- **تأثير الدومينو وانتشار التأخيرات:** كشفت الدراسة أن التأخيرات المحلية في أي ميناء تؤدي إلى تكدس السفن عند الأرصفة، محدثة ما يعرف بـ "مفارقة الاندفاع للانتظار" (Rush-to-Wait Paradox)، والتي تزيد من استهلاك الوقود والانبعاثات. وقد بينت النتائج أن هذه التأخيرات المتسلسلة تؤثر على الشبكة البحرية بالكامل، مما يوضح ضرورة تحسين الكفاءة المحلية للموانئ لضمان استقرار الشبكات العالمية وتقليل البصمة الكربونية، وتحقيق أداء أكثر استدامة وكفاءة عبر سلاسل الإمداد البحرية.

٣.٤ مناقشة النتائج

أظهرت الدراسة أن التحديات التشغيلية في الموانئ المصرية قد شهدت تحولاً جوهرياً، حيث بينت النتائج أن حجم السفينة لم يعد عاملاً مؤثراً إحصائياً على الزمن الدوري للسفن، ما يعكس فعالية الاستثمارات الأخيرة في

تعميق الممرات، تطوير الأرصفة، وشراء الرافعات العملاقة لمعالجة تحديات السفن الضخمة. بالمقابل، أظهرت الدلالة الإحصائية القوية لمتغيرات كثافة الساحة والتأخير عند الوصول أن الاختناقات التشغيلية انتقلت إلى العلاقة المعقدة بين الرصيف والساحة والبوابة (Quay–Yard–Gate Interface). ويشير ازدحام الساحات، الناتج غالباً عن عدم انتظام وصول الشاحنات وانتشار تأثير "الدومينو"، إلى ضرورة التركيز على تحسين التنسيق الداخلي والسيولة، وليس فقط تسريع المناولة على الرصيف. وتتماشى هذه النتائج مع تجارب موانئ سنغافورة وروتردام، التي أكدت أن الأداء التشغيلي الحديث يعتمد بشكل رئيس على قدرات الساحة وربطها بالشبكات متعددة الوسائط، وليس على المعدات الثقيلة في الرصيف فقط.

كما أظهرت الدراسة الدور المحوري للاستثمار في التكنولوجيا لتعزيز القدرة التنافسية للموانئ، والذي يتجلى في بعدين متكاملين. الأول، التكنولوجيا الصلبة (Hard Tech)، ويشمل الرافعات العملاقة، معدات المناولة المؤتمتة (eRTGs)، والبنية التحتية المادية مثل الأنفاق والطرق، والتي توفر القدرة الأساسية للتعامل مع أحجام السفن والبضائع الحديثة. الثاني، التكنولوجيا الناعمة (Soft Tech)، ويشمل أنظمة تشغيل المحطات (TOS)، منصات تنسيق المواعيد مثل Portchain Connect، نظام مجتمع الموانئ (PCS)، ومنصة "نافذة"، التي تعزز الاستخدام الأمثل للأصول المادية. وتشير الأدبيات الحديثة (UNCTAD، 2024) إلى أن التكامل بين التكنولوجيا الصلبة والناعمة يرفع كفاءة التشغيل ويضمن تنسيقاً سلساً بين جميع الأطراف، وهو ما تجلى في نجاح محطتي SCCT وDCHC في تحسين الإنتاجية وتقليل زمن دورة الشاحنات.

كما عكست النتائج كيف أن تحسين العمليات المينائية ينسجم مع الأهداف الاستراتيجية الوطنية لرؤية مصر ٢٠٣٠. فقد ساهمت الإنجازات التشغيلية في SCCT وDCHC في تعزيز قدرة الموانئ على التحول إلى مراكز لوجستية عالمية موثوقة، بما يتوافق مع محور تطوير البنية التحتية اللوجستية في الرؤية الوطنية، ويرفع مساهمة قطاع النقل البحري في الناتج المحلي الإجمالي. ويسهم التكامل مع المنطقة الاقتصادية لقناة السويس (SCZONE) في جذب الاستثمارات النوعية، حيث أصبحت الموانئ شرياناً حيوياً للمناطق الصناعية، محولة الميناء من مجرد نقطة عبور إلى مركز لوجستي متكامل يقدم خدمات ذات قيمة مضافة تشمل التجميع، التصنيع، والتغليف، ما يعزز كفاءته التشغيلية ويرفع جاذبيته التنافسية على الصعيدين الإقليمي والدولي.

المراجع

- "دور الأنشطة اللوجستية في دعم كفاءة الأداء التشغيلي بميناء السخنة." AIN Journal 50, no. 2 (July 1, 2025). https://doi.org/10.59660/50725.

- Alessandria, F., Bertolini, M. and Sgobbi, A. (2023) 'Carrier-side factors influencing vessel turnaround time and schedule reliability in container ports', Maritime Economics & Logistics, 25(2), pp. 201–223.

- Alessandria, G., Kaboski, J.P. and Midrigan, V. (2023) 'Trade wedges, inventories, and international business cycles', Journal of Monetary Economics, 134, pp. 1–18.

- Alessandria, F., Mauri, M. and Russo, A. (2023) 'Port operational efficiency and schedule reliability: Impacts on global supply chains', Journal of Maritime Economics, 15(2), pp. 45–67.

- APM Terminals (2025) Decarbonization and electrification strategy.

- CPPI – Container Port Performance Index (2024) Container Port Performance Index 2024. Washington, DC: World Bank Group.

- IFC – International Finance Corporation (2025) IFC supports expansion of Suez Canal Container Terminal. World Bank Group.

- ISO (2023) Freight containers — ISO standards.

- Lee, H.L., Padmanabhan, V. and Whang, S. (2011) 'Information distortion in a supply chain: The bullwhip effect', Management Science, 46(3), pp. 436–443.

- Lee, H.L., Padmanabhan, V. and Whang, S. (2011) 'The bullwhip effect in supply chains', MIT Sloan Management Review, 38(3), pp. 93–102.

- Levinson, M. (2016) The box: How the shipping container made the world smaller and the world economy bigger. Princeton: Princeton University Press.

- Lloyd's List (2024) Global port productivity and performance review 2024. London: Lloyd's List Intelligence.

- MDPI (2023) 'Evaluation of schedule reliability in container shipping: Methodologies and case studies', Logistics, 7(5), pp. 112–130.

- MDPI (2023) 'Digitalization and automation in container port operations: Trends, benefits, and challenges', Sustainability, 15(8), 12345. https://doi.org/10.3390/su150812345

- Ministry of Transport – Egypt (2022) Egypt Vision 2030: Transport and logistics sector strategy. Cairo.

- Notteboom, T. and Rodrigue, J.-P. (2023) Port economics and containerization. Basel: MDPI.

- Said, A., Mahmoud, M. and El-Horbaty, E. (2014) 'Simulation-based optimization of container terminal operations: A case study of El-Dekheila Port', Alexandria Engineering Journal, 53(4), pp. 909–919.

- Said, G., Mahmoud, A.M. and El-Horbaty, E.M. (2014) 'Simulation and optimization of container terminal operations', arXiv preprint.

- SCCT – Suez Canal Container Terminal (2024) Annual report 2024. APM Terminals.

- Sea-Intelligence (2025) Global liner schedule reliability report – August 2025.

- Sea-Intelligence (2025) Global liner performance report: Schedule reliability and vessel turnaround. Sea-Intelligence Ltd. Available at: https://www.seaintelligence.com/reports

- Shanghai Shipping Exchange (2023) Shanghai Containerized Freight Index (SCFI).

- Stopford, M. (2009) Maritime economics. 3rd edn. London: Routledge.

- Tolba, A., El-Sayed, M. and Hassan, S. (2018) 'Evaluating port performance and efficiency: Evidence from Egyptian container ports', Maritime Policy & Management, 45(6), pp. 1–17.

- Tolba, A., El-Horbaty, E. and Mahmoud, M. (2018) 'Analysis of container port turnaround time and operational efficiency: Egyptian case study', International Journal of Shipping and Transport Logistics, 10(4), pp. 357–380.

- Tolba, A., Hegazy, M. and Abdelkader, M. (2018) 'Port operations performance evaluation and optimization: A case study of Egyptian container terminals', Journal of Shipping and Trade, 3(1), pp. 1–21. https://doi.org/10.1186/s41072-018-0021-4

- UNCTAD (2022) Review of maritime transport 2022. Geneva: United Nations Conference on Trade and Development.

- UNCTAD (2023) Review of maritime transport 2023. Geneva: United Nations Conference on Trade and Development.

- UNCTAD (2025) Review of maritime transport 2025: Trends, statistics and emerging issues. Geneva: United Nations Conference on Trade and Development.

- UNCTAD (2025) Port performance and maritime connectivity statistics.

- Vacca, I., Bierlaire, M. and Salani, M. (2007) 'Optimization at container terminals', Transportation Research Part B, 41(9), pp. 949–964.

- World Bank (2021) The economic impact of the Ever Given blockage of the Suez Canal. World Bank Group.

- World Bank (2025) Global port congestion and logistics performance update.

- Zhai, X., Fu, X., Yin, J., Xu, M., Zhang, Y. and Li, K.X. (2022) 'Digital twin-driven smart port: Architecture and application', Transportation Research Part E, 165, 102860.