https://doi.org/10.61353/ma.0260145

سياسات التحوّل الطاقوي في الموانئ الصناعية وفاعليتها في خفض الانبعاثات الكربونية: دراسة حالة ميناء روتردام (2016- 2025)

م.د. علي أحمد عبد مرزوك*
ali_almarzook@outlook.com

تاريخ استلام البحث 2026/ 5/22 تاريخ ارجاع البحث 2026/6/1 تاريخ قبول البحث 2026/6/15

يتناول البحث استجابة السياسة العامة للانبعاثات الكربونية في ميناء روتردام من خلال تقويم برنامج تحول الطاقة الذي أطلقته هيئة الميناء عام 2016 ضمن بنية مؤسسية تتوزع فيها صلاحيات التخطيط والتنفيذ والتمويل بين هيئة الميناء والشركات والسلطات العامة ومشغلي الشبكات، واعتمد البحث تحليل السياسات العامة وتحليل المساهمة السببية مع تتبع مسار التنفيذ وقراءة التحولات السنوية والقطاعية في مستويات الانبعاثات، وتكشف النتائج عن انخفاض انبعاثات الشركات بنسبة 31,8٪ خلال مدة الدراسة مع تمركز الجزء الأكبر من الخفض في قطاع توليد الكهرباء، بما يحدد الوزن الفعلي للبرنامج داخل الحصيلة الكلية للانخفاض، فيما اتسع أثره المؤسسي والتنفيذي عبر تطوير البنية المشتركة وحشد الاستثمارات وتسريع مشروعات احتجاز الكربون والهيدروجين والكهرباء والحرارة، ويشير التقويم إلى تقدم في إنشاء البنية المشتركة وتنفيذ مشروعات التحول، مع تحقق التشغيل في نطاقات محددة، وبقاء تقدير مساهمة البرنامج في الخفض الكلي مرتبطًا بالأدلة الخاصة بالمشروعات وبفحص أثر السياسات والأسواق والنشاط الصناعي.

الكلمات المفتاحية: ميناء روتردام، برنامج تحول الطاقة، الانبعاثات الكربونية، التغيرات المناخية.

Energy Transition Policies in Industrial Ports and Their Effectiveness in Reducing Carbon Emissions: A Case Study of the Port of Rotterdam (2016–2025)

Dr. Ali Ahmed Abed Marzook
ali_almarzook@outlook.com

This paper analyzes the public policy response to the challenge of carbon emissions at the Port of Rotterdam through the Energy Transition Programme launched by the Port of Rotterdam Authority in 2016. It evaluates the programme's effectiveness over the period 2016–2025, within a governance setting in which intervention responsibilities are distributed among the Port Authority, private companies, public authorities, and network operators. The study employs public policy analysis and contribution analysis, combined with implementation tracking and an assessment of annual and sectoral changes in carbon emissions. The evaluation indicates that emissions from companies operating in the port area declined by 31.8 percent. However, the power generation sector accounted for the largest share of this reduction, while the programme's direct contribution remained more limited than the overall decline in emissions. At the same time, the programme achieved considerable progress in developing shared infrastructure, mobilizing investment, and advancing projects related to carbon, hydrogen, electricity, and heat. The paper concludes that the programme achieved moderately high institutional and implementation effectiveness, alongside moderate direct environmental effectiveness, while the operational transformation of energy systems, material flows, and maritime activities progressed at a slower pace than required to meet the 2030 targets.

Keywords: Port of Rotterdam; Energy Transition Programme; Carbon Emissions; Climate Change.

* باحث عراقي متخصص في السياسات العامة الأمنية والعسكرية، يعمل في باحث سياسي ـ ديوان الوقف السني، وعضو هيأة تحرير المجلة العلمية لجهاز مكافحة الإرهاب/ جهاز مكافحة الإرهاب، وعضو هيأة تحرير مجلة الفكر القيادي/ المعهد العالي لاعداد وتأهيل القادة – الأمانة العامة لمجلس الوزراء، ومدير تحرير مجلة فرسان الرد السريع للدراسات الأمنية الصادرة عن وزارة الداخلية/ فرقة الرد السريع. قدّم عدداً من المحاضرات والأبحاث والدراسات في قضايا السياسات الأمنية والعسكرية ومكافحة التطرف والإرهاب، ORCID: https://orcid.org/0009-0005-7988-878X.

(eISSN 3005-3587) و(ISSN 2518-5519) مجلة المعهد، مجلة علمية محكمة مفتوحة المصدر، ذات الرقم المعياري
CC BY-NC 4.0 دولي. 4.0 هذا العمل مرخص بموجب الاسناد/ غير تجاري/

https://doi.org/10.61353/ma.0260145

المقدمة

احتلت قضية التغيّر المناخي مساحة متزايدة في السياسات العامة خلال العقدين الأخيرين، بعد اتساع آثارها في قطاعات الطاقة والصناعة والنقل والتجارة، واتجاه الحكومات نحو ربط خفض الانبعاثات بخطط التنمية والاستثمار وأمن الطاقة، وأصبحت القطاعات كثيفة الاستهلاك للطاقة في قلب هذا التوجه بحكم حجم الانبعاثات الناتجة عنها وطول المدة التي تحتاجها عملية تحديث بنيتها الإنتاجية.

تكتسب الموانئ الصناعية أهمية خاصة في هذا المجال بسبب طبيعة النشاط الذي يجري داخلها، فهي تستقبل كميات كبيرة من مصادر الطاقة والمواد الخام، وتضم في كثير من الحالات المصافي والصناعات البتروكيميائية ومحطات توليد الكهرباء ومرافق التخزين، فضلًا عن حركة السفن والنقل البري والنهري المرتبط بها، لذلك ترتبط معالجة الانبعاثات في هذه الموانئ بطريقة إدارة النشاط الصناعي نفسه وبالاستثمارات التي تحدد شكل منظومة الطاقة خلال العقود اللاحقة، وتظهر هذه المسألة بوضوح في ميناء روتردام الذي تطورت وظيفته الاقتصادية على أساس ارتباطه بتجارة الطاقة والصناعات الثقيلة والأسواق الأوروبية، وقد منحت هذه الوظيفة الميناء مكانة رئيسة في الاقتصاد الهولندي وشبكات الإمداد القارية، وفي الوقت نفسه رفعت حجم الانبعاثات داخل منطقته الصناعية، ومع تصاعد الالتزامات المناخية الأوروبية أصبحت المحافظة على مكانة الميناء مرتبطة بقدرته على تعديل الأساس الطاقوي الذي قامت عليه أنشطته الصناعية.

تناولت الأدبيات السابقة مسارات خفض الكربون في ميناء روتردام وخيارات تحديث الصناعة والمخاطر التي تحيط بتنفيذها حتى عام 2050، وربطت إمكانات التحول بالاختيارات التقنية للشركات واتجاه السياسات المناخية الأوروبية (Schneider et al., 2020)، واهتمت دراسات أخرى بالنمذجة التشاركية وسيلةً لتنسيق الاستثمار في شبكات الطاقة، في ضوء اعتماد القرار الصناعي على جاهزية الشبكات واعتماد الاستثمار فيها على الطلب الصناعي المتوقع (Cuppen et al., 2021, p. 905)، كما بحثت أدبيات الحوكمة أثر الملكية العامة في توجيه قرارات هيئة الميناء نحو المصالح الاقتصادية والبيئية (de Langen, 2023, p. 6507)، وتتحدد الإضافة العلمية للبحث في تقويم الحصيلة الفعلية للبرنامج خلال المدة 2016–2025، عبر مقابلة تقدم المشروعات بمواعيد تشغيلها وبالتغير المسجل في الانبعاثات، وتقدير مساهمة تدخلات الهيئة ضمن أثر العوامل السوقية والتنظيمية، ويستند اختيار روتردام إلى اجتماع إدارة عامة للأرض والبنية الأساسية مع قرارات إنتاجية واستثمارية تتوزع بين الشركات ومشغلي الشبكات، الأمر الذي يتيح فحص الصلة بين قدرة الهيئة على تنسيق التحول ومقدار ما يتحقق منه داخل المنشآت الصناعية.

تثير تجربة روتردام اشكالية بحثية تتعلق بقياس أثر سياسة التحول الطاقوي في بيئة صناعية تتعدد فيها مصادر القرار، إذ تتحرك الانبعاثات تحت تأثير نشاط الشركات وحجم الإنتاج وأسعار الطاقة وطريقة توليد الكهرباء والسياسات الحكومية والأوروبية، في الوقت الذي تتولى فيه هيئة الميناء إدارة الأرض وتطوير البنية الأساسية وتسهيل الاستثمار وإقامة الشراكات، ولهذا يرتبط تقويم البرنامج بتحديد الجزء الذي يمكن إسناده إلى أدواته ومشروعاته ضمن مجموعة أوسع من العوامل المؤثرة في النتيجة، وعلى هذا الأساس تتمثل إشكالية البحث في تحديد مستوى مساهمة برنامج تحول الطاقة في معالجة الانبعاثات الكربونية داخل ميناء روتردام خلال المدة 2016–2025، ويطرح البحث السؤال الرئيس الآتي: إلى أي مدى أسهم برنامج تحول الطاقة في

(eISSN 3005-3587) و(ISSN 2518-5519) مجلة المعهد، مجلة علمية محكمة مفتوحة المصدر، ذات الرقم المعياري
CC BY-NC 4.0 دولي. 4.0 هذا العمل مرخص بموجب الاسناد/ غير تجاري/

خفض الانبعاثات الكربونية في ميناء روتردام خلال مدة الدراسة، وما مستوى فاعليته في تنفيذ المشروعات وتحريك التحول في منظومة الطاقة والمواد الخام قياسًا بتأثير العوامل الأخرى المرتبطة بالنشاط الصناعي وسوق الطاقة؟

ويفترض البحث أن فاعلية برنامج تحول الطاقة في ميناء روتردام تركزت خلال المدة 2016–2025 في بناء البنية اللازمة للتحول وتحريك المشروعات والاستثمارات، فيما ارتبط مقدار أثره المباشر في الانبعاثات بسرعة دخول هذه المشروعات مرحلة التشغيل وبالتغيرات التي شهدها إنتاج الكهرباء ونشاط المصافي والصناعات كثيفة الطاقة، وتتيح هذه الفرضية التمييز بين ما أنجزه البرنامج على مستوى التنفيذ وبين الأثر الذي ظهر فعليًا في مؤشرات الانبعاثات خلال مدة القياس.

ويعتمد البحث مدخل تحليل السياسات العامة لتتبع العلاقة بين تحديد المشكلة وصياغة الاستجابة وتنفيذ الأدوات وظهور النتائج، كما يستخدم تحليل المساهمة السببية لتقدير الدور الذي أداه البرنامج في تغير الانبعاثات مع فحص العوامل الأخرى المؤثرة فيها، ويستند التقويم إلى بيانات الانبعاثات السنوية وتوزيعها القطاعي وتطور المشروعات الرئيسة ومؤشرات التحول في استخدام الطاقة والمواد، ويمتد التحليل التاريخي إلى المدة السابقة لعام 2016 بالقدر الذي يسمح بتفسير نشأة المشكلة، فيما تمثل الأعوام 2016–2025 المجال الزمني الرئيس لتقويم السياسة.

وينتظم البحث في أربعة محاور، يدرس الأول البنية المينائية لروتردام وصلتها بتكوّن المشكلة الكربونية حتى عام 2015، ويتناول الثاني برنامج تحول الطاقة وتطور أدواته ومشروعاته خلال المدة 2016–2025، ويقوّم الثالث فاعلية البرنامج بالاستناد إلى حركة الانبعاثات ومصادر التغير فيها ومستوى تقدم مشروعات التحول، ثم يخصص المحور الرابع لحصيلة التقويم والدلالات السياساتيّة التي تكشفها تجربة روتردام وأولويات المرحلة الممتدة نحو عام 2030.

أولًا: البنية المينائية لروتردام وتكوُّن المشكلة الكربونية

ارتبط صعود روتردام داخل الاقتصاد الأوروبي ببنية مينائية جمعت الموقع البحري بالاتصال القاري والتجارة والصناعة والطاقة ضمن مجال واحد كثيف الحركة والاستثمار. وقد منح هذا الاجتماع الميناء قدرة واسعة على خدمة الأسواق ومراكز الإنتاج، ورسَّخ موقعه بوصفه "بوابة أوروبا" ضمن شبكات التجارة والإمداد العالمية (Nefs et al., 2023, p. 49). غير أن جانبًا رئيسًا من هذه القدرة قام على تدفقات النفط والمواد الأحفورية والصناعات كثيفة الطاقة، فارتبط النمو الاقتصادي للميناء بارتفاع العبء الكربوني داخل منطقته الصناعية. ومن هنا تقتضي قراءة برنامج تحول الطاقة في الميناء الوقوف على البنية التي صنعت مكانة روتردام، ثم تتبع الكيفية التي أصبحت بها الانبعاثات مشكلةً تستدعي تدخلًا سياساتيًا منظمًا.

1. الموقع الجغرافي والاتصال بالعمق الأوروبي

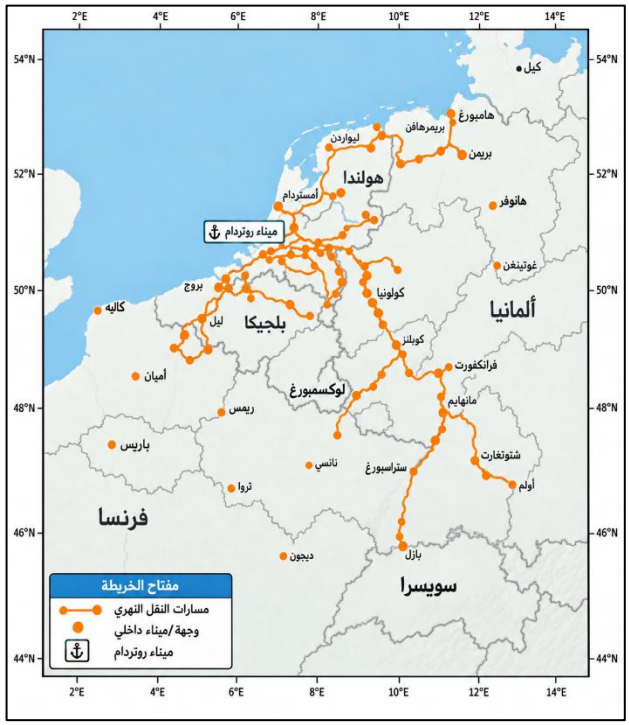
يقع ميناء روتردام في جنوب غربي هولندا ضمن دلتا الراين–الماس–شيلدت، عند اتصال منظومة الراين ببحر الشمال، وهو موقع يجمع النفاذ إلى طرق الملاحة البحرية في شمال غربي أوروبا بالوصول النهري إلى الداخل القاري (Bakker et al., 2025, p. 3)، ويمتد المجال المينائي على نحو 12,500 هكتار من اليابسة والمياه وعلى مسافة تتجاوز أربعين كيلومترًا، وقد وفرت هذه المساحة مجالًا لتوزيع محطات المناولة والأحواض والمناطق

(eISSN 3005-3587) و(ISSN 2518-5519) مجلة المعهد، مجلة علمية محكمة مفتوحة المصدر، ذات الرقم المعياري
CC BY-NC 4.0 دولي. 4.0 هذا العمل مرخص بموجب الاسناد/ غير تجاري/

الصناعية ومرافق التخزين والطاقة ضمن نطاق متصل بالممر الملاحي الرئيس(Port of Rotterdam Authority, 2025b, p. 4)، وتكمن قيمة الموقع في قدرته على استيعاب وظائف تجارية وصناعية واسعة داخل مجال واحد، مع اتصال مباشر بالبحر وشبكات النقل التي تخدم الظهير الأوروبي (ينظر خريطة 1).

ويمنح حوض الراين هذا الموقع امتداده الاقتصادي؛ إذ يرتبط روتردام بمنطقة الراين–الرور وغيرها من مراكز الصناعة والإنتاج والاستهلاك في أوروبا(Zhang & Pel, 2016)، كما يقع ضمن ممر الراين–الألب، أحد المحاور الرئيسة في شبكة النقل الأوروبية، الذي يجمع النقل النهري والسككي والبري ويربط موانئ بحر الشمال بالأسواق الواقعة في الداخل القاري(European Commission, n.d)، وقد جعل هذا الاتصال روتردام منفذًا بحريًا لاقتصاد يتجاوز السوق الهولندية، وربط أداء الميناء بحركة السلع والطاقة ومدخلات الإنتاج داخل نطاق اقتصادي أوروبي واسع.

خريطة (1): اتصالات ميناء روتردام بالممرات المائية الداخلية



المصدر: من اعداد الباحث بالاستناد الى (van der Lugt et al., 2025, p. 21).

ويرتبط اتصال روتردام بالعمق الأوروبي بمجموعة من الوظائف اللوجستية التي تتوزع بحسب وسيلة النقل وطبيعة الشحنة ومقصدها، فتتولى الممرات المائية الداخلية خدمة التدفقات الكبيرة نحو حوض الراين، وتربط السكك الحديدية الميناء بالمراكز الصناعية الواقعة على مسافات قارية أطول، وتخدم شبكة الطرق المقاصد التي تتطلب وصولًا مباشرًا إلى المصانع والأسواق ومراكز التوزيع، فيما تختص الأنابيب بنقل النفط والمنتجات النفطية والمواد الكيميائية والغازات الصناعية، وتكمل الخدمات البحرية الأوروبية هذه المنظومة عبر النقل البحري القصير وخدمات التغذية ونقل الدحرجة، وهو ما يمنح روتردام قدرة واسعة على توزيع الشحنات داخل الظهير الأوروبي وفق خصائصها التشغيلية والجغرافية (van der Lugt et al., 2025, pp. 19–20).

ويتخذ اتصال روتردام بالعمق الأوروبي صورته اللوجستية عبر شبكة من المسارات التي تربط الميناء بظهيره القاري، ويمكن تناولها على النحو الآتي:

CC BY-NC 4.0 دولي. 4.0 هذا العمل مرخص بموجب الاسناد/ غير تجاري/

أ. الممرات المائية الداخلية :

يربط موقع روتردام عند المصب الغربي للراين الميناء بأحد أكثر الأقاليم الأوروبية كثافة في النشاط الصناعي والتجاري، إذ يوفر الحوض النهري منفذًا مباشرًا باتجاه ألمانيا وفرنسا وسويسرا، وتتسع دائرة الاتصال عبر الماس والماين والقنوات المتفرعة عنه لتشمل موانئ داخلية ومواقع إنتاج بعيدة عن الساحل، وقد منح هذا الموقع الملاحة النهرية مكانة رئيسة في توزيع البضائع القادمة عبر روتردام، خصوصًا الشحنات التي تلائمها السعات الكبيرة للنقل الداخلي وانتظام الخدمات بين الميناء والوجهات الواقعة على امتداد الحوض (Konings, 2007, p. 444).

ويتوزع الامتداد اللوجستي للراين على أقاليمه السفلى والوسطى والعليا، وتنتظم على ضفافه عقد صناعية وتجارية ألمانية ترتبط بروتردام بخدمات منتظمة، فيما تتجه الخطوط جنوبًا نحو ستراسبورغ وبازل، وتمنح التفرعات المتصلة بالماين وقناة الراين–هيرنه منفذًا إلى فرانكفورت ودورتموند ومواقع أخرى خارج المجرى الرئيس، مما أسهم في اتساع سوق النقل النهري للحاويات وربط الموانئ الداخلية بالمراكز الإنتاجية، مع تفاوت كثافة التدفقات تبعًا للمسافة وحجم الطلب وموقع الجهة المستقبلة(Konings, 2007, p. 446) .

وتبين خريطة الاتصالات النهرية الخاصة بروتردام كثافة الخطوط في هولندا وألمانيا وعلى امتداد محور الراين، ثم تتسع نحو وجهات أخرى داخل القارة، وتكشف هذه الصورة المكانية عن قدرة الملاحة الداخلية على خدمة نطاق واسع من الأسواق والمنشآت الصناعية، مستفيدة من ملاءمتها لنقل الحاويات والبضائع الجافة والسائلة بكميات كبيرة، ومن انتظام الصلات بين الميناء والمرافئ النهرية، وبذلك يحتل النقل المائي موقعًا متقدمًا في توزيع الشحنات على الظهير الأوروبي وفي توسيع المساحة الاقتصادية المرتبطة بروتردام (van der Lugt et al., 2025, p. 21).

ب. الربط بالسكك الحديدية

تدخل السكك الحديدية في بنية روتردام بوصفها وسيلة لرفع قدرة الميناء على تصريف الكتل الكبيرة من البضائع بصورة منتظمة، ولاسيما مع اتساع أحجام المناولة وتزايد الحاجة إلى توزيع التدفقات بين النقل النهري والبري والحديدي، ويأخذ هذا الدور بعدًا خاصًا في الحاويات والمواد الصناعية التي تتطلب مسارات ثابتة وقدرة عالية على النقل الجماعي، الأمر الذي جعل السكك جزءًا من إدارة الحركة داخل الميناء نفسه، وليس مجرد امتداد بري له، إذ يرتبط أداؤها بسرعة خروج البضائع من المحطات البحرية وقدرة الميناء على تجنب تراكمها داخل ساحاته ومرافقه التشغيلية(van der Lugt et al., 2025, p. 20) .

ويعد خط بيتوفه البنية الرئيسة لهذه الوظيفة فقد صُمم بوصفه ممرًا مخصصًا أساسًا لقطارات الشحن بين روتردام والحدود الألمانية، بما يتيح فصل جانب مهم من حركة البضائع عن خطوط الركاب ويمنح النقل الميناني مسارًا أكثر انتظامًا باتجاه الشبكة الألمانية، وتكمن قيمته في قدرته على نقل أحجام كبيرة ضمن رحلات مجدولة ومتكررة، وهو ما يرفع كفاءة الربط بين المحطات البحرية ومراكز التجميع والتوزيع الواقعة على امتداد الشبكة.

(eISSN 3005-3587) و(ISSN 2518-5519) مجلة المعهد، مجلة علمية محكمة مفتوحة المصدر، ذات الرقم المعياري
CC BY-NC 4.0 دولي. 4.0 هذا العمل مرخص بموجب الاسناد/ غير تجاري/

https://doi.org/10.61353/ma.0260145

خريطة (2): اتصالات ميناء روتردام بالسكك الحديدية في الظهير الأوروبي



المصدر: من اعداد الباحث بالاستند الى: (van der Lugt et al., 2025, p. 22).

ويجعل الخط جزءًا من القدرة التشغيلية للميناء بقدر ما هو جزء من بنيته الخارجية، ويكتسب النقل السككي أهمية إضافية مع توجه روتردام إلى إعادة توزيع حركة البضائع بين أنماط النقل، لأن زيادة حصة القطارات تمنح الميناء مجالًا أوسع لمعالجة الاختناقات المرتبطة بالنقل البري وتدعم خفض الكثافة الانبعاثية لحركة الشحن نحو الداخل الأوروبي (ينظر خريطة (2)) (van der Lugt et al., 2025, p. 22).

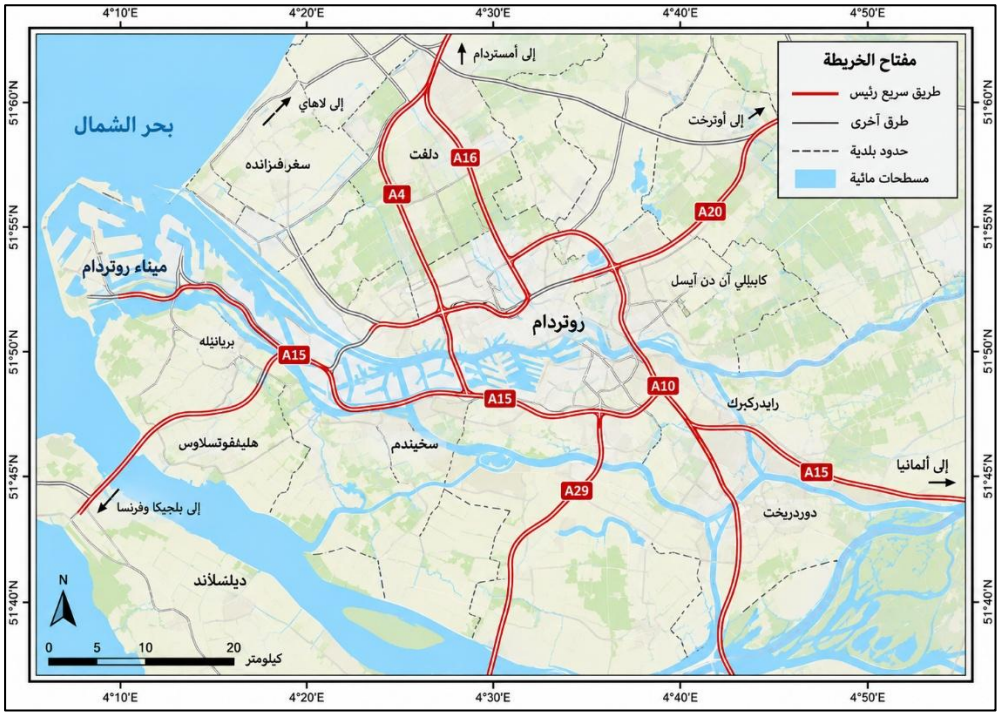
ج. الربط بشبكة الطرق البرية

تتوزع شبكة الطرق البرية المرتبطة بميناء روتردام على مجموعة من المحاور التي تؤمن صلته بالداخل الهولندي وبالمجال الأوروبي المجاور، ويتقدم الطريق السريع A15 هذه المحاور لارتباطه المباشر بالمجال المينائي واتصاله بالشبكة الوطنية، فيما توسع الطرق A16 و A4و A29 نطاق الوصول باتجاه بلجيكا وألمانيا ومراكز أخرى في شمال غربي أوروبا، وتخدم هذه الشبكة حركة الشاحنات المرتبطة بالمصانع والأسواق ومراكز التوزيع التي تتطلب وصولًا مباشرًا وسرعة أعلى في التسليم، الأمر الذي يمنح النقل البري أهمية خاصة في الشحنات التي تتحدد وجهاتها خارج نطاق الخدمة النهرية أو السككية، أو التي تفرض طبيعتها مرونة أكبر في التوقيت ومسار التوزيع(Port of Rotterdam Authority, n.d.) ، وتزداد أهمية هذه الصلات داخل البنلوكس وغربي ألمانيا وشمال فرنسا مع كثافة النشاط الصناعي وتقارب مواقع الطلب، إذ يتيح الطريق للميناء خدمة المقاصد المتفرقة وربط المحطات البحرية مباشرة بمواقع الاستلام، بما يدعم انتظام توزيع البضائع داخل الظهير الأوروبي (van der Lugt et al., 2025, p. 20).

(eISSN 3005-3587) و(ISSN 2518-5519) مجلة المعهد، مجلة علمية محكمة مفتوحة المصدر، ذات الرقم المعياري
CC BY-NC 4.0 دولي. 4.0 هذا العمل مرخص بموجب الاسناد/ غير تجاري/

https://doi.org/10.61353/ma.0260145

خريطة (3): شبكة الطرق البرية المرتبطة بميناء روتردام



المصدر: من إعداد الباحث بالاستناد الى: (Port of Rotterdam Authority, 2025, p. 2).

د. الربط بشبكة الأنابيب

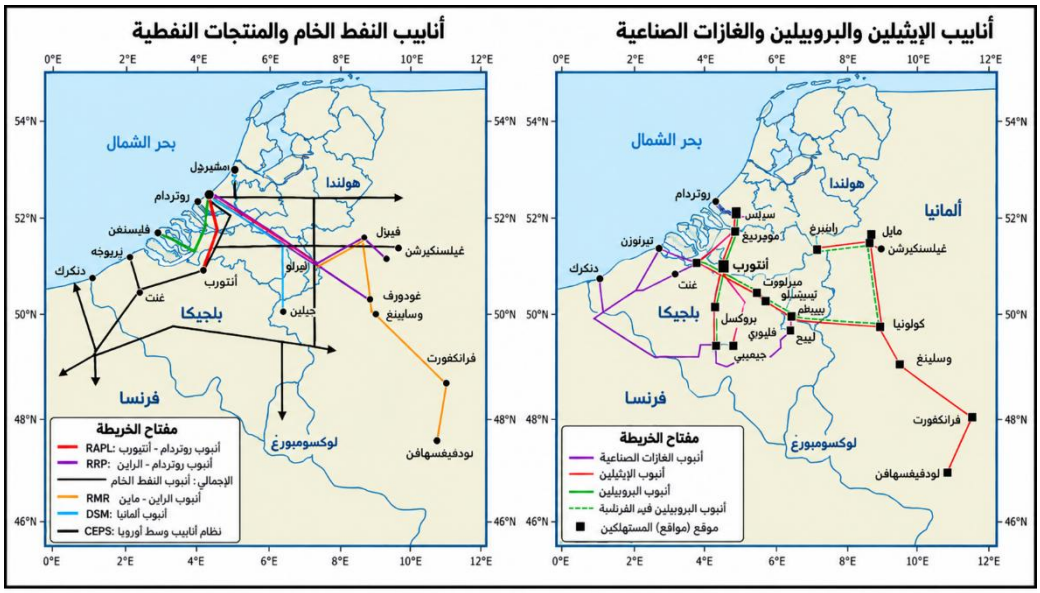
ترتبط مرافق روتردام بشبكة أنابيب تمتد داخل المجال الصناعي لشمال غربي أوروبا، وتخدم بصورة رئيسة نقل النفط الخام والمنتجات النفطية والمواد الكيميائية والغازات الصناعية بين الميناء ومراكز الإنتاج والتكرير والاستهلاك في هولندا وبلجيكا وألمانيا، ويمنح هذا الارتباط روتردام موقعًا مهمًا داخل الإقليم الصناعي الممتد نحو أنتويرب والراين–الرور، خصوصًا مع اعتماد الصناعات البتروكيميائية على تدفقات منتظمة وكبيرة الحجم يصعب التعامل معها بالكفاءة نفسها عبر وسائل النقل الأخرى، كما يعكس توزيع الخطوط درجة عالية من التخصص السلعي، إذ يميل روتردام إلى النفط الخام والمنتجات النفطية، فيما تتسع الشبكات المتصلة بأنتويرب للمواد الكيميائية الدقيقة، ضمن منظومة إقليمية مترابطة بين الموانئ والمجمعات الصناعية (van der Lugt et al., 2025, p. 22).

ويتضح من خريطة (4) أن شبكة الأنابيب في إقليم روتردام–أنتويرب–الراين–الرور تتوزع وفق طبيعة المواد المنقولة ووظائفها الصناعية، إذ تضم مسارات للنفط الخام والمنتجات النفطية والإيثيلين والبروبيلين والغازات الصناعية، الأمر الذي يربط الميناء بصورة مباشرة بمصافي التكرير والمجمعات الكيميائية ومراكز الإنتاج في غربي ألمانيا، ويمنح هذا الامتداد روتردام موقعًا متقدمًا في إمداد الظهير الصناعي بالمواد الأولية ومصادر الطاقة عبر خطوط ثابتة ذات قدرة مرتفعة على استيعاب التدفقات المنتظمة والكبيرة الحجم، بما يعزز تخصص الأنابيب داخل منظومة الربط اللوجستي للميناء (van der Lugt et al., 2025, pp. 22–23).

(eISSN 3005-3587) و(ISSN 2518-5519) مجلة المعهد، مجلة علمية محكمة مفتوحة المصدر، ذات الرقم المعياري
CC BY-NC 4.0 دولي. 4.0 هذا العمل مرخص بموجب الاسناد/ غير تجاري/

https://doi.org/10.61353/ma.0260145

خريطة (4): شبكة أنابيب النفط والمنتجات النفطية والمواد الكيميائية والغازات الصناعية في إقليم روتردام–أنتويرب–الراين–الرور



المصدر: من إعداد الباحث بالاستناد إلى: (van der Lugt et al., 2025, p. 23).

هـ. الربط البحري الأوروبي

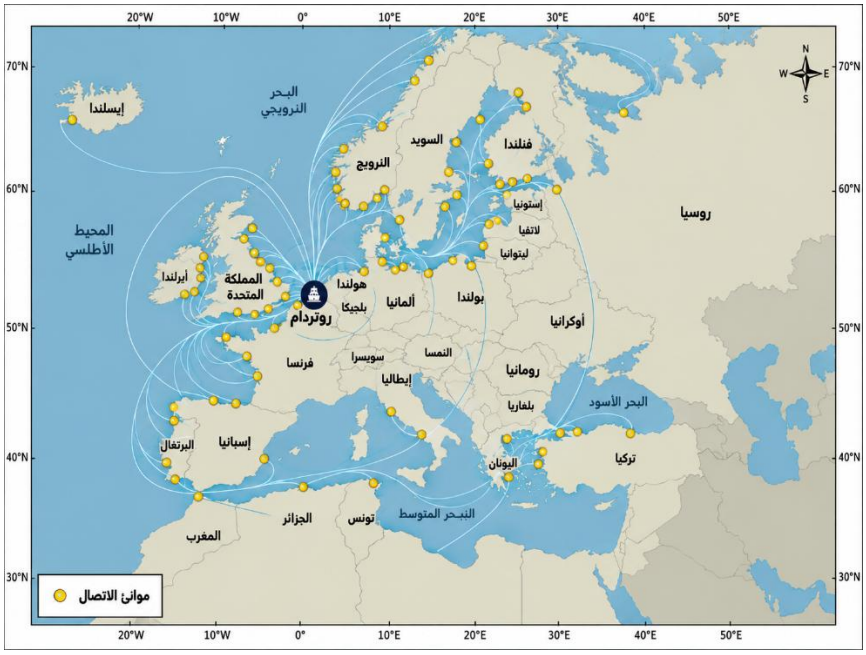
تحتفظ روتردام بعد استقبال السفن العابرة للمحيطات بدور بحري آخر يرتبط بإعادة توزيع جزء من الشحنات داخل المجال الأوروبي، فتنتقل الحاويات إلى موانئ إقليمية عبر خدمات التغذية، بينما تتولى خطوط النقل البحري القصير خدمة التدفقات التجارية المنتظمة بين موانئ القارة، وتغطي هذه الخدمات وجهات في المملكة المتحدة وإيرلندا وإسبانيا والبرتغال والدول الإسكندنافية ودول البلطيق، (Port of Rotterdam Authority, 2021).

وتؤدي خدمات الدرجة مسارًا أكثر تخصصًا في هذا الاتصال، إذ تخدم المقطورات والشاحنات والمركبات والبضائع القابلة للنقل المباشر بين السفينة والطريق، وترتبط روتردام عبرها بموانئ في النرويج وإسبانيا وألمانيا وفنلندا ووجهات أوروبية أخرى، بما يضيف إلى الشبكة البحرية نمطًا يلائم سلاسل الإمداد التي تعتمد سرعة التداول وتقليل عمليات المناولة الوسيطة (Port of Rotterdam Authority, 2021) .

وعلى مستوى الشبكة البحرية المشتركة لروتردام وأنتويرب–بروج، تصل خدمات التغذية المنتظمة إلى أكثر من 70 ميناءً أوروبيًا، فيما يتجاوز نطاق الاتصال 400 ميناء عند احتساب خدمات البضائع السائبة، وهو اتساع يوضح المكانة التي تحتلها الموانئ الكبرى في إعادة توزيع التجارة داخل أوروبا بعد وصولها عبر الخطوط العابرة للمحيطات (ينظر خريطة ()) (van der Lugt et al., 2025, p. 22) .

(eISSN 3005-3587) و(ISSN 2518-5519) مجلة المعهد، مجلة علمية محكمة مفتوحة المصدر، ذات الرقم المعياري
CC BY-NC 4.0 دولي. 4.0 هذا العمل مرخص بموجب الاسناد/ غير تجاري/

خريطة (5): شبكة اتصالات النقل البحري القصير لميناء روتردام مع موانئ أوروبا وحوض البحر المتوسط



المصدر: من إعداد الباحث بالاستناد إلى: (Bell, 2020).

وتكشف بنية النقل المرتبطة بروتردام عن توزيع متفاوت لحركة البضائع بين الوسائط، إذ تستحوذ الملاحة الداخلية على نحو 48٪ من إجمالي الأحجام المتداولة مع الظهير، مقابل 26٪ للطرق البرية و17٪ للأنابيب و9٪ للسكك الحديدية، وتعكس هذه النسب طبيعة الاقتصاد الذي يخدمه الميناء وكثافة ارتباطه بالصناعة والطاقة والتجارة داخل شمال غربي أوروبا، كما تكشف في الوقت نفسه عن الأثر الذي تتركه أنماط النقل وتدفقات الوقود والمواد الأولية في البنية البيئية للميناء، وهو ما يربط الوظيفة اللوجستية مباشرة بالسياق الذي نشأت داخله المشكلة الكربونية وأصبحت معه قضية تستدعي تدخلًا سياساتيًا واسعًا في أنظمة الطاقة والنقل والصناعة (van der Lugt et al., 2025, p. 42).

2. البنية الوظيفية والمؤسسية

تنتظم أنشطة ميناء روتردام ضمن بنية مترابطة تجمع التجارة والصناعة والطاقة داخل مجال واحد تتقاطع فيه حركة البضائع مع الإنتاج والخدمات والبنية الأساسية (van Klink, 1998, p. 143)، ويمنح هذا الترابط كل وظيفة أثرًا يتجاوز نطاقها المباشر، بحكم اتصالها بوظائف أخرى وبقرارات تخصيص الأرض والاستثمار وتشغيل المرافق والعلاقة بين الهيئة والشركات العاملة في الميناء، وتوزع هذه البنية أدوار الميناء على النحو الآتي:

أ. الوظيفة التجارية

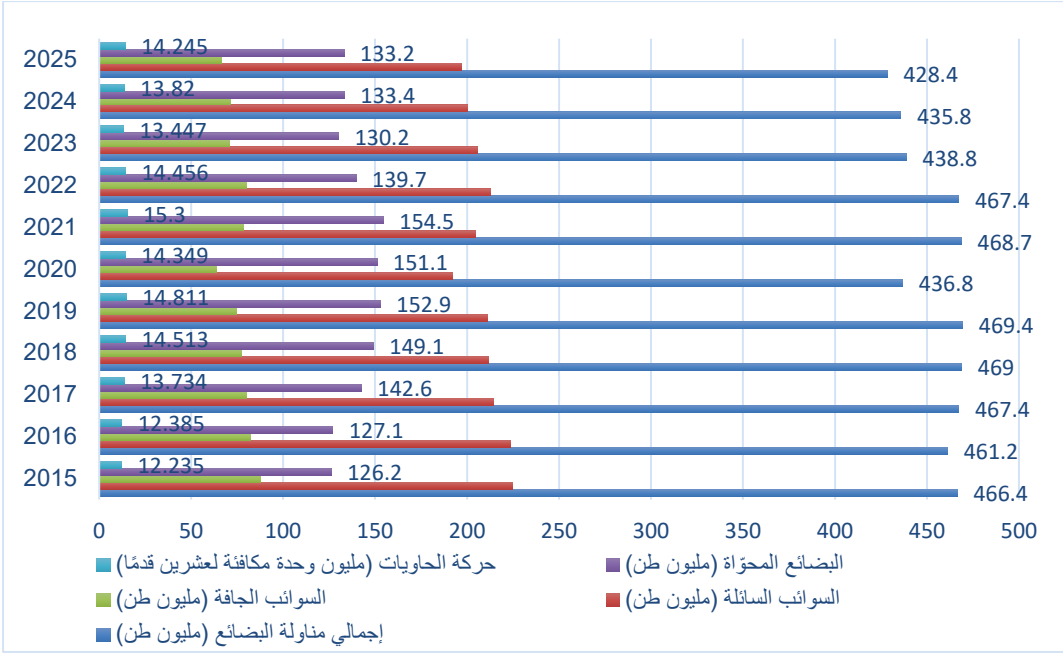
تمر عبر ميناء روتردام تدفقات تجارية كثيفة تتصل مباشرة بحركة التجارة البحرية العالمية وبالطلب الصناعي والاستهلاكي داخل القارة الأوروبية، وتشمل النفط الخام والمنتجات النفطية والغاز والمواد الكيميائية والخامات المعدنية والحبوب والسلع الوسيطة والمنتجات المصنعة والحاويات، وهو تنوع يمنح النشاط التجاري

(eISSN 3005-3587) و(ISSN 2518-5519) مجلة المعهد، مجلة علمية محكمة مفتوحة المصدر، ذات الرقم المعياري
CC BY-NC 4.0 دولي. 4.0 هذا العمل مرخص بموجب الاسناد/ غير تجاري/

للميناء قاعدة واسعة تتوزع بين تجارة الطاقة والمواد الأولية والبضائع العامة والتجارة المحوّاة. وتصل هذه التدفقات عبر خطوط بحرية تربط روتردام بأهم مناطق الإنتاج والتصدير في العالم، ثم يعاد توجيه جزء كبير منها داخل أوروبا عبر شبكة مترابطة من الأنهار والسكك الحديدية والطرق البرية وخطوط الأنابيب، بما يربط الميناء بالمراكز الصناعية ومناطق التخزين والتوزيع والأسواق الكبرى في هولندا وألمانيا وبلجيكا وفرنسا وأجزاء أخرى من شمال غربي أوروبا. وقد جعل اتساع هذه الشبكة من الحركة التجارية في روتردام عملية ترتبط بتوزيع السلع والمواد على نطاق قاري واسع، إذ تتداخل فيها عمليات الاستيراد والتصدير وإعادة الشحن والتخزين والتجميع والتوزيع ضمن منظومة واحدة تخدم قطاعات الصناعة والطاقة والتجارة. ويمنح انتظام هذه التدفقات الميناء وظيفة تجارية ترتبط بقدرته على استيعاب أحجام كبيرة ومتنوعة من البضائع وإعادة توجيهها بكفاءة داخل المجال الاقتصادي الأوروبي، وهو ما يفسر ارتباط نشاطه بحركة الإنتاج والاستهلاك وسلاسل التوريد العابرة للحدود. (van Klink, 1998, p. 143; Port of Rotterdam Authority, 2026a).

وفي ضوء هذا الترابط بين الواجهة البحرية وشبكات النقل الداخلية، يحتل روتردام موقعًا رئيسًا في التجارة الأوروبية، وتتحدد أهميته التجارية بقدرته على وصل حركة التبادل البحري بالمراكز الاقتصادية والصناعية الواقعة في عمق القارة، وبذلك تظهر بيانات المناولة خلال المدة 2015–2025 حجم هذه الوظيفة وتغير تركيبها عبر الزمن.

شكل (1): **تطور مناولة البضائع وحركة الحاويات في ميناء روتردام** 2015–2025



المصدر: إعداد الباحث بالاعتماد على: (Port of Rotterdam Authority, 2018, p. 10; Port of Rotterdam Authority, 2019, pp. 1–2; Port of Rotterdam Authority, 2021, p. 14; Port of Rotterdam Authority, 2022; Port of Rotterdam Authority, 2024, p. 72; Port of Rotterdam Authority, 2026, p. 1).

CC BY-NC 4.0 دولي. 4.0 هذا العمل مرخص بموجب الاسناد/ غير تجاري/

بلغ إجمالي البضائع المتداولة نحو 466,4 مليون طن عام 2015، ثم سجل 468,7 مليون طن عام 2021 قبل أن يصل إلى 428,4 مليون طن عام 2025، فيما حافظت السوائب السائلة على وزن كبير داخل هيكل المناولة، إذ بلغت 197 مليون طن في العام الأخير، بالتزامن مع تداول 133,2 مليون طن من البضائع المحوّاة وارتفاع حركة الحاويات إلى نحو 14,2 مليون وحدة مكافئة لعشرين قدمًا (Port of Rotterdam Authority, 2020, p. 193; Port of Rotterdam Authority, 2022, p. 1; Port of Rotterdam Authority, 2026d, p. 1). وتكشف هذه المؤشرات عن وظيفة تجارية تجمع تدفقات الطاقة والمواد الأولية مع تجارة السلع المحوّاة ضمن المجال المينائي نفسه، كما تبرز استمرار الحضور الكبير للسوائب السائلة في تركيب النشاط التجاري، وهي سمة ترتبط مباشرة بالبنية الطاقوية والصناعية للميناء وتساعد على تفسير الخلفية الاقتصادية التي نشأت ضمنها مشكلة الانبعاثات الكربونية وبرامج التحول اللاحقة (ينظر شكل 1).

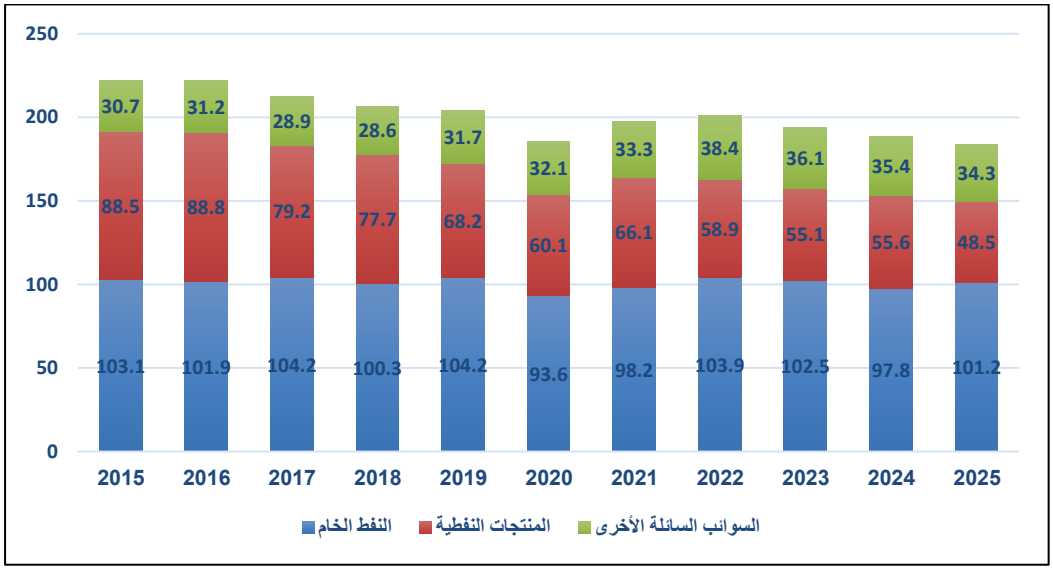
ج. الوظيفة الصناعية والطاقوية

يقوم الثقل الاقتصادي لميناء روتردام على قاعدة صناعية وطاقوية واسعة تتداخل فيها حركة المواد الخام مع عمليات التكرير والتصنيع وإنتاج الطاقة والخدمات المساندة، ويشغل المجال المينائي نحو 12,500 هكتار من اليابسة والمياه خُصص قرابة 6,000 هكتار منها للمواقع الصناعية، وتعمل داخله أكثر من 120 شركة ضمن أحد أكبر التجمعات الكيميائية والطاقوية في شمال غربي أوروبا، وقد أتاح تقارب المصافي والمنشآت الكيميائية والخزانات ومحطات الاستيراد وشبكات الأنابيب ومرافق الكهرباء والبخار والهيدروجين قيام منظومة تشغيلية مترابطة تتحرك فيها المواد والطاقة بين منشآت متجاورة ضمن المجال نفسه، الأمر الذي منح النشاط الصناعي والطاقوي موقعًا أصيلًا في الوظيفة الاقتصادية للميناء وربط قدرته التجارية بقاعدة إنتاجية كثيفة رأس المال والطاقة(Port of Rotterdam Authority, 2025b, p. 4).

ويتركز الجانب الصناعي لهذه القاعدة في تكرير النفط والصناعات الكيميائية والبتروكيميائية، إذ استحوذت المصافي الخمس العاملة داخل المجمع عام 2015 على نحو 87٪ من القدرة التكريرية الهولندية وقرابة 8٪ من قدرة الاتحاد الأوروبي، بالتوازي مع وجود نحو (45) شركة كيميائية داخل المجال المينائي (den Boer, 2019, p. 16)، وتكشف حركة المواد المرتبطة بهذه الأنشطة عن استمرار الوزن الكبير للنفط الخام خلال المدة 2015–2025، إذ بلغت مناولته 103.1 ملايين طن في بداية المدة و93.6 مليون طن عام 2020 ثم 101.2 مليون طن عام 2025، في حين اتجهت المنتجات النفطية نحو مستويات أدنى قياسًا ببداية المدة، وهي حركة تعكس تغيرًا في تركيب التدفقات المرتبطة بالتكرير وأسواق المنتجات النفطية مع بقاء الخام عنصرًا رئيسًا في تغذية القاعدة الإنتاجية (ينظر شكل (2))، كما تتصل بهذه البنية شبكة من العمليات الكيميائية التي تنتج عشرات المواد وتعتمد على الكهرباء والبخار والهيدروجين والخدمات الصناعية المشتركة، بما يجعل كفاءة المنشأة الواحدة مرتبطة بكفاءة المجال الصناعي المحيط بها (Tan et al., 2025, p. 134; Port of Rotterdam Authority, 2026d, p. 1).

(eISSN 3005-3587) و(ISSN 2518-5519) مجلة المعهد، مجلة علمية محكمة مفتوحة المصدر، ذات الرقم المعياري
CC BY-NC 4.0 دولي. 4.0 هذا العمل مرخص بموجب الاسناد/ غير تجاري/

شكل (2): تطور تدفقات المواد السائلة المرتبطة بالنشاط الصناعي في ميناء روتردام: 2015–2025



المصدر: إعداد الباحث بالاعتماد على (Havenbedrijf Rotterdam N.V., 2020, p. 193; Port of Rotterdam Authority, 2022, p. 1; Port of Rotterdam Authority, 2024, p. 1; Port of Rotterdam (Authority, 2026, p. 1

أما الوظيفة الطاقوية فتقوم على شبكة من مرافق إنتاج الكهرباء والحرارة والبخار والغازات الصناعية والهيدروجين التي تخدم المنشآت الصناعية داخل المجمع، إلى جانب إسهام محطات التوليد الواقعة في المجال الميناني في إمدادات الكهرباء الموجهة إلى السوق الهولندية والأوروبية، وقد جعل هذا الجمع بين الاستخدام الصناعي والإمداد الخارجي للطاقة وظيفةً قائمة بذاتها داخل روتردام ترتبط مباشرة بمستويات تشغيل المصافي والمنشآت الكيميائية وكثافة الطلب في أسواق الكهرباء (Samadi et al., 2016, p. 37).

تظهر كثافة هذا الترابط في مرافق التوليد المشترك، ومنها منشأة إير ليكيد في بيرنيس التي بلغت قدرتها الكهربائية نحو 300 ميغاواط مع قدرة لإنتاج البخار تصل إلى 800 طن في الساعة، فيما تمثل محطات يونيبِر في ماسفلاكت الواقعة ضمن المجال الصناعي والميناني لروتردام أحد المكونات الكبيرة للبنية التوليدية، وتكشف بياناتها السنوية عن تفاوت مستويات إنتاج الكهرباء خلال المدة محل الدراسة مع استمرار قدرة توليدية مرتفعة داخل الموقع، بما يربط النشاط الطاقوي بظروف التشغيل والطلب وأسعار الوقود والكهرباء في آن واحد (ينظر جدول (1)) (Port of Rotterdam Authority, 2016, p. 32; Uniper SE, 2026, pp. 4–5).

جدول (1): تطور القدرة والإنتاج الكهربائي لمحطات يونيبِر في ميناء روتردام 2015–2025

السنة	صافي القدرة الكهربائية (ميغاواط)	إنتاج الكهرباء (تيراواط ساعة)
2015	2,140	—
2016	2,140	—
2017	1,070	8.56
2018	1,070	5.84
2019	1,070	3.13

(eISSN 3005-3587) و(ISSN 2518-5519) مجلة المعهد، مجلة علمية محكمة مفتوحة المصدر، ذات الرقم المعياري
CC BY-NC 4.0 دولي. 4.0 هذا العمل مرخص بموجب الاسناد/ غير تجاري/

2020	1,070	4.74
2021	1,070	5.59
2022	1,070	4.56
2023	1,070	3.36
2024	1,070	3.20
2025	1,070	3.18

المصدر : إعداد الباحث بالاعتماد على (Uniper SE, 2017, pp. 4, 29, 33; Uniper SE, 2018, pp. 4–5; Uniper SE, 2020, pp. 4–5; Uniper SE, 2022, pp. 4–5; Uniper SE, 2024, pp. 4–5; Uniper SE, 2026, pp. 4–5).

من البيّن، إذن، أن الوظيفة الصناعية والطاقوية في روتردام تعمل ضمن بنية مترابطة تجعل استقرار الإنتاج مرتبطًا باستمرار إمدادات الكهرباء والحرارة والبخار والهيدروجين، وتنتقل خصائص هذا المزيج الطاقوي مباشرة إلى كلفة التشغيل ومستويات الانبعاث وكفاءة الأصول الصناعية، الأمر الذي يجعل قرارات تحديث المصافي والمنشآت الكيميائية ومحطات التوليد والشبكات المشتركة جزءًا من مسار استثماري واحد تتداخل فيه اعتبارات التنافسية مع متطلبات خفض الكربون، وعلى هذا الأساس تتحدد المشكلة الكربونية في روتردام داخل قاعدة إنتاجية نشأت تاريخيًا حول الوقود الأحفوري والخدمات كثيفة الطاقة، وهو ما دفع إدارة الميناء والشركات العاملة فيه إلى البحث عن صيغة تحول تحافظ على الوظيفة الإنتاجية للمجمع وتعيد تنظيم قاعدته الطاقوية باتجاه كثافة كربونية أدنى.

د. إدارة الميناء وتوزيع الاختصاصات

تعمل هيئة ميناء روتردام ضمن ملكية عامة موزعة بين بلدية روتردام بنسبة 70,83٪ والدولة الهولندية بنسبة 29,17٪، مع استقلال تشغيلي في إدارة المجال المينائي واستثماراته (Port of Rotterdam Authority, 2024, p. 12). ويقوم نموذج الإدارة على الميناء المالك المؤجر، إذ تتولى الهيئة تخصيص الأراضي وإدارة العقود وتطوير الأرصفة والممرات والبنية الأساسية وشبكات الكابلات والأنابيب، فيما تدير الشركات الخاصة المحطات والمصافي والمنشآت الصناعية واللوجستية.(de Langen, 2023, p. 6512) ، ويوفر هذا التوزيع للهيئة أدوات مؤثرة في موقع الاستثمار والبنية المشتركة وشروط استخدام المجال المينائي، في حين تتصل قرارات تحديث الأصول والتقنيات بالشركات العاملة، وتتحرك الانبعاثات ضمن أطر الترخيص والرقابة البيئية الهولندية والأوروبية. ويجعل هذا البناء التحول داخل روتردام مسارًا مؤسسيًا متعدد الأطراف يعتمد على تنسيق مستمر بين الهيئة والشركات والسلطات العامة ومشغلي الشبكات (de Langen, 2023, p. 6516).

3. تكون المشكلة الكربونية ودوافع التدخل (1990–2015)

اقترنت المكانة الاقتصادية التي راكمها ميناء روتردام بتصاعد عبئه الكربوني؛ إذ ارتفعت انبعاثات ثاني أكسيد الكربون بنحو 47,8٪ قياسًا بعام 1990، لتبلغ 30,3 مليون طن عام 2015 وجاءت القفزة الأشد في نهاية هذه المرحلة، بإضافة نحو 5,2 ملايين طن خلال عامين قياسًا بمستوى عام 2013، عقب تشغيل

محطتين جديدتين تعملان بالفحم بطاقة إجمالية قاربت 1,870 ميغاواط وارتفعت انبعاثات قطاع الطاقة إلى 14,5 مليون طن، بما يقارب نصف إجمالي انبعاثات منطقة الميناء.(Samadi et al., 2016, p. 94)

وتركز العبء الكربوني بدوره في القطاعات الثقيلة؛ إذ سجل توليد الكهرباء والحرارة والبخار 14,5 مليون طن عام 2015، وبلغت انبعاثات التكرير نحو عشرة ملايين طن، والكيميائيات والبتروكيميائيات قرابة أربعة ملايين طن، لتستحوذ الأنشطة الثلاثة على نحو 94٪ من الإجمالي واكتسب هذا التركّز بعدًا يتجاوز الحدود المحلية للميناء، بحكم تدفق جانب من الكهرباء المنتجة فيه إلى الشبكة الهولندية والأسواق الأوروبية، في حين تحتسب انبعاثات إنتاجها داخل روتردام (Samadi et al., 2016, p. 37).

جدول (2): **تطور انبعاثات ثاني أكسيد الكربون في منطقة ميناء روتردام خلال المدة** 1990–2015

السنة	إجمالي الانبعاثات (مليون طن CO_2)	التغير قياسًا بعام 1990
1990	20,5	سنة الأساس
2005	25,2	+22,9٪
2010	26,6	+29,8٪
2011	26,4	+28,8٪
2012	25,2	+22,9٪
2013	25,1	+22,4٪
2014	27,6	+34,6٪
2015	30,3	+47,8٪

Source: (Samadi et al., 2016, p. 23).

اتسع البعد السياساتي للمشكلة مع اتضاح الفجوة بين الأهداف المناخية ومسار الانبعاثات؛ إذ تبنت مبادرة روتردام المناخية عام 2007 هدفًا يقضي بخفض انبعاثات الميناء ومجمعه الصناعي بنسبة 50٪ بحلول عام 2025 قياسًا بعام 1990. ويعادل هذا الهدف مستوى 10,25 ملايين طن، بينما بلغت انبعاثات عام 2015 نحو ثلاثة أمثال هذا المستوى، بفارق تجاوز عشرين مليون طن. ورفعت رؤية الميناء لعام 2030 سقف الطموح إلى خفض قدره 60٪، في وقت بقيت فيه المبادرات المبكرة محدودة الأثر أمام اتساع القاعدة الصناعية وتشغيل قدرات جديدة لتوليد الكهرباء بالفحم.(Samadi et al., 2016, p. 24)

وزاد الترابط الصناعي من تعقيد معالجة المشكلة، إذ تعتمد المصافي والمنشآت الكيميائية ومحطات الطاقة على شبكات مشتركة للهيدروجين والبخار والحرارة والكهرباء والأنابيب، فيمتد أثر تغيير مصدر للطاقة أو مادة أولية إلى عمليات إنتاجية متعددة. وارتبط خفض الانبعاثات، تبعًا لذلك، بخريطة طريق مشتركة واستثمارات طويلة الأجل في البنية الأساسية وبيئة تنظيمية توفر اليقين اللازم لاتخاذ قرارات تحديث الأصول (Samadi et al., 2016, p. 83).

مثل عام 2016 نقطة تحول في التعامل المؤسسي مع المشكلة الكربونية؛ إذ أدرجت هيئة ميناء روتردام تحول الطاقة ضمن القضايا الاستراتيجية المرتبطة بمستقبل المجمع الصناعي (Port of Rotterdam Authority, 2016, p. 4).وأصبح تعثر تحقيق أهداف خفض الانبعاثات ضمن المخاطر الخاضعة للمتابعة المؤسسية للهيئة (Port of Rotterdam Authority, 2016, p. 12). وشهد العام ذاته تقديم برنامج تحول الطاقة إطارًا منظمًا للاستجابة للمشكلة (Nikolopoulou & van Koert, 2020, p. 5).

(eISSN 3005-3587) و(ISSN 2518-5519) مجلة المعهد، مجلة علمية محكمة مفتوحة المصدر، ذات الرقم المعياري
CC BY-NC 4.0 دولي. 4.0 هذا العمل مرخص بموجب الاسناد/ غير تجاري/

واقترن هذا التحول المؤسسي بتغيير في منهجية جرد الانبعاثات، وهو ما يفصل السلسلة التاريخية السابقة لعام 2016 عن بيانات المرحلة اللاحقة (Kampman & Manna, 2024, p. 19). وتشكل انبعاثات النطاق الأول المسجلة في ذلك العام، والبالغة 30,6 مليون طن، خط الأساس المتجانس لقراءة مسار الانبعاثات خلال سنوات تطبيق السياسة (Kampman & Manna, 2024, p. 20). ودخل ميناء روتردام مرحلة التحول وهو يحمل عبئًا كربونيًا مرتفعًا داخل قاعدة صناعية مترابطة، فيما ارتبط خفضه بقرارات استثمارية وتنظيمية تتوزع بين فاعلين متعددين.

ثانياً: برنامج تحول الطاقة واستجابة السياسة العامة (2016–2025)

بدأ الإطار الأوروبي لخفض الانبعاثات يتخذ أثرًا مباشرًا في القطاعات كثيفة الكربون مع تشغيل نظام الاتحاد الأوروبي لتداول الانبعاثات عام 2005، ثم اتسع هذا المسار بإقرار إطار المناخ والطاقة لعام 2030 في تشرين الأول 2014، الذي وضع هدفًا ملزمًا لخفض انبعاثات غازات الدفيئة بنسبة 40٪ قياسًا بعام 1990، وربط الخفض بالتوسع في الطاقة المتجددة وتحسين كفاءة استخدامها، وجاء اتفاق باريس عام 2015 ليضيف إلى هذا البناء مرجعية دولية عززت اتجاه السياسات الأوروبية نحو إدخال الاعتبارات المناخية في قرارات الصناعة والطاقة والاستثمار، وتطور هذا الإطار خلال السنوات اللاحقة مع إطلاق الصفقة الخضراء الأوروبية عام 2019، التي ربطت خفض الانبعاثات بتحديث الصناعة والاقتصاد الدائري والطاقة النظيفة والنقل المستدام، ثم جاء قانون المناخ الأوروبي عام 2021 ليمنح الأهداف بعيدة المدى أساسًا قانونيًا موحدًا، محددًا خفض صافي الانبعاثات بنسبة لا تقل عن 55٪ بحلول عام 2030 قياسًا بعام 1990، والحياد المناخي عام 2050، وتبعت ذلك الحزمة التشريعية الموجهة لتحقيق هدف 55٪ بما حملته من تعديلات في نظام تداول الانبعاثات والحوافز والاستثمار، وهو ما وسع أثر السياسة المناخية داخل القرارات الصناعية وربط تحديث الأصول وشبكات الطاقة بمسار التحول الأوروبي طويل الأجل (European Commission, 2019; European Parliament & Council of the European Union, 2021; Council of the European Union, 2023).

تحتل الموانئ الصناعية موقعًا حساسًا داخل هذه التوجهات بسبب اجتماع المصافي والصناعات الكيميائية ومحطات توليد الكهرباء والتخزين والخدمات البحرية وشبكات الإمداد في نطاق مكاني واحد، فخفض الانبعاثات في هذه البيئات يرتبط بالبنية التي تغذي النشاط الصناعي بقدر ارتباطه بالتقنيات المستخدمة داخل المنشآت، ولهذا اتجهت سياسات إزالة الكربون في الموانئ نحو الكهرباء منخفضة الانبعاثات والهيدروجين واحتجاز الكربون وشبكات الحرارة والوقود البديل والبنية المشتركة، مع اتساع دور هيئات الموانئ في تنسيق الاستثمار وتخصيص الأرض وتطوير الشبكات وربط الشركات بمسارات التحول الجديدة (Alzahrani et al., 2021; Fadiga et al., 2024).

وتأتي روتردام ضمن أكثر الحالات الأوروبية تعبيرًا عن هذه العلاقة بين الثقل الصناعي والضغط الكربوني، إذ اعتمدت قاعدتها الاقتصادية على تكرير النفط والصناعات الكيميائية وتوليد الطاقة وتداول الوقود والمواد الأحفورية، وبلغت انبعاثات المجمع الصناعي عام 2016 نحو 19٪ من إجمالي انبعاثات ثاني أكسيد الكربون في

(eISSN 3005-3587) و(ISSN 2518-5519) مجلة المعهد، مجلة علمية محكمة مفتوحة المصدر، ذات الرقم المعياري
CC BY-NC 4.0 دولي. 4.0 هذا العمل مرخص بموجب الاسناد/ غير تجاري/

هولندا، وهو مستوى وضع مستقبل البنية الصناعية والطاقوية للميناء ضمن صلب السياسات الأوروبية والهولندية الخاصة بإزالة الكربون (Schneider et al., 2020, pp. 414–428).

وفي هذه البيئة بدأ برنامج تحول الطاقة عام 2016 بوصفه المسار المؤسسي الذي أعادت من خلاله هيئة ميناء روتردام تنظيم استجابتها لمشكلة الانبعاثات الكربونية، بما ربط خفض الانبعاثات بمستقبل القاعدة الصناعية للميناء وشروط تحولها على المدى الطويل، واتسع نطاق التدخل خلال المدة 2016–2025 ليشمل مشروعات مشتركة وترتيبات تنفيذية جمعت هيئة الميناء بالسلطات العامة والقطاع الصناعي ومشغلي الشبكات، ثم امتدت المعالجة إلى الطاقة والمواد الخام وسلاسل الإمداد ضمن خطة تحول مناخي ربطت مستهدفات عام 2030 بمسار الحياد المناخي لعام 2050، وبذلك انتقل البرنامج إلى مستوى يعالج البنية الصناعية والطاقوية للميناء بوصفها المجال الرئيس الذي تتحدد داخله فرص خفض الانبعاثات واستمرارية النشاط الاقتصادي معًا (Schneider et al., 2020, pp. 414–428; Port of Rotterdam Authority, 2025a, p. 2).

1. نشأة البرنامج وتطوره المؤسسي

انطلق البرنامج عام 2016 في مرحلة بدأت فيها هيئة ميناء روتردام البحث عن مسار طويل الأجل لإعادة تشكيل المجمع الصناعي بما ينسجم مع أهداف خفض الانبعاثات. وفي العام نفسه كلفت الهيئة معهد فوبرتال بإعداد مسارات لإزالة الكربون حتى عام 2050، فحددت الدراسة مجموعة من الخيارات القادرة على إعادة تشكيل نظام الطاقة داخل الميناء، شملت الكهربة، والهيدروجين منخفض الكربون، واحتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه، إلى جانب تطوير الشبكات اللازمة لحركة الكهرباء والحرارة والهيدروجين بين المنشآت. وقد أسهمت هذه المسارات في تحديد الاتجاه المبكر للبرنامج، إذ أصبح دور هيئة الميناء يرتبط بتهيئة البيئة المادية والمؤسسية التي تسمح للشركات بتنفيذ استثماراتها التحولية، وهو ما منح البرنامج منذ مراحله الأولى وظيفة تتجاوز إدارة الانبعاثات السنوية نحو التأثير في البنية التي تحدد مسارها على المدى الطويل(Samadi et al., 2016, p. 83).

وخلال السنوات اللاحقة اتسع نطاق البرنامج مع دخول مشروعات الحرارة واحتجاز الكربون والهيدروجين والوقود والمواد الدائرية ضمن حافظة الاستثمار في الميناء، ثم جرى تنظيم التدخل في أربع مجالات تتصل بالكفاءة والبنية الأساسية، ونظام الطاقة الجديد، ونظام المواد الخام والوقود، واستدامة السلاسل اللوجستية (Port of Rotterdam Authority, 2021c). واكتسب هذا التنظيم وزنًا أكبر خلال الأعوام 2023–2025 مع وصول مشروعات رئيسة إلى قرارات الاستثمار وأعمال الإنشاء، وجمعت خطة التحول المناخي الأهداف والإجراءات القائمة ضمن إطار واحد حتى عام 2030 وربطتها بالمسار الأبعد للحياد المناخي في عام 2050 (Port of Rotterdam Authority, 2025a, p. 2).

2. الإطار الحاكم وأهداف البرنامج

خضع البرنامج لبيئة تنظيمية رفعت كلفة استمرار الأنشطة كثيفة الكربون ووسعت الحوافز الموجهة إلى الاستثمارات منخفضة الانبعاثات، وألزم قانون المناخ الأوروبي دول الاتحاد بخفض صافي انبعاثات غازات الدفيئة بنسبة 55٪ بحلول عام 2030 قياسًا بعام 1990، وببلوغ الحياد المناخي عام واتسع نطاق نظام

(eISSN 3005-3587) و(ISSN 2518-5519) مجلة المعهد، مجلة علمية محكمة مفتوحة المصدر، ذات الرقم المعياري
CC BY-NC 4.0 دولي. 4.0 هذا العمل مرخص بموجب الاسناد/ غير تجاري/

الاتحاد الأوروبي لتداول الانبعاثات ليشمل النقل البحري ابتداءً من عام 2024، فأصبح سعر الكربون أحد مكونات القرار الاستثماري في الأنشطة المينائية والبحرية كثيفة الانبعاثات2050 (European Parliament and Council of the European Union, 2021, p. 1).

وعلى المستوى الهولندي، ربط اتفاق المناخ لعام 2019 خفض الانبعاثات بسياسات قطاعية للصناعة والطاقة والنقل، ودعم هذا المسار بضريبة صناعية على ثاني أكسيد الكربون وبرامج تمويل للتقنيات منخفضة الكربون وسياسة موجهة إلى المجمعات الصناعية (Rijksoverheid, 2019) وأدخلت هذه البيئة سعر الكربون وكلفة الطاقة والدعم الحكومي والبنية الأساسية المشتركة ضمن حساب جدوى تحديث الأصول واختيار التقنيات، فأصبح برنامج الميناء جزءًا من بيئة سياسات وطنية وأوروبية أوسع تحكم مسار التحول الصناعي والطاقوي.

حدد البرنامج غايته بعيدة المدى في بناء ميناء ومجمع صناعي محايدين مناخيًا ودائريين بحلول عام 2050، مع المحافظة على القدرة التنافسية وأمن الإمدادات وموقع روتردام داخل منظومة الطاقة والتجارة الأوروبية، واعتمدت خطة التحول المناخي أهدافًا مرحلية لعام 2030، تشمل خفض انبعاثات الشركات العاملة في منطقة الميناء بنسبة 55٪ قياسًا بعام 1990، وصولًا إلى نحو 9,7 ملايين طن من مكافئ ثاني أكسيد الكربون واستهدفت الخطة خفض انبعاثات الملاحة بنسبة 20٪ قياسًا بعام 2019 ورفع إنتاج ناقلات الطاقة النظيفة إلى أكثر من 6,3 ملايين طن سنويًا، وزيادة استخدام المواد الخام المستدامة والدائرية إلى أكثر من 1,9 مليون طن سنويًا ، إلى جانب خفض البصمة الكربونية لعمليات هيئة الميناء وسلسلة مشترياتها (Port of Rotterdam Authority, 2025a, p. 36).

جدول (3): **أهداف برنامج تحول الطاقة في ميناء روتردام ومؤشرات عام** 2030*

الهدف	خط الأساس	المستهدف عام 2030	مؤشر القياس
خفض انبعاثات الشركات في منطقة الميناء	21,5 مليون طن CO_2e عام 1990، و31,5 مليون طن عام 2016	خفض 55٪ قياسًا بعام 1990، وصولًا إلى نحو 9,7 ملايين طن	إجمالي الانبعاثات المباشرة للشركات
خفض انبعاثات الملاحة	عام 2019	خفض 20٪	انبعاثات السفن داخل نطاق الإدارة الملاحية
زيادة إنتاج ناقلات الطاقة النظيفة	إنتاج عام 2019	أكثر من 6,3 ملايين طن سنويًا	حجم إنتاج ناقلات الطاقة النظيفة
زيادة استخدام المواد الخام المستدامة والدائرية	0,19 مليون طن عام 2019	أكثر من 1,9 مليون طن سنويًا	حجم المواد البديلة المستخدمة
خفض انبعاثات هيئة الميناء	عام 2019	خفض 90٪ في انبعاثات النطاقين الأول والثاني	البصمة الكربونية لعمليات الهيئة

Source: Prepared by the researcher based on: (Port of Rotterdam Authority, 2025a, P.P. 14-36).

* يستخدم الجدول خط الأساس وفق تعريف المؤشر المعتمد في خطة التحول المناخي، فيما يعرض جدول (2) السلسلة التاريخية المستخرجة من مصدر مستقل للفترة ١٩٩٠–٢٠١٥.

(eISSN 3005-3587) و(ISSN 2518-5519) مجلة المعهد، مجلة علمية محكمة مفتوحة المصدر، ذات الرقم المعياري
CC BY-NC 4.0 دولي. 4.0 هذا العمل مرخص بموجب الاسناد/ غير تجاري/

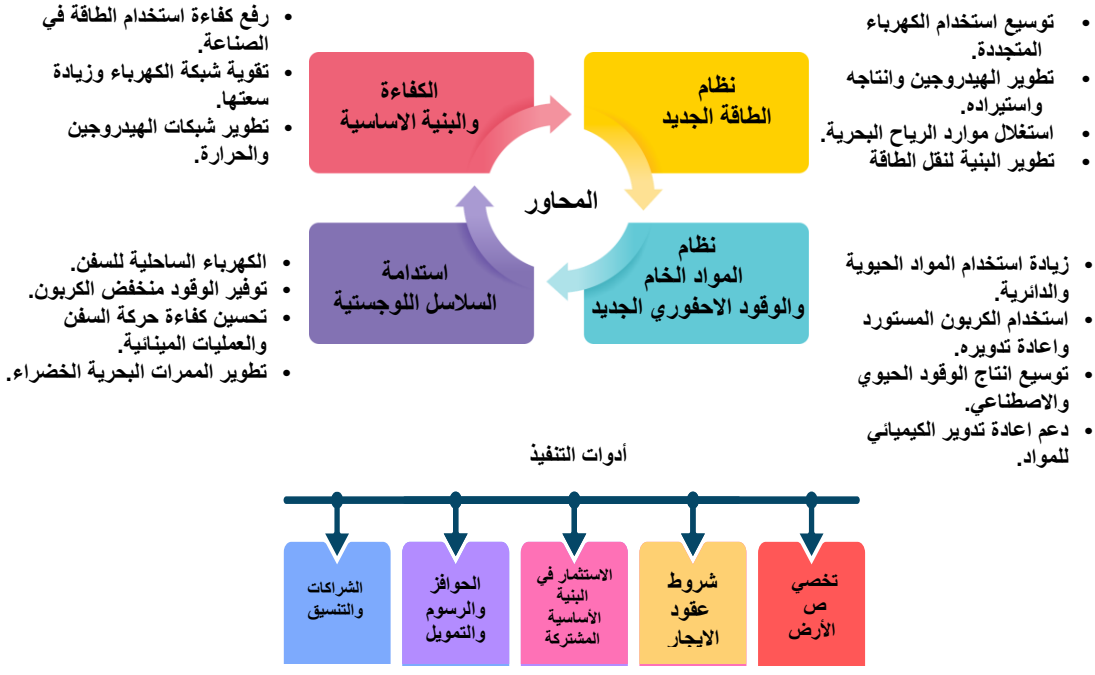
https://doi.org/10.61353/ma.0260145

3. محاور الاستجابة وأدوات التنفيذ

وزَّع البرنامج تدخلاته على أربع مجالات ترتبط بمصادر الانبعاثات الرئيسة في روتردام، وشملت الكفاءة والبنية الأساسية ونظام الطاقة والمواد الخام والوقود والسلاسل اللوجستية، واتصل خفض انبعاثات المصافي والصناعات الكيميائية بتوافر الكهرباء والهيدروجين وشبكات نقل الكربون والحرارة، في حين ارتبط تعديل تركيب الإنتاج بإدخال مواد خام ووقود أقل كثافة كربونية، وامتد التدخل إلى السفن وحركة النقل المتصلة بالميناء (Port of Rotterdam Authority, 2025a, p. 14).

واستند تنفيذ هذه المجالات إلى الأدوات التي تملكها هيئة الميناء بحكم إدارتها للأرض والبنية الأساسية والعقود، إلى جانب الحوافز والشراكات والاستثمار المشترك(Monios et al., 2024)، وتؤثر هذه الأدوات في شروط الاستثمار وموقعه والبنية التي تعتمد عليها الشركات، بينما تبقى قرارات تحديث المنشآت واختيار التقنيات والاستثمارات الرأسمالية مرتبطة بالشركات والإطار التنظيمي والتمويلي المحيط بها(Cuppen et al., 2021)، ويوضح الشكل (3) العلاقة بين مجالات التدخل وأدوات التنفيذ المعتمدة في البرنامج.

شكل (3): محاور برنامج تحول الطاقة وأدوات التنفيذ في ميناء روتردام



Source: (Port of Rotterdam Authority, 2021c; Port of Rotterdam Authority, 2025a, p. 14)..

4. المشروعات التنفيذية الكبرى وحالتها في نهاية عام 2025

ترجم البرنامج جانبًا من تدخلاته إلى مشروعات تستهدف البنية الأساسية للكربون والهيدروجين والحرارة، إلى جانب الكهرباء الساحلية والوقود المتجدد والمواد الدائرية. وتفاوتت المشروعات في مستوى إنجازها حتى نهاية

(eISSN 3005-3587) و(ISSN 2518-5519) مجلة المعهد، مجلة علمية محكمة مفتوحة المصدر، ذات الرقم المعياري
CC BY-NC 4.0 دولي. 4.0 هذا العمل مرخص بموجب الاسناد/ غير تجاري/

عام 2025، فدخل بعضها مرحلة التشغيل، في حين بقيت المشروعات ذات السعات الأكبر ضمن مراحل الاستثمار والإنشاء والتجهيز (Port of Rotterdam Authority, 2025a, p. 14). ويعرض الجدول (4) حالة المشروعات الرئيسة وقدراتها أو مخرجاتها المستهدفة.

جدول (4): **المشروعات الرئيسة لبرنامج تحول الطاقة وحالتها في نهاية عام** 2025

مجال التدخل	المشروع	القدرة أو المخرج المستهدف	الحالة في نهاية 2025
إدارة الكربون	Porthos	نقل وتخزين 2,5 مليون طن CO_2 سنويًا	قيد الإنشاء المتقدم
الهيدروجين	Rotterdam Hydrogen Network	شبكة بطول 32 كيلومترًا	قيد التجهيز والاختبار
الهيدروجين	Holland Hydrogen 1	200 ميغاواط، ونحو 60 طنًا يوميًا	قيد الإنشاء
الهيدروجين	ELYgator	200 ميغاواط، و23 ألف طن سنويًا	قرار استثمار نهائي وبدء الإنشاء
الحرارة	WarmtelinQ	حرارة صناعية تكفي لنحو 120 ألف منزل ومنشأة	قيد الإنشاء
الملاحة	الكهرباء الساحلية	تزويد السفن بالكهرباء أثناء الرسو	تشغيل جزئي
الوقود المتجدد	Neste Rotterdam	500 ألف طن SAF سنويًا	تشغيل فعلي
المواد الدائرية	Xycle	معالجة 21 ألف طن من النفايات البلاستيكية سنويًا	بدء الإنشاء

Source: Prepared by the researcher based on: (Air Liquide, 2025; Hynetwork, 2025; Neste Corporation, 2025; Porthos, n.d.; Port of Rotterdam Authority, 2025a, p. 14; WarmtelinQ, 2025).

تكشف حالة هذه المشروعات أن الأعمال الأثقل وزنًا في خفض الانبعاثات بقيت حتى نهاية عام 2025 ضمن مراحل الإنشاء والتجهيز، خصوصًا بنية نقل الكربون والهيدروجين والحرارة. واقتصر التشغيل الفعلي على نطاق أضيق شمل الكهرباء الساحلية للسفن السياحية وإنتاج وقود الطيران المستدام، لذلك ظهرت حصيلة البرنامج خلال مدة الدراسة بوضوح أكبر في بناء الأصول والشبكات الجديدة مقارنة بالأثر الكربوني المتحقق عبر التشغيل الصناعي واسع النطاق.

5. توزيع المسؤوليات ومعوقات التنفيذ

تأثر تنفيذ برنامج تحول الطاقة بقيود ترتبط بسعة شبكة الكهرباء وكلفة الطاقة والتمويل وإجراءات الترخيص، وانعكس ذلك على توقيت الاستثمارات الصناعية وجدواها. وحد ازدحام الشبكة الكهربائية من التوسع في كهربة الصناعة وتشغيل وحدات التحليل الكهربائي ومرافق الكهرباء الساحلية، وأضافت رسوم الشبكات وكلف الإنشاء والتمويل أعباء رأسمالية رفعت درجة المخاطرة في عدد من المشروعات. وارتبط سوق الهيدروجين بتزامن قرارات الإنتاج والنقل والاستخدام الصناعي، لأن جدوى الشبكة تتصل بحجم الطلب المتوقع ووضوح الإمدادات المستقبلية وكلفتها.(Port of Rotterdam Authority, 2025a, p. 16)

دفعت هذه القيود إلى مراجعة ترتيبات التنفيذ في عدد من المشروعات. ووسعت هيئة الميناء تعاونها مع مشغلي شبكات الكهرباء لمعالجة الاختناقات وتحسين تقديرات الطلب، وارتبط تطوير سوق الهيدروجين بتوفير الشبكات ومواقع الإنتاج والدعم والعقود طويلة الأجل. وخضعت أجزاء من WarmtelinQ لإعادة الجدولة تحت ضغط الكلفة، واستلزم مشروع Porthos معالجة متطلبات تنظيمية إضافية، في حين بلغ مشروع

ELYgator قرار الاستثمار النهائي خلال عام 2025 (Air Liquide, 2025; Porthos, n.d.; WarmtelinQ, 2025). ويضع هذا المسار التنسيق بين الاستثمارات العامة والخاصة في موقع حاسم داخل قدرة البرنامج على الانتقال من الأصول المخططة إلى أثر بيئي متحقق.

ثالثاً: تقويم فاعلية برنامج تحول الطاقة خلال مرحلة التطبيق

يقاس أداء برنامج تحول الطاقة في روتردام بمقدار التغير الذي أحدثه في الانبعاثات وبنية الطاقة والمواد، وبقدرته على تحويل الأدوات المؤسسية والاستثمارات إلى أصول عاملة ونتائج قابلة للقياس. ويمثل 2016 سنة الإطلاق وخط الأساس المتجانس لقراءة الانبعاثات، فيما تغطي الأعوام اللاحقة حتى نهاية عام 2025 مرحلة ظهور النتائج التنفيذية الأولى. ويقتضي هذا التقويم فصل أثر البرنامج عن العوامل التي حركت الانبعاثات خارج نطاقه المباشر، وفي مقدمتها سياسات الطاقة وأسعار الوقود والكهرباء وحجم الإنتاج الصناعي والطلب الأوروبي وقرارات الشركات الاستثمارية (Mayne, 2012, p. 272).

1. **إطار تقويم الفاعلية**

تتمثل وحدة التحليل في مساهمة برنامج تحول الطاقة في خفض الانبعاثات المباشرة للشركات العاملة داخل المجمع الميناني والصناعي، مع تتبع أثره في الطاقة والمواد الخام والبنية الأساسية المرتبطة بالتحول. ويقرأ أثر البرنامج بوصفه مساهمة داخل منظومة أوسع من الأسباب، تشمل إغلاق محطات الفحم وتقلب أسعار الطاقة وتغير حجم الإنتاج والسياسات الأوروبية والهولندية، بما يتيح تمييز ما ارتبط بأدوات البرنامج ومشروعاته عما ارتبط بتحولات السوق والتنظيم والنشاط الصناعي.(Mayne, 2012, p. 272)

يقوم التقويم على أربعة أبعاد مترابطة، تتمثل في النتيجة البيئية والقطاعية عبر قياس حركة الانبعاثات وتوزيع الخفض بين القطاعات، والمساهمة السببية عبر فحص الصلة بين أدوات البرنامج والنتائج مقارنة بالعوامل المنافسة، والفاعلية التنفيذية والتحول الهيكلي عبر قياس تقدم المشروعات وتغير الطاقة والمواد والملاحة، والملاءمة الزمنية عبر مقارنة ما تحقق حتى نهاية عام 2025 بالفجوة المتبقية نحو أهداف عام 2030. وتعتمد الدراسة أحدث سلسلة استعادية للانبعاثات بوحدة مكافئ ثاني أكسيد الكربون، مع استخدام خطة التحول المناخي لتثبيت الأهداف الرسمية وخطوط الأساس المعتمدة (Port of Rotterdam Authority, 2025a, p. 14).

(eISSN 3005-3587) و(ISSN 2518-5519) مجلة المعهد، مجلة علمية محكمة مفتوحة المصدر، ذات الرقم المعياري
CC BY-NC 4.0 دولي. 4.0 هذا العمل مرخص بموجب الاسناد/ غير تجاري/

شكل (3): **إطار تقويم فاعلية برنامج تحول الطاقة في ميناء روتردام**



Source: Prepared by the researcher based on: (Mayne, 2012, p. 272; OECD, 2021; Port of Rotterdam Authority, 2025a, p. 14).

2. تطور الانبعاثات ومصادر الخفض القطاعية

سجلت الشركات العاملة في المجمع المينائي والصناعي انبعاثات بلغت 31,1 مليون طن من مكافئ ثاني أكسيد الكربون عام 2016، وانتهت السلسلة عند 21,2 مليون طن عام 2025، بخفض صافٍ مقداره 9,9 ملايين طن ونسبة بلغت 31,8٪ قياسًا بسنة الإطلاق (Port of Rotterdam Authority, 2026b). ويحمل هذا الانخفاض وزنًا واضحًا في تقويم البرنامج، إلا أن مساره السنوي اتسم بالتقلب بفعل تغير إنتاج الكهرباء وأسعار الوقود والنشاط الصناعي والطلب الأوروبي على الطاقة.

جدول (5): **تطور انبعاثات الشركات في المجمع المينائي والصناعي**، 2016–2025

السنة	إجمالي الانبعاثات مليون طن CO_2e	التغير السنوي (مليون طن)	التغير التراكمي قياسًا بعام 2016
2016	31,1	—	سنة الأساس
2017	29,1	2,0−	٪6,4−
2018	27,0	2,1−	٪13,2−
2019	26,0	1,0−	٪16,4−
2020	23,1	2,9−	٪25,7−
2021	24,2	1,1+	٪22,2−
2022	23,2	1,0−	٪25,4−
2023	20,8	2,4−	٪33,1−

(eISSN 3005-3587) و(ISSN 2518-5519) مجلة المعهد، مجلة علمية محكمة مفتوحة المصدر، ذات الرقم المعياري
CC BY-NC 4.0 دولي. 4.0 هذا العمل مرخص بموجب الاسناد/ غير تجاري/

2024	19,1	1,7−	٪38,6−
2025	21,2	2,1+	٪31,8−

Source: Prepared by the researcher based on: (Port of Rotterdam Authority, 2026b).

جاء القسم الأول من الخفض خلال الأعوام 2016–2020 في ظل انكماش انبعاثات توليد الكهرباء وإيقاف قدرات فحمية قديمة، واتسعت وتيرته عام 2020 مع انخفاض إنتاج الكهرباء الأحفورية وتراجع النشاط الصناعي خلال جائحة كورونا. واتصل هذا المسار بتغير مزيج الكهرباء ودورات الصيانة والطلب والأسعار داخل المصافي والصناعات الكيميائية، وهو ما يجعل انخفاض الانبعاثات حصيلة لعدة عوامل متداخلة (Port of Rotterdam Authority, 2021a).

عادت حساسية الانبعاثات لأسعار الطاقة وحجم الإنتاج خلال عامي 2021 و2022، فارتفعت عام 2021 مع التعافي الاقتصادي وتحسن جدوى تشغيل الفحم، ثم انخفضت عام 2022 مع ارتفاع أسعار الغاز وتقليص إنتاج الصناعات الكيميائية والغازات الصناعية (Port of Rotterdam Authority, 2023). وحمل عامَا 2023 و2024 خفضًا إضافيًا ارتبط بتراجع توليد الكهرباء الأحفورية وضعف بعض الأنشطة الصناعية، قبل أن يسجل عام 2025 زيادة قدرها 2,1 مليون طن بفعل ارتفاع إنتاج محطات الفحم والغاز وتحسن نشاط التكرير وعودة منشأة حرق النفايات إلى التشغيل (Kampman & Manna, 2024, p. 20; Port of Rotterdam Authority, 2026b).

تظهر بنية الخفض بصورة أوضح عند توزيع التغير بين القطاعات؛ إذ انخفضت انبعاثات قطاع توليد الكهرباء بمقدار 8,2 ملايين طن خلال مدة القياس، في حين سجلت المصافي تغيرًا محدودًا بلغ 0,1 مليون طن، وانخفضت الصناعات الكيميائية بنحو 1,4 مليون طن. ويرتبط القسم الأكبر من الخفض الكلي بقطاع الكهرباء، بينما استمر التحول داخل الصناعة الأساسية بوتيرة أبطأ وأضيق نطاقًا (Kampman & Manna, 2024, p. 20).

جدول (6): **مساهمة القطاعات في تغير الانبعاثات خلال المدة** 2016–2025

القطاع	انبعاثات 2016 «مليون طن CO_2e»	انبعاثات 2025 «مليون طن CO_2e»	التغير المطلق	معدل التغير
محطات الفحم	13,4	4,2	9,2−	٪68,7−
محطات الغاز	1,4	2,4	1,0+	٪71,4+
قطاع توليد الكهرباء	**14,8**	**6,6**	**8,2−**	**٪55,4−**
مصافي النفط	9,1	9,0	0,1−	٪1,1−
الصناعات الكيميائية	5,5	4,1	1,4−	٪25,5−
القطاعات الأخرى	1,7	1,3	0,4−	٪23,5−
إجمالي المجمع	**31,1**	**21,2**	**9,9−**	**٪31,8−**

Source: Prepared by the researcher based on: (Port of Rotterdam Authority, 2026b).

ويضع التوزيع القطاعي نتيجة الخفض في إطار أكثر دقة؛ فقد جاء نحو أربعة أخماس الانخفاض الصافي من قطاع الكهرباء، مدفوعًا بانكماش إنتاج الفحم وتغير مزيج التوليد، بينما بقيت انبعاثات التكرير قريبة من مستوى عام 2016. أما انخفاض الصناعات الكيميائية فارتبط جانب منه بتراجع الإنتاج وارتفاع كلفة الغاز وضعف القدرة التنافسية، وهو ما يحد من معاملته بوصفه خفضًا ناجمًا بالكامل عن إزالة الكربون داخل العملية الصناعية (Kampman & Manna, 2024, p. 20)، وبذلك سجل المجمع تحسنًا كميًا معتبرًا في الانبعاثات، لكن مصدر هذا التحسن بقي مركزًا بدرجة كبيرة في الكهرباء، فيما ظهر التحول التقني داخل المصافي والكيميائيات بوتيرة أبطأ حتى نهاية عام 2025.

3. إسناد النتائج إلى البرنامج والعوامل المنافسة

يتطلب تقدير مساهمة برنامج تحول الطاقة فصل أثر أدواته ومشروعاته عن العوامل التي حركت الانبعاثات خلال مدة التطبيق. ونتج الخفض المسجل البالغ 9,9 ملايين طن داخل بيئة تأثرت بإغلاق محطات الفحم وتغير مزيج الكهرباء وأسعار الطاقة وحجم الإنتاج الصناعي والطلب الأوروبي، إلى جانب التدخلات التي قادتها هيئة الميناء.(Mayne, 2012, p. 272)

يوضح التوزيع القطاعي أن توليد الكهرباء وفر القسم الأكبر من الخفض، في حين بقيت انبعاثات المصافي قريبة من مستوى عام 2016، واتصل جزء من انخفاض الكيميائيات بضعف الإنتاج وارتفاع كلفة الغاز .(Kampman & Manna, 2024, p. 20)ويحمل البرنامج في هذه النتيجة دورًا مهمًا في تهيئة المشروعات والبنية المشتركة وتنسيق الاستثمار، بينما يتخذ الأثر السببي المباشر في الانخفاض الكلي نطاقًا أضيق من حجم الخفض المسجل.

تدعم حالة التنفيذ هذا التقدير؛ إذ ظهرت نتائج مباشرة داخل نطاقات محدودة تشمل الكهرباء الساحلية وبعض استخدامات الحرارة وعمليات هيئة الميناء، في حين بقيت المشروعات ذات القدرة الأعلى على خفض الانبعاثات الصناعية، وفي مقدمتها شبكة نقل الكربون وشبكات الهيدروجين ومنشآت التحليل الكهربائي، ضمن مراحل الإنشاء والتجهيز حتى نهاية عام 2025 (Port of Rotterdam Authority, 2025a, p. 14). ولذلك تركزت مساهمة البرنامج خلال مدة القياس في بناء الشروط المادية والمؤسسية للتحول، فيما ارتبط الجانب الأكبر من الانخفاض الفعلي في الانبعاثات بتغيرات قطاع الكهرباء والسياسات الوطنية وحركة الأسواق والإنتاج.

جدول (7): **إسناد النتائج الرئيسة لبرنامج تحول الطاقة حتى نهاية عام** 2025

النتيجة المرصودة	ما يرتبط بالبرنامج	العوامل المنافسة أو المكملة	الحكم على مساهمة البرنامج
خفض إجمالي قدره 9,9 ملايين طن CO_2e	البنية الأساسية، المشروعات، العقود والشراكات	إغلاق الفحم، تغير مزيج الكهرباء، الأسواق والإنتاج	مساهمة تمكينية معتبرة وأثر مباشر أضيق
خفض قطاع الكهرباء بمقدار 8,2 ملايين طن	إدماج تحول الطاقة وتطوير البنية الداعمة	السياسة الوطنية، الطاقة المتجددة، أسعار الوقود والطلب الأوروبي	مساهمة استراتيجية وتنسيقية
استقرار انبعاثات المصافي تقريبًا	مشروعات الهيدروجين والكربون والكهربة	حجم التكرير، الصيانة وهوامش السوق	أثر مباشر محدود حتى نهاية 2025

(eISSN 3005-3587) و(ISSN 2518-5519) مجلة المعهد، مجلة علمية محكمة مفتوحة المصدر، ذات الرقم المعياري
CC BY-NC 4.0 دولي. 4.0 هذا العمل مرخص بموجب الاسناد/ غير تجاري/

خفض الكيميائيات بنحو 1,4 مليون طن	الطاقة والمواد البديلة والبنية المشتركة	تراجع الإنتاج وارتفاع أسعار الغاز	مساهمة محدودة مع أثر واضح للعوامل السوقية
بناء أصول الكربون والهيدروجين والحرارة	الأرض، الاستثمار، الشراكات والبنية المشتركة	الكلفة والتراخيص وتوقيت قرارات الشركات	مساهمة تمكينية قوية وأثر كربوني مؤجل

Source: Researcher's assessment based on: (Kampman & Manna, 2024, p. 20; Port of Rotterdam Authority, 2025a, p. 14; Port of Rotterdam Authority, 2026b).

وتقود هذه الأدلة إلى حكم أكثر تحفظًا على النتيجة الكلية؛ فقد أسهم البرنامج بوضوح في بناء البنية الاستثمارية والمؤسسية للتحول، لكن البيانات المتاحة حتى نهاية عام 2025 تمنح العوامل المرتبطة بالكهرباء والسياسات الوطنية والأسواق وزنًا أكبر في تفسير الجزء المحقق من خفض الانبعاثات، أما القيمة الكربونية للمشروعات الكبرى التي أنشأها البرنامج أو دفعها نحو الاستثمار، فترتبط بدرجة تشغيلها واستخدامها الصناعي خلال السنوات اللاحقة.

4. فاعلية التنفيذ والتحول الهيكلي

ظهر تقدم البرنامج بوضوح أكبر في بناء البنية اللازمة للتحول مقارنة بتغيير تركيب الطاقة والمواد خلال مدة القياس. وبلغ إنتاج ناقلات الطاقة النظيفة 2,3 مليون طن عام 2024، مقارنة بـ2,5 مليون طن عام 2019، في وقت يستهدف البرنامج أكثر من 6,3 ملايين طن سنويًا بحلول عام 2030، وسار استخدام المواد الخام المستدامة والدائرية بوتيرة أبطأ، إذ سجل نحو 0,2 مليون طن عام 2024، قريبًا من مستوى عام 2019 البالغ 0,19 مليون طن، مقابل هدف يتجاوز 1,9 مليون طن سنويًا (Port of Rotterdam Authority, 2025a, p. 25).

ويتفاوت الأداء في الملاحة وعمليات هيئة الميناء بحسب مقدار السلطة المباشرة على مصدر الانبعاث. وانخفضت انبعاثات الملاحة إلى 2,233 مليون طن عام 2025 بعد تسجيل 2,277 مليون طن في سنة الأساس 2019، بما يعادل خفضًا قدره 1,9٪ قياسًا بهدف يبلغ 20٪ عام 2030 (Port of Rotterdam Authority, 2025a, p. 20). وبلغت انبعاثات النطاقين الأول والثاني لهيئة الميناء 550 طنًا عام 2025، مقارنة بـ3,388 طنًا عام 2019، بخفض قدره 83,8٪، مع تراجع إضافي في وقود المقاولين والسفر الجوي والتنقل المرتبط بالعمل (Havenbedrijf Rotterdam N.V., 2026).

جدول (8): **مؤشرات مختارة لفاعلية التحول الهيكلي حتى نهاية عام** 2025

المؤشر	خط الأساس	أحدث قيمة متاحة	هدف 2030	القراءة التقويمية
إنتاج ناقلات الطاقة النظيفة	2,5 مليون طن عام 2019	2,3 مليون طن عام 2024	أكثر من 6,3 ملايين طن سنويًا	التحول التشغيلي ما زال بعيدًا عن المستوى المستهدف
المواد الخام المستدامة والدائرية	0,19 مليون طن عام 2019	نحو 0,2 مليون طن عام 2024	أكثر من 1,9 مليون طن سنويًا	تقدم محدود قياسًا بحجم الإحلال المطلوب
انبعاثات الملاحة	2,277 مليون طن عام 2019	2,233 مليون طن عام 2025	خفض 20٪	خفض قدره 1,9٪ حتى نهاية مدة القياس

CC BY-NC 4.0 دولي. 4.0 هذا العمل مرخص بموجب الاسناد/ غير تجاري/

انبعاثات النطاقين الأول والثاني لهيئة الميناء	3,388 طنًا عام 2019	550 طنًا عام 2025	خفض 90٪	تقدم قدره 83,8٪ قياسًا بخط الأساس

Source: Prepared by the researcher based on: (Havenbedrijf Rotterdam N.V., 2026; Port of Rotterdam Authority, 2025a, p. 20; Port of Rotterdam Authority, 2025a, p. 23; Port of Rotterdam Authority, 2025a, p. 25; Port of Rotterdam Authority, 2025a, p. 36).

من البين، اذن، إن المؤشرات السابقة مجتمعةً تكشف صورةً غير متجانسة لفاعلية البرنامج؛ إذ اقترب التقدم داخل نطاق السيطرة المباشرة لهيئة الميناء من أهدافه المؤسسية، في حين جاءت وتيرة تغير تدفقات الطاقة والمواد وانبعاثات الملاحة دون المسار المطلوب لعام 2030. ويرتبط هذا الفارق بطبيعة كل مجال، إذ تتمتع الهيئة بقدرة أسرع على تعديل أصولها ومشترياتها وعقودها، بينما يتصل التحول الصناعي والبحري بقرارات استثمارية موزعة بين الشركات وملاك السفن ومشغلي الشبكات والأسواق الناشئة للوقود والمواد منخفضة الكربون.

5. الانبعاثات غير المباشرة واستمرار التدفقات الأحفورية

يتغير تقدير فاعلية التحول عند توسيع نطاق القياس خارج الانبعاثات المباشرة للمجمع. وقدرت مراجعة مستقلة البصمة المرتبطة بالنفط الخام والمنتجات النفطية والفحم والغاز الطبيعي المسال المتداولة عبر روتردام بنحو 604 ملايين طن من مكافئ ثاني أكسيد الكربون عام 2023، وقع نحو 583 مليون طن منها خارج منطقة الميناء عبر مراحل الاستخراج والنقل والمعالجة والاستخدام النهائي، واستحوذ النفط الخام والمنتجات النفطية على قرابة 83٪ من هذه البصمة(Kampman & Manna, 2024, p. 3) ، وبقي المستوى المرتبط بالتدفقات الأحفورية قريبًا من 620 مليون طن خلال الأعوام 2010–2023، في وقت انخفضت فيه الانبعاثات المحلية بدرجة رئيسة بفعل تغيرات قطاع توليد الكهرباء (Kampman & Manna, 2024, p. 23)، ويضع هذا الفارق حدودًا واضحة للنتيجة البيئية المحلية، لأن انخفاض الانبعاثات داخل روتردام تزامن مع استمرار الميناء في أداء وظيفة واسعة في تداول مصادر الطاقة والمواد الأحفورية.

استمر هذا الوزن خلال عام 2025؛ إذ بلغت مناولة النفط الخام 101,2 مليون طن والفحم 17,3 مليون طن والغاز الطبيعي المسال 13 مليون طن، إلى جانب كميات واسعة من المنتجات النفطية، وظهرت في سوق وقود السفن زيادة في بعض البدائل، وبخاصة الغاز الحيوي المسال والميثانول الحيوي، في حين بلغ إجمالي مبيعات الوقود البحري 9,8 ملايين طن خلال العام نفسه (Port of Rotterdam Authority, 2026c). وتظهر هذه المؤشرات تقدمًا في البنية والمشروعات وبعض مصادر الطاقة الجديدة، مع بقاء تغيير الوزن النسبي للتدفقات الأحفورية أبطأ من التغير المسجل في الانبعاثات المباشرة للمجمع.

6. الفجوة نحو هدف عام 2030 والحكم التقويمي

بلغت انبعاثات الشركات في منطقة الميناء 21,2 مليون طن من مكافئ ثاني أكسيد الكربون عام 2025، في حين يستهدف البرنامج مستوى يقارب 9,7 ملايين طن عام 2030 (Port of Rotterdam Authority, 2025a, p. 14; Port of Rotterdam Authority, 2026b). وبقي على المجمع خفض 11,5 مليون طن خلال السنوات الخمس اللاحقة، بعد خفض صافٍ بلغ 9,9 ملايين طن منذ عام 2016. ويمثل ذلك

(eISSN 3005-3587) و(ISSN 2518-5519) مجلة المعهد، مجلة علمية محكمة مفتوحة المصدر، ذات الرقم المعياري
CC BY-NC 4.0 دولي. 4.0 هذا العمل مرخص بموجب الاسناد/ غير تجاري/

تقدمًا قدره 46,3٪ من مقدار الخفض اللازم لبلوغ المستوى المستهدف، ويتطلب متوسط خفض يقارب 2,3 مليون طن سنويًا حتى عام 2030، مقابل متوسط تاريخي بلغ نحو 1,1 مليون طن خلال مدة التطبيق.

جدول (9): **التقدم المحقق والفجوة المتبقية نحو هدف الانبعاثات لعام** 2030

المؤشر	القيمة
انبعاثات عام 2016	31,1 مليون طنCO_2e
انبعاثات عام 2025	21,2 مليون طنCO_2e
المستوى المستهدف عام 2030	9,7 ملايين طنCO_2e
الخفض الصافي المحقق حتى عام 2025	9,9 ملايين طن
نسبة التقدم في الخفض المطلوب	46,3٪
الفجوة المتبقية	11,5 مليون طن
متوسط الخفض السنوي المحقق	نحو 1,1 مليون طن
متوسط الخفض السنوي المطلوب حتى 2030	نحو 2,3 مليون طن

Source: Prepared by the researcher based on: (Port of Rotterdam Authority, 2025a, p. 14; Port of Rotterdam Authority, 2026b).

تتصل صعوبة إغلاق هذه الفجوة باستمرار قيود سعة شبكة الكهرباء وكلفة الطاقة وتأخر بعض مشروعات الهيدروجين واحتجاز الكربون وطول إجراءات الترخيص وضعف الطلب على بعض المنتجات منخفضة الكربون. وينسجم هذا الضغط مع المسار المناخي الهولندي الأوسع، إذ تشير التقديرات إلى أن السياسات القائمة تقود إلى خفض وطني يتراوح بين 45٪ و53٪ بحلول عام 2030، مع فجوة قائمة عن هدف 55٪. (PBL Netherlands Environmental Assessment Agency, 2025, p. 6).

تسند حصيلة التنفيذ حكمًا بتقدم البرنامج في إنشاء الأصول المشتركة ودفع المشروعات نحو التشغيل، مع تفاوت مراحل الإنجاز حتى نهاية عام 2025، وتتحدد مساهمته في خفض الانبعاثات بالنتائج التشغيلية التي تسندها أدلة تربط تدخلاته بالتغير المرصود، فيما تظل القدرة الكربونية للمشروعات قيد الإنشاء ضمن النتائج المتوقعة المشروطة بموعد تشغيلها وحجم استخدامها، وعلى هذا الأساس يُعرض الحكم على البرنامج بحسب مجالات الإنجاز وقوة الإسناد في كل مجال.

خامساً: **حصيلة التقويم والدلالات السياساتية**

تكشف حصيلة التطبيق أن برنامج تحول الطاقة في روتردام حقق تقدمًا أكبر في بناء شروط التحول مقارنة بالتغير المتحقق في البنية الكربونية للمجمع الصناعي حتى نهاية عام 2025. وامتلكت هيئة الميناء أدوات مؤثرة في إدارة الأرض والعقود والاستثمار والبنية الأساسية، فدفعت عددًا من المشروعات إلى مراحل متقدمة، بينما ارتبطت النتائج الصناعية والبحرية بقرارات شركات مستقلة وشبكات عامة وأسواق للطاقة والمواد تتجاوز نطاق اختصاص الهيئة.(Port of Rotterdam Authority, 2025a, p. 14)

فضلاً عن ذلك يتضح أثر هذا التفاوت في سرعة النتائج؛ إذ ظهر الأداء الأقوى في الأنشطة التي تخضع لقرار الهيئة المباشر، في حين جاء التحول داخل المصافي والصناعات الكيميائية والملاحة وتدفقات الطاقة والمواد بوتيرة أبطأ. وسجلت الانبعاثات المباشرة للشركات خفضًا بلغ 31,8٪ قياسًا بعام 2016، إلا أن تركّز القسم الأكبر من الخفض في قطاع توليد الكهرباء، وبقاء انبعاثات التكرير عند مستويات مرتفعة، وتأثر الصناعات

الكيميائية بحجم الإنتاج وأسعار الطاقة، يضيّق مساحة الإسناد المباشر للبرنامج (Kampman & Manna, 2024, p. 20; Port of Rotterdam Authority, 2026b).

وظهر إسهام البرنامج بصورة أوضح في تهيئة قدرة خفض مستقبلية عبر شبكات الكربون والهيدروجين والحرارة والكهرباء والمشروعات المرتبطة بالطاقة والمواد البديلة. ويرتبط الاختبار المركزي للمرحلة المقبلة بانتقال هذه القدرة إلى تشغيل صناعي منتظم يخفض كثافة الكربون داخل الإنتاج، ويغير موقع المواد والطاقة منخفضة الانبعاثات في عمل المجمع الصناعي.

وتفضي تجربة روتردام إلى خمس دلالات سياساتيّة تصلح لتصميم سياسات تحول الموانئ الصناعية وإدارة تنفيذها في البيئات التي تتوزع فيها صلاحيات القرار والاستثمار بين المؤسسات العامة والشركات ومشغلي البنية الأساسية.

1. ربط المسؤولية بحدود السلطة الفعلية: ترتفع فاعلية هيئة الميناء في المجالات التي تملك فيها أدوات مباشرة، مثل الأرض والعقود والأصول المشتركة، في حين ترتبط نتائج الصناعة والملاحة بقرارات تتوزع بين أطراف متعددة. ويقود ذلك إلى بناء المسؤولية السياساتيّة وفق مساحة النفوذ المتاحة لكل فاعل، مع توظيف شروط العقود وتخصيص المواقع والحوافز لتوجيه القرار الخاص نحو أهداف التحول.
2. تقديم البنية الأساسية بوصفها شرطًا سابقًا للتحول الصناعي: يرتبط قرار الشركات بكهربة العمليات أو استخدام الهيدروجين واحتجاز الكربون بجاهزية الشبكات وسعتها وكلفة استخدامها. ويبين مسار روتردام أن التفاوت بين توقيت الاستثمار الصناعي وتوقيت إنشاء البنية المشتركة يرفع مخاطر التأخير، ويمنح التنسيق بين الشركات ومشغلي الشبكات والجهات العامة وزنًا حاسمًا في سرعة التنفيذ.(Cuppen et al., 2021, p. 901)
3. بناء الطلب إلى جانب توسيع القدرة الإنتاجية: تحتاج مشروعات الهيدروجين والوقود المتجدد والمواد الدائرية إلى سوق تستوعب إنتاجها وتوفر للمستثمرين درجة مناسبة من الاستقرار بشأن الكميات والأسعار. وتمثل العقود طويلة الأجل ومعايير الاستخدام والحوافز وسياسات الشراء أدوات مكملة للاستثمار في الإنتاج، لأن توسع القدرة يرتبط بأثر اقتصادي وبيئي يتحدد بمقدار الطلب التجاري الفعلي عليها.(Port of Rotterdam Authority, 2025a, p. 16)
4. إدخال الزمن ضمن حساب الفاعلية المناخية: يضغط اقتراب عام 2030 على المشروعات المرتبطة بالشبكات والتراخيص وقرارات الاستثمار، فكل تأخير يقلص مدة التشغيل المتاحة لتراكم الخفض ويرفع وتيرته المطلوبة خلال السنوات المتبقية. وتوضح التقديرات الهولندية أثر تأخر تطوير الكهرباء والهيدروجين والرياح البحرية وعدم اليقين الاستثماري في فرص تحقيق الأهداف المناخية (PBL Netherlands Environmental Assessment Agency, 2025, p. 6).
5. توسيع أدوات القياس بما يتجاوز الانبعاثات الكلية: تحتاج سياسة التحول إلى مؤشرات تجمع حجم الانبعاثات وكثافتها ومستوى الإنتاج وحصة الطاقة والمواد البديلة وحالة تشغيل المشروعات والبصمة المرتبطة بسلاسل القيمة. ويتيح هذا البناء التمييز بين الخفض الناتج عن تحديث العملية الصناعية

(eISSN 3005-3587) و(ISSN 2518-5519) مجلة المعهد، مجلة علمية محكمة مفتوحة المصدر، ذات الرقم المعياري
CC BY-NC 4.0 دولي. 4.0 هذا العمل مرخص بموجب الاسناد/ غير تجاري/

والخفض المرتبط بتراجع الإنتاج، كما يفصل بين الأصل المنجز والمشروع القادر فعليًا على إنتاج أثر كربوني متحقق (Kampman & Manna, 2024, p. 48).

الخاتمة

خلص البحث إلى أن برنامج تحول الطاقة في ميناء روتردام أرسى استجابة مؤسسية واسعة لمشكلة كربونية ارتبطت ببنية مجمع صناعي كثيف الاستخدام للطاقة والمواد الأحفورية. وقد أتاحت مكانة هيئة الميناء بوصفها مديرًا للأرض والبنية الأساسية توظيف العقود والاستثمار والحوافز والشراكات في دفع مشروعات التحول، ضمن بيئة تتوزع فيها القرارات المؤثرة بين الهيئة والشركات والحكومة ومشغلي الشبكات. وأفضى هذا التوزيع إلى تفاوت في سرعة الاستجابة؛ إذ تقدمت المجالات الواقعة تحت سلطة الهيئة المباشرة بوتيرة أسرع، فيما ارتبط التحول الصناعي والبحري بقرارات واستثمارات تتجاوز نطاقها المؤسسي.

وسجلت الانبعاثات المباشرة للشركات انخفاضًا بلغ 31,8% قياسًا بعام 2016، إلا أن تركيب هذا الخفض يحد من نسبته إلى البرنامج وحده؛ فقد جاء القسم الأكبر منه عبر قطاع توليد الكهرباء، متأثرًا بإغلاق قدرات فحمية وتغير مزيج الطاقة والسياسات الوطنية والأسعار والطلب، بينما حافظ التكرير على انبعاثات مرتفعة واتصل جانب من انخفاض الصناعات الكيميائية بتراجع الإنتاج. وفي مقابل محدودية الأثر المباشر، ظهر إسهام البرنامج بصورة أوضح في إنشاء البنية المادية والمؤسسية التي تتيح خفضًا أوسع، عبر شبكات ومشروعات واستثمارات يحتاج أثرها الكربوني إلى اكتمال التشغيل واتساع الاستخدام الصناعي.

كما أظهر التقويم تفاوتًا بين تقدم الاستثمار وبطء التغير في تركيب الطاقة والمواد والملاحة، بالتزامن مع استمرار الوزن الكبير للتدفقات الأحفورية في وظيفة روتردام داخل الاقتصاد الأوروبي. وتزداد أهمية هذا التفاوت مع بقاء فجوة تقارب 11,5 مليون طن بين انبعاثات عام 2025 والمستوى المستهدف لعام 2030، بما يرفع وزن السنوات المتبقية في تقرير حصيلة البرنامج، ويربطها بسرعة تشغيل المشروعات الكبرى، وتوفير القدرة الكهربائية، واتساع الطلب على المنتجات منخفضة الكربون، واستمرار الاستثمار الصناعي.

تتصل قيمة تجربة روتردام ببيان الصلة بين تحول الموانئ الصناعية وقدرة السياسة العامة على توظيف سلطتها في إدارة الأرض والبنية الأساسية وتوجيه الاستثمار بما يؤثر في قرارات الإنتاج واستخدام الطاقة واختيار المواد. وتمثل المشروعات المنفذة قاعدة مادية للتحول، فيما يرتبط مستوى فاعليتها بحجم الإحلال المتحقق داخل النظام الصناعي واستدامة الانخفاض في الانبعاثات الناتجة عن النشاط الاقتصادي للميناء.

References

1. Air Liquide. (2025, July 23). *Air Liquide takes the final investment decision to build ELYgator, a large-scale electrolyzer in the Netherlands* [Press release]. https://www.airliquide.com/group/press-releases-news/2025-07-23/air-liquide-takes-final-investment-decision-build-elygator-large-scale-electrolyzer-netherlands
2. Bakker, F. P., Hendrickx, G. G., Keyzer, L. M., Iglesias, S. R., Aarninkhof, S. G. J., & van Koningsveld, M. (2025). Trading off dissimilar stakeholder interests: Changing the bed level of the main shipping channel of the Rhine-Meuse Delta while considering freshwater availability. *Environmental Challenges, 21*, Article 101323. https://doi.org/10.1016/j.envc.2025.101323

CC BY-NC 4.0 دولي. 4.0 هذا العمل مرخص بموجب الاسناد/ غير تجاري/

3. Blue Phoenix Group. (n.d.). *Tar-containing asphalt treatment in the Netherlands*. https://www.blue-phoenix.com/netherlands/our-solutions/tar-containing-asphalt/
4. bp p.l.c. (n.d.). *bp raffinaderij*. https://www.bp.com/nl_nl/netherlands/home/wie-wij-zijn/bp-raffinaderij.html
5. Cuppen, E., Nikolic, I., Kwakkel, J., & Quist, J. (2021). Participatory multi-modelling as the creation of a boundary object ecology: The case of future energy infrastructures in the Rotterdam Port Industrial Cluster. *Sustainability Science, 16*(3), 901–918. https://doi.org/10.1007/s11625-020-00873-z
6. de Gijt, J. G., van Kleef, J. M., Taneja, P., & Ligteringen, H. (2010). Development of container handling in the port of Rotterdam. In *Port Infrastructure Seminar* (pp. 1–20). Delft University of Technology. https://resolver.tudelft.nl/uuid:0018e79d-ee56-44cb-a8c8-c35493888218
7. de Langen, P. W. (2023). Advancing public interests through state ownership; the case of Port of Rotterdam. *GeoJournal, 88*(6), 6507–6521. https://doi.org/10.1007/s10708-023-10981-9
8. den Boer, K. (2020). *The influence of CO2 reduction policies on the location choice of chemical companies* [Master's thesis, Erasmus University Rotterdam]. Erasmus University Thesis Repository. https://thesis.eur.nl/pub/51700/
9. European Commission. (n.d.). *Rhine-Alpine core network corridor*. Mobility and Transport. https://transport.ec.europa.eu/other-pages/transport-basic-page/rhine-alpine-core-network-corridor_en
10. European Parliament and Council of the European Union. (2021). *Regulation (EU) 2021/1119 of the European Parliament and of the Council of 30 June 2021 establishing the framework for achieving climate neutrality and amending Regulations (EC) No 401/2009 and (EU) 2018/1999 (European Climate Law)*. *Official Journal of the European Union, L 243*, 1–17. https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2021/1119/oj
11. European Parliament and Council of the European Union. (2023). *Directive (EU) 2023/959 of the European Parliament and of the Council of 10 May 2023 amending Directive 2003/87/EC establishing a system for greenhouse gas emission allowance trading within the Union and Decision (EU) 2015/1814 concerning the establishment and operation of a market stability reserve for the Union greenhouse gas emission trading scheme*. *Official Journal of the European Union, L 130*, 134–202. https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2023/959/oj
12. ExxonMobil. (2024, March 11). *Our operations*. https://corporate.exxonmobil.com/locations/netherlands/our-operations
13. Havenbedrijf Rotterdam N.V. (2026). *Jaarverslag 2025*. https://www.reporting.portofrotterdam.com/jaarverslag-2025
14. Hollen, R. M. A. (2015). *Exploratory studies into strategies to enhance innovation-driven international competitiveness in a port context: Toward ambidextrous ports* [Doctoral dissertation, Erasmus University Rotterdam]. RePub, Erasmus University Repository. https://repub.eur.nl/pub/78881
15. Hynetwork. (2025, September 11). *Hydrogen Network Rotterdam – final weld marks milestone* [Video]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=8VxewIvbATg
16. Kampman, B., & Manna, K. (2024, October). *Analyse klimaatplannen haven van Rotterdam* (Publication No. 24.230491.155). CE Delft. https://cedelft.eu/wp-

content/uploads/sites/2/2025/01/CE_Delft_230491_Klimaatplannen_haven_van_Rotterdam_Def.pdf
17. Mayne, J. (2012). Contribution analysis: Coming of age? *Evaluation, 18*(3), 270–280. https://doi.org/10.1177/1356389012451663
18. Monios, J., Wilmsmeier, G., Martínez Tello, G. A., & Pomaska, L. (2024). A new conception of port governance under climate change. *Journal of Transport Geography, 120*, Article 103988. https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2024.103988
19. Nefs, M., Zonneveld, W., & Gerretsen, P. (2023). The Dutch 'Gateway to Europe' spatial policy narrative, 1980–2020: A systematic review. *Planning Perspectives, 38*(1), 49–68. https://doi.org/10.1080/02665433.2022.2053879
20. Neste Corporation. (2025, April 9). *Neste started producing sustainable aviation fuel (SAF) at its renewables refinery in Rotterdam, the Netherlands* [Press release]. Neste. https://www.neste.com/news/neste-started-producing-sustainable-aviation-fuel-saf-at-its-renewables-refinery-in-rotterdam-the-netherlands
21. Nikolopoulou, K., & van Koert, M. (2020). *Going greener and smarter: The energy transition at the Port of Rotterdam's industrial complex* [Case study]. RSM Case Development Centre, Erasmus University Rotterdam.
22. Notteboom, T. E., & Rodrigue, J.-P. (2005). Port regionalization: Towards a new phase in port development. *Maritime Policy & Management, 32*(3), 297–313. https://doi.org/10.1080/03088830500139885
23. OECD. (2021). *Applying evaluation criteria thoughtfully*. OECD Publishing. https://doi.org/10.1787/543e84ed-en
24. PBL Netherlands Environmental Assessment Agency. (2025). *Climate and energy outlook of the Netherlands 2025* (Publication No. 5797). https://www.pbl.nl/downloads/pbl-2025-climate-and-energy-outlook-of-the-netherlands-2025-5797pdf
25. Port of Rotterdam Authority. (2016). *2016 half-yearly report*. https://www.portofrotterdam.com/sites/default/files/2021-06/half-yearly-report-2016.pdf
26. Port of Rotterdam Authority. (2021a, April 8). *Carbon emissions in port of Rotterdam drop swifter than national average*. https://www.portofrotterdam.com/en/news-and-press-releases/carbon-emissions-port-rotterdam-drop-swifter-national-average
27. Port of Rotterdam Authority. (2021b, May 11). *Industry & energy*. https://www.portofrotterdam.com/en/setting/industry-energy
28. Port of Rotterdam Authority. (2021c, May 11). *Strategy and research*. https://www.portofrotterdam.com/en/port-future/energy-transition/strategy-and-research
29. Port of Rotterdam Authority. (2023, April 11). *CO2 emissions port of Rotterdam fell by over 4% in 2022*. https://www.portofrotterdam.com/en/news-and-press-releases/co2-emissions-port-of-rotterdam-fell-by-over-4-in-2022
30. Port of Rotterdam Authority. (2024). *Half-year report 2024*. https://www.portofrotterdam.com/sites/default/files/2026-07/half-yearly-report-2024.pdf
31. Port of Rotterdam Authority. (2025, December). *Climate transition plan: Port of Rotterdam Authority*. https://www.portofrotterdam.com/sites/default/files/2026-02/climate-transition-plan-portofrotterdam.pdf

(eISSN 3005-3587) و(ISSN 2518-5519) مجلة المعهد، مجلة علمية محكمة مفتوحة المصدر، ذات الرقم المعياري
CC BY-NC 4.0 دولي. 4.0 هذا العمل مرخص بموجب الاسناد/ غير تجاري/

32. Port of Rotterdam Authority. (2026a, March 10). *Between growth and pressure: Rotterdam's 2025 container year under review*. https://www.portofrotterdam.com/en/news-and-press-releases/between-growth-and-pressure-rotterdams-2025-container-year-under-review
33. Port of Rotterdam Authority. (2026b, May 1). *CO_2e emissions in the Rotterdam port area rose in 2025 due to increased electricity generation for Europe*. https://www.portofrotterdam.com/en/news-and-press-releases/co2e-emissions-rotterdam-port-area-rose-2025-due-increased-electricity
34. Port of Rotterdam Authority. (2026c, February 5). *Maritime shipping bunkered six times more bio-LNG in the Port of Rotterdam in 2025 compared to the previous year*. https://www.portofrotterdam.com/en/news-and-press-releases/maritime-shipping-bunkered-six-times-more-bio-lng-port-rotterdam
35. Port of Rotterdam Authority. (2026d). *Throughput in the port of Rotterdam in 2025*. https://www.portofrotterdam.com/sites/default/files/2026-02/throughput-port-of-rotterdam
36. Port of Rotterdam Authority. (2026e, February 26). Throughput in the port of Rotterdam shows a slight decline. https://www.portofrotterdam.com/en/news-and-press-releases/throughput-port-rotterdam-shows-slight-decline Port of Rotterdam Authority, & STC Next. (2025). Port management program 2025 [Brochure]. https://www.portofrotterdam.com/sites/default/files/2025-05/port-management-program-2025.pdf
37. Porthos. (n.d.). Project. https://www.porthosco2.nl/en/project/
38. Rijksoverheid. (2019, June 28). Klimaatakkoord. https://www.klimaatakkoord.nl/documenten/publicaties/2019/06/28/klimaatakkoord
39. Samadi, S., Lechtenböhmer, S., Schneider, C., Arnold, K., Fischedick, M., Schüwer, D., & Pastowski, A. (2017). Decarbonization pathways for the industrial cluster of the Port of Rotterdam: Final report. Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy. https://epub.wupperinst.org/frontdoor/index/index/docId/6656
40. Schneider, C., Lechtenböhmer, S., & Samadi, S. (2020). Risks and opportunities associated with decarbonising Rotterdam's industrial cluster. Environmental Innovation and Societal Transitions, 35, 414–428. https://doi.org/10.1016/j.eist.2019.05.004
41. Shell plc. (2016, September 15). Shell starts new aromatics unit at Pernis refinery in the Netherlands. https://www.shell.com/business-customers/chemicals/media-releases/2016-media-releases/shell-starts-new-aromatics-unit-at-pernis-refinery-in-the-netherlands.html
42. Tan, M., Ibarra-González, P., Nikolic, I., & Ramírez Ramírez, A. (2025). Understanding the level of integration in existing chemical clusters: Case study in the Port of Rotterdam. Circular Economy and Sustainability, 5(1), 125–146. https://doi.org/10.1007/s43615-024-00410-5
43. van Klink, H. A. (1998). The port network as a new stage in port development: The case of Rotterdam. Environment and Planning A, 30(1), 143–160. https://doi.org/10.1068/a300143
44. Veenstra, A., Zuidwijk, R., & van Asperen, E. (2012). The extended gate concept for container terminals: Expanding the notion of dry ports. Maritime Economics & Logistics, 14(1), 14–32. https://doi.org/10.1057/mel.2011.15
45. Vitol Group. (2022, December 19). VPR refinery. https://www.vitol.com/vpr/

46. WarmtelinQ. (2025, October 10). WarmtelinQ werkt door aan de warmtetransitie Zuid-Holland. https://www.warmtelinq.nl/over-warmtelinq/nieuws/warmtelinq-werkt-door-aan-de-warmtetransitie-zuid-holland
47. Zhang, M., & Pel, A. J. (2016). Synchromodal hinterland freight transport: Model study for the port of Rotterdam. Journal of Transport Geography, 52, 1–10. https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2016.02.007
48. Samadi, S., Lechtenböhmer, S., Schneider, C., Arnold, K., Fischedick, M., Schüwer, D., & Pastowski, A. (2016). *Decarbonization pathways for the industrial cluster of the Port of Rotterdam: Final report*. Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy. https://epub.wupperinst.org/frontdoor/deliver/index/docId/6656/file/6656_Decarbonization.pdf
49. Port of Rotterdam Authority. (2016). *Facts & figures on the Rotterdam energy port and petrochemical cluster* (8th ed.).
50. Uniper SE. (2017). *List of assets 2016*. https://www.uniper.energy/system/files/2024-04/uniper_-_list_of_assets_2016.pdf
51. Uniper SE. (2018). *List of assets: December 2017*. https://www.uniper.energy/system/files/2024-04/uniper_-_list_of_assets_2017.pdf
52. Uniper SE. (2020). *List of assets 2019*. https://www.uniper.energy/system/files/2024-04/uniper_-_list_of_assets_2019.pdf
53. Uniper SE. (2022). *List of assets 2021*. https://www.uniper.energy/system/files/2022-10/2022_02_23_Uniper_List_of_Assets_2021_Final.pdf
54. Uniper SE. (2024). *List of assets: Edition 2023*. https://www.uniper.energy/system/files/2024-02/2024_02_28_Uniper_List_of_Assets_Edition_2023_2024.pdf
55. Uniper SE. (2026). *List of assets: Edition 2025*. https://www.uniper.energy/system/files/2026-03/2026_03_11_FY_2025_Uniper_List_of_Assets_Edition_2025.pdf

(eISSN 3005-3587) و(ISSN 2518-5519) مجلة المعهد، مجلة علمية محكمة مفتوحة المصدر، ذات الرقم المعياري
CC BY-NC 4.0 دولي. 4.0 هذا العمل مرخص بموجب الاسناد/ غير تجاري/