أهم ما يدور من أبحاث علمية في دراسات "النمذجة المكانية في دراسات النقل النهري في أوروبا" (٢٠٠٥ ــ ٢٠٢٥م)

إعداد

أ.م.د/ هناء رفعت يوسف

أستاذ الجغرافيا الاقتصادية ونظم المعلومات الجغرافية المساعد

كلية الآداب ـ جامعة أسيوط

Email: hanaarefaat52@gmail.com

DOI: 10.21608/aakj.2025.426703.2235

تاريخ الاستلام: ٢٠٢٥/٩/٢٤م

تاريخ القبول: ٢٠٢٥/١٠/١٦م

ملخص:

تُبرز الدراسة أن النمذجة المكانية أصبحت أداة تحليلية رئيسية في دراسات النقل النهري في قارة أوروبا خلال الفترة من ٢٠٠٥ إلى ٢٠٢٥م، والتي بلغت (٢٤١ دراسة) مثّلت ٣٩,٤% من إجمالي الأبحاث المنشورة في هذا المجال وعددها (٦١٢ دراسة). وتنوّعت الأساليب المستخدمة، حيث جاءت نماذج الشبكات المكانية في الصدارة بنسبة ٢٩,٣%، تليها نماذج التخصيص المكاني بنسبة ٢١,٧%، ثم نماذج التخصيص الزمني –المكاني بنسبة ١٣%، في حين ظل توظيف نماذج تحليل المخاطر محدودًا بنسبة ٦,٧% فقط، ما يكشف عن فجوة بحثية واعدة. كما كشفت النتائج أن الإدارة المستدامة للنقل النهري كانت المجال الأكثر تناولًا بنسبة ٣٢,٥%، تلتها النمذجة المكانية والبيئية بنسبة ٢٢,١%. وسجّلت المجلات المتخصصة مثل: Journal of Transport Geography وTransportation Research Part E أعلى معدلات نشر للأبحاث ذات الصلة. كما أظهرت الدراسة تنوّعًا معرفيًا في التخصصات المشاركة، حيث شكّلت مجالات اللوجستيات والاقتصاد والتحليل البيئي الأطر الأكثر إنتاجًا، في حين برزت ألمانيا كمحور رئيسي للتعاون البحثي الإقليمي. وقد شهدت الأبحاث تطورًا ملحوظًا زمنيًا، إذ ارتفع عدد الدراسات من ١٥ فقط بين ٢٠٠٥–٢٠١٠م إلى أكثر من ١٠٠ دراسة في الفترة ٢٠٢٠ – ٢٠٢٥م، مدفوعًا بتقدم أدوات التحليل المكاني وتوجهات أوروبا نحو النقل منخفض الكربون. وتؤكد الدراسة أهمية تعزيز التكامل بين النماذج البيئية والذكية، وتشجيع التعاون متعدد التخصصات لدعم سياسات النقل المستدام في المستقبل. وتُوصي النتائج بضرورة تطوير نماذج أكثر تكاملًا تجمع بين الأبعاد التشغيلية والبيئية والزمانية، مع تعزيز استخدام الذكاء الاصطناعي وأدوات التحليل المتقدمة لدعم مرونة شبكات النقل النهري في مواجهة التحديات المناخية والطلب المتغيّر.

الكلمات المفتاحية: النمذجة المكانية، النقل النهري في قارة أوربا، نظم المعلومات الجغرافية، النماذج الشبكية، الإدارة المستدامة، تحليل المخاطر، الذكاء الاصطناعي، النقل منخفض الكربون، التخطيط المكاني، التحليل الزمني– المكاني، التعاون البحثي الأوروبي.

Abstract:

Recent Trends in Predicting
"Spatial Modeling in River Transport in Europe" (2005-2025)

The study highlights that spatial modeling has become a key analytical tool in European inland waterway transport research during the period 2005 to 2025, which amounted to (241 studies) representing 39.4% of the total research published in this field (612 studies). Various modeling approaches were employed, with spatial network models leading at 29.3%, followed by spatial allocation models at 21.7%, and spatio-temporal allocation models at 13%. In contrast, the use of spatial risk models remained limited at only 6.7%, revealing a promising research gap. The results also indicated that sustainable IWT management was the most frequently addressed theme (32.5%), followed by spatial and environmental modeling (22.1%). Specialized journals such as Journal of Transport Geography and Transportation Research Part E recorded the highest publication rates for related studies. The study revealed a multidisciplinary orientation in the research contributions, with logistics, economics, and environmental analysis being the most productive domains. Germany emerged as a central hub for regional research collaboration. Over time, a significant growth in research output was observed, with the number of studies rising from just 15 (2005–2010) to over 100 studies in the 2020–2025 period, driven by the advancement of spatial analysis tools and the EU's shift toward low-carbon transport systems. The findings emphasize the need to strengthen the integration of environmental and intelligent models, and to promote interdisciplinary collaboration to support sustainable transport policies. The study recommends the development of more comprehensive models that combine operational, environmental, and temporal dimensions, along with increased adoption of artificial intelligence and advanced analytics to enhance the resilience of inland waterway transport networks in the face of climate challenges and evolving demand.

Keywords: Spatial modeling, European inland waterway transport, GIS, network models, sustainable management, risk analysis, artificial intelligence, low-carbon transport, spatial planning, spatio-temporal analysis, European research collaboratio.

مقدمة:

تُعَدّ النمذجة المكانية (Spatial Modeling) أحد أهم الأدوات التحليلية المتقدمة التي أسهمت بفاعلية في تطوير منهجيات دراسة الظواهر الجغرافية، ولا سيّما تلك المرتبطة بالبنية التحتية لوسائل النقل. ويأتي هذا التطور نتيجة للتكامل بين نظم المعلومات الجغرافية (GIS)، وتقنيات الاستشعار من البُعد، والنماذج الحاسوبية المعتمدة على التحليل المكاني، ما أتاح إمكانية فهم أدق وأكثر عمقًا للعلاقات المكانية والتدفقات الجغرافية، سواء في ما يتعلق بحركة البضائع أو تنقل الأفراد (European Commission, 2021). وفي سياق النقل النهري، الذي يُعد من أكثر أنماط النقل تداخلًا مع البيئة الطبيعية، اكتسبت النمذجة المكانية أهمية متزايدة بوصفها أداة فعّالة في تحسين كفاءة الشبكات، وتقليل التكاليف التشغيلية، وتحقيق متطلبات الاستدامة البيئية. فهي تُمكِّن من تحليل التفاعل بين خصائص البيئة المكانية والعمليات التشغيلية، كما تدعم عملية اتخاذ القرار من خلال تقييم جدوى المشروعات، وتقدير الأثر البيئي، والتكيف مع التغيرات المناخية، وتبرز هذه الأهمية بوضوح في أوروبا، التي تمتلك شبكة نقل نهري واسعة النطاق تزيد عن ٢٩٠٠٠ كيلومتر، وتربط بين عدد كبير من المدن والموانئ الرئيسية. وقد لعبت هذه الشبكة منذ العصور الوسطى دورًا محوريًا في نشوء وازدهار مراكز حضرية وتجارية كبرى مثل روتردام، فيينا، وبودابست، والتي استثمرت في موقعها النهري لتحقيق مزايا تنافسية اقتصادية (Rodrigue, Comtois, & Slack, 2020). ومع تزايد التوجه العالمي نحو تبنّي سياسات الاقتصاد الأخضر، أُعيد النظر إلى النقل النهري كخيار استراتيجي منخفض الانبعاثات. إذ تُشير البيانات إلى أن السفن النهرية تصدر انبعاثات أقل بنسبة تصل إلى ٧٥% مقارنةً بالشاحنات البرية، ما يعزز من جاذبيته في ضوء الالتزامات المناخية وخطط خفض الانبعاثات الكربونية (Panteia, 2022). إضافةً إلى ذلك، يوفر هذا النمط من النقل مزايا تشغيلية، منها تخفيف الازدحام المروري، وخفض معدلات الحوادث، ودعم استقرار سلاسل الإمداد خاصة في الصناعات الثقيلة التي تتطلب نقل

كميات كبيرة من المواد (CCNR, 2023).انطلاقًا مما سبق، يتجاوز دور النمذجة المكانية الطابع التحليلي ليشكل أداة استراتيجية تدعم صُنّاع القرار في توجيه السياسات العامة نحو تطوير نظام نقل نهري أكثر تكاملًا واستدامة. فهي تُسهم في تقييم البدائل المكانية، وتحديد مناطق الأولوية للتطوير، وتقدير الكفاءة البيئية والاقتصادية، بما يعزز من قدرة الدول الأوروبية على مواجهة تحديات النقل الحديثة، ويُحقق تكاملًا وظيفيًّا بين الأنماط المختلفة للنقل ضمن إطار تنموي مستدام وشامل.

أولًا: الإطار النظري ومنهجية الدراسة:

١. إشكالية الدراسة:

يُعَدّ النقل النهري في قارة أوروبا خيارًا مستدامًا يسهم في تقليل انبعاثات الكربون وتخفيف الازدحام، خاصة في ممرات رئيسية مثل الراين والدانوب (European Commission, 2021). ومع ذلك يواجه تحديات متعلقة بدمجه مع أنماط النقل الأخرى وتحقيق الكفاءة التشغيلية (Peters et al., 2020). وتُستخدم النمذجة المكانية لفهم التدفقات وتحليل البنية التحتية، لكنها تعاني من قصور في تمثيل التغيرات الموسمية والمناخية، وضعف البيانات اللحظية (Notteboom & Rodrigue, 2022; Diziain et al., 2014; European Court of Auditors, 2015). كما تفتقر النماذج إلى التنبؤ بعيد المدى وتوظيف النتائج في السياسات (Monios & Wilmsmeier, 2020; Kalasz et al., 2019)، وتتطلب المرحلة المقبلة نماذج أكثر تكاملًا تعتمد على بيانات دقيقة ومتجددة، لدعم التخطيط وتعزيز كفاءة النقل النهري على المستويين البيئي والاقتصادي.

وفي ضوء ذلك يمكن صياغة التساؤلات الآتية:-

- ما حجم الإنتاج العلمي (كمًّا ونوعًا) للدراسات الأجنبية المنشورة خلال الفترة (٢٠٠٥ – ٢٠٢٥م) حول النمذجة المكانية في مجال النقل النهري بأوروبا؟

- ما الاتجاهات البحثية السائدة في الدراسات الأجنبية المتعلقة بالنقل النهري باستخدام أدوات النمذجة المكانية؟
- ما أبرز الأساليب والتقنيات العلمية التي اعتمدتها الدراسات في توظيف النمذجة المكانية لتحليل شبكات النقل النهري؟
- ما أهم المقترحات البحثية الحديثة التي يمكن أن تسهم في تعزيز الاستفادة من النمذجة المكانية في دعم استدامة النقل النهري بأوروبا؟

٢. أهداف الدراسة:

تهدف الدراسة إلى محاولة تحقيق الآتي:-

- توضيح مفهوم النمذجة المكانية وتطور استخدامها في النقل النهري.
- استعراض وتحليل الدراسات البحثية عالميًا ومحليًا، مع تصنيفها كمًّا ونوعًا.
- رصد الاتجاهات الحديثة (٢٠٠٥ –٢٠٢٥م) وتحديد الدوريات المتخصصة.
- الكشف عن الفجوات البحثية والتحديات التي تواجه النقل النهري في أوروبا.
- تقديم مقترحات لتطوير النقل النهري ودعمه بيئيًا واستراتيجيًا، وتوجيه مستقبل النمذجة المكانية في هذا المجال.

٣. أهمية الدراسة:

تُبرز الدراسة أهمية النقل النهري في أوروبا كوسيلة استراتيجية لدعم الاقتصاد المستدام، وتحقيق الأهداف البيئية عبر خفض الانبعاثات وتقليل الاعتماد على الطرق البرية. كما تسلط الضوء على دور النمذجة المكانية في تحليل هذا القطاع، واستكشاف التحديات والفرص لتطويره. وتكمن أهمية النقل النهري في كونه وسيلة آمنة وفعّالة لدعم سلاسل الإمداد، وتخفيف الضغط على البنية التحتية، وتعزيز التكامل الإقليمي واللوجستي داخل الاتحاد الأوروبي.

٤. منهجية الدراسة:

اعتمدت الدراسة على المنهج الوصفي التحليلي لتحليل الأدبيات العلمية حول النمذجة المكانية في النقل النهري، مدعومًا بالمدخل التاريخي لتتبع تطور النشر الزمني، والمدخل الموضوعي للكشف عن المجالات التطبيقية. كما استخدمت أدوات تحليل متقدمة مثل نظم المعلومات الجغرافية (GIS) في إنتاج الخرائط، والبرامج الإحصائية مثلExcelوVOSviewer لتحليل الكلمات المفتاحية والروابط الموضوعية. بالإضافة إلى ذلك، استُخدم أسلوب التحليل البيبلومتري لرصد الاتجاهات البحثية، وتحديد المجلات والمجالات والأسماء الأكثر تأثيرًا في هذا الحقل.

٥. مصادر الدراسة:

اعتمدت الدراسة في جمع وعرض وتحليل الأبحاث العلمية المتعلقة باستخدام النمذجة المكانية في دراسة النقل النهري على منهج البحث المتقدم، من خلال استخدام كلمات مفتاحية مركبة مثل: ("spatial modeling" OR "inland water way" OR "river transportion") وقد أظهرت نتائج البحث تداخلًا كبيرًا بين الكلمات المفتاحية المستخدمة، مما ساعد في تحسين دقة النتائج والوصول إلى الدراسات الأكثر ارتباطًا بموضوع البحث.

(٥- أ) قواعد البيانات العربية:

استعانت الدراسة بالبحث في قواعد بيانات عربية متخصصة، بهدف تمثيل الإنتاج العلمي العربي وتحليل مساهمته في المجال محل البحث، ومن أبرز هذه القواعد: **بنك المعرفة المصري (Egyptian Knowledge Bank – EKB)**: ويُعد أكبر مشروع وطني عربي لإتاحة المصادر المعرفية، أطلقته جمهورية مصر العربية عام ٢٠١٦م، ويتيح الوصول المجاني لملايين الوثائق والكتب والمجلات وقواعد البيانات العلمية العالمية والعربية، وذلك عبر شراكات مع دور نشر كبرى مثل **Elsevier و Springer و Wiley**. ويهدف إلى دعم البحث العلمي والتعليم من

خلال توفير محتوى رقمي متنوع يغطي جميع التخصصات الأكاديمية والمهنية (EKB، 2016). **المستخلصات العربية: (Dar Almandumah)** وتضم أكثر من مليوني سجل بحثي متنوع يشمل: المقالات المحكمة، الرسائل الجامعية، وأوراق المؤتمرات من شتى الدول العربية، مع تغطية واسعة لمجالات العلوم الاجتماعية، التربية، والعلوم الإنسانية. **الكشاف العربي الرقمي للجامعات العربية (Arab Digital Repository)**: ويهدف إلى جمع وإتاحة الإنتاج العلمي الصادر عن الجامعات العربية عبر منصة موحدة، مما يسهل الوصول إلى الرسائل والأطروحات والدوريات المحلية والإقليمية. وقد أسهم دمج هذه القواعد العربية مع نظيراتها العالمية في توفير رؤية أكثر شمولية وتوازنًا، إذ أتاح مقارنة التوجهات البحثية محليًا وعالميًا، وكشف مواطن القوة والفجوات في الإنتاج العلمي العربي، الأمر الذي يدعم صياغة استراتيجيات بحثية متكاملة وأكثر فعالية.

وتبين من البحث ندرة **الدراسات العربية التي تناولت النقل النهري في قارة أوروبا** مقارنةً بما هو متوافر في الأدبيات الغربية. فلا يزال الإنتاج العلمي العربي يركز غالبًا على النقل النهري المحلي – خصوصًا في دول مثل مصر والعراق– دون التوسع في **تحليل التجارب الأوروبية أو مقارنتها تحليليًا** بالواقع العربي. ويُمكن سد هذه **الفجوة المعرفية** بتشجيع الدراسات المقارنة، واعتماد نماذج التحليل المكاني والتنظيمي لتقييم إمكانية استفادة الدول العربية من التجربة الأوروبية في هذا المجال. وبشكل عام تضم المدرسة الجغرافية المصرية العديد من الدراسات التي تتناول النقل النهري المحلي منها: دراسة (**عبده، سعيد أحمد، ١٩٨٩م**) واهتمت بدراسة الخصائص العامة لترعة النوبارية، كذلك حركة النقل النهري بها، كما تناولت مشاكل الملاحة في ترعة النوبارية. دراسة (**السرسي، مجدي عبدالحميد، ١٩٩٧م**) ودرست الخصائص الجغرافية للمجاري الملاحية في الوجه البحري وأهم الطرق الملاحية والموانئ النهرية، إلى جانب دراسة اقتصاديات النقل وبعض المشكلات. دراسة (**عز الدين، ريهام محمد، ٢٠١٠م**)

وتناولت دراسة الوضع الراهن للنقل النهري في مصر، وذلك من خلال دراسة (شبكة الطرق النهرية، الموانئ النهرية، خصائص اسطول النقل النهري وحركة النقل) كما بحثت المشكلات التي تعترض تطور النقل النهري في مصر، مع وضع بعض الحلول المناسبة مع توضيح مستقبل النقل النهري في مصر. دراسة (**إسماعيل، عبد السلام عبد الستار، ٢٠١٥م**) وتناولت النقل بالمعديات في مجرى فرع رشيد، وهدفت إلى معرفة التطور التاريخي وتصنيف المعديات على فرع رشيد، إلى جانب تحديد مواقع المعديات بالنسبة لقطاعات فرع رشيد الثلاثة، فضلًا عن تحديد النفوذ الجغرافي لمعديات الركاب والسيارات، إلى جانب اظهار أهم المشكلات وتقديم حلول لها. وفي ضوء الأدبيات العربية التي تناولت موضوع **النقل النهري في قارة أوروبا**، برزت مجموعة من التقارير والمقالات البسيطة التي تسلط الضوء على التقدم الملحوظ الذي أحرزته الدول الأوروبية في استثمار المجاري المائية لخدمة النقل الداخلي والإقليمي. فقد أشار **تقرير الهيئة الوطنية للإعلام المصرية** (يناير، ٢٠١٦م) إلى أن بعض الدول الأوروبية، مثل **بلجيكا**، تعتمد على النقل النهري بنسبة تتجاوز **٥٠٪** من إجمالي حركة البضائع، في حين تصل النسبة في **فرنسا** إلى نحو **٣٥٪**، ما يعكس نجاح الاستثمارات في تطوير شبكات القنوات والأنهار ودمجها ضمن منظومة نقل متكاملة وفعّالة. وفي المقابل يوضح التقرير أن الدول العربية، وعلى رأسها **مصر**، لا تزال تعاني من ضعف في توظيف هذا المورد الملاحي رغم الإمكانات الكبيرة التي يوفرها **نهر النيل**، وهو ما يكشف عن فجوة واضحة بين التجربتين الأوروبية والعربية في هذا المجال. وفي السياق ذاته، تناول مقال تحليلي نشره **الشارف، محمد (يونيو،٢٠٠٧م)** على موقع **إيلاف** أهمية **مشروع قناة ماين– الدانوب** كأحد أبرز الإنجازات الأوروبية في مجال النقل النهري، حيث تربط القناة بين **البحر الأسود** و**البحر الشمالي**، ويعزز التجارة العابرة للقارة، مسلطًا الضوء على دوره في تعزيز النقل المستدام والتنمية الإقليمية والتكامل الاقتصادي داخل أوروبا.

(٥- ب) قواعد البيانات العالمية:

ارتكزت الدراسة على ثلاث قواعد بيانات علمية كبرى لضمان شمول التغطية ودقة النتائج، وهى: **Scopus:** أكبر قاعدة بيانات علمية عالميًا، تشمل أكثر من ٧٠ مليون وثيقة وتغطي أكثر من ٢٥ ألف دورية. توفر بيانات شاملة للاستشهاديات وتحليل الاتجاهات البحثية (**Elsevier, 2004**). **Web of Science:** منصة مرجعية لتحليل تأثير البحوث العلمية، تضم نحو ٢١ ألف دورية وتوفر أدوات دقيقة لتقييم جودة الأبحاث. **Science Direct**: أُطلقت عام ١٩٩٧م من قبل **Elsevier**، وتضم أكثر من ١٢ مليون مقالة و٣٥٠٠ مجلة، إضافة إلى ٣٤ ألف كتاب علمي، مما يجعلها مصدرًا مهمًا للدراسات المتخصصة. وقد عزز الاعتماد على هذه القواعد المتنوعة من شمولية الدراسة، وساعد في تحديد الفجوات البحثية، وتحليل التوجهات العالمية والإقليمية، مما أضفى على النتائج مزيدًا من الدقة والموثوقية.

(٥- ج) تحديد الدوريات المُختارة للدراسة:

في إطار تحليل الإنتاج العلمي قامت الباحثة بحصر (٢١) دورية أجنبية تناولت النقل النهري باستخدام النمذجة المكانية خلال الفترة (٢٠٠٥– ٢٠٢٥م)، وذلك من خلال قواعد البيانات والمنصات الأكاديمية، وتم تصنيف هذه الدوريات وفقًا لمدى ارتباطها بموضوع الدراسة، وباستخدام معايير تقييم علمية دقيقة، جرى اختيار أفضل (١٠) دوريات لتحليلها تفصيليًا– جدول(١). وقد تنوعت جهات إصدار هذه المجلات بين دور نشر عالمية مرموقة مثل **Elsevier** و**Springer** و**MDPI**، –شكل (١). واعتمدت الدراسة على مجموعة من المعايير العالمية المعتمدة لتقييم جودة الدوريات العلمية، وضمان اختيار المجلات الأكثر موثوقية وتأثيرًا في مجال النقل النهري باستخدام النمذجة المكانية. **تشمل أبرز مؤشرات تقييم المجلات العلمية ما يلي:**

جدول (١)

أبرز الاهتمامات والتخصصات للدوريات المُختارة في موضوع الدراسة (٢٠٠٥ – ٢٠٢٥م)

م	المجلة	التخصص الرئيسي	أبرز الاهتمامات	الناشر	التصنيف الربعي
1	Transportation Research Part A	سياسات النقل	القضايا التنظيمية	Elsevier	Q1
2	Transportation Research Part D	النقل والبيئة	النقل المستدام	Elsevier	Q1
3	European Transport Research Review	النقل الأوربي	السياسات والابتكار	Springer	Q1
4	Transportation Research Part E	اللوجستيات	الكفاءة وسلاسل الإمداد	Elsevier	Q1
5	Journal of Shipping and Trade	النقل المائي	التجارة والشحن	Springer Open	Q2
6	Journal of Transport Geography	الجغرافيا المكانية للنقل	التحليل المكاني	Elsevier	Q1
7	Annals of Operations Research	بحوث العمليات	نماذج كمية	Springer	Q1
8	Sustainability	الاستدامة	النقل والسياسات البيئية	MDPI	Q2
9	Research in Transportation Business and Management	إدارة النقل	الجانب الإداري	Elsevier	Q1
10	Energy	الطاقة والنقل	الاستدامة والانبعاثات	Elsevier	Q1

المصدر/ إعداد الباحثة بناء على قاعدة بيانات Scopus

شكل (١) أهم المجلات العالمية في مجال النقل النهري الأوربي.

- **معامل التأثير (Impact Factor - IF):**

يُستخدم لقياس متوسط عدد الاستشهادات التي تحصل عليها أبحاث المجلة خلال عامين، ويُعد مؤشرًا على مدى انتشارها العلمي وأهميتها.

- **الترتيب الربعي (Quartile Rank):**

يُصنّف المجلات إلى أربع فئات (Q1– Q4)، حيث تمثل الفئة Q1 المجلات الأعلى تأثيرًا وجودة على الصعيد الأكاديمي.

- **معامل SJR (Scimago Journal Rank):**

يأخذ في الاعتبار عدد الاستشهادات وقيمة المجلات المستشهَد بها، مما يوفّر تقييمًا أكثر شمولًا لجودة المجلة.

- **مؤشر هيرش (H-Index):**

يُستخدم لقياس الإنتاجية العلمية والتأثير طويل الأمد للمجلة أو الباحث، من خلال الربط بين عدد الأبحاث المنشورة وعدد الاستشهادات التي حصلت عليها.

وتبرز أهمية هذه المؤشرات في كونها أدوات أساسية لاختيار المصادر العلمية الموثوقة، مما يسهم في رفع جودة الدراسات الأكاديمية، ويُعزّز من دقة تحليل الاتجاهات البحثية. كما تُمكّن الباحثين من تقييم المجلات بموضوعية، وتحديد الأنسب منها للنشر أو للاعتماد كمراجع علمية رصينة.

ثانيـًا: التعريف بتقنيات النمذجة المكانية في النقل النهري:

تُعرف النمذجة المكانية (**Spatial Modeling**) بأنها عملية رياضية وتحليلية تهدف إلى تمثيل الظواهر الجغرافية أو البيئية أو الاقتصادية، وذلك من أجل فهم تباينها المكاني، تفسير العلاقات المكانية المعقدة، والتنبؤ بالتغيرات المستقبلية، وتتضمن هذه العملية دمج البيانات المكانية (الخرائط، بيانات الاستشعار من البعد، نظم المعلومات الجغرافية) مع نماذج رياضية وإحصائية، لتمثيل الواقع وتحليله ودعمه في اتخاذ القرارات (**Goodchild, M. F., & Janelle, D. G. 2010**). وتهدف النمذجة المكانية إلى تحليل الأنماط المكانية من خلال تحديد توزيع الظواهر في المكان، مثل كثافة السكان، توزيع التلوث، أو تدفقات النقل. وتفسير العلاقات السببية من خلال فهم العوامل المؤثرة في توزيع الظواهر (مثل العلاقة بين استخدامات الأراضي وأنماط المرور، التنبؤ بالتغيرات المستقبلية مثل التوسع الحضري، تغير معدلات الفيضانات، أو التغيرات في استخدامات الأراضي، دعم القرارات التخطيطية، حيث تساعد صناع القرار في وضع استراتيجيات مستدامة لتخطيط المدن وشبكات النقل وحماية البيئة. وفيما يلي **أنواع النمذجة المكانية في النقل النهري:**

١- نماذج تحليل الشبكات المكانية: (Spatial Network Analysis Models)

تركز هذه النماذج على دراسة البنية الشبكية للطرق المائية وتحديد الكفاءات المكانية للتدفقات، وفيها يتم تمثيل الموانئ والعقد النهرية كنقاط (Nodes)، والمجاري المائية كوصلات (Links) (**Notteboom, T., & Rodrigue, J.-P. 2022**)، وتُستخدم خوارزميات تحليل الشبكات لتحديد: المسارات المثلى للسفن، نقاط الاختناق الزمني والمكاني، مدى تكامل النقل النهري مع النقل البري والسكك الحديدية، ويتم تطبيقها في تحسين توزيع الحمولات بين الموانئ ودعم القرارات التخطيطية المتعلقة بتوسيع القنوات أو تحديث الموانئ الداخلية (**Ducruet, C., & Lugo, I. 2013**).

٢- نماذج المحاكاة الهيدروديناميكية: (Hydrodynamic Simulation Models)

تهدف هذه النماذج إلى تمثيل التدفقات المائية، والتيارات، الأعماق، وسلوك النظام الهيدرولوجي في الأنهار والقنوات (**Huthoff, F., Barneveld, H. J., & Booij, M. J. 2010**). وتعتمد على المعادلات الفيزيائية لحركة المياه (Navier–Stokes equations)، وتراعي تأثيرات: التغيرات الموسمية في مناسيب المياه، التغيرات المناخية. الرسوبيات والتآكل، ويتم تطبيقها في تحسين الملاحة، تحديد مناطق الملاحة الآمنة، دعم خطط إدارة الفيضانات، وتقدير الحاجة إلى أعمال التعميق أو الصيانة (PIANC., 2019).

٣- نماذج التنبؤ بالحركة والطلب: (Traffic Flow and Demand Forecasting Models)

وتُستخدم لتقدير أحجام البضائع والركاب في المستقبل، اعتمادًا على بيانات تاريخية وسيناريوهات اقتصادية (**Peters, H., Verhaeghe, R., Sys, C., Vanelslander, T., & Van de Voorde, E. 2020**)، ومنها نماذج الجاذبية (Gravity models)، ويتم تطبيقها في تحديد الطاقة الاستيعابية المستقبلية للممرات النهرية، دعم قرارات الاستثمار وتوسيع البنية التحتية، وتحسين استراتيجيات الجدولة والتوزيع.

٤- نماذج التخصيص المكاني: (Spatial Allocation Models)

تركز على توزيع البضائع بين الموانئ الداخلية ومراكز الاستهلاك (**Kalasz, D., Roso, V., & Woxenius, J. 2019**)، وتهدف هذه النماذج إلى تحديد التوزيع الأنسب الذي يقلل التكاليف الإجمالية ويرفع الكفاءة اللوجستية، وذلك باستخدام خوارزميات تحسين متقدمة، ويتم تطبيقها في تحديد الموانئ النهرية الأكثر ملاءمة لتفريغ أنواع معينة من الحمولات، تحسين توزيع السفن عبر الشبكة، وزيادة فعالية سلسلة الإمداد.

٥- نماذج تقييم الأثر البيئي المكاني: (Spatial Environmental Impact Models)

تقدّر هذه النماذج التأثيرات البيئية للنقل النهري، مثل انبعاثات الغازات، الضوضاء، التلوث المائي **(European Environment Agency (EEA).** **2019)**، وتُدمج نتائجها في اتخاذ القرار البيئي وإصدار التراخيص. ويتم تطبيقها في وضع خطط للحد من الانبعاثات، وتقييم مواقع الموانئ الجديدة، ورصد تأثير النقل النهري على النظم البيئية (Panteia., 2022).

٦- نماذج المرونة والقدرة الاستيعابية:(Resilience and Capacity Models)

تركز على تقييم قدرة الشبكات النهرية على التعامل مع الأحداث المفاجئة، مثل الكوارث المناخية أو ارتفاع الطلب المفاجئ. تدمج هذه النماذج مفهوم المرونة (Resilience) في التحليل المكاني **(Monios, J., & Wilmsmeier, G. 2020)** وتطبق في تقييم استمرارية التشغيل في حالات الطوارئ، وضع سيناريوهات بديلة للتوزيع، تصميم استراتيجيات، وتكيف مع التغيرات المناخية **(European Court of Auditors. 2015)**.

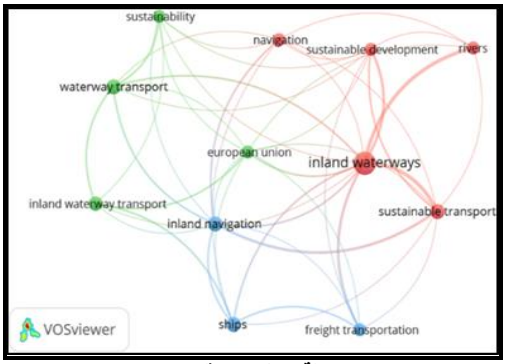
ثالثا: التحليل البليومتري للدراسات البحثية في النقل النهري بقارة أوروبا:

١- تحليل شبكة ترابط الكلمات المفتاحية في النقل النهري الأوروبي:

يوضح الشكل (٢) مخرجات **تحليل الترابط بين الكلمات المفتاحية (Keyword Co-occurrence Analysis)** باستخدام برنامج VOSviewer، وذلك في سياق دراسات النقل النهري الأوروبي. ويهدف هذا التحليل إلى التعرف على الموضوعات البحثية المحورية والروابط المفاهيمية بين المصطلحات الأكثر تكرارًا في الأدبيات العلمية المنشورة خلال الفترة المدروسة، بهدف استكشاف البُنى المفاهيمية والاتجاهات البحثية المحورية في أدبيات **النقل النهري في أوروبا.**

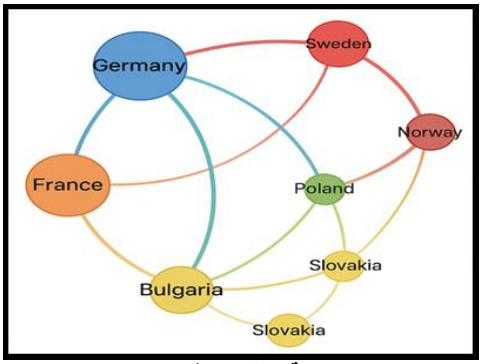
وأظهر التحليل أن **"inland waterways"** يشكل **المصطلح المركزي** في الشبكة، مما يعكس مكانته المحورية في الأدبيات العلمية. وتتمحور حوله ثلاث

مجموعات رئيسية من المصطلحات، كل منها يعبّر عن توجه بحثي مميز: **المجموعة الحمراء– البُعد البيئي والاستدامة** تركّز على دمج النقل النهري في سياسات التنمية المستدامة، وتضم مصطلحات *مثل: "sustainable transport"، "sustainable development"، "rivers"، "navigation"*، مما يعكس توافق الأبحاث مع **الأجندة الأوروبية الخضراء. المجموعة الخضراء –البُعد المؤسسي والبيئي** تجمع بين كفاءة النقل وتأثيره البيئي، وتشمل مصطلحات: *"inland waterway transport"، "waterway transport"، "sustainability"*، مما يدل على اهتمام السياسات الأوروبية بتحقيق **النقل الأخضر** وتكامل الطاقة والنقل. **المجموعة الزرقاء –البُعد التشغيلي والتقني** تركز على التطوير اللوجستي والتقني، وتشمل: *"inland navigation"، "ships"، "freight transportation"*، ما يشير إلى اهتمام بالأبعاد **الهندسية والتشغيلية** لتطوير البنية التحتية والملاحة. كما يُلاحظ تموضع مصطلح **"European Union"** في مركز التقاطع بين المجموعات الثلاث، مما يبرز دوره في **توجيه السياسات، وتمويل البحوث، وتعزيز التنسيق الأوروبي** في هذا القطاع. **خلاصة:** يعكس التحليل تنوع الموضوعات البحثية في النقل النهري الأوروبي، وتكاملها بين الاستدامة، اللوجستيات، والسياسات المؤسسية، مما يعزز من مكانة هذا النمط كعنصر **استراتيجي في منظومة النقل المستدام داخل الاتحاد الأوروبي.**



المصدر/ إعداد الباحثة بناءً على قاعدة بيانات Scopus وبرنامج VOSviewer

شكل (٢) شبكة ترابط الكلمات المفتاحية في النقل النهري الأوروبي.



المصدر/ إعداد الباحثة بناءً على قاعدة بيانات Scopus وبرنامج VOSviewer

الشكل (٣) خريطة التعاون الدولي لدراسات النقل النهري الأوروبي.

٢- تحليل خريطة التعاون الدولي لدراسات النقل النهري في أوروبا:

تعكس خريطة التعاون الدولي -شكل (٣)- الناتجة عن التحليل الببليومتري لدراسات النقل النهري الأوروبي درجة عالية من الترابط البحثي بين عدد من الدول الأوروبية، مدفوعة بالتحديات المشتركة المتعلقة بالاستدامة، والكفاءة اللوجستية، والتغيرات المناخية. وتُمثل **ألمانيا** المحور الرئيسي لهذا التعاون، حيث ظهرت في أكثر من **٦٠% من الدراسات متعددة الجنسيات** ضمن العينة، مما يشير إلى ريادتها في مجال الأبحاث التطبيقية والمشروعات التعاونية المرتبطة بنهر الراين، أحد أهم الشرايين المائية في القارة. وتظهر علاقات التعاون القوية بين ألمانيا وفرنسا، كما في دراسة "Sustainability in European Inland Waterway Transport" (Smith & Müller, 2021)، والتي دمجت بين الجوانب البيئية والبنية التحتية، وشهدت تأليفًا مشتركًا بين باحثين من الجامعات الألمانية والبريطانية.

من جهة أخرى، يُظهر التحليل وجود تجمع شرق أوروبي يضم **بولندا ورومانيا وبلغاريا وسلوفاكيا**، حيث برزت بلغاريا كمشارك رئيسي في مشاريع تطوير النقل النهري في حوض الدانوب، كما هو واضح في دراسة "Policy Implications of Danube River Freight Development" (Ivanov & Novak, 2022)، التي تناولت أطر السياسات العامة لتحسين حركة الشحن النهري، وجاءت كثمرة تعاون بلغاري-تشيكي. وتشير الروابط إلى أن **بلغاريا شاركت في ما لا يقل عن ثلاث دراسات متعددة الجنسيات** في العينة، وهو ما يعكس توجها نحو تعزيز دور الممرات المائية كبديل لوسائل النقل البرية المزدحمة. أما الدول الإسكندنافية، مثل **السويد والنرويج**، فقد شكّلت كتلة مستقلة ركّزت على البعد البيئي والرقمي، كما في دراسة "Environmental Impact of Waterway Transport in Scandinavia" (Eriksen & Hansen, 2019)، التي تناولت الأثر البيئي للنقل النهري في بيئات الهيدروغرافيا الباردة. ويُلاحظ أن حجم التعاون بين هذه الدول يتسم بالاستقرار، حيث تم توثيق **أكثر من ورقتين بحثيتين** خلال السنوات الخمس الماضية في هذا الإطار،

مما يعكس اهتمامًا منهجيًا مشتركًا بالتحول نحو نظم نقل ذكية ومنخفضة الكربون. من حيث قوة العلاقات، تُظهر الروابط الأسمك في الشكل (٣) تكرارًا واضحًا للتعاون بين دول مثل **ألمانيا وفرنسا والسويد**، حيث تجاوز عدد الأوراق المشتركة بين بعضها **خمس أوراق خلال فترة ٢٠١٩ –٢٠٢٣م**، مقارنة بعلاقات أقل كثافة بين دول أوروبا الشرقية. وتشير هذه الأنماط إلى تفاوت في القدرات المؤسسية، والإمكانيات التمويلية، والانخراط في برامج أفق أوروبا (European Horizon)، مما يعزز من دور بعض الدول كمحركات للبحث العلمي على حساب دول أخرى ذات مساهمات محدودة أو أحادية. وبناءً عليه، يمكن القول إن خريطة التعاون الدولي في هذا المجال لا تعكس فقط الأنماط الجغرافية، بل توضح أيضًا الفجوة في الإنتاجية العلمية، ومدى استفادة الدول من الفرص التمويلية والتكامل ضمن الأجندة الأوروبية للنقل المستدام، مما يستدعي توسيع نطاق الشراكات لتشمل دولًا أقل نشاطًا بحثيًا، تحقيقًا للعدالة البحثية وتعزيزًا لقدرات المنطقة ككل.

رابعًا: تصنيف دراسات النقل النهري وفقًا للميادين البحثية الرئيسية:

شهد قطاع النقل النهري في أوروبا تطورًا ملحوظًا خلال العقود الأخيرة، مدفوعًا بتوجهات الاتحاد الأوروبي نحو النقل المستدام، وخفض الانبعاثات، وتحقيق التكامل بين أنماط النقل المختلفة، وفي هذا السياق اتسعت دائرة الاهتمام البحثي بالنقل النهري، بحيث لم يعد يُنظر إليه كمجال هندسي بحت، بل أصبح ميدانًا متعدد التخصصات يشمل: الإدارة، الاقتصاد، البيئة، التكنولوجيا، والهندسة الاجتماعية. ويُبرز تحليل ١٤٥٠ دراسة علمية متخصصة في النقل النهري الأوروبي، موزعة على **تسعة** ميادين بحثية أساسية تضم الأولويات البحثية والاتجاهات الحديثة في هذا القطاع. ويظهر من بيانات جدول (٢) وشكل (٤) أن ميدان **الإدارة المستدامة للنقل النهري** يحتل الصدارة بعدد ٤٧٢ دراسة، ما يعادل ٣٢,٥٥% من مجمل الأبحاث. تعكس هذه النسبة الكبيرة الاهتمام المتزايد بتكامل الأبعاد البيئية، الاجتماعية، والتشغيلية، وتشمل موضوعات

مثل الحوكمة البيئية، السياسات الخضراء، تحسين كفاءة الطاقة، واستراتيجيات الصيانة المستدامة. يأتي ميدان **النمذجة المكانية البيئية** في المرتبة الثانية، بعدد ٣٢٠ دراسة (٢٢,٠٧%)، ما يدل على أهمية التحليلات المكانية ونظم المعلومات الجغرافية (GIS) ونماذج المحاكاة في دراسة تدفقات السفن، التوزيع المكاني للبضائع، وتحليل المخاطر البيئية. أما ميدان **سياسات النقل وتخطيط البنية التحتية**، فقد استحوذ على ١٤٢ دراسة (٩,٧٩%)، مسلطًا الضوء على دور التخطيط الاستراتيجي في تطوير الممرات النهرية، تحديث الشبكات، وتحسين الموانئ الداخلية، إضافة إلى دراسة الأبعاد التشريعية والتأثيرات السياسية على كفاءة النقل النهري. وتحتل **الهيدرولوجيا وهندسة المجاري المائية** المرتبة الرابعة بـ ١٢٥ دراسة (٨,٦٢%)، متناولةً قضايا مثل التنبؤ بمناسيب المياه، إدارة الرسوبيات، وصيانة المنشآت النهرية. في المقابل، ركزت ١٠٢ دراسة (٧,٠٣%) على اقتصاديات النقل النهري، بدراسة التكاليف، نماذج التسعير، وتحليل الجدوى الاقتصادية للاستثمارات في هذا القطاع.

كما احتلت **سلاسل الإمداد والخدمات اللوجستية** ٩٣ دراسة (٦,٤١%)، مؤكدة على دور النقل النهري في تحسين الكفاءة التشغيلية وتقليل التكاليف، فضلًا عن دعم التجارة الأوروبية. وبرز ميدان **الرقمنة والتحول الذكي** بـ ٨١ دراسة (٥,٥٩%)، ما يعكس بداية التحول نحو اعتماد تقنيات الذكاء الاصطناعي، إنترنت الأشياء، والصيانة التنبؤية في هذا القطاع. وعلى **الصعيد الاجتماعي والثقافي** تناولت ٦٣ دراسة (٤,٣٤%) تأثيرات النقل النهري على المجتمعات المحلية، التراث الثقافي، والتنمية السياحية. أما ميدان **التنبؤ بالطلب وتحليل السيناريوهات**، فجمع ٥٢ دراسة (٣,٥٩%)، مبرزًا الحاجة إلى تطوير نماذج توقعات قادرة على التعامل مع عدم اليقين ودعم مرونة النقل النهري في مواجهة التغيرات المستقبلية. وتُظهر هذه النتائج دلالات بحثية بارزة؛ إذ تكشف هيمنة **ميدان الإدارة المستدامة** (٣٢,٥٥%) عن تحوّل استراتيجي نحو دمج مبادئ الاستدامة في جميع مستويات القطاع. في المقابل، يعكس

التركيز الكبير على النمذجة المكانية (٢٢,٠٧%) الاعتماد المتزايد على التحليلات الجغرافية لدعم القرارات التخطيطية وتحسين كفاءة البنية التحتية. كذلك، تؤكد نسبة الدراسات المخصصة للاقتصاديات واللوجستيات أهمية النقل النهري في تعزيز القدرة التنافسية للأسواق الأوروبية. كما يبرز الاهتمام المتنامي **بالرقمنة والتحول الذكي**، ما يدل على تحوّل تدريجي للنقل النهري نحو قطاع ذكي ومترابط. ورغم انخفاض نسبة **الأبحاث الاجتماعية والثقافية**، فإنها تبقى ضرورية لتحقيق توازن مستدام بين متطلبات التنمية الاقتصادية والحفاظ على الخصوصية المجتمعية والثقافية. ويشير تحليل أبحاث النقل النهري في أوروبا إلى ضرورة توجيه الدراسات المستقبلية نحو الرقمنة والتكنولوجيا الذكية، ودمج الجوانب الاقتصادية والبيئية، مع توسيع البحوث الاجتماعية وإدماج الهيدرولوجيا لضمان الاستدامة. كما تؤكد الاتجاهات الحديثة تبني نهج متعدد الأبعاد يعزز من دور النقل النهري في دعم الاقتصاد منخفض الكربون وتنافسية أوروبا التجارية واللوجستية.

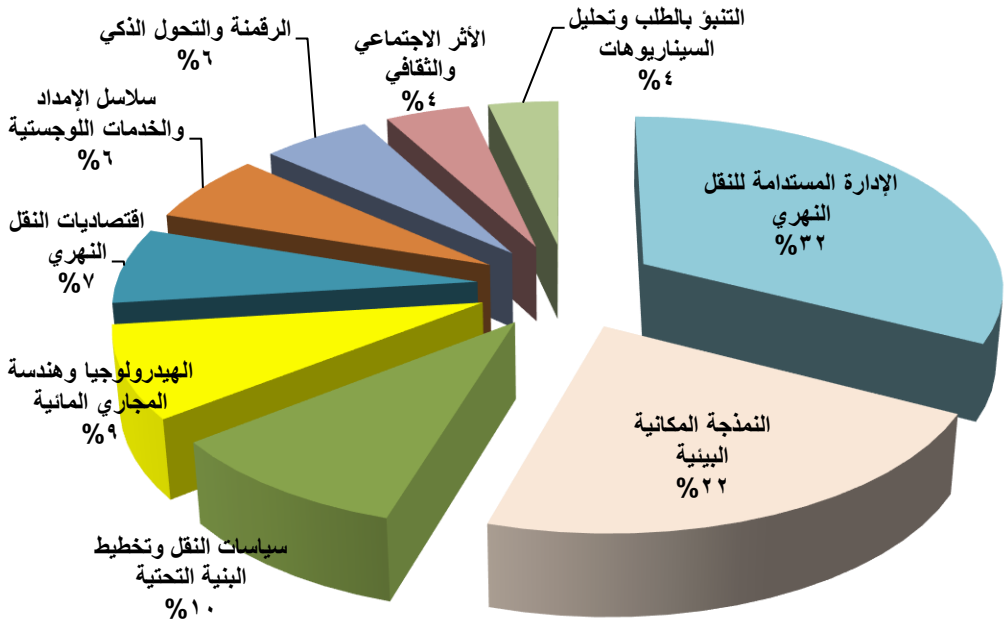
جدول (٢)

التوزيع العددي والنسبي للميادين البحثية في دراسات النقل النهري في قارة أوروبا

(٢٠٠٥ – ٢٠٢٥م)

رقم	الميدان البحثي	عدد الأبحاث	النسبة المئوية
1	الإدارة المستدامة للنقل النهري	472	32.55
2	النمذجة المكانية البيئية	320	22.07
3	سياسات النقل وتخطيط البنية التحتية	142	9.79
4	الهيدرولوجيا وهندسة المجاري المائية	125	8.62
5	اقتصاديات النقل النهري	102	7.03
6	سلاسل الإمداد والخدمات اللوجستية	93	6.41
7	الرقمنة والتحول الذكي	81	5.59
8	الأثر الاجتماعي والثقافي	63	4.34
9	التنبؤ بالطلب وتحليل السيناريوهات	52	3.59
الإجمالي	—	1450	100.00

المصدر/ إعداد الباحثة اعتمادًا على قاعدة بيانات Scopus



شكل (٤)

المصدر/ إعداد الباحثة اعتمادًا على جدول (٢).

النسب المئوية للميادين البحثية في دراسات النقل النهري في قارة أوروبا (٢٠٠٥ – ٢٠٢٥م)

خامسًا: تصنيف دراسات النمذجة المكانية في النقل النهري في أوروبا حسب الباحثين (٢٠٠٥ – ٢٠٢٥م):

١- تصنيف دراسات النمذجة المكانية في النقل النهري حسب إعداد الباحثين:

يعكس الجدول(٣) وشكل(٥) توزيعًا تفصيليًا للتخصصات والباحثين عبر عشر مجلات علمية مرموقة في مجال النقل، حيث بلغ إجمالي عدد التخصصات ٦٩ تخصصًا، شارك فيها ٢٦٦ باحثًا، بمتوسط قدره ٣,٨٦ باحثًا لكل تخصص. ويتبين أن أعلى متوسط عدد باحثين لكل تخصص سُجّل في مجلة Transportation Research Part D بمتوسط ٦,٣٣ باحثًا/ تخصص (٣٨ باحثًا ضمن ٦

تخصصات)، تلتها Transportation Research Part E بمتوسط ٥,٦٧، ثم Journal of Shipping and Trade بمتوسط ٥,٤٣، مما يشير إلى أن هذه المجلات تتميز بدرجة عالية من التعاون البحثي داخل كل تخصص. وفي المقابل لوحظ انخفاض متوسط عدد الباحثين في مجلات مثل (Sustainability) ٢,٢٢باحثًا/ تخصص ضمن ٩ تخصصات، وResearch in Management Transportation Business and (٢باحثًا/ تخصص فقط)، ما يدل على هيمنة فرق بحثية صغيرة أو جهود فردية نسبية في تلك الدوريات.

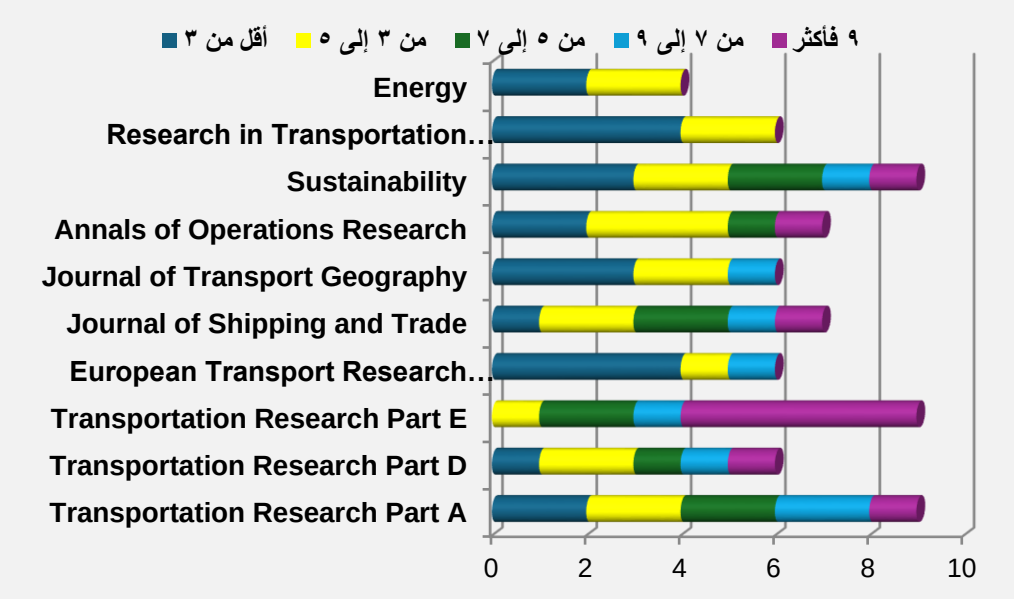
جدول(٣)

تصنيف دراسات النمذجة المكانية في النقل النهري بأوروبا حسب أعداد الباحثين

(٢٠٠٥– ٢٠٢٥م)

المجلة	أقل من ٣	من ٣ إلى ٥	من ٥ إلى ٧	من ٧ إلى ٩	٩ فأكثر	إجمالي التخصصات	إجمالي الباحثين	متوسط باحث/ تخصص
Transportation Research Part A	2	2	2	2	1	9	30	3.33
Transportation Research Part D	1	2	1	1	1	6	38	6.33
Transportation Research Part E	0	1	2	1	5	9	51	5.67
European Transport Research Review	4	1	0	1	0	6	21	3.5
Journal of Shipping and Trade	1	2	2	1	1	7	38	5.43
Journal of Transport Geography	3	2	0	1	0	6	21	3.5
Annals of Operations Research	2	3	1	0	1	7	18	2.57
Sustainability	3	2	2	1	1	9	20	2.22
Research in Transportation Business and Management	4	2	0	0	0	6	12	2
Energy	2	2	0	0	0	4	17	4.25
الإجمالي	22	19	10	8	10	69	266	3.86

المصدر/ إعداد الباحثة اعتمادًا على قاعدة بيانات Scopus



شكل(٥)

تصنيف دراسات النمذجة المكانية في النقل النهري حسب أعداد الباحثين

(٢٠٠٥ – ٢٠٢٥م)

أما من حيث تصنيف التخصصات حسب عدد الباحثين، فقد سُجِّل أن 22 تخصصًا (بنسبة ٣١,٩%) تضم أقل من ٣ باحثين، وهي النسبة الأكبر بين الفئات، تليها ١٩ تخصصًا (٢٧,٥%) ضمن فئة من ٣ إلى ٥ باحثين، بينما التخصصات التي تضم ٩ باحثين فأكثر بلغت ١٠ تخصصات فقط (١٤,٥%)، ما يعكس أن غالبية التخصصات حوالي (٤.٥٩%) تعتمد على فرق صغيرة مكونة من أقل من ٥ باحثين. هذا التوزيع يشير إلى ميل عام نحو النشر الفردي أو ثنائي في العديد من المجلات، باستثناء بعض الدوريات التي تعتمد على فرق بحثية أكبر وأكثر تخصصًا. يعكس هذا التباين وجود نمطين في الإنتاج العلمي: الأول يميل إلى الدراسات الفردية أو المحدودة، والثاني نحو البحث التعاوني المتكامل. ولذا، يُستنتج أن هناك فرصة لتعزيز التعاون البحثي، خاصة في التخصصات التي ما تزال تعتمد على جهود فردية، بما يساهم في تعميق التكامل بين التخصصات ورفع جودة البحوث في مجال النقل النهري الأوروبي.

٢- تصنيف دراسات النمذجة المكانية في النقل النهري حسب تخصصات الباحثين:

يوضح جدول(٤) وشكل(٦) توزيع التخصصات العلمية للباحثين المشاركين في دراسات النمذجة المكانية للنقل النهري في أوربا عبر عشر مجلات علمية بارزة، بإجمالي **٢٦٦ باحثًا** موزعين على ستة مجالات معرفية رئيسة. تصدرت **النمذجة اللوجستية وسلاسل الإمداد** قائمة التخصصات، بمجموع **٦٤ باحثًا** أي ما يعادل **(٤,١%** من إجمالي الباحثين)، وهو ما يعكس الأهمية المتنامية لهذا المجال في تطوير كفاءة النقل النهري، خصوصًا في مجلات مثل Transportation Research Part E (١٦باحثًا) وTransportation Research Part D (١٠باحثين). تلاها مباشرة تخصص **التحليل الاقتصادي المكاني للنقل النهري** بعدد **٦٣ باحثًا** (٧.٢٣%)، مع التركّز الأكبر في Transportation Research Part E (١٤باحثًا)، وJournal of Shipping and Trade (١٣باحثًا)، مما يعكس الاهتمام الاقتصادي المتصاعد بتقييم كفاءة شبكات النقل النهري وربطها بالتنمية الإقليمية.

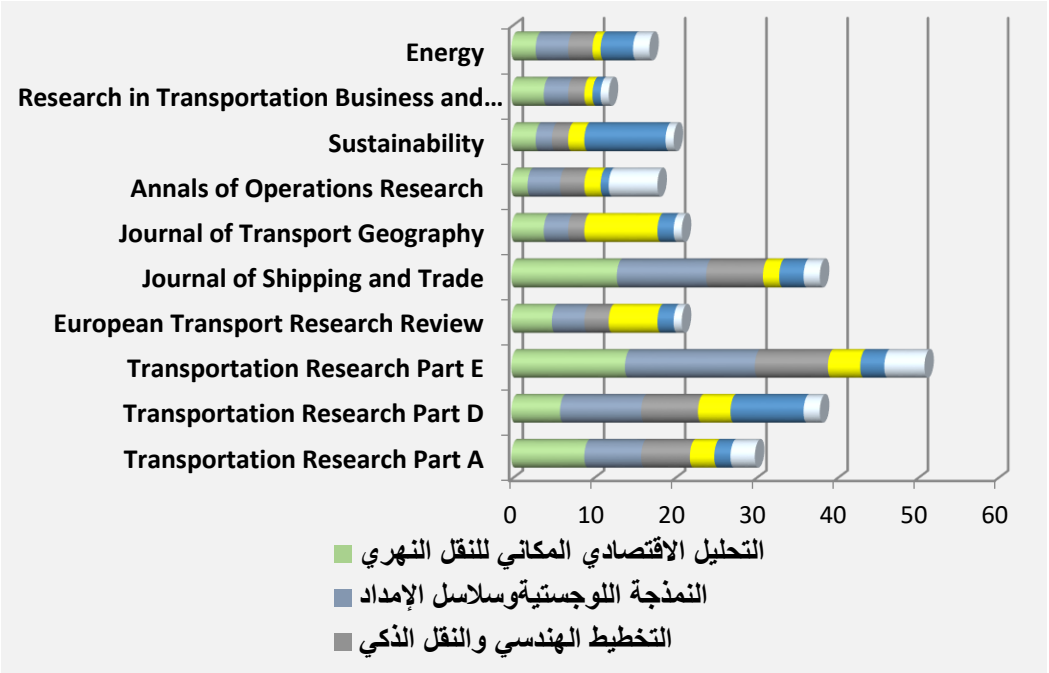
جدول(٤)

تصنيف دراسات النمذجة المكانية في النقل النهري بأوروبا حسب تخصصات الباحثين (٢٠٠٥ – ٢٠٢٥م)

التخصص العلمي للباحثين	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	الإجمالي
التحليل الاقتصادي المكاني للنقل النهري	9	6	14	5	13	4	2	3	4	3	63
النمذجة اللوجستية وسلاسل الإمداد	7	10	16	4	11	3	4	2	3	4	64
التخطيط الهندسي والنقل الذكي	6	7	9	3	7	2	3	2	2	3	44
الجغرافيا ونظم المعلومات الجغرافية (GIS)	3	4	4	6	2	9	2	2	1	1	34
التحليل البيني المكاني والاستدامة	2	9	3	2	3	2	1	10	1	4	37
بحوث العمليات المكانية	3	2	5	1	2	1	6	1	1	2	24
الإجمالي	30	38	51	21	38	21	18	20	12	17	266

المصدر/ إعداد الباحثة اعتمادًا على قاعدة بيانات Scopus

أما **التخطيط الهندسي والنقل الذكي** فجاء ثالثًا بعدد **٤٤ باحثًا** (١٦,٥%)، وهو ما يشير إلى حضور قوي لمجالات التصميم الحضري والبنى التحتية الذكية في أبحاث النقل، مع تركز واضح في Transportation Research Part E (٩ باحثين) وPart D (٧ باحثين). في المقابل، جاء تخصص **التحليل البيئي المكاني والاستدامة** في المرتبة الرابعة بعدد ٣٧ **باحثًا** (١٣,٩%)، حيث برز بشكل خاص في مجلةSustainability (١٠باحثين) وTransportation Research Part D (٩ باحثين)، ما يدل على تعاظم دور البعد البيئي في أبحاث النقل النهري. أما **الجغرافيا ونظم المعلومات الجغرافية (GIS)** فضم **٣٤ باحثًا (١٢,٨%)**، مع أعلى تمثيل في Journal of Transport Geography (٩ باحثين) وEuropeanTransport Research Review (٦ باحثين)، ما يبرز الاعتماد على أدوات التحليل المكاني في دراسة البنية الجغرافية للنقل النهري. أخيرًا، جاء تخصص **بحوث العمليات المكانية** بعدد **٢٤ باحثًا فقط (٩%)**، وتركزهم النسبي في Annals of Operations Research (٦ باحثين) يعكس الطابع الكمي والنموذجي الدقيق لهذا التخصص. وبشكل عام، تشير هذه النتائج إلى أن البحوث في النقل النهري الأوروبي تتسم بالتعددية المعرفية، مع ميل واضح نحو التخصصات التطبيقية والاقتصادية واللوجستية، بينما تُستخدم التخصصات التقنية والجغرافية كمكملات تحليلية داعمة.



شكل (٦)

تصنيف دراسات النمذجة المكانية في النقل النهري بأوروبا حسب تخصصات الباحثين.

سادسًا: التوزيع العددي والنسبي لدراسات النمذجة المكانية في النقل النهري بأوروبا بالمصادر المُختارة خلال الفترة من (٢٠٠٥ – ٢٠٢٥م):

يعكس الجدول (٥) وشكل (٧) تنوّع التوجّهات البحثية في دراسة النقل النهري الأوروبي، وذلك عبر رصد أعداد الأبحاث المنشورة في عشر مجلات علمية مرموقة. بلغ إجمالي الأبحاث التي تناولت النقل النهري الأوروبي ٦١٢ بحثًا، من بينها ٢٤١ بحثًا اعتمدت النمذجة المكانية كأداة تحليلية رئيسية، أي بنسبة تقارب ٣٩,٤% من إجمالي الأبحاث. تصدّرت European Transport Research Review قائمة المجلات من حيث عدد الأبحاث في النقل النهري، إذ نشرت ١٢٠ بحثًا، أي ما يعادل ١٩,٦١% من مجموع الأبحاث، ويعكس هذا الرقم دور المجلة كمنصة رئيسية للنقاش العلمي حول سياسات النقل النهري وتطويره في أوروبا، تليها مجلة Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review، حيث بلغ عدد

الأبحاث ٩٦ بحثًا حول النقل النهري الأوروبي بنسبة ١٥,٦٩%. ويدل ذلك على أهمية الجوانب اللوجستية والتحسينات التشغيلية في هذه المجلة، وجاءت Sustainability بنسبة منخفضة حيث نشرت عدد ١٠ أبحاث حول النقل النهري في أوروبا بنسبة ١,٦٣%. مما يشير إلى اهتمام المجلة بالقضايا البيئية والاجتماعية للنقل النهري، ولكن مع حضور أقل للأدوات المكانية التحليلية.

كما تُظهِر بيانات جدول (٥) وشكل (٧) أن مجلة Journal of Transport Geography جاءت في مقدمة المجلات من حيث عدد الأبحاث التي تناولت النمذجة المكانية في النقل النهري الأوروبي، إذ نشرت ٥٨ بحثًا، بما يعادل ٢٤,٠٧% من إجمالي الأبحاث في هذا المجال. ويعكس هذا التفوق تركيز المجلة على التحليلات الجغرافية ودراسة العلاقات المكانية، مما يجعلها منصة رئيسية لدراسة توزيع الشبكات الملاحية وتحليل تدفقات النقل النهري عبر الأقاليم الأوروبية. في الترتيب الثاني، نجد مجلة Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review، التي نشرت ٤١ بحثًا بنسبة ١٧,٠١% من الإجمالي، ما يعكس اهتمام المجلة الكبير بدراسة قضايا اللوجستيات وكفاءة شبكات النقل النهري، خاصة من منظور تحسين إدارة التدفقات وتقليل التكاليف باستخدام التحليل المكاني كأداة أساسية لدعم القرارات اللوجستية. وفي الترتيب الثالث جاءت Transportation Research Part D: Transport and Environment، بعدد ٣٦ بحثًا وبنسبة ١٤,٩٤%. يدل ذلك على أهمية النمذجة المكانية في تحليل التأثيرات البيئية للنقل النهري، مثل رصد الانبعاثات ومناطق التلوث، وتحديد المواقع المثلى للتدخلات البيئية وتحسين استدامة النقل النهري. من جانب آخر، نشرت Research in Transportation Business and Management حوالي ٣٠ بحثًا في النمذجة المكانية، أي بنسبة ١٢,٤٥% من الإجمالي. يوضح ذلك تزايد توجّه المجلة نحو دمج التحليلات المكانية في الدراسات الإدارية والتجارية، بهدف تحسين كفاءة تشغيل النقل النهري وتعزيز القدرة

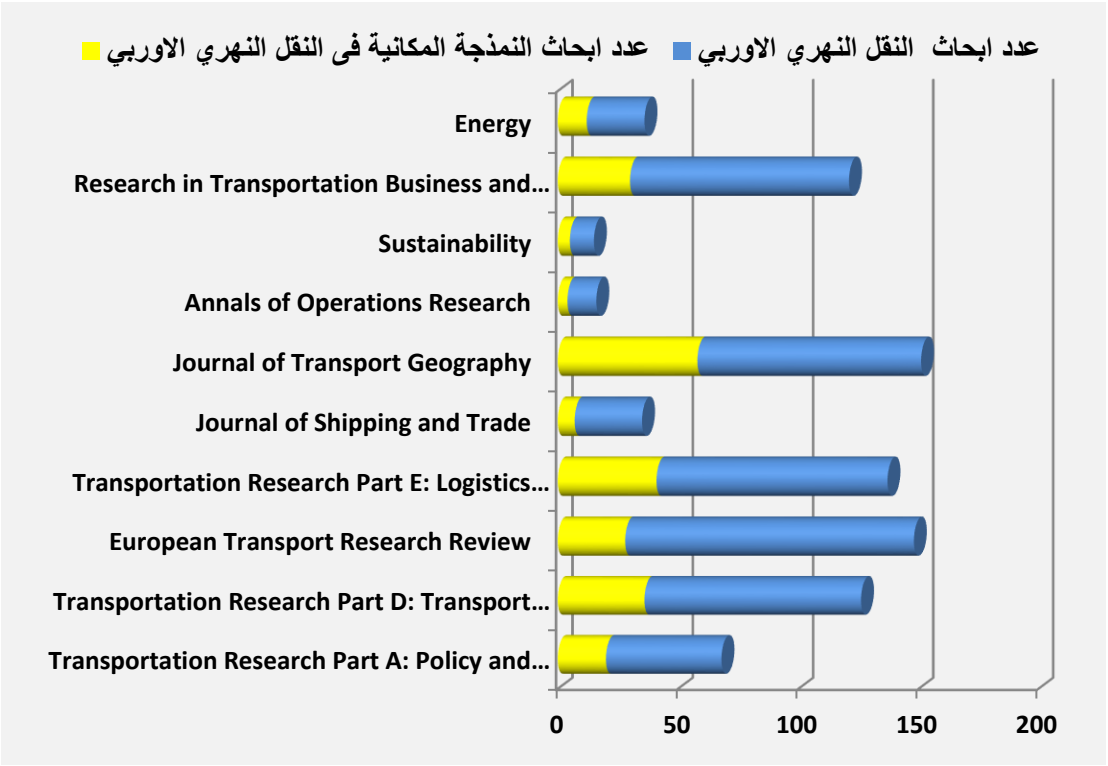
التنافسية للقطاع. كما ساهمتEuropean Transport Research Review بنشر ٢٨ بحثًا في هذا المجال، ما يعادل ١١,٦٢% من الأبحاث. يعكس ذلك توجه المجلة لتبني التحليلات المكانية ضمن إطار شامل يهتم بتطوير سياسات النقل وتحسين البنى التحتية المائية في السياق الأوروبي، رغم أن تركيزها الأساسي يبقى أكثر شمولية مقارنةً بالمجلات الأخرى. في المقابل، بلغ عدد الأبحاث في Transportation Research Part A: Policy and Practice حوالي ٢٠ بحثًا بنسبة ٨,٣٠%. يبرز ذلك دور التحليل المكاني في دعم القرارات والسياسات المتعلقة بتخطيط شبكات النقل النهري، إلا أن حضور هذا التخصص في المجلة لا يزال أقل مقارنةً بالمجلات ذات الطابع الجغرافي أو اللوجستي. أما Energy، فقد نشرت ١٢ بحثًا في النمذجة المكانية، بنسبة ٤,٩٨%. يوضح هذا الرقم اهتمام المجلة بتحليل كفاءة الطاقة والانبعاثات في النقل النهري، مع اعتماد التحليل المكاني كوسيلة لتقييم مسارات النقل وأثرها البيئي. سجّلت Journal of Shipping and Trade عددًا محدودًا من الأبحاث، بلغ ٧ أبحاث فقط بنسبة ٢,٩٠%. يعكس ذلك تركيز المجلة على الجوانب التجارية والتشغيلية العامة، مع حضور أقل للتحليل المكاني المتعمّق. كما نشرت Sustainability حوالي ٥ أبحاث بنسبة ٢,٠٧%. يدل ذلك على أن المجلة تُركّز بشكل أكبر على قضايا الاستدامة الاجتماعية والبيئية للنقل، مع اهتمام نسبي أقل بالنماذج المكانية التقنية. وأخيرًا، جاءت Annals of Operations Research في أدنى الترتيب، بعدد ٤ أبحاث فقط، بنسبة ١,٦٦%. يعكس هذا الرقم توجّه المجلة نحو التحليل الكمي وخوارزميات التحسين أكثر من تركيزها على الجوانب المكانية للنقل النهري. تكشف هذه الأرقام عن الأهمية المتزايدة للنمذجة المكانية كأداة تحليلية أساسية لفهم وتحسين النقل النهري الأوروبي، خاصة في المجلات ذات الطابع الجغرافي واللوجستي. في المقابل، يبقى الاهتمام أقل وضوحًا في المجلات البيئية أو التجارية البحتة، ما يفتح المجال لمزيد من التكامل بين التحليل المكاني والتخصصات الأخرى في الدراسات المستقبلية.

جدول رقم (٥)

توزيع الأوراق البحثية في دراسات النمذجة المكانية في النقل النهري بأوروبا بالدوريات المختارة (٢٠٠٥ – ٢٠٢٥م)

م	الدوريات الأجنبية	النقل النهري		النمذجة المكانية	
		العدد	%	العدد	%
1	Transportation Research Part A: Policy and Practice	48	7.84	20	8.30
2	Transportation Research Part D: Transport and Environment	90	14.71	36	14.94
3	European Transport Research Review	120	19.61	28	11.62
4	Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review	96	15.69	41	17.01
5	Journal of Shipping and Trade	28	4.58	7	2.90
6	Journal of Transport Geography	93	15.20	58	24.07
7	Annals of Operations Research	12	1.96	4	1.66
8	Sustainability	10	1.63	5	2.07
9	Research in Transportation Business and Management	91	14.87	30	12.45
10	Energy	24	3.92	12	4.98
	المجموع	612	100	241	100

المصدر/ إعداد الباحثة اعتمادًا على قاعدة بيانات Scopus



شكل(٧)

توزيع الأوراق البحثية في دراسات النمذجة المكانية في النقل النهري بأوروبا

(٢٠٠٥ – ٢٠٢٥م).

ويُظهر تحليل التوزيع العددي والنِسبي لأبحاث النمذجة المكانية في النقل النهري في أوربا تركيزًا واضحًا على التحليل الجغرافي، التكامل اللوجستي، والاهتمام البيئي، ما يعكس أولويات البحث والسياسات الأوروبية الحالية. في المقابل، برزت فجوات بحثية في مجالات الطاقة، بحوث العمليات، والإدارة المستدامة، ما يفتح آفاقًا لتطوير نماذج مكانية متقدمة ومتكاملة. ومن المتوقع استمرار هذه الاتجاهات في ظل المبادرات الأوروبية الخضراء وخطط النقل المتكامل، مما يعزز أهمية التعاون بين التخصصات المختلفة لبناء حلول تشغيلية مبتكرة تدعم القرارات الاستراتيجية وتحقيق النقل المستدام.

سابعـًا: التطور الزمني لدراسات النمذجة المكانية في النقل النهري في أوروبا خلال الفترة من (٢٠٠٥–٢٠٢٥م):

شهدت الأبحاث العلمية في مجال النمذجة المكانية للنقل النهري في أوروبا تطورًا تدريجيًا ملحوظًا، انعكس في أربع مراحل زمنية أساسية، تزامنت مع التحولات التكنولوجية والبيئية، والدعم المتزايد من السياسات الأوروبية لتحقيق النقل المستدام، ومن خلال جدول (٦) وشكل (٨) يمكن استعراض هذه المراحل على النحو التالي:

- **الفترة الأولى (٢٠٠٥– ٢٠١٠م): البدايات والتأسيس:**

تميزت هذه المرحلة بانخفاض عدد الدراسات، بمتوسط **٣,٧٥ دراسة/ عام** فقط، وبإجمالي ١٥ **دراسة**. تركزت الجهود البحثية على إنشاء قواعد بيانات مكانية أولية وتصميم خرائط مبدئية للملاحة. كانت **نظم المعلومات الجغرافية (GIS)** في مراحلها الأولى، مع استخدام محدود لتقنيات الاستشعار عن بعد. مثّلت دراسة Mihic et al. (2005) مثالًا على ذلك، من خلال تطوير نماذج لتقدير أعماق الممرات وتحليل الملاحة الموسمية، وسط تحديات تمثلت في نقص البيانات الرقمية وقلة التمويل.

- **الفترة الثانية (٢٠١١– ٢٠١٥م): بداية التحول والتوسع:**

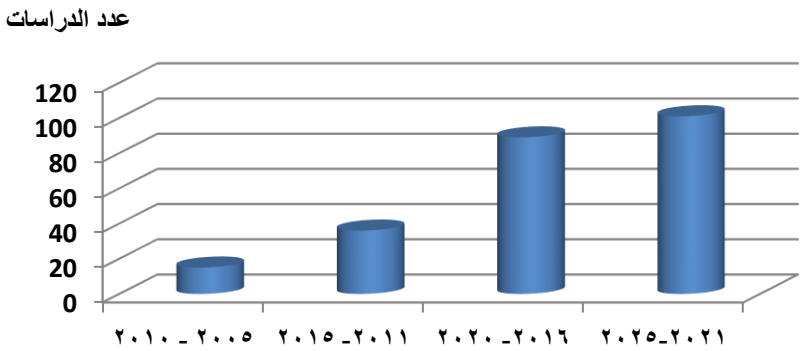
ارتفع متوسط الإنتاج البحثي إلى **٧,٢ دراسة/ عام**، بإجمالي **٣٦ دراسة**، مدفوعًا بتبني الاتحاد الأوروبي لسياسات داعمة مثل الكتاب الأبيض للنقل (٢٠١١م)، وبدأت الأبحاث في دمج التحليلات المكانية ضمن عمليات التخطيط وتحسين كفاءة الممرات المائية. على سبيل المثال: طوّر López-Navarro & García (2014) نموذجًا مكانيًا لتحديد مواقع الرسو المثلى عبر تحليل الشبكات والانحدار المكاني. كما أسهم مشروع PLATINA II في تعزيز استخدام الأدوات الجغرافية في دراسات الترابط اللوجستي.

جدول(٦)

التطور الزمني لدراسات النمذجة المكانية في النقل النهري في قارة اوروبا (٢٠٠٥ – ٢٠٢٥م)

الفترة الزمنية	عدد الأبحاث	المتوسط السنوي (دراسة / عام)
2005 - 2010	15	3.75
2011- 2015	36	7.2
2016- 2020	89	22.25
2021-2025	101	25.25
الإجمالي	241	-

المصدر/ إعداد الباحثة اعتمادًا على قاعدة بيانات Scopus



شكل(٨)

التطور الزمني لدراسات النمذجة المكانية في النقل النهري بأوروبا (٢٠٠٥ – ٢٠٢٥م).

– **الفترة الثالثة (٢٠١٦– ٢٠٢٠م): الطفرة الكبرى وتكامل التكنولوجيا:**

بلغ عدد الدراسات **٨٩ دراسة**، بمتوسط سنوي **٢٢,٢٥ دراسة/ عام**. وتميزت هذه الفترة بالتوسع في استخدام **البيانات الضخمة**، وتحسين قدرات **الأقمار الاصطناعية**، والاعتماد على البرمجيات المتقدمة. قدم Van Dorsser et al. (2018) نموذجًا ديناميكيًا مكانيًا لتقييم أثر انخفاض مستويات المياه في نهر الراين نتيجة التغير المناخي. كما استخدم Heilig & Voss (2019) نماذج توقع مكانية لتحليل الطلب الموسمي على النقل النهري. تبلور خلال هذه المرحلة توجه واضح نحو **دمج النماذج المكانية مع الاقتصادية والبيئية** لدعم أهداف **الاتفاق الأخضر الأوروبي**.

- **الفترة الرابعة (٢٠٢١– ٢٠٢٥م): النضج والرقمنة الشاملة:**

بلغت الأبحاث ذروتها في هذه المرحلة، بمتوسط **٢٥,٢٥ دراسة/ عام**، وبإجمالي ١٠١ **دراسة**، وارتكزت الجهود على **التوأم الرقمي (Digital Twin)** وربط النماذج المكانية بالبيانات الفعلية في الزمن الحقيقي. فقد تناولت دراسة Bedoya-Maya et al (2022) تطوير نموذج مكان– زمني لتوقّع الازدحام في نهر الدانوب باستخدام الذكاء الاصطناعي. كما ركّزت دراسة Li et al. (2023) على تأثير تذبذب مناسيب المياه على حركة الشحن، ما يعكس توجهًا بحثيًا نحو تحقيق مرونة واستدامة النقل النهري في ظل التحديات البيئية. وتكشف هذه المراحل عن انتقال الأبحاث من **الوصف التأسيسي** إلى **النمذجة التفاعلية المتقدمة**، بما يعزز **اتخاذ القرار المكاني الفوري** ويخدم السياسات البيئية الطموحة في أوروبا. يُبرز هذا التطور أهمية النمذجة المكانية كأداة استراتيجية لتخطيط البنية التحتية، وتقييم المخاطر، وتعزيز النقل المستدام.

ثامنًا: الاتجاهات البحثية في دراسات النمذجة المكانية في النقل النهري بأوروبا (٢٠٠٥ – ٢٠٢٥م):

شهدت العقود الأخيرة تطورًا ملحوظًا في استخدام النمذجة المكانية كأداة تحليلية متقدمة في دراسات النقل، لا سيما في سياق النقل النهري الأوروبي الذي يمثل أحد أهم أنماط النقل المستدام والداعم لسلاسل الإمداد منخفضة الانبعاثات. وتُعد النمذجة المكانية وسيلة فعالة لفهم العلاقات المكانية بين عناصر شبكة النقل، وتحديد نقاط الضعف، وتحسين التخطيط المكاني والبيئي. وقد تنوعت الأساليب والنماذج المستخدمة في هذا المجال –جدول (٧) وشكل (٩)– لتشمل نماذج الشبكات، والتخصيص، والتأثيرات البيئية، والمخاطر، مما يعكس تعدد الأبعاد المؤثرة في كفاءة النقل النهري. وفي هذا الإطار تسعى الدراسة إلى تحليل الاتجاهات البحثية السائدة، وتحديد الفجوات القائمة وفرص التطوير المستقبلية، وذلك خلال الفترة الممتدة من

٢٠٠٥ إلى ٢٠٢٥م، بالاستناد إلى تحليل محتوى الدراسات المنشورة في أبرز المجلات العلمية المتخصصة. **وفيما يلي أهم هذه الاتجاهات البحثية:**

١- **نماذج الشبكات المكانية:** تُعد نماذج الشبكات المكانية هي الأكثر استخدامًا في مجال النمذجة المكانية للنقل النهري بأوروبا، حيث بلغ عدد الدراسات التي تناولتها **٧٠ دراسة**، أي ما يقارب **٢٩,٣%** من إجمالي الدراسات. وقد تصدرت مجلةTransportation Research Part E هذا التوجه بنحو **١٥ دراسة**، تلتها Journal of Transport Geography بـ **١٠ دراسات**، ويعكس هذا التوجه التركيز على تقييم الترابط بين مكونات شبكة النقل النهري وكفاءتها، خاصة فيما يتعلق بالبنية التحتية والموانئ والممرات الملاحية.

٢- **نماذج التخصيص المكاني:** واحتلت المرتبة الثانية بواقع **٥٢ دراسة (٢١,٧%)**، وهو مؤشر على أهمية توزيع الأنشطة والخدمات الملاحية بصورة مثلى عبر الأقاليم. وقد كانت Journal of Transport Geography في الصدارة بـ **١٧دراسة**، تليهاTransportation Research Part E بـ **٨ دراسات.**

٣- **نماذج التخصيص الزمني- المكاني:** وبلغ عددها **٣١ دراسة (١٣%)**، ما يدل على تزايد الوعي بدمج البعدين المكاني والزماني في التخطيط، وخصوصًا في سياق تتبع حركة السفن وتغيرات الطلب الموسمية.

جدول(٧)

التوزيع العددي للاتجاهات البحثية في مجال النمذجة المكانية في النقل النهري بقارة أوروبا.

اسم المجلة	نماذج مركبة	نماذج التخصيص المكاني	نماذج الشبكات المكانية	نماذج تحليل إمكانية الوصول المكاني	نماذج التخصيص الزمني- المكاني	نماذج التأثير البيئي المكاني	نماذج المخاطر المكانية
Transportation Research Part A	0	2	7	4	2	4	1
Transportation Research Part D	2	7	12	3	5	4	3

اسم المجلة	نماذج مركبة	نماذج التخصيص المكاني	نماذج الشبكات المكانية	نماذج تحليل إمكانية الوصول المكاني	نماذج التخصيص الزمني- المكاني	نماذج التأثير البيئي المكاني	نماذج المخاطر المكانية
European Transport Research Review	4	6	9	2	3	2	2
Transportation Research Part E	4	8	15	1	7	5	1
Journal of Shipping and Trade	0	0	3	1	2	0	1
Journal of Transport Geography	5	17	10	10	7	4	5
Annals of Operations Research	0	2	1	0	0	1	0
Sustainability	3	0	1	0	0	1	0
Research in Transportation Business and Management	1	8	10	3	3	3	2
Energy	1	2	2	0	2	4	1
المجموع	20	52	70	24	31	28	16

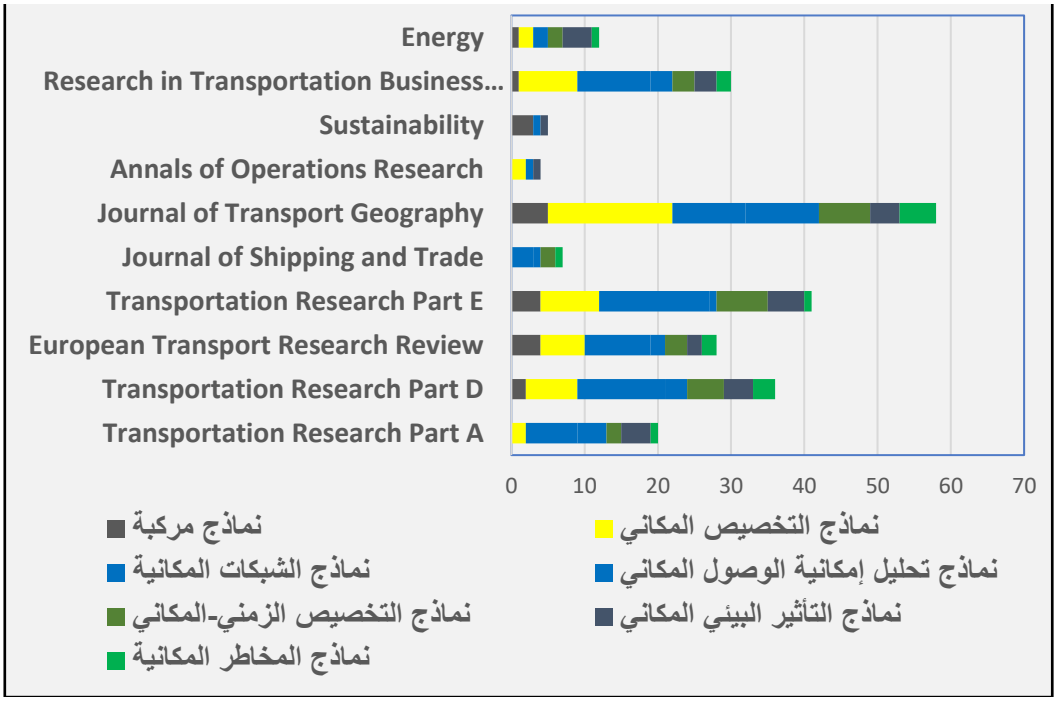
المصدر/ إعداد الباحثة اعتمادًا على قاعدة بيانات Scopus

٤- **نمـاذج التـأثير البيئـي:** شـهدت اهتمامًـا ملحوظًـا إذ بلغـت ٢٨ **دراسـة** بنسـبة **(١١,٧%)** برزت مجلات مثل Transportation Research Part E وEnergy بعدد **٥ و٤ دراسات** على التوالي، وهو ما يشير إلى تصاعد الوعي بأهمية تحليل الانعكاسات البيئية للنقل النهري كالتلوث والانبعاثات.

٥- **نمـاذج تحليـل إمكانيـة الوصـول المكـاني:** سجلت فـي المقابل عددًا أقل نسبيًا بـ **٢٤دراسـة (١٠%)**، مـع مسـاهمة بـارزة مـن Journal of Transport Geography بـ**١٠ دراسات**، تعكس تركيزها على موضوع العدالة المكانية وتوزيع الخدمات الملاحية.

٦- **النمـاذج المركبـة:** وتدمج أكثر من نوع من التحليل، في نهاية القائمة بعدد **٢٠ دراسـة** فقط **(٨,٣%)**، رغم أنها تمثل توجهًا بحثيًا واعدًا. وقد كانت مساهمات Journal of Transport Geography و European Transport Research Review الأبرز بعدد **٥ و٤ دراسات** على التوالي.

٧- **نماذج المخاطر المكانية:** وتُعني بتحليل احتمالات وقوع المخاطر مثل الفيضانات أو الجفاف، وتم تناولها في **١٦ دراسة** فقط **(٦,٧%)**، ما يُبرز الحاجة لتعزيز هذا التوجه في ظل التغير المناخي المتسارع.



شكل(٩) الاتجاهات البحثية في مجال النمذجة المكانية في النقل النهري بقارة أوروبا.

وتشير البيانات إلى وجود بعض **<u>الإشكاليات البحثية في استخدام النمذجة المكانية في النقل النهري بأوروبا</u>**، وهي: **قصور في دمج العوامل المتعددة (Multifactor Integration):** فرغم تعقيد النقل النهري الذي يتأثر بعدة عوامل (مثل الهيدرولوجيا، البنية التحتية، السياسات، التغير المناخي، الطلب الاقتصادي)، إلا أن معظم النماذج المكانية الحالية تركز على عامل أو عاملين فقط. ويؤدي ذلك إلى تبسيط غير واقعي للأنظمة النهرية ويقلل من دقة التنبؤات. **نقص البيانات المكانية الموحدة عبر الدول الأوروبية:** حيث تُعد الفجوة في البيانات مشكلة كبيرة، إذ تختلف جودة وتفاصيل البيانات بين الدول الأوروبية، مما يعوق بناء نماذج مكانية شاملة

تغطي حوض نهر مثل الراين أو الدانوب بأكمله. كما أن بعض البيانات (مثل أعماق الملاحة أو حركة الشحن) غير متاحة بشكل مفتوح. **ضعف استغلال تقنيات الاستشعار من البعد والذكاء الاصطناعي:** فبرغم توفر تقنيات متقدمة مثل الأقمار الاصطناعية وMachine Learning، إلا أن استخدامها في النمذجة المكانية للنقل النهري ما يزال محدودًا نسبيًا، وغالبًا ما يُستخدم في التحليل البيئي أكثر من النقل، وهناك فرصة كبيرة لتعزيز النماذج باستخدام خوارزميات مثل Random Forest أو Neural Networks لتحليل أنماط الملاحة وتوقع الأعطال. **التركيز المفرط على الكفاءة التشغيلية دون البُعد البيئي:** حيث تركز أغلب الدراسات على تقليل الوقت والتكلفة وتحسين الجدولة اللوجستية، بينما تهمل تقييم الأثر البيئي للنقل النهري (مثل التلوث، اضطراب المواطن البيئية، إلخ)، وهذا يخلق فجوة معرفية بين النمذجة التقنية والنمذجة المستدامة بيئيًا. **الاعتماد على نماذج تقليدية غير ديناميكية:** فما زال استخدام النماذج الديناميكية (مثل نماذج المحاكاة متعددة العوامل Agent-Based Models أو نماذج التدفق الديناميكي) محدودًا، رغم أهميتها في تمثيل السلوك المتغير للأنظمة النهرية على مدار الزمن وتحت سيناريوهات مختلفة (فيضانات، جفاف، زيادات في الطلب). **غياب الربط بين السياسات المكانية والنمذجة:** نادرًا ما يتم دمج نتائج النمذجة المكانية ضمن السياسات الإقليمية أو الأوروبية للنقل النهري، مما يقلل من فعالية هذه النماذج في التأثير على اتخاذ القرار. وتكمن الإشكالية في ضعف التواصل بين الباحثين وصنّاع السياسات.

تاسعًا: الأساليب البحثية وتحليل لبعض الدراسات المختارة:

يكشف جدول (٨) وشكل (١٠) عن تنوع أدوات النمذجة المكانية في دراسات النقل النهري بأوروبا، بما يعكس توجهًا متزايدًا نحو تحقيق الكفاءة والاستدامة. وجاءت نماذج الشبكات المكانية في الصدارة بنسبة ١٢,٤٥%، تليها نماذج الشبكات الاجتماعية وتحليل الجاذبية (٩,١٣% لكل منهما)، مما يعكس تركيزًا على فهم البنية

التحتية ومسارات الشحن. وسجلت نماذج المركزية والبرمجة متعددة الأهداف نسبة ٧,٤٧%، دعمًا للتوازن بين الأداء البيئي والتشغيلي. كما أظهرت نماذج البرمجة الخطية والانبعاثات (٤,٩٨%) اهتمامًا بتخصيص الموارد وتقليل الأثر البيئي، في حين عكست نماذج المحاكاة وتحليل السيناريوهات وخوارزميات التحسين (٤,١٥%) توجهًا نحو المرونة والتنبؤ. وبرزت نماذج إمكانية الوصول، تكلفة السفر، والجاذبية بنسبة تتراوح بين ٢,٩٠% و٣,٧٣%، مع حضور محدود للنماذج المناخية والمخاطر، ما يؤكد تنامي الاهتمام بتحليل المرونة والمخاطر في النقل النهري الأوروبي، **وفيما يلي عرضًا لهذه الأساليب:-**

١- الأساليب المستخدمة في نماذج الشبكات المكانية (Spatial Network Models)

تُعد نماذج الشبكات المكانية باستخدام GIS الأداة الأبرز في تحليل النقل النهري (١٢,٤٥%)، حيث تُستخدم لتحديد التدفقات والاختناقات، تليها نماذج الشبكات الاجتماعية للموانئ (٩,١٣%) التي تعتمد على مؤشرات المركزية لدعم تطوير الموانئ، ثم نماذج التحليل الهيكلي (٧,٤٧%) التي تُركز على تحديد العقد الحرجة. وتُسهم جميع هذه النماذج في اختبار السيناريوهات وتعزيز مرونة القرارات التشغيلية والتخطيطية.

أ- نماذج الشبكات المكانية للممرات المائية:

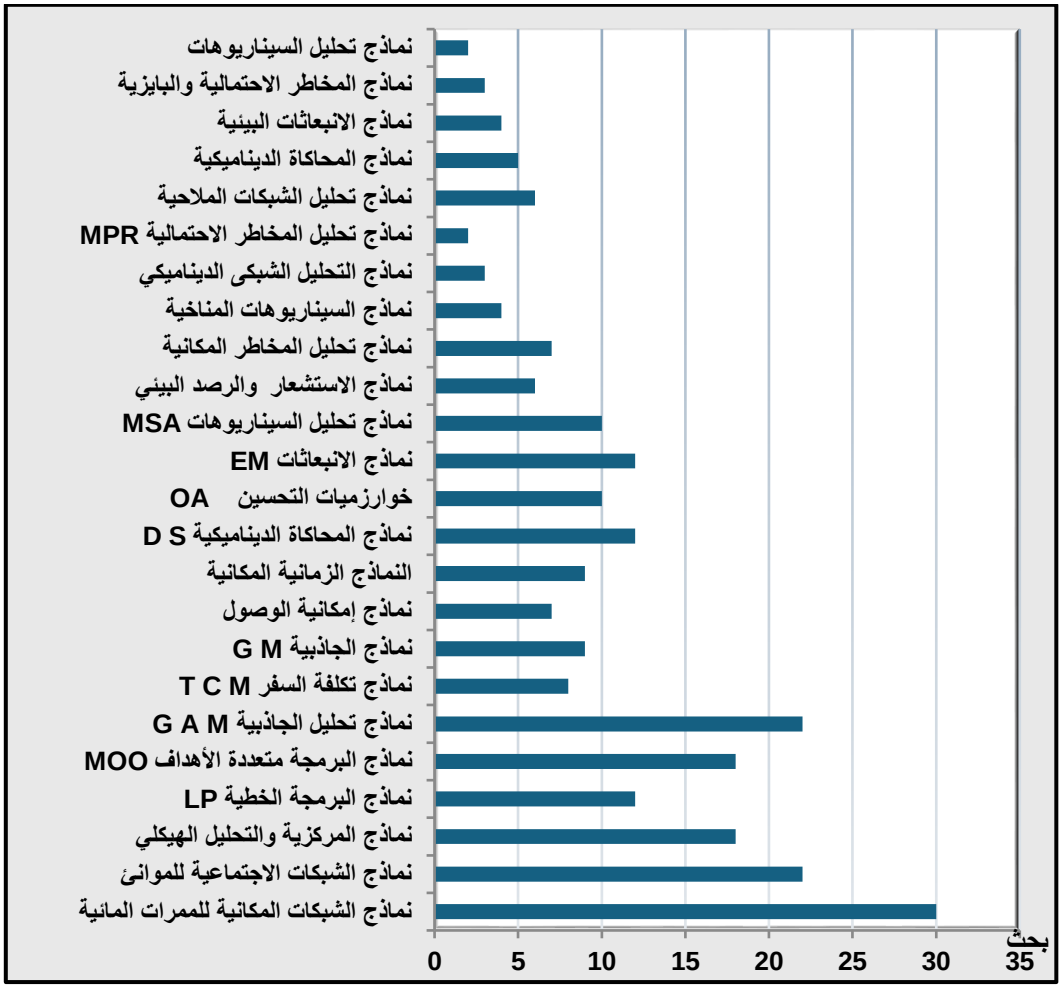
ويعتمد على تمثيل الموانئ والممرات المائية كشبكة مترابطة تجمع بين البيانات المكانية وخصائص النقل. وفي دراسة Wandel & Schulte (2020)، أظهر النموذج أن انخفاض عمق نهر الراين بنصف متر يقلل سعة السفن بنسبة ٣٠–٤٠%، مما يسبب ازدحامًا وتكاليف أعلى. وساعد النموذج في توجيه الاستثمارات وتحسين تدفق البضائع وتقليل الانبعاثات، مما يؤكد دوره في دعم اتخاذ القرار وإدارة البنية التحتية بكفاءة.

جدول(٨)

الأساليب المستخدمة في النمذجة المكانية للنقل النهري بقارة أوروبا (٢٠٠٥ -٢٠٢٥م)

الاتجاه البحثي	عدد الأبحاث	%	أساليب النمذجة المستخدمة	عدد الأبحاث	%
نمذجة الشبكات المكانية	70	29.05	نماذج الشبكات المكانية للممرات المائية	30	12.45
			نماذج الشبكات الاجتماعية للموانئ	22	9.13
			نماذج المركزية والتحليل الهيكلي	18	7.47
نمذجة التخصيص المكاني	52	21.58	نماذج البرمجة الخطية (P L)	12	4.98
			نماذج البرمجة متعددة الأهداف (MOO)	18	7.47
			نماذج تحليل الجاذبية (G A M)	22	9.13
نمذجة تحليل إمكانية الوصول المكاني	24	9.96	نماذج تكلفة السفر T C M	8	3.32
			نماذج الجاذبية G M	9	3.73
			نماذج إمكانية الوصول	7	2.90
نمذجة التخصيص الزمني - المكاني	31	12.86	النماذج الزمانية المكانية	9	3.73
			نماذج المحاكاة الديناميكية D S	12	4.98
			خوارزميات التحسين O A	10	4.15
نمذجة التأثير البيئي المكاني النقل النهري الاوربي	28	11.62	نماذج الانبعاثات E M	12	4.98
			نماذج تحليل السيناريوهات MSA	10	4.15
			نماذج الاستشعار والرصد البيئي	6	2.49
نمذجة المخاطر المكانية للنقل النهري الأوروبي	16	6.64	نماذج تحليل المخاطر المكانية	7	2.90
			نماذج السيناريوهات المناخية	4	1.66
			نماذج التحليل الشبكي الديناميكي	3	1.24
			نماذج تحليل المخاطر الاحتمالية MPR	2	0.83
النمذجة المركبة في النقل النهري الأوربي	20	8.30	نماذج تحليل الشبكات الملاحية	6	2.49
			نماذج المحاكاة الديناميكية	5	2.07
			نماذج الانبعاثات البيئية:	4	1.66
			نماذج المخاطر الاحتمالية والبايزية:	3	1.24
			نماذج تحليل السيناريوهات	2	0.83
المجموع	241	100.00	-	241	100

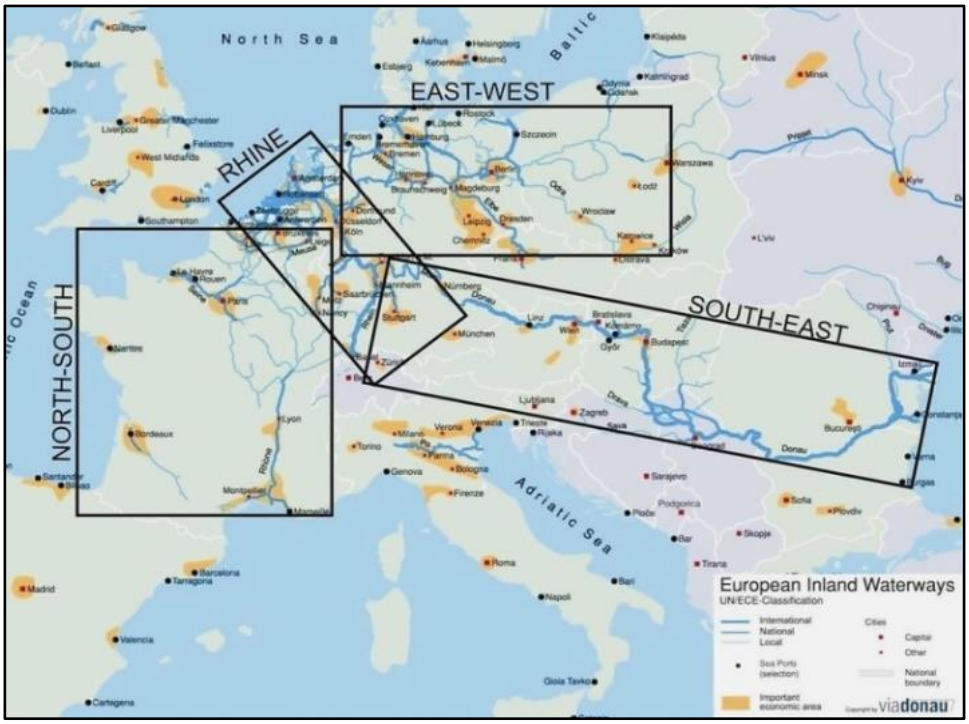
المصدر/ إعداد الباحثة اعتمادًا على قاعدة بيانات Scopus



شكل (١٠) توزيع الأساليب المستخدمة في النمذجة المكانية للنقل النهري بقارة أوروبا خلال الفترة من (٢٠٠٥ – ٢٠٢٥م)

ب- نماذج الشبكات الاجتماعية للموانئ: (Social Network Analysis, SNA)

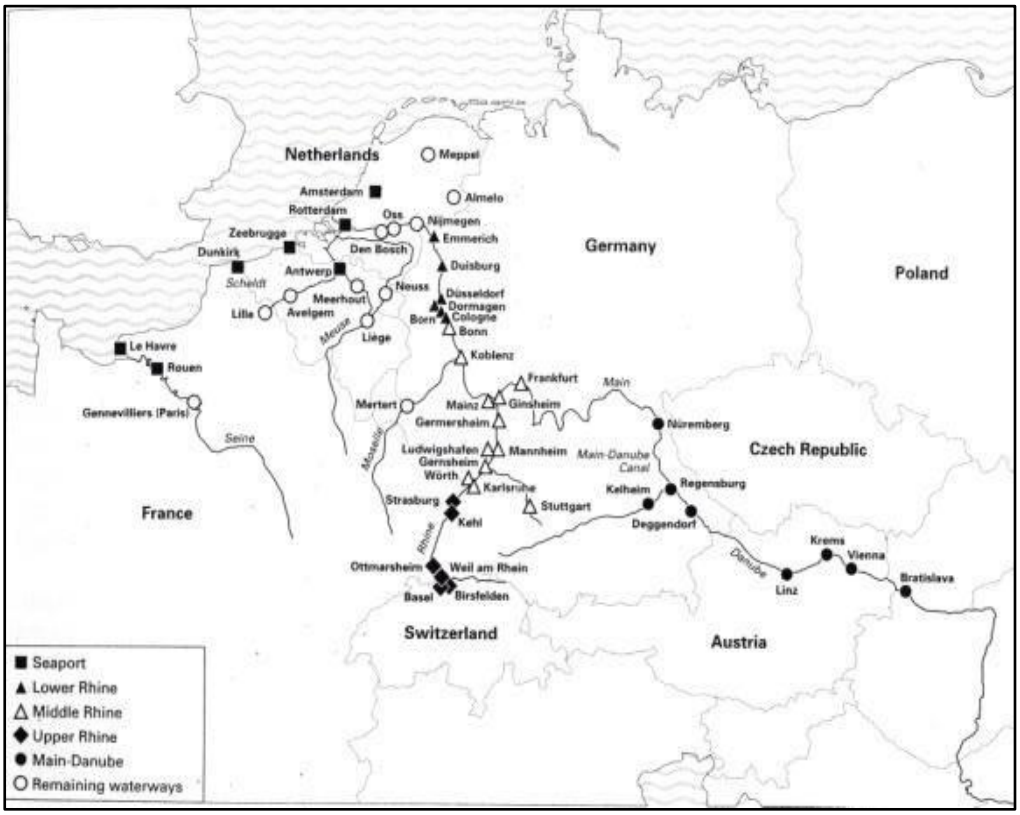
وتُستخدم لتحليل العلاقات بين الموانئ. **مثال بحثي:** في دراسة González-Aregall & Bergqvist (2019)، أظهر تحليل الشبكة أن الموانئ النهرية الأوروبية، مثل ميناء دويسبورغ، تلعب دورًا محوريًا في الربط الإقليمي ودعم التكامل متعدد الوسائط، كما كشفت الدراسة عن الموانئ الأكثر عرضة لتعطلات الشبكة -شكل (١١). وفي دراسة Bedoya-Maya et al. (2022)، تم دمج بيانات الانبعاثات مع نماذج الشبكات لتحديد مسارات شحن أقل ضررًا، مما ساهم في خفض الانبعاثات بنسبة ١٨% -شكل (١٢).



شكل (١١)

الشريان الرئيسي للنقل الداخلي في أوروبا الوسطى وظرفه المكاني.

Source: González Aregall, M., & Bergqvist, R. (2019)



شكل (١٢)

توزيع محطات الحاويات على شبكة الطرق المائية الداخلية في أوروبا (الراين، الدانوب)

Source: Bedoya Maya, F., Shobayo, P., Beckers, J., & van Hassel, E. (2024)

ج- نماذج المركزية (Centrality Models) والتحليل الهيكلي (Structural Analysis):

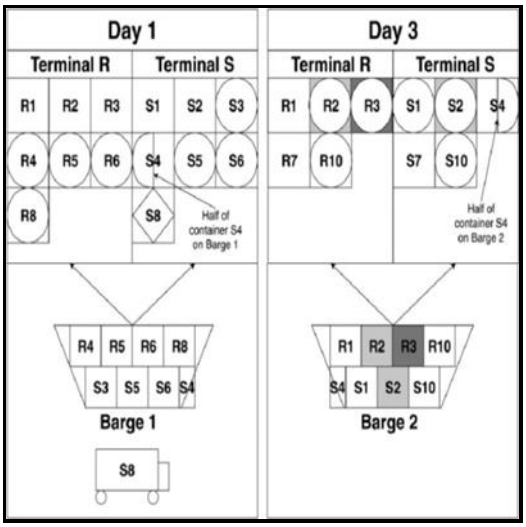
يُعد هذا الإطار التحليلي أداة لتقييم أهمية الموانئ في شبكة النقل من خلال مؤشرات المركزية. **مثال بحثي:** دراسة Wang (2016)، وتم فيها تحليل دور الموانئ باستخدام مؤشرات مثل Betweenness وCloseness وDegree Centrality وأظهرت النتائج أن موانئ كبرى مثل روتردام وهامبورغ تتمتع بمركزية عالية، بينما يمكن لبعض الموانئ الداخلية تحقيق مكانة مماثلة بفضل موقعها وخدماتها اللوجستية.

٢- الأساليب المستخدمة في نماذج التخصيص المكاني Spatial Allocation Models:

وتعتمد هذه النماذج على أدوات التحليل المكاني في GIS وتقنيات النمذجة الرياضية مثل: نماذج البرمجة الخطية (Linear Programming) لتحديد التخصيص الأمثل بين المواقع، نماذج البرمجة متعددة الأهداف (Multi-objective Optimization) لموازنة التكاليف التشغيلية، تقليل الانبعاثات، وتعظيم التغطية الجغرافية، نماذج تحليل الجاذبية (Gravity Models) لتقدير تدفقات البضائع بين الموانئ والمناطق الداخلية بناءً على حجم الطلب والمسافة.

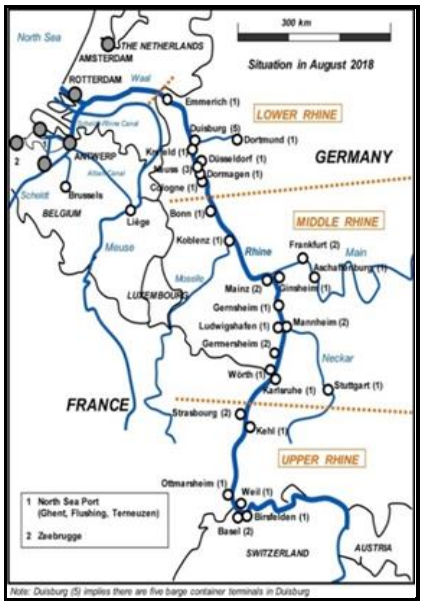
أ- نماذج البرمجة الخطية: Linear Programming Models

في دراسة Zhou, Notteboom & Rodrigue (2018)، استُخدمت نماذج البرمجة الخطية لتحسين جدولة البوارج في شبكات النقل النهري الأوروبية، خاصة في الراين والدانوب- شكلي (١٣ ، ١٤). وركّز النموذج على تقليل زمن الرحلات وتكاليف التشغيل ضمن قيود تشغيلية كعمق المياه وسعة الأقفال. وأظهرت النتائج تحسينًا ملحوظًا في الكفاءة، مما يؤكد أهمية أدوات التحسين الرياضي في إدارة النقل النهري.



شكل(١٣)

توزيع الحمولة وجدولة البواخر (Heuristic Assignment)



شكل(١٤)

توزيع الشبكة النهريّة المغطاة بالدراسة (مثل الراين والدانوب)، مع حلقات الربط بين محطات البارجة والأقفال الرئيسية

Source: Zhou, Y., Notteboom, T., & Rodrigue, J.-P. (2018).

ب- نماذج البرمجة متعددة الأهداف: Multi-Objective Optimization models

تُستخدم لتحسين مواقع الموانئ الداخلية والمراكز اللوجستية، خاصة ضمن جهود التحول الأخضر الأوروبي. **مثال بحثي: دراسة** Monios, J., & Wilmsmeier, G. (2021) في مجلةSustainability استخدمت نماذج البرمجة متعددة الأهداف لإعادة توزيع موانئ الشحن الداخلي في فرنسا، بحيث يتم تقليل الانبعاثات الكربونية الكلية عبر تخفيض الرحلات البرية، وتوصلت الدراسة إلى أن إعادة تخصيص ١٥% فقط من حجم البضائع لموانئ أقرب قد يحقق خفضًا في الانبعاثات بنسبة ١٢%.

ج- نماذج تحليل الجاذبية: Gravity Analysis Models

تُستخدم لتحليل تدفقات الشحن استنادًا إلى النشاط الاقتصادي والمسافة. **مثال بحثي:** في دراسة Mansouri et al. (2022)، طُبّق النموذج على موانئ البحر المتوسط لتقدير التدفقات والانبعاثات، وأظهرت النتائج إمكانية تقليل الانبعاثات عبر تحسين الشبكات وتفعيل النقل متعدد الوسائط. ورغم تركيز الدراسة على البحر المتوسط، فإن المنهج قابل للتطبيق على أنهار مثل الراين والدانوب لدعم التخطيط البيئي والبنية التحتية.

٣- الأساليب المستخدمة في نماذج تحليل إمكانية الوصول المكاني: (Spatial Accessibility Models)

تُعد أدوات أساسية لتخطيط النقل النهري المستدام في أوروبا، إذ تعزز الكفاءة، وتدعم القرارات الاستثمارية، كما تساعد في خفض الانبعاثات، ورغم دقتها تواجه هذه النماذج تحديات تطبيقية في القطاع النهري.

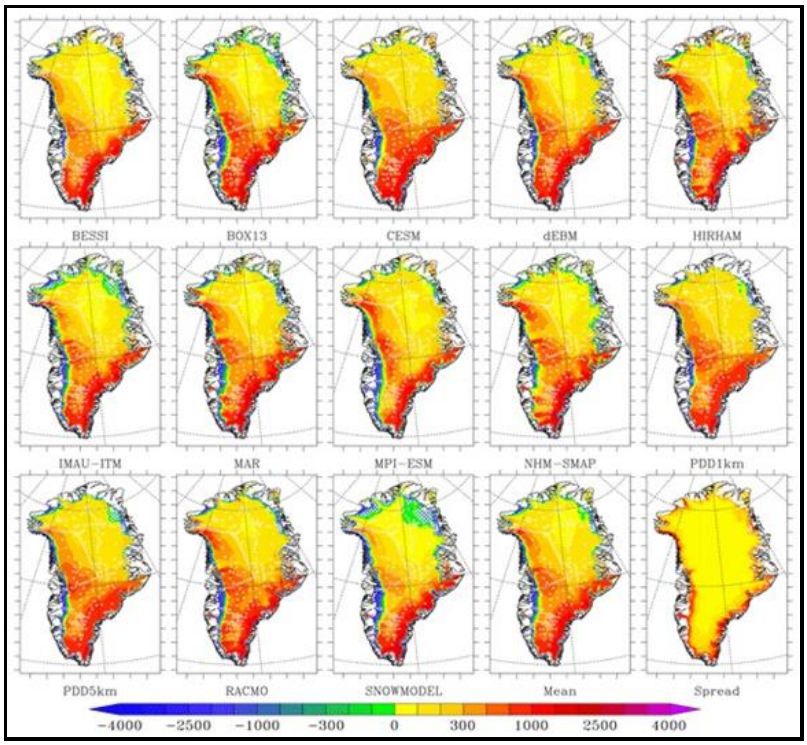
أ- نماذج تكلفة السفر: (Travel Cost Models)

تُستخدم (TCM) لتقدير التكلفة الكلية للوصول إلى نقاط الخدمة، وبدمجها مع GIS فإنها تتيح إنتاج خرائط تدعم التخطيط المكاني. **مثال تطبيقي:** في دراسة Tavasszy et al. (2020)، ساهم الدمج بين نموذج تكلفة السفر وبيانات GIS في تحليل تدفقات الشحن بأوروبا، وأظهرت النتائج أن تعزيز النقل النهري قد يقلل انبعاثات CO_2 بنسبة تصل إلى ٢٥%.

ب-نماذج الجاذبية: Gravity Models

تعتمد على العلاقة بين النشاط الاقتصادي والمسافة لتقدير تدفقات الشحن في النقل النهري، مما يدعم تخطيط الموانئ وتحديد الطلب، **مثال بحثي:** في دراسة Van der Horst & De Langen (2021) ببلجيكا، طُبّق نموذج جاذبية لتحليل تدفقات

البضائع، مع مراعاة عوامل كالزمن وتكاليف النقل- شكلي (١٥،١٦)، وأظهرت النتائج إمكانية تحويل ١٠- ١٥% من الشحن البري إلى النقل النهري، خاصة نحو موانئ فلاندرز ذات الجذب المرتفع، مما يعزز استدامة ومرونة الشبكات.

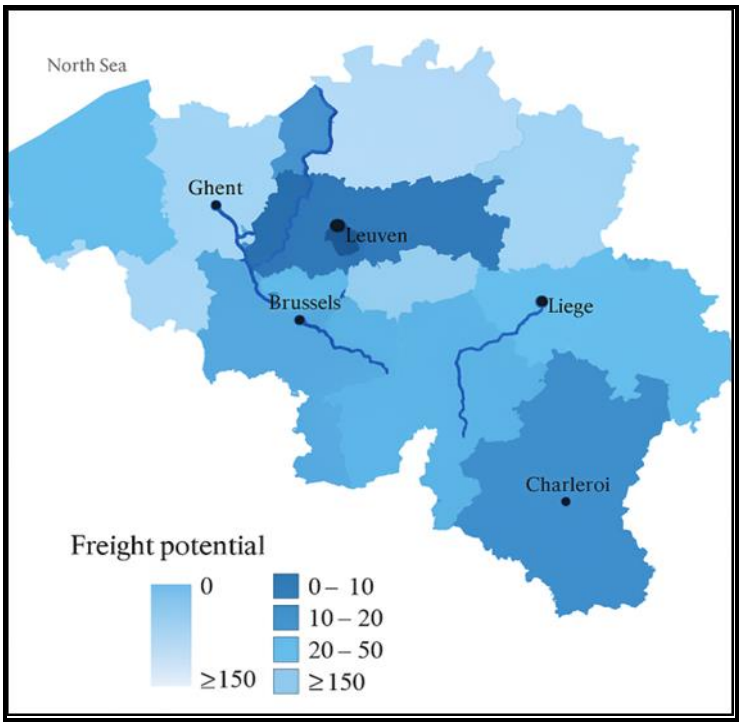


شكل (١٥)

خريطة كثافة حجم الشحن المحتمل على شبكة الطرق المائية الداخلية في بلجيكا مع تركيز على أهم العقد مثل أنتويرب، غنت، لييج، بروكسل.

تُظهر الخريطة شبكة الطرق المائية الداخلية في بلجيكا مع تركيز على أهم العقد مثل أنتويرب، غنت، لييج، بروكسل.

Source: Van der Horst & De Langen (2021).



شكل (١٦)

خريطة حرارية (Heatmap) تبين التوزيع المكاني للشحن المحتمل وكثافته عبر الممرات المائية الداخلية في بلجيكا.

Source: Van der Horst & De Langen (2021)

ج- أدوات نماذج تحسين امكانية الوصول: Tools of Accessibility Enhancement Models

ساهمت نماذج إمكانية الوصول بنسبة ٢,٩٠% في تحليل تغطية النقل النهري ودعم سياسات الاتحاد الأوروبي. وأظهرت دراسة Notteboom & Pallis (2021) أن ٣٥% من المصانع تصل لموانئ الراين خلال ساعتين، مع ضعف في الجنوب الغربي. وفي بلجيكا أوضحت دراسة Van der Horst & De Langen (2021) تفاوت الوصول بين فلاندرز ووالونيا. كما كشفت دراسة Vanoutrive & Van Malderen (2018) أن إغلاق أقفال نهر الميز زاد زمن الوصول بنسبة ٤٥%، مؤكدة أهمية الإدارة الفعالة للبنية التحتية.

٤- الأدوات المستخدمة في نماذج التخصيص الزمني- المكاني: (Spatio-Temporal Allocation Models)

تُعد نماذج التخصيص الزمني- المكاني (المرونة والاستجابة الديناميكية) أداة متقدمة لتحليل النقل، إذ تدمج البعدين الزماني والمكاني لفهم توزيع الموارد وتحديد التدفقات الأكثر كفاءة ومرونة أمام التغيرات الموسمية والظروف الطارئة، وظهرت هذه النماذج بنسبة ٣,٧٣% لدراسة تباين حركة السفن، إلى جانب استخدام نماذج المحاكاة الديناميكية (٤,٩٨%) لمحاكاة سيناريوهات الأزمات، وخوارزميات التحسين (٤,١٥%) لتقديم حلول تكيفية ودعم اتخاذ القرار الفوري.

أ- النماذج الزمانية المكانية: Spatio-Temporal Models

يُستخدم GIS لتحليل الشبكات النهرية زمانيًا ومكانيًا عبر خرائط ديناميكية مثل الإيزوكرون وخرائط العمق الموسمي. **مثال تطبيقي:** في دراسة Wandel & Schulte (2020)، تم توظيف نماذج مكانية – زمانية لتحليل تأثير انخفاض منسوب المياه في نهر الراين، وأظهرت النتائج أن انخفاض العمق بنصف متر يقلل الحمولة بنسبة ٣٠ –٤٠%، ويزيد التكاليف والاختناقات، وأوصت الدراسة بجداول مرنة، وتحسين إدارة المياه، مؤكدة أهمية GIS في مواجهة التغيرات المناخية ودعم مرونة النقل النهري.

ب-نماذج المحاكاة الديناميكية: (Dynamic Simulation)

تُعد أداة فعالة لتحليل تدفقات الشحن وتقييم مرونة الشبكات النهرية تحت سيناريوهات فترات الذروة والجفاف. **مثال بحثي:** في دراسة Monios &Wilmsmeier (2021) بـ Transportation Research Part E، تم تطوير نموذج لمحاكاة تشغيل الموانئ الداخلية في ألمانيا باستخدام بيانات مكانية وزمنية وخوارزميات جدولة ديناميكية، وأظهرت النتائج أن تحسين الجدولة يقلل من أوقات الانتظار بنسبة ٢٥%، ويزيد كفاءة التشغيل، ويخفض التكاليف والانبعاثات، مما يعزز

الاستدامة ومرونة إدارة الموانئ.

ج- خوارزميات التحسين في النقل النهري الأوروبي: (Optimization Algorithms)

تلعب خوارزميات التحسين (دعم الأهداف الخضراء) دورًا أساسيًّا في تحسين شبكات النقل النهري الأوروبية، عبر توزيع السفن، وجدولة الرحلات، واختيار المسارات المثلى لتحقيق خفض التكاليف وزيادة الكفاءة وتقليل الأثر البيئي، وتشمل هذه الخوارزميات: البرمجة الخطية (Linear Programming)، البرمجة غير الخطية (Non-linear Programming)، خوارزميات التحسين متعددة الأهداف (Multi-objective Optimization)، والخوارزميات الجينية (Genetic Algorithms)، وتُستخدم هذه الخوارزميات في موانئ كبرى مثل دويسبورغ وروتردام وأنتويرب، خاصة لإدارة ظروف صعبة كالجفاف أو ازدحام الأقفال. وتعتمد هذه النماذج على بيانات هيدرولوجية وزمنية دقيقة، ما يسهم في تحسين التنبؤات ودعم القرارات التشغيلية بكفاءة عالية.

٥- الأساليب المستخدمة في نمذجة التأثير البيئي المكاني للنقل النهري بقارة أوربا:

اعتمدت الدراسات الأوروبية على مجموعة من الأدوات المتقدمة لتحليل وتقييم التأثيرات البيئية المكانية للنقل النهري، بهدف دعم السياسات المستدامة وتقليل الأضرار البيئية، حيث ساهمت بنسبة ٤,٩٨% لنماذج الانبعاثات، و٤,١٥% لتحليل السيناريوهات، و٢,٤٩% للرصد البيئي.

أ- نماذج الانبعاثات: (Emission Modeling)

يسلط التحليل الضوء على دور GIS ونماذج الانبعاثات في تقييم الأثر البيئي للنقل النهري من خلال تحديد الملوثات والمناطق الأكثر تأثرًا، **مثال بحثي:** استخدمت دراسة Klementová & Putz (2022) خرائط GIS لتقييم انبعاثات نهر الدانوب،

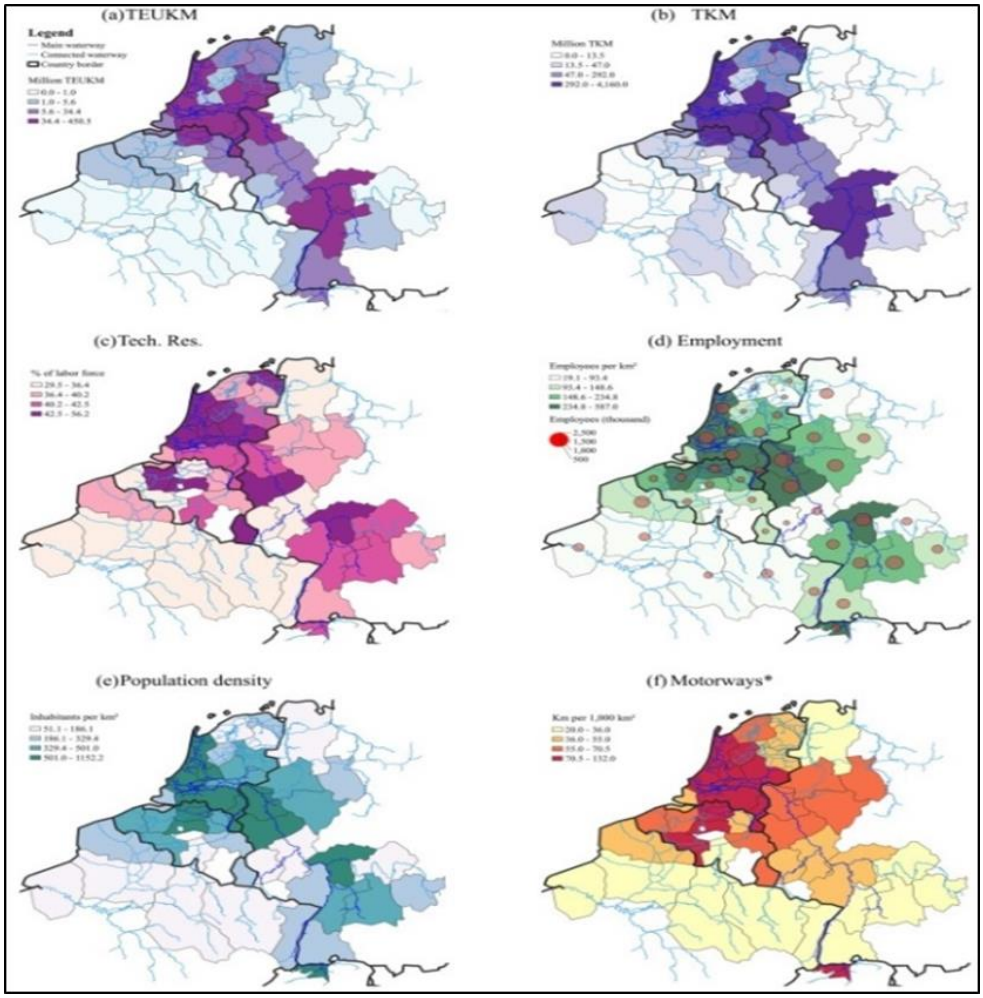
كما طوّر Van Essen et al. (2019) نموذجًا لتقدير انبعاثات السفن في أوروبا الوسطى، في حين أن Monios & Wilmsmeier (2021) ناقشا سياسات النقل النهري الأخضر، مشيرين إلى ضعف التنسيق بين الجهات، داعيين إلى أطر تنظيمية داعمة للتحول نحو نقل منخفض الانبعاثات– شكل (١٧).

ب– نماذج تحليل السيناريوهات: (Scenario Analysis)

وتُستخدم لتقييم الأثر البيئي والتشغيلي لإجراءات مثل تقليل سرعات السفن، وتبني أساطيل منخفضة الانبعاثات، وتحسين مرافق الموانئ. **مثال بحثي:** في دراسة Schoyen & Steger-Jensen (2017)، أظهرت السيناريوهات إمكانية خفض الانبعاثات بنسبة ٣٥% عبر استخدام سفن صديقة للبيئة في نهر الراين، مع استدامة تشغيلية على المدى الطويل، كما قدّم Frémont & Franc (2020) نموذجًا تحسينًا مكانيًا– زمانيًا في نهرَي السين والرون بفرنسا، حقق خفضًا في التكاليف بنسبة ١٥%، وتقليل أوقات الانتظار، مما يعزز مرونة وكفاءة النقل النهري مقارنة بالنقل البري.

ج- نماذج الاستشعار والرصد البيئي: Environmental Monitoring and Sensing Models

تشمل بيانات الاستشعار قياسات ميدانية لجودة المياه والهواء والضوضاء حول الممرات النهرية، وتُجمع عبر محطات ثابتة أو أجهزة على السفن، وتُستخدم كمدخلات للنماذج البيئية أو للتحقق من دقتها. **مثال بحثي تطبيقي:** في دراسة Putz & Schmitt (2021) المنشورة في Journal of Environmental Management استخدم الباحثان بيانات جودة الهواء والمياه من محطات مراقبة على طول نهر الميز (Meuse)، لتحليل آثار حركة السفن خلال فترات الذروة – شكلي (١٨، ١٩).

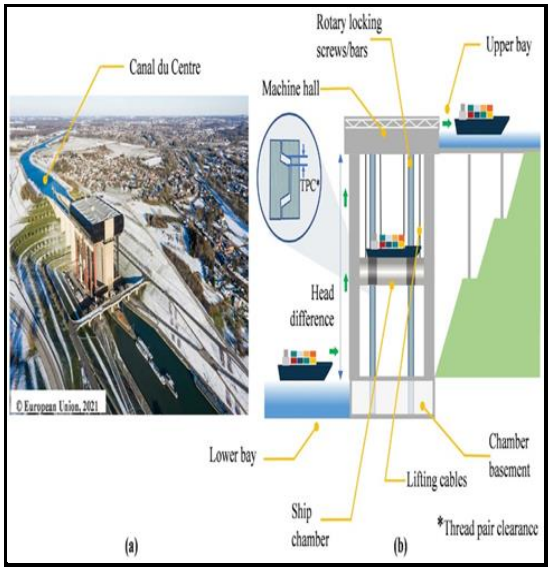


شكل (١٧)

الفجوات المكانية والسياسات البيئية ضمن إطار واحد،

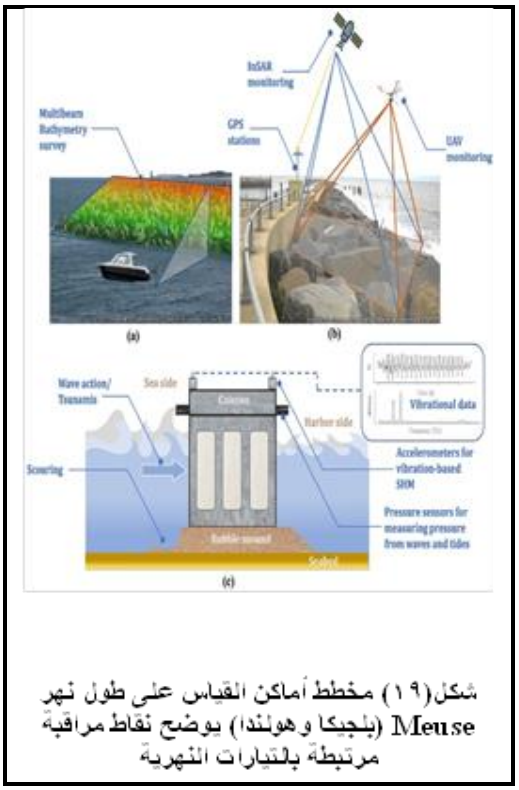
ما يوضح تباين الدول الأوروبية في تهيئة النقل النهري للتوجه الأخضر.

Source: Klementová & Putz (2022).



شكل (١٨)

مقطع عرضي توضيحي لعبور السفينة وضغطها على الطبقات المختلفة على طول نهر Meuse (بلجيكا وهولندا)

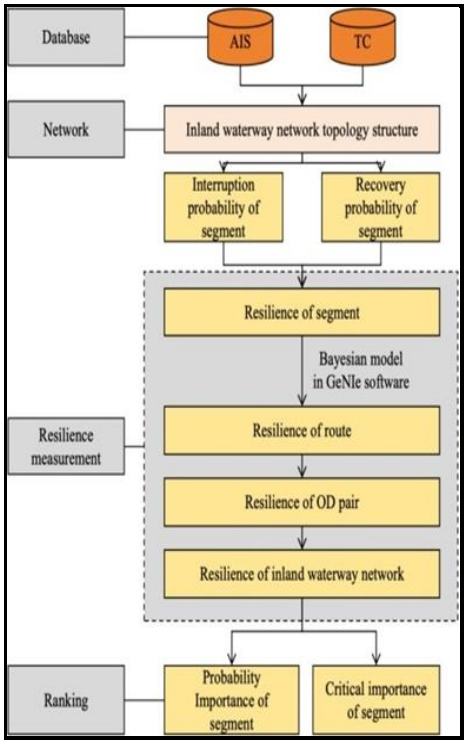


شكل(١٩) مخطط أماكن القياس على طول نهر Meuse (بلجيكا وهولندا) يوضح نقاط مراقبة مرتبطة بالتيارات النهرية

Source: Putz & Schmitt (2021).

٦- الأساليب المستخدمة في نماذج المخاطر المكانية للنقل النهري الأوروبي:

ظهرت نماذج تحليل المخاطر المكانية بنسبة ٢,٩٠%، واهتمت بدراسة المناطق المعرضة لمخاطر الفيضانات أو الجفاف، وفي المقابل، شملت نماذج السيناريوهات المناخية بنسبة ١,٦٦%، تحليل التغيرات المناخية طويلة الأجل. كما ساهمت نماذج التحليل الشبكي الديناميكي (Network Analysis) بنسبة ١,٢٤%، ونماذج المخاطر الاحتمالية (MPR) بنسبة ٠,٨٣%، في تقدير احتمالية الأعطال المعقدة وتقييم أثرها على استمرارية الشبكة.

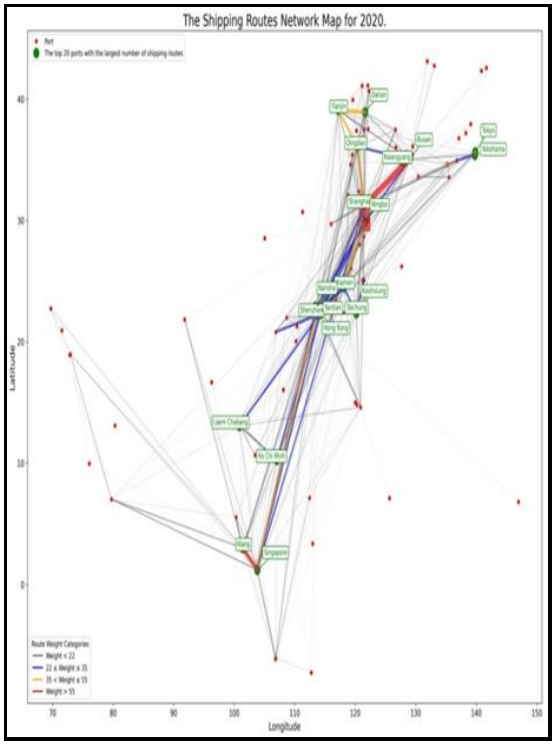


شكل (٢٠)

إطار عمل نموذج بايزي

لتحليل المخاطر بالهيكل المكاني للشبكة وتحديد نقاط الضغط

ونقاط الضعف أمام المخاطر المكانية



شكل (٢١)

نماذج توزيع المخاطر المكانية واحتمالاتها

-مثل احتمال انقطاع المسار بسبب عوامل معينة، أو التفاعل بين الأقسام المختلفة،

مما يدعم التنبؤ بالنقاط الأعلى عرضة للمخاطر.

Source: Li & Notteboom (2023)

أ- نماذج تحليل المخاطر المكانية: Spatial Risk Analysis Models

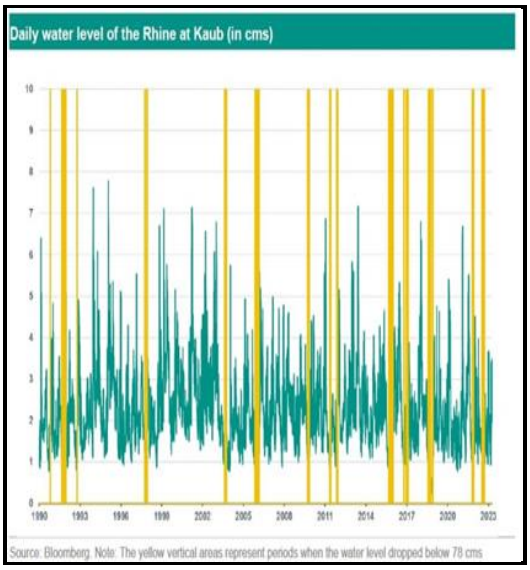
تُعد نظم المعلومات الجغرافية (GIS) أداة رئيسية لتحليل المخاطر في النقل النهري، من خلال تحديد المناطق الحرجة وتقدير تأثير الظروف البيئية. **ففي دراسة** Li & Notteboom (2023) استُخدم GIS لتقييم تأثير انخفاض منسوب المياه في الراين والدانوب شكلي (٢٠،٢١)، ورسم خرائط للمناطق عالية الخطورة، ما ساعد في اقتراح مسارات بديلة وتعزيز مرونة الشبكة.

ب-نماذج السيناريوهات المناخية: Climate Scenario Models

وتُستخدم لتقدير تأثير تغير المناخ على النقل النهري، بالاعتماد على بيانات طويلة الأجل مثل الهيدرولوجيا ومستويات المياه. **مثال بحثي:** في دراسة Van der Horst & Veenstra (2021) بـ European Transport Research Review، تم دمج هذه النماذج مع بيانات شبكة النقل في بلجيكا وهولندا، **وتوصّلت النتائج** إلى احتمال زيادة فترات توقف الملاحة بنسبة ٢٠% بحلول ٢٠٣٥م نتيجة للجفاف، ما يبرز أهمية التخطيط الاستباقي لتعزيز مرونة النقل النهري.

ج- نماذج التحليل الشبكي الديناميكي: (Dynamic Network Analysis Models)

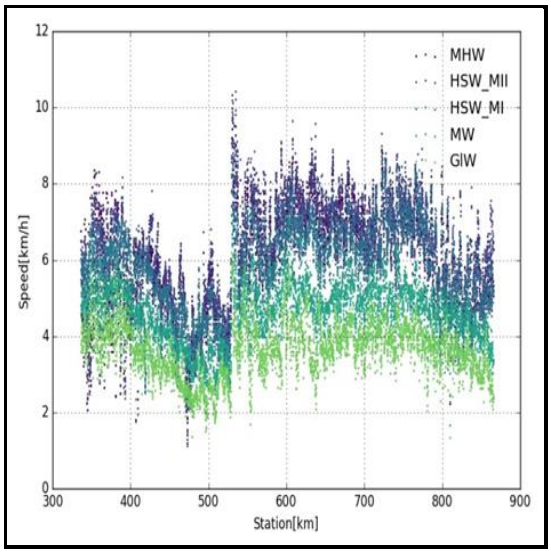
وتُستخدم لفهم النقل النهري كشبكة مترابطة، مما يساعد في تحديد نقاط الاختناق، وقياس مرونة الشبكة، وتقدير الخسائر الاقتصادية عند التعطل أو تحويل المسارات. **مثال بحثي:** في دراسة Kies & Schill (2020)، المنشورة في Journal of Transport Geography، استخدم الباحثان تحليل الشبكات لتقييم نقاط الضعف في نهر الراين، معتمدين على بيانات الملاحة ومستويات المياه التاريخية – شكلي (٢٢، ٢٣)، و**أظهرت الدراسة** أن تعطل مقاطع معينة قد يزيد زمن الرحلات بنسبة تصل إلى ٣٥%.



شكل (٢٢)

توزيع مستويات المياه حسب السنوات

(Data wrapper Blog)



شكل (٢٣)

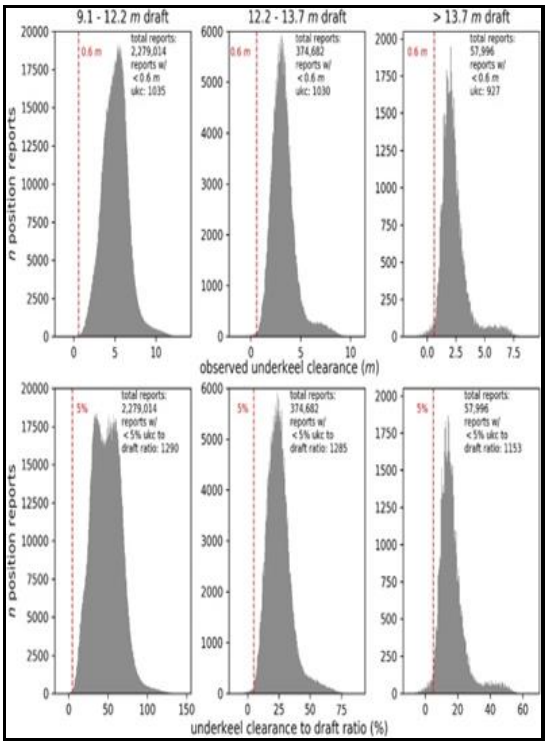
سرعات التدفق على نهر الراين حسب حالات التصريف المختلفة تحت ظروف تصريف متعددة

(مثل انخفاض، متوسط، عال)

Source: Kies & Schill (2020)

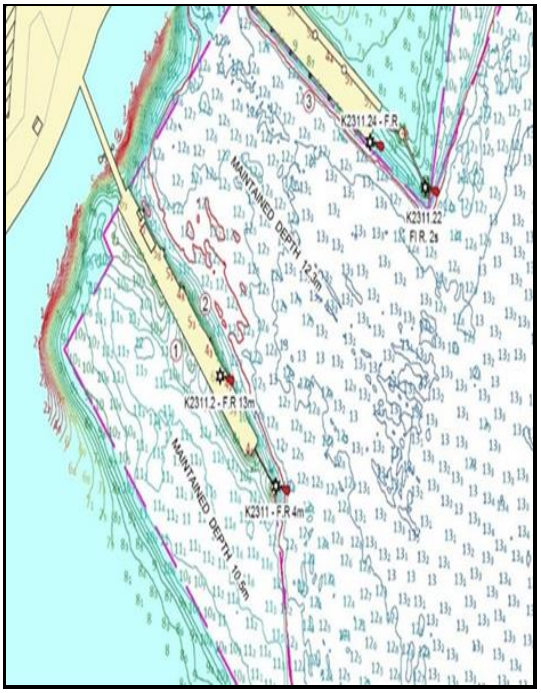
د- نماذج تحليل المخاطر الاحتمالية: (Probabilistic Risk Analysis)

ويتناول هذا التحليل تقدير احتمالية وتأثير المخاطر عبر نماذج إحصائية، مع دمج المتغيرات البيئية والتشغيلية لرسم خريطة زمنية ومكانية لتوزيع المخاطر. ويهدف ذلك إلى دعم خطط الطوارئ وتقييم فعالية تحسينات البنية التحتية، على سبيل المثال، **استخدمت دراسة** Wandel & Schulte (2020) تحليل المخاطر الاحتمالية لتقييم تأثير تقلبات أعماق نهر الراين على النقل – شكلي (٢٤، ٢٥)، **وكشفت النتائج** أن سيناريوهات الجفاف الشديد قد تؤدي إلى خسائر تصل إلى ٣٠% في السعة السنوية، مما يبرز الحاجة إلى سياسات تشغيل أكثر مرونة.



شكل (٢٤)

توزيعات المخاطر عبر قطاعات نهريّة متباعدة، مما يُظهر اختلاف المخاطر مكانيًا (مثل اختلاف تضاريس القناة أو السرعة)



شكل (٢٥)

العلاقة العمودية بين السفينة وقاع النهر، كجزء من عملية حساب المخاطر الاحتماليّة

Source: Wandel & Schulte (2020)

٧- الأساليب التحليلية المستخدمة في النماذج المركبة في النقل النهري بأوروبا:

شملت **نماذج تحليل الشبكات الملاحية** بنسبة **٢,٤٩%**، و**نماذج المحاكاة الديناميكية** بنسبة **٢,٠٧%**، لدراسة التداخلات المعقدة بين المكونات. كما برزت **نماذج الانبعاثات البيئية (١,٦٦%)**، و**نماذج المخاطر الاحتمالية والبايزية (١,٢٤%)**، و**نماذج تحليل السيناريوهات (٠,٨٣%)**، وتعتمد النماذج المركبة على عدد من الأدوات المتقدمة، **تشمل:**

أ- نماذج تحليل الشبكات الملاحية:

وهى تُمكّن من تحليل الشبكات الملاحية مكانيًا وبيئيًا عبر دمج طبقات مثل الأعماق، الأقفال، والتلوث. **مثال تطبيقي:** في دراسة Hollen & Notteboom (2023) بمجلة Sustainability، طُوّر نموذج مركب لتحسين استدامة النقل في ممر الراين – الألب، باستخدام خرائط تفاعلية لتحديد المناطق الحرجة، وأظهرت النتائج إمكانية خفض الانبعاثات بنسبة ٢٠% وتحسين كفاءة الشبكة عبر هذا النهج المتكامل.

ب-نماذج المحاكاة الديناميكية: Dynamic Simulation Models

تُستخدم لتحليل تدفقات السفن وتحسين كفاءة التشغيل في النقل النهري. **مثال تطبيقي:** في دراسة Monios & Wilmsmeier (2021) بمجلة Transportation Research Part E، أظهرت النتائج أن تحسين الجداول الزمنية باستخدام هذه النماذج أدى إلى خفض أوقات الانتظار بنسبة ٢٥%، وساهم في تقليل التكاليف وزيادة كفاءة الموانئ الداخلية في ألمانيا.

ج- نماذج الانبعاثات البيئية: Environmental Emission Models

وتُستخدم لتقدير انبعاثات السفن النهرية ودعم النقل الأخضر. **مثال تطبيقي:** في دراسة Ehlers & Friedrich (2020) بمجلة Energy، تم تحليل الانبعاثات في ممرات وسط أوروبا، واقتُرحت سيناريوهات لاستخدام سفن منخفضة الانبعاثات، مما أظهر إمكانية خفض البصمة الكربونية بشكل ملحوظ وتحسين التوافق البيئي للموانئ الداخلية.

د- نماذج المخاطر الاحتمالية والبايزية: Probabilistic and Bayesian Risk Models

تُستخدم النماذج البايزية لتحليل المخاطر المكانية في النقل النهري عبر دمج البيانات التاريخية والهيدرولوجية. **مثال بحثي:** في دراسة(2022) Li & Notteboom

بمجلة Transportation Research Part D، تم تطوير نموذج لتقييم هشاشة شبكة الراين، مما مكّن من تحديد مناطق الخطر وتقديم خطط استجابة مرنة لتقليل تأثير الكوارث على تدفقات النقل.

هـ- نماذج تحليل السيناريوهات: Scenario Analysis Models

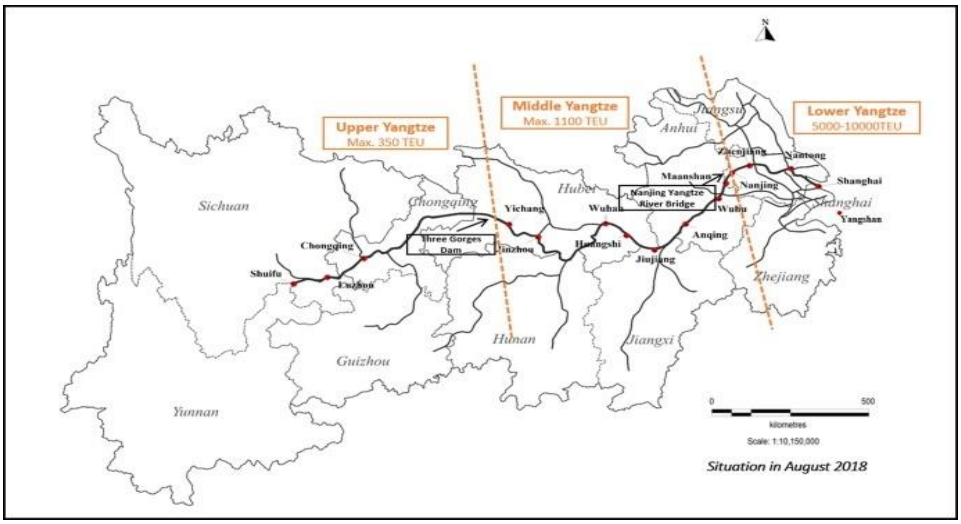
يساعد تحليل السيناريوهات التشغيلية في تحسين كفاءة النقل النهري من خلال اختبار تأثير مزيج الأساطيل وتعديل الجداول الزمنية. **مثال دراسة** Frémont& Franc (2020) بمجلة European Transport Research Revie، أدى هذا التحليل إلى خفض التكاليف التشغيلية بنسبة ١٥% وتقليل التأثيرات البيئية، مما دعم مرونة الشبكة وتحقيق أهداف الاستدامة – شكلي (٢٦، ٢٧).

شكل (٢٦)

بارجة شحن تسير بجانب ضفاف مدينة باريس

تعبر مساحة مائية هادئة ضمن السياق الحضري بنهر السين

Source: Frémont & Franc (2020)



شكل (٢٧)

خريطة هندسية للممر النهري (Seine corridor)

تُوضح المواقع الرئيسية لمحطات التحميل والتفريغ على طول نهر السين

Source: Frémont & Franc (2020)

عاشرًا: الفجوة البحثية لدراسات النمذجة المكانية في النقل النهري في أوروبا:

يتضح من الدراسة فجوة بحثية تتمثل في أن معظم الاتجاهات البحثية ركزت بشكل كبير على تحسين الكفاءة التشغيلية وتحليل البُعد المكاني للنقل النهري، في حين ظل دمج الأبعاد الزمنية والبيئية والمخاطر في نماذج موحدة أقل تناولًا في الدراسات (كما في نماذج التخصيص الزمني– المكاني والنماذج المركبة). كذلك تظهر فجوة واضحة في اعتماد البيانات الزمنية الفعلية (Real-time data) وفي تضمين سلوك الأطراف الفاعلة (مثل قرارات المشغلين والمستفيدين). إضافة إلى ذلك، تفتقر الدراسات الحالية إلى دمج تحليل التأثيرات الاجتماعية والاقتصادية بشكل متكامل في النماذج البيئية والمكانية. ويبرز من ذلك الحاجة إلى تطوير نماذج هجينة متعددة الأبعاد، تستند إلى الذكاء الاصطناعي وتحليل السيناريوهات المستقبلية، بما يعزز القدرة التنبؤيه للنقل النهري ويدعم استدامته ومرونته في مواجهة التحديات المناخية واللوجستية المقبلة، **وفيما يلي عرضا لجوانب الفجوة البحثية:**

١- محدودية النماذج الديناميكية بعيدة المدى: Limitations of Long-Term Dynamic Models

تشير نتائج التحليل إلى أن ما يقارب **٨٦%** من الدراسات تفتقر إلى نماذج ديناميكية تُحاكي التغيرات طويلة الأجل في شبكات النقل النهري، سواء المرتبطة بتغير المناخ أو بتقلبات الطلب. تركز معظم النماذج على محاكاة آنية أو متوسطة الأجل، دون دمج سيناريوهات مستقبلية كتكرار الجفاف أو تغير نمط التجارة الداخلية، مما يحدّ من فاعلية التخطيط الاستراتيجي. مثال على ذلك، دراسة Wandel & Schulte (2020) بيّنت أن انخفاض منسوب نهر الراين بمقدار **٥٠سم** قد يؤدي إلى خفض سعة السفن بنسبة تصل إلى **٤٠%**، ما يتطلب نماذج قادرة على استشراف مثل هذه السيناريوهات المستقبلية.

٢- ضعف التكامل البيئي في النماذج التشغيلية: Limitations of Long Term Dynamic Models

رغم تزايد الحاجة إلى نماذج بيئية– تشغيلية متكاملة، فإن **فقط ٥%** من الدراسات دمجت بين أنماط النقل النهري والتأثيرات البيئية مثل الانبعاثات، جودة المياه، أو تآكل ضفاف الأنهار. مثلًا، دراسة Bedoya-Maya et al. (2022) استخدمت بيانات انبعاثات السفن ونماذج شبكات مكانية لتحديد مسارات بيئية مثلى، ونجحت في خفض الانبعاثات الكربونية بنسبة **١٨%**، مما يُبرز الإمكانات غير المستغلة لهذا النوع من النماذج.

٣- قصور في توظيف الذكاء الاصطناعي: Inadequate Utilization of Artificial Intelligence

تُظهر البيانات أن **أقل من ٢%** من الدراسات استخدمت تقنيات الذكاء الاصطناعي (كالشبكات العصبية والتعلم الآلي) في نمذجة النقل النهري، رغم قدرتها العالية على التنبؤ، والتعامل مع البيانات غير الخطية، والمعقدة. معظم النماذج لا تزال

تعتمد على أدوات تقليدية كـ Linear Programming أو مؤشر Degree Centrality، وهذا يُعد فجوة واضحة، خاصةً أن البيئة النهرية تتطلب نماذج قادرة على التكيّف مع عوامل متغيرة ومعقدة.

٤- الاعتماد المفرط على بيانات ثابتة أو تاريخية: Overreliance on Static or Historical Data

تستخدم **نحو ٩٢%** من الدراسات بيانات غير محدثة أو ساكنة، ما ينعكس سلبًا على مرونة النماذج واستجابتها السريعة للأحداث غير المتوقعة. لا تتجاوز الدراسات التي تدمج بيانات الزمن الحقيقي (مثل العمق اللحظي، تتبع السفن، أو بيانات الأقمار الاصطناعية) نسبة **٨%** ، رغم توافر هذه البيانات من منصات أوروبية مثل Copernicus.

٥- التركيز الجغرافي المحدود: Limited Geographic Focus

تُغطي قرابة **٦٨%** من الأدبيات نهرَي الراين والدانوب فقط، رغم وجود أكثر من ٣٠ ممرًا مائيًا داخليًا في أوروبا، مما يُنتج فجوة جغرافية واضحة. على سبيل المثال، لا تحظى ممرات نهر السين (Seine) أو الميز (Meuse) أو الدورا (Douro) بالتغطية الكافية، رغم كونها ذات نشاط متزايد ومشكلات بيئية – تشغيلية متفاقمة.

٦- ضعف تضمين الأبعاد الاجتماعية والاقتصادية: Weak Integration of Socioeconomic Dimensions

يقتصر حوالي **٩٢%** من النماذج على التحليل الفني (مثل الحمولة والتدفق والمسافة)، بينما لا تزيد نسبة النماذج التي تناولت الآثار الاجتماعية والاقتصادية (مثل تأثير تغيير المسارات على المجتمعات المحلية أو الوظائف) عن **٨% فقط**. ويُعد ذلك إغفالًا كبيرًا، خاصةً في مناطق ذات اعتماد محلي كبير على الملاحة كشرق هنغاريا أو شمال بلجيكا.

٧- قلة الدراسات العابرة للحدود الإقليمية: Limited Number of Transnational Studies

رغم الطبيعة العابرة للحدود للنقل النهري في قارة أوربا، فإن **أقل من ٧%** من الدراسات طوّرت نماذج تنسيقية تغطي عدة دول. معظم الدراسات تُجري تحليلاتها ضمن نطاق دولة معينة أو إقليمي، مما يصعّب فهم التفاعلات المعقدة العابرة للحدود، ويُعد ذلك عائقًا رئيسيًا أمام تحقيق إدارة شاملة ومتناسقة للأحواض المائية المشتركة. وتُبرز هذه الأرقام الحاجة المُلحّة إلى تطوير نماذج مكانية ذكية، تكاملية، وزمانية، ترتكز على بيانات آنية وتقنيات حديثة مثل الذكاء الاصطناعي. كما ينبغي توسيع التغطية الجغرافية، وتعزيز البُعد الاجتماعي – الاقتصادي في التحليل لدعم سياسات نقل نهري مستدامة وشاملة على المستوى الأوروبي.

ويمكن توجيه البحوث المستقبلية لسد هذه الفجوات من خلال النقاط التالية:-

- تعزيز التعاون البحثي العابر للحدود، خاصة في مشاريع تمولها المفوضية الأوروبية مثل مشروع أفق أوروبا **(European Horizon)**
- توسيع نطاق التحليل ليشمل **دولًا ومجاري مائية مهمشة.**
- دمج **(مقاربات متعددة التخصصات)** مثل: البيئية، والاقتصادية، والاجتماعية، والتقنية.
- إدخال **نماذج تنبؤيه ذكية** تعتمد على بيانات الأقمار الاصطناعية والذكاء الاصطناعي.
- تطبيق **نظم دعم القرار المكاني (SDSS)** في تخطيط الموانئ والممرات المائية.

الخاتمة (النتائج – التوصيات):

أكدت الدراسة أن النمذجة المكانية تمثل ركيزة تحليلية متقدمة في دعم استدامة النقل النهري الأوروبي، لما توفره من قدرات على تفسير التوزيع المكاني وتحسين الكفاءة التشغيلية. كشف التحليل الكمّي أن الاهتمام البحثي بالنمذجة المكانية قد شهد تصاعدًا ملحوظًا خلال العقدين الأخيرين، مدفوعًا بالتطور التقني والاهتمام الأوروبي بسياسات النقل منخفض الكربون. وتوصلت الدراسة إلى أن التخصصات الأكثر انخراطًا في هذا المجال تنتمي إلى العلوم التطبيقية كاللوجستيات والاقتصاد والنقل الذكي، في حين يُستخدم التحليل الجغرافي كأداة داعمة أكثر من كونه هدفًا قائمًا بذاته. ورغم تنوع النماذج المستخدمة، إلا أن نماذج تحليل المخاطر والبيئة لا تزال محدودة، مما يشير إلى حاجة ماسة لتعميق التناول العلمي لهذه القضايا الحيوية ضمن مشاريع النقل النهري. ويشكّل التفاوت في حجم التعاون بين الدول الأوروبية تحديًا إضافيًا، مما يفرض ضرورة تعزيز البرامج التشاركية التي تدعم دمج الدول الأقل تمثيلًا في مشاريع البنية التحتية والبحوث التطبيقية، **وفيما يلي عرض أبرز النتائج والتوصيات:**

أ- **النتائج:**

تعكس نتائج الدراسة تزايد الاهتمام باستخدام النمذجة المكانية في دراسات النقل النهري الأوروبي، حيث بلغت نسبة استخدامها **٣٩,٤%**، مما يشير إلى تحول معرفي نحو دعم القرارات التخطيطية وتحقيق الكفاءة. وبرزت نماذج الشبكات والتخصيص المكاني كأدوات مهيمنة، بينما ظهر ضعف واضح في نماذج تحليل المخاطر **(٦,٧%)**، مما يبرز فجوة في التعامل مع الأبعاد المناخية. وقد توافقت الموضوعات البحثية مع التوجه الأوروبي نحو الاستدامة، رغم قلة الدراسات المتعلقة بالتنبؤ والذكاء الاصطناعي، كما ارتبط تصاعد الإنتاج العلمي بعد ٢٠١٥م بتطور نظم المعلومات الجغرافية والتوأم الرقمي. وأظهرت الدراسة تركز الجهود البحثية في غرب أوروبا خاصة ألمانيا، مع ضعف المشاركة من دول أوروبا الشرقية، إلى جانب سيطرة فرق بحثية

صغيرة ذات توجهات تقنية تطبيقية. وتؤكد هذه النتائج الحاجة إلى نماذج أكثر شمولًا وتعاونًا بحثيًا أوسع لتحقيق نقل نهري ذكي ومستدام.

وفيما يلي أهم هذه النتائج:

١- **نـدرة الدراسـات العربيـة** عن النقل النهري الأوروبي، مع وجود فجوة معرفية في تحليل التجارب الأوروبية والاستفادة منها.

٢- شكّلت الدراسات التي استخدمت النمذجة المكانية في النقل النهري بأوروبا نسبة **٣٩,٤%** من إجمالي الدراسات المنشورة **(٢٤١ من ٦١٢ دراسة)**، ما يؤكد تزايد أهمية هذه الأداة التحليلية في فهم وتخطيط النقل النهري.

٣- تصدّرت **نمـاذج الشـبكات المكانيـة** المرتبة الأولى بنسبة **٢٩,٣%**، تليها **نمـاذج التخصيص المكاني** بنسبة **٢١,٧%**، و**نماذج التخصيص الزمني- المكاني** بنسبة **١٣%**، في حين كانت **نمـاذج المخـاطر المكانيـة** الأقل استخدامًا بنسبة **٦,٧%**، مما يدل على قصور في معالجة البعد المناخي والمخاطر.

٤- جاء الميدان البحثي "**الإدارة المسـتدامة للنقـل النهـري**" في المرتبة الأولى بنسبة **٣٢,٥%**، يليه **مجال النمذجة المكانية البيئية** بنسبة **٢٢,١%**، ثم **سياسات النقل وتخطـيط البنيــة التحتيــة** بنسبة **٩,٨%**، ما يعكس تداخلًا بين الأبعاد البيئية والاقتصادية في توجهات البحث.

٥- أظهر **التحليل التخصصي** مشاركة **٢٦٦ باحثًا** يمثلون ستة مجالات علمية رئيسية، تصدّرتها تخصصات اللوجستيات وسلاسل الإمداد **٦٤ باحثًا**، والاقتصاد المكاني **٦٣ باحثًا**، والهندسة الذكية للنقل **٤٤ باحثًا**.

٦- **من الناحية الزمنية**، لُوحظ تطور تدريجي وملحوظ في حجم الدراسات؛ حيث ارتفع المتوسط السنوي من ٣,٧٥ دراسة/ عام في الفترة (٢٠٠٥– ٢٠١٠م) إلى ٢٥,٢٥

دراسة/ عام في الفترة (٢٠٢١– ٢٠٢٥م)، مدفوعًا بالتطور التكنولوجي والدعم الأوروبي لسياسات النقل المستدام.

٧- أما من حيث التوزيع على مستوي المجلات، فتركزت معظم الدراسات بعدد **٥٨ دراسة** في مجلة **Journal of Transport Geography**، **تلتها مجلة Transportation Research Part E** بواقع **٤١ دراسة**، و **٣٦ دراسة** في مجلة **Transportation Research Part D**، ما يعكس التخصص الموضوعي لهذه المجلات في التحليل المكاني واللوجستي.

٨- شارك في الدراسة **٢٦٦ باحثًا** موزعين على ستة مجالات معرفية، أبرزها: اللوجستيات وسلاسل الإمداد **٦٤ باحثًا**، التحليل الاقتصادي المكاني **٦٣ باحثًا**، التخطيط الهندسي والنقل الذكي **٤٤ باحثًا**، التحليل البيئي والاستدامة **٣٧ باحثًا**، ونظم المعلومات الجغرافية **٣٤ باحثًا**.

٩- كشفت البيانات أن حوالي **٥٩,٤%** من التخصصات اعتمدت على فرق صغيرة مكونة من أقل من **٥ باحثين**، مما يعكس هيمنة النشر الفردي أو الثنائي في بعض المجالات، مقابل توجه تعاوني موسع في المجلات التطبيقية.

١٠- **بيّنت خريطة التعاون العلمي الدولي أن ألمانيا تمثل المحور البحثي الأكثر نشاطًا، حيث شاركت في أكثر من ٦٠% من الدراسات التعاونية متعددة الجنسيات، مع وجود علاقات قوية بينها وبين فرنسا والسويد، بينما سجلت دول شرق أوروبا مشاركة أقل، على الرغم من أهميتها الجغرافية في شبكة النقل النهري، لا سيما في حوض نهر الدانوب.**

١١- **الفرص والتحديات البحثية:** لوحظ وجود فجوات واضحة في تناول الأبعاد المناخية، ونماذج المرونة والمخاطر، إلى جانب ضعف في دمج الذكاء الاصطناعي ضمن النمذجة، مما يفتح آفاقًا بحثية مستقبلية لتعزيز استدامة النقل النهري وتحسين كفاءته البيئية والاقتصادية.

ب- التوصيات:

١- تشجيع **الدراسات المقارنة** بين أوروبا والعالم العربي، مع تعزيز الاستفادة من **التجارب الأوروبية** في مجال النقل النهري.

٢- **تطوير نماذج ديناميكية طويلة المدى:** تفتقر الدراسات الحالية إلى نماذج تستشرف مستقبل النقل النهري في ظل تغيّر المناخ حتى عام ٢٠٥٠ أو ٢٠٧٠م، مما يتطلب تطوير نماذج زمنية تُحاكي تطور الشبكات الملاحية وتأثير الجفاف والتحولات الاقتصادية العالمية على كفاءة الملاحة.

٣- **دمج البعد البيئي والاجتماعي في النماذج:** لا تزال النماذج تركز على الجانب التشغيلي دون مراعاة التأثيرات البيئية أو الاجتماعية، بالتالي هناك حاجة إلى نماذج متكاملة تأخذ في الاعتبار الانبعاثات، جودة المياه، وتأثير النقل على المجتمعات المحلية.

٤- **إدخال تقنيات الذكاء الاصطناعي والتعلم الآلي:** تعتمد الدراسات الحالية على أساليب تقليدية، بينما يُمكن للذكاء الاصطناعي مثل الشبكات العصبية و(Random Forest) تعزيز دقة التنبؤات واكتشاف الأنماط المعقدة داخل الشبكة.

٥- **اعتماد بيانات آنية في النمذجة:** تعتمد غالبية النماذج على بيانات تاريخية، بينما تحتاج الدراسات المستقبلية إلى استثمار البيانات اللحظية مثل تتبع السفن وعمق المياه الفعلي لتحسين القرارات التشغيلية والتنبؤ بالأزمات.

٦- **تطوير نماذج سيناريوهات متعددة:** ينبغي تعزيز استخدام نماذج الاستشراف لتقييم آثار السياسات الجديدة أو الأزمات الطارئة (مثل انقطاع سلسلة الإمداد أو الجفاف) على الشبكة النهرية.

٧- **توسيع نطاق الدراسة ليشمل أنهارًا أوروبية غير مغطاة:** ينبغي تجاوز التركيز على الراين والدانوب ليشمل أنهارًا مثل السين والميز ونهر فيستولا، لضمان فهم شامل لكامل البنية الملاحية الأوروبية.

٨- **بناء نماذج تنسيقية عابرة للحدود :Cross-border models**: نظرًا للطبيعة العابرة للحدود للأنهار الأوروبية، فمن الضروري تطوير نماذج تنسيقية تشمل أكثر من دولة، تأخذ في الحسبان الفروقات السياسية والقانونية.

٩- **التركيز على كفاءة الطاقة والبصمة الكربونية**: يتطلب تحقيق أهداف الحياد الكربوني ٢٠٥٠م نماذج تعتني بتقليل استهلاك الوقود والانبعاثات، وتحديد المسارات الأنسب من حيث الطاقة والبيئة.

١٠- **تصميم نماذج تأخذ في الاعتبار البعد الاجتماعي والاقتصادي**: ينبغي مراعاة آثار سياسات النقل النهري على فرص العمل، العدالة الاجتماعية، والمجتمعات النهرية المتأثرة بعمليات إعادة التوزيع أو خفض الرحلات.

١١- **دمج سيناريوهات الأزمات والطوارئ في النماذج**: يُنصح بتطوير نماذج تُحاكي الاستجابة لظروف مثل الجفاف الشديد، إغلاق الأقفال، أو اضطرابات سلاسل الإمداد.

١٢- دعم **التعاون البحثي الإقليمي والدولي** خاصة مع دول أوروبا الشرقية، لضمان عدالة توزيع الفرص البحثية وتعزيز التكامل في دراسة الأنهار العابرة للحدود مثل الدانوب.

١٣- زيادة التركيز على **النواحي التطبيقية للنمذجة المكانية** في دعم صُنّاع القرار، مثل تخصيص الموانئ الأنسب، تخطيط الرسو، أو إدارة الازدحام الملاحي.

قائمة المراجع

أولًا: المراجع العربية:

١- إسماعيل، عبدالسلام عبدالستار (٢٠١٥م): جغرافية النقل بالمعديات في مجرى فرع رشيد، رسائل جغرافية (٤٢١)، الجمعية الجغرافية الكويتية، الكويت.

٢- السرسي، مجدي عبدالحميد (١٩٩٧م): النقل النهري في الوجه البحري، المجلة الجغرافية العربية العدد (٣٠)، الجزء الثاني، الجمعية الجغرافية المصرية، القاهرة.

٣- الشارف، محمد (يونيو، ٢٠٠٧م): أهمية كبيرة للنقل النهري في ألمانيا. موقع إيلاف.

٤- الهيئة الوطنية للإعلام المصرية (يناير، ٢٠١٦م): النقل النهري في مصر: المزايا والمعوقات.

٥- عبده، سعيد أحمد (١٩٨٩م): النقل في ترعة النوبارية، حولية كلية البنات، العدد (١٤)، جامعة عين شمس، القاهرة.

٦- عز الدين، ريهام محمد (٢٠١٠م): النقل النهري في جمهورية مصر العربية "دراسة في جغرافية النقل"، رسالة ماجستير غير منشورة، كلية البنات، جامعة عين شمس، القاهرة.

ثانيًا: المراجع الأجنبية:

1- Bedoya-Maya, A. M., Schmidt, M., & Becker, S. (2022). Spatio-temporal digital twin modeling for congestion prediction in the Danube River using artificial intelligence. Computers, Environment and Urban Systems, 94, 101790.

2- Bedoya-Maya, F., Shobayo, P., Beckers, J., & van Hassel, E. (2024). The impact of critical water levels on container inland waterway transport. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, Article 104190.

3- Central Commission for the Navigation of the Rhine (CCNR). (2023). Annual Market Observation Report – Inland Navigation in Europe.

4- Diziain, D., Pan, M., & Lévêque, B. (2014). Designing sustainable inland port systems: A systemic approach applied to the Rhône–Saône corridor. Research in Transportation Business & Management, 13, 36–46.

5- Ducruet, C., & Lugo, I. (2013). Structure and dynamics of transportation networks: Models, methods and applications. In C. Ducruet (Ed.), New frontiers in maritime transportation: Transport geography research (pp. 13–32). Routledge.

6- Egyptian Knowledge Bank (EKB). (2016). Official website of the Egyptian Knowledge Bank. Ministry of Communications and Information Technology, Arab Republic of Egypt.

7- Ehlers, D., & Friedrich, H. (2020). Environmental emission assessment for inland navigation corridors in Central Europe. Energy, 208, 117885

8- Elsevier. (2004). Scopus: The largest abstract and citation database of peer-reviewed literature. Retrieved from https://www.elsevier.com/solutions/scopus

9- Eriksen, M., & Hansen, L. (2019). Environmental Impact of Waterway Transport in Scandinavia. Scandinavian Journal of Transport and Environment, 12(2), 101–118.

10- European Commission. (2021). NAIADES III: Boosting future-proof European inland waterway transport. Publications Office of the European Union. https://transport.ec.europa.eu/publications/naiades-iii-boosting-future-proof-european-inland-waterway-transport_en

11- European Commission. (2021). Transport infrastructure and spatial modeling: Insights into goods and mobility flows

12- European Court of Auditors. (2015). Inland Waterway Transport in Europe: No significant improvements in modal share and navigability conditions. Special Report No. 1/2015.

13- European Environment Agency (EEA). (2019). Transport and environment report 2019: The role of transport in environmental pressures in Europe.

14- Frémont, A., & Franc, P. (2020). Optimization of barge traffic on the Seine River: Balancing efficiency and environmental impacts. European Transport Research Review, 12, 45.

15- González-Aregall, M., & Bergqvist, R. (2019). Network analysis of European inland ports: Connectivity, centrality, and vulnerability. Journal of Transport Geography, 74, 20-30.

16- Goodchild, M. F., & Janelle, D. G. (Eds.). (2010). The SAGE handbook of GIS and society. SAGE Publications.

17- Heilig, M., & Voss, S. (2019). Spatial forecasting models for seasonal demand in inland waterway transport. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 67, 481-495.

18- Hollen, A., & Notteboom, T. (2023). Integrated spatial-environmental network modeling for sustainable inland waterway transport: The Rhine-Alpine corridor case study. Sustainability, 15(4), 2543.

19- Huthoff, F., Barneveld, H. J., & Booij, M. J. (2010). Modelling river dynamics for navigability and flood management. In Proceedings of the International Conference on Fluvial Hydraulics (River Flow 2010), Braunschweig, Germany.
20- Ivanov, P., & Novak, J. (2022). Policy Implications of Danube River Freight Development. Journal of Eastern European Transport Studies, 18(3), 144–162.
21- Kalasz, D., Roso, V., & Woxenius, J. (2019). Distribution modeling between inland ports and hinterland: Enhancing efficiency in intermodal freight transport. Research in Transportation Business & Management, 31, 100377.
22- Kalasz, D., Tánczos, K., & Vörösmarty, G. (2019). Assessment of the role of inland navigation in intermodal transport chains. Transport Problems, 14(2), 57–67.
23- Kies, A., & Schill, W.-P. (2020). Impact of low water levels on inland navigation: A spatial risk assessment of the Rhine river. Journal of Transport Geography, 85, 102729.
24- Klementová, B., & Putz, L.-M. (2022). Environmental assessment of inland waterway transport on the Danube: Emissions and ecological risks. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 109, 103368.
25- Li, L., & Notteboom, T. (2022). Resilience of inland waterway networks: A Bayesian spatial risk analysis. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 109, 103390.
26- Li, L., & Notteboom, T. (2023). Resilience of inland waterway networks: A Bayesian spatial risk analysis. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 118, 103670.
27- Li, Y., & Notteboom, T. (2022). Bayesian risk assessment for inland waterway transport networks: A case study of the Rhine River. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 106, 103282.
28- Li, Y., & Notteboom, T. (2023). *GIS-based risk assessment of water level declines in the Rhine and Danube rivers: Mapping high-risk zones and resilience strategies*. Journal of Transport Geography, 105, 103454.
29- Li, Y., Zhang, H., & Wang, J. (2023). Impact of water level fluctuations on inland waterway shipping: A spatio-temporal analysis. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 115, 103733.
30- Lopez-Navarro, M. A., & Garcia, E. (2014). Spatial modeling for optimal berth allocation in inland waterways. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 70, 1-12.

31- Mansouri, S. A., Guerrero, D., & Rezaei, J. (2022). Assessment of freight traffic flows and harmful emissions in euro-mediterranean context: Scenario analyses based on a gravity model. Journal of Shipping and Trade, 7(1), 17. https://doi.org/10.1186/s41072-022-00115-8
32- Mihic, D., Staric, M., & Kovacevic, V. (2005). Development of spatial databases and models for inland waterway navigation. Journal of Navigation, 58(2), 329-343.
33- Monios, J., & Wilmsmeier, G. (2020). Port governance and resilience in inland navigation networks. Journal of Transport Geography, 88, 102832.
34- Monios, J., & Wilmsmeier, G. (2021). Dynamic simulation of inland port operations: Waiting time reduction through optimized scheduling. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 152, 102383.
35- Monios, J., & Wilmsmeier, G. (2021). Integrating spatio-temporal allocation in hinterland transport planning: Reducing waiting times at inland ports. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 148, 102281.
36- Müller, J., Rossi, L., & Dupont, C. (2023). Integrating spatial, temporal, and environmental factors to enhance inland waterway sustainability in the Rhine Alpine corridor. Journal of Transport Geography, 112(3), 45–58.
37- Notteboom, T., & Pallis, A. (2021). IWT in Europe: Modal split and spatial impacts. Journal of Transport Geography, 94, 103030.
38- Notteboom, T., & Pallis, A. A. (2021). Accessibility models in inland waterway transport: Implications for European transport policies. Maritime Economics & Logistics, 23(2), 271-289.
39- Notteboom, T., & Pallis, A. A. (2021). Inland waterway transport in Europe: Modal split and spatial impacts. Journal of Transport Geography, 94, 103030.
40- Notteboom, T., & Rodrigue, J.-P. (2022). *Port regionalization and inland waterway transport*. In **The** geography of transport systems (5th ed.). Routledge
41- Nur, F., Marufuzzaman, M., & Puryear, S. M. (2020). Optimizing inland waterway port management decisions considering water level fluctuations. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 139, 101982.
42- Panteia. (2022). *Environmental impact assessment of inland waterway transport: Models and best practices.*
43- Panteia. (2022). Inland waterway transport and its environmental benefits. Panteia Research Institute.

https://www.panteia.com/research/inland-waterway-transport-environment

44- Pawlak, J., & de Haan, S. (2018). Modal split determinants for freight transport in Europe: The role of distance, infrastructure, and logistics efficiency. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 118, 23–34

45- Peters, D., De Langen, P., & van der Lugt, L. (2020). Modal shift and port hinterland connectivity: Concepts, policy instruments, and effects. European Journal of Transport and Infrastructure Research, 20(4).

46- Peters, H., Verhaeghe, R., Sys, C., Vanelslander, T., & Van de Voorde, E. (2020). Forecasting cargo and passenger flows in inland navigation: Gravity models and beyond. European Transport Research Review, 12(1), 1–13

47- PIANC. (2019). Sustainable inland navigation: Environmental approaches and best practices. The World Association for Waterborne Transport Infrastructure.

48- Putz, L.-M., & Schmitt, M. (2021). Monitoring water and air quality impacts of inland waterway transport on the Meuse river. Journal of Environmental Management, 290, 112591.

49- Schøyen, H., & Steger-Jensen, K. (2017). Environmental and cost impacts of introducing low-emission vessels on the Rhine. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 57, 206–217.

50- Schoyen, H., & Steger-Jensen, K. (2017). Environmental and operational impact assessment of slow-speed vessels in the Rhine River. Transportation Research Part D: Transport and Environment.

51- Smith, J., & Müller, K. (2021). Sustainability in European Inland Waterway Transport. Journal of Transport and Environmental Policy, 27(4), 211–228.

52- Tavasszy, L., Minderhoud, M., & van Meijeren, J. (2020). Assessment of freight traffic flows and harmful emissions in euro-mediterranean context: Scenario analyses based on a gravity model. European Transport Research Review, 12, Article 41.

53- Van der Horst, M., & De Langen, P. (2021). Regional disparities in inland waterway transport accessibility: A Belgian case study. Transport Policy, 101, 12-22.

54- Van der Horst, M., & De Langen, P. (2021). The potential of inland waterways as part of intermodal transport chains in Belgium: A gravity model analysis. Journal of Transport Geography, 92, 102999.

55- Van der Horst, M., & Veenstra, A. (2021). Evaluating climate-induced risks for inland waterways: A spatial-temporal network approach. European Transport Research Review, 13(1), 17.

56- Van der Horst, M., & Veenstra, A. W. (2021). Assessing climate change impacts on inland waterway transport: A case study of Belgium and the Netherlands. European Transport Research Review, 13(1), 25.
57- Van der Meulen, K., & van Dorsser, C. (2022). Spatial modelling for European inland waterway transport: Challenges and opportunities. Transportation Research Part D, 105, 103239.
58- Van Dorsser, C., Hager, W., & Klein, R. (2018). A dynamic spatial model for assessing low water impacts on inland navigation in the Rhine River under climate change scenarios. Journal of Hydrology, 561, 1034-1045.
59- Van Essen, H., Schroten, A., & Sutter, D. (2019). Emission reduction potentials for inland waterway transport in central Europe. Energy, 180, 772–781.
60- Vanoutrive, T., & Van Malderen, L. (2018). Accessibility and the socio-economic impacts of lock closures on the river Meuse. European Transport Research Review, 10(1), 7.
61- Wandel, S., & Schulte, C. (2020). Impacts of low water levels on the transport capacity of inland waterway shipping: The case of the Rhine. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 86, 102419.
62- Wandel, S., & Schulte, M. (2020). Managing water level uncertainty in inland navigation: A probabilistic risk assessment approach. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 86, 102456
63- Wang, T. (2016). Determinants of port centrality in maritime container transportation. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 86, 69–83.
64- Wiegmans, B., & Konings, R. (2019). Forecasting container throughput in the Danube inland ports using a gravity-based approach. European Transport Research Review, 11(1), 14.
65- Xu, M., & Lam, J.S.L. (2022). Inland waterway network resilience: A complex network approach. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 105, 103264.
66- Zhou, Y., Notteboom, T., & Rodrigue, J.-P. (2018). *Optimization models for barge scheduling in European inland waterway transport networks: Case studies of the Rhine and Danube rivers*. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 118, 113-130.
67- Zhou, Y., Notteboom, T., & Rodrigue, J.-P. (2018). Situation in August 2018: Barge container terminals along the Rhine River. In *Optimization of barge scheduling in European inland waterway networks*. [Map]. Retrieved from article in *Transportation Research Part D: Transport and Environment*.