# 1

# الإطار المفاهيمي لنظام النقل والدور التاريخي للتكنولوجيا في قطاع النقل

## رسائل أساسية

- يُعَدُّ النقل أساسياً للتنمية الاقتصادية والاجتماعية في جميع البلدان، وللتعاون والاقتصادات الإقليمية والعالمية. وتتراوح قيمته المضافة بالنسبة إلى الناتج المحلي الإجمالي العالمي ما بين 6 و12 في المائة، وعادةً ما يوفر النقل من 5 إلى 8 في المائة من متوسط إجمالي العمالة الوطنية المدفوعة الأجر.

تؤثر عوامل عدة على نُظُم النقل في جميع البلدان وتشمل الجغرافيا الطبيعية، والأوضاع الاجتماعية والاقتصادية، والبيئات التشريعية والهياكل المؤسسية، والسياقات والتوجُّهات السياسية، فضلاً عن مستويات التطور التكنولوجي.

تؤدي التطبيقات التكنولوجية في النقل البري دوراً هاماً في إدارة الركاب والشحن، ولها آثار إيجابية على كفاءة خدمات النقل وسلامتها وموثوقيتها وسهولة التنقُّل عبرها.

من شأن التكنولوجيات الرقمية الناشئة، مثل إنترنت الأشياء والبيانات الضخمة والبيانات المفتوحة والحوسبة السحابية والذكاء الاصطناعي، أن تجلب المزيد من التحولات إلى قطاع النقل البري بما سيؤدي إلى تحسين إدارته، وتعزيز كفاءته وسلامته، والحد من انبعاثات الكربون واستهلاك الوقود.

# ألف. لمحة عن الإطار المفاهيمي لنظام النقل

يُعَدُّ النقل أساسياً للتنمية الاقتصادية والاجتماعية في جميع البلدان، وللتعاون والاقتصادات الإقليمية والعالمية. ولا يمكن تحقيق أي قيمة مضافة بدون نقل سلعة من مكان إنتاجها إلى مكان استهلاكها، ولا يمكن تحقيق التنمية الاجتماعية بدون ضمان تنقُّل الأشخاص اليومي لأغراض شتى مثل التعليم أو العمل أو التسوق أو الترفيه. وتتراوح القيمة المضافة لقطاع النقل إلى الناتج المحلي الإجمالي العالمي ما بين 6 و12 في المائة، وعادةً ما يوفر النقل من 5 إلى 8 في المائة من متوسط إجمالي العمالة الوطنية المدفوعة الأجر.

وتَنتُج خدمات النقل وأنشطته من تفاعلات معقدة بين عوامل خارجية وداخلية عديدة. وكما هو الحال بالنسبة إلى الظواهر المعقدة كلها، يتطلب التخطيط لقضايا النقل وإدارتها تطبيق «نَهج النُظُم» الملائم الذي يأخذ في الاعتبار التفاعلات المعقدة بين هذه العوامل[4]. وتطبيق نَهج النُظُم في تخطيط النقل وإدارته أصبح أكثر فأكثر القاعدة على الصعيد العالمي[5]، لكنه لم يطبّق بعد بصورة منهجية في المنطقة العربية.

ويكشف تطبيق نَهج النُظُم، باعتباره إطاراً لفهم النقل في المنطقة العربية، عن درجة كبيرة من التفاوت بين مختلف الدول العربية في معظم العناصر والأبعاد التي تم التطرق إليها. ويطرح ذلك تحديات واضحة أمام تحقيق نظام نقل متجانس متعدد الأنماط يُعَدُّ بمثابة العمود الفقري للتنمية العالمية والإقليمية المتوازنة والشاملة. ومع ذلك، ينبغي اعتبار هذه الفوارق أيضاً انعكاساً للتكامل المتأصل بين البلدان العربية. ثم إنّ هذه الفوارق تصبح أقل وضوحاً على الصعيد دون الإقليمي حيث يمكن اعتبار أن مجموعات البلدان تكمّل بعضها البعض على أساس القرب الجغرافي.

وتستدعي ديمومة العديد من البنى التحتية للنقل وارتفاع كلفتها تخطيطاً استراتيجياً على المدى الطويل، وأساساً تحليلياً لا يقتصر على النتائج التقليدية المرتقبة لتحليل التكاليف والفوائد فحسب، بل يجب أن يتناول كيف يمكن للاستثمارات الحكيمة أن تتيح فرصاً للتطوير في المستقبل[6].

والتخطيط، بخلاف العلوم، نشاط إرشادي وليس نشاطاً وصفياً[7]. فهدف المخطِط ليس مجرد وصف نظام النقل ومكوناته، بل اقتراح الطرق التي تمكّن من تغييرها وتحسينها. ولا يمكن للتخطيط أن يعتمد على معرفة ما ينبغي فعله بعد 20 عاماً، بل على معرفة ما ينبغي أو لا ينبغي القيام به الآن، مع مراعاة التطورات المستقبلية المحتملة[8].

ويدعم العديد من النتائج فكرة أن أي استراتيجية وطنية للبنى التحتية يمكن أن تركز على دعم الاستثمارات في البنى التحتية التي[9]:

**أ. تخدم القطاع الإنتاجي الموجّه إلى التجارة الدولية؛**

**ب. تبيّن عن تكاملات شبكية مع الاستثمارات الأخرى في البنى التحتية؛**

**ج. تهيئ فرصاً جديدة للمزيد من الاستثمارات التي تشكل قيمة إضافية والتي تستفيد من المشروع الاستثماري الأولي.**

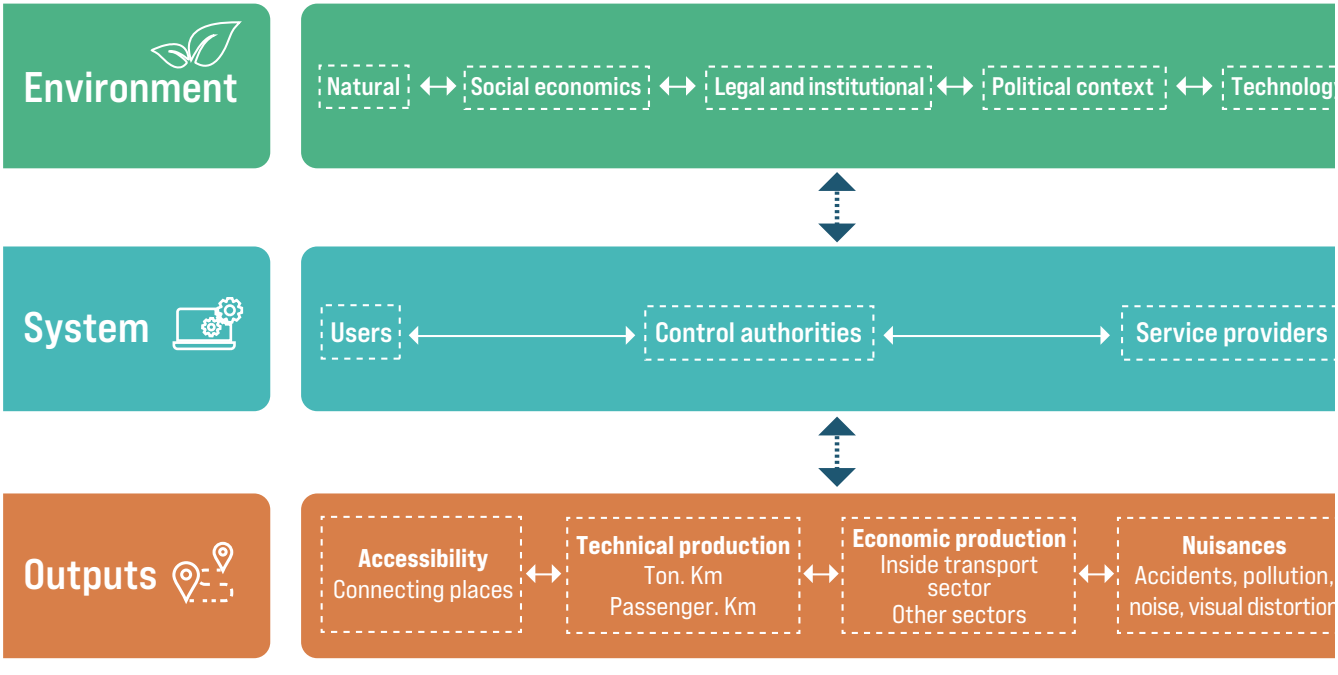
ويكتسي البعد المكاني أهمية كبيرة عند تقييم الأثر الاقتصادي للاستثمارات في مجال النقل. وعادةً ما يراعي التخطيط التقليدي الاحتياجات على المستويات المكانية التالية: المستوى الوطني (البلد)، والمستوى الإقليمي (دون الوطني)، والمستوى المحلي (الحضري أو الريفي).

وينحو التخطيط الحديث إلى أن يكون أكثر عملياتياً، بحيث تُستخدم نماذج التنبؤ لا لتحديد النتائج النهائية والأكيدة بل باعتبارها أدوات تفاعلية لدعم صانعي القرار وإنشاء مسار من الحوارات بين المخططين وغيرهم من المتخصصين وعموم الناس المعنيين بالمسألة قيد التخطيط[10]. لذلك، تستفيد شبكات النقل ذات الأهمية الإقليمية من إنشاء منصة للحوار المفتوح والشفاف لاستعراض أدوات التخطيط الوطني لنظام النقل تحقيقاً للرفاه العام الاقليمي.

وكان رايشمان قد اقترح عام 1983 أحد أفضل الأمثلة التخطيطية على نَهج النُظُم في نظام النقل، كما هو مبيّن في الشكل 1 أدناه[11].

وينطلق التمثيل التخطيطي المبيّن في الشكل 1 من البيئة المباشرة لأي نظام نقل، ويشمل عدداً من العناصر التي تحدد ملامحه، ويبرز طبيعة الموارد المتاحة له لأداء وظائفه، والقيود والعقبات التي تواجه هذا الأداء. وفي مقدمة مكونات البيئة المباشرة يأتي المشهد الجغرافي الطبيعي، الذي يحدد المسافات الواجب قطعها بمختلف وسائل النقل؛ ومساحات الأراضي التي يمكن تخصيصها للبنى التحتية للنقل؛ والتضاريس والحواجز الطبيعية التي تواجه تنقُّلات الناس والبضائع، مثل البحار والأنهار والبحيرات والوديان والجبال والصحاري الرملية أو الجليدية. وتتمايز هذه المعالم الطبيعية بين البلدان المختلفة، بل وضمن البلد الواحد. ويحدد الوسط الجغرافي الإمكانات التي يمكن تسخيرها لأنشطة النقل وفقاً لمختلف الموارد الطبيعية التي تتيحها البيئة.

الشكل 1 . **التمثيل التخطيطي لنظام النقل**




المصدر: Reichman, 1983.

والوسط الاجتماعي والاقتصادي هو العنصر الثاني الذي يحدد احتياجات النقل، وهو يختلف بين بلد وآخر حسب مستوى الناتج المحلي الإجمالي وحصة الفرد منه، وحسب مستوى الأنشطة الاقتصادية في البلد وطبيعتها وتوزعها بين الإنتاج الزراعي أو التجاري أو الصناعي. كذلك، قد تؤدي طبيعة الهرم السكاني في البلد ودرجة النمو الديمغرافي فيه إلى اختلافات هامة في حاجات التنقُّل باختلاف البلدان.

ويشكل الجهاز التشريعي والهيكل المؤسسي العنصر الثالث من فئة البيئة المباشرة. ويحدد هذا العنصر إمكانيات ضبط أداء النظام، ويؤثر أيضاً في التحديات التي قد تطرحها قوى السوق، ويحدد الحوافز المتوفرة لتطور النظام والارتقاء بمستوى الخدمات المقدمة.

ويتأثر قطاع النقل بالمستوى التكنولوجي في البلد. وعلى أساس هذا المستوى تظهر الفوارق بين البلدان المتقدمة من جهة، التي توفر إمكانات تكنولوجية عالية المردود لتنفيذ وإدارة البنى التحتية لمختلف مرافق النقل، مثل إمكانات تنفيذ الأنفاق والجسور ونُظُم النقل الذكية؛ والبلدان النامية من جهة أخرى، التي لم تبلغ المستوى التكنولوجي المناسب بعد، أو التي لا يسمح لها سلم أولوياتها التنموية بالاستفادة من هذه التكنولوجيات المنتجة.

وللسياق السياسي في بلدٍ ما تأثير على النَهج المتبع لمعالجة مسائل النقل. فهذه الأخيرة تتأثر بالأولويات المعطاة للجوانب الاجتماعية والاقتصادية، وبالاتجاهات السائدة في الاقتصاد مثل تحريره كلياً أو جزئياً، وبزيادة تدابير الحماية بقصد تحقيق أهداف تنموية محددة على المديين المتوسط والبعيد.

ويتألف نظام النقل من ثلاثة عناصر هي: الركاب والبضائع، ومقدمو خدمات النقل، والسلطات الإدارية والهيئات التنظيمية. والركاب هم العنصر الأساسي في أي نظام نقل، وهم مجموعة الأشخاص الذين يحتاجون إلى التنقُّل من مكان إلى آخر بغية أداء أنشطتهم الاجتماعية والاقتصادية. ويفضل الركاب عادةً أن يتم نقلهم في وقت يناسبهم، وبأقصى درجة من السرعة، وبالكلفة الأيسر، وبأفضل ظروف الأمان والراحة. أما خدمات النقل فتقدمها عموماً شركات نقل الركاب (أو الناقلون)، باعتبارها جهات اقتصادية، باستخدام البنى التحتية والمرافق المتاحة لتحقيق أعلى ربح ممكن. ومن البديهي القول في هذا الإطار إن نوعية خدمات النقل المطلوبة لا تتحقق في معظم الحالات بالاعتماد البحت على التنافسية التي يفرضها قانون السوق. لذلك، لا بد من وجود سلطات وهيئات خاصة بالإدارة والتنظيم، تشرف على تحقيق التوازن بين المصالح المتعارضة للركاب والناقلين من خلال تحديد مواصفات ومعايير النقل التي تضمن مختلف شروط الراحة والأمن والسلامة.

وبعد شرح العناصر المكوّنة لنظام النقل، يوضح الشكل 1 نتائج عمل النظام، بعد تجميعها في أربع فئات، ثلاث منها هي نتائج إيجابية ومرغوبة لنُظُم النقل، وفئة واحدة سلبية.

والنتيجة الإيجابية الأولى لنظام النقل هي الربط بين الأماكن المختلفة، من خلال قابلية الوصول التي يتيحها النظام، وهي تشكل جوهره ووظيفته الأساسية. فالربط المكاني يحقق التواصل الاجتماعي والتبادل الاقتصادي اللذين لا يمكن للإنسان الاستغناء عنهما أينما كان. وتحقق نُظُم النقل الربط بين الأماكن المختلفة من خلال أنماط البنى التحتية التي تُعرف بالشبكات، وهي عبارة عن خطوط تتقاطع مع بعضها البعض في نقاط محددة. وهذه الخطوط هي شوارع المدن والطرق الخارجية بين المدن، وخطوط السكك الحديدية التي تتقاطع في المحطات المختلفة، وخطوط الطيران المتاحة للنقل الجوي المدني، وخطوط النقل البحري المنتظم ولا سيما بالحاويات. وإضافة إلى الربط الذي تحققه نقاط هذه الشبكات بين خطوطها المتعددة، تربط بعض النقاط بين أنماط النقل المختلفة: فالمطارات تربط بين الطرق وخطوط النقل الجوي، ومحطات النقل في الموانئ البحرية تربط بين النقل البحري والنقل البري بالطرق أو بالسكك الحديدية، ومحطات القطارات تربط بين النقل بالسكك الحديدية والنقل الطرقي بالوصلات الطرقية الطرفية التي لا بد منها في معظم عمليات النقل لإيصال الناس والبضائع إلى المقاصد النهائية، وبالعكس.

وتنتج من الربط المكاني الذي يؤمنه نظام النقل تدفقات مرورية على أقسام شبكات النقل المختلفة، تعبّر عما يسميه رايشمان «الأداء الفني» لنظام النقل. وتقاس هذه النتيجة الإيجابية الثانية بالكيلومترات التي يقطعها الركاب والبضائع (مليون راكب/كيلومتر ومليون طن/كيلومتر). ويزداد حجم التنقُّلات المرورية على أقسام الشبكات بمرور الزمن، وبما يتوافق مع النمو السكاني والاقتصادي. وعندما يصل حجم التدفقات المرورية إلى نسبة تتخطى السعة التصميمية لأقسام الشبكات يبدأ ازدحام المرور بالظهور، ما يسبب تراجعاً في مستوى راحة المستخدمين وهدراً لأوقاتهم. وهذا الوضع يدفع إلى زيادة السعة من خلال تحسين كفاءة استخدام الأقسام القائمة أو بناء أقسام جديدة، ضمن القيود التي تفرضها الجغرافيا والقانون على استخدام الأراضي لصالح شبكات النقل. ويؤمن التخطيط بعيد المدى في مجال النقل الحلول المناسبة لتلبية الاحتياجات المتزايدة للنقل على أقسام الشبكات، من خلال الموازنة بين التطور المرتقب لهذه الاحتياجات، والموارد المتاحة، ومختلف القيود المفروضة على استخدام الأراضي.

والنتيجة الثالثة الإيجابية لأداء نظام النقل تتعلّق بالإنتاج الاقتصادي. فالنشاط الاقتصادي يحقق زيادة في القيمة المضافة ونمو الناتج المحلي الإجمالي، سواء ضمن قطاع النقل بحد ذاته، نتيجة النشاط الاقتصادي للناقلين، أو من خلال مساهمة قطاع النقل في قطاعات أخرى مثل الزراعة والصناعة. فهذه القطاعات لا يمكنها أن تحقق نشاطها الاقتصادي بدون مشاركة قطاع النقل، مثلاً لنقل المنتجات الزراعية الجاهزة للاستهلاك، ونقل المواد الأولية اللازمة إلى المصانع، ونقل المنتجات المصنعة إلى أماكن الاستهلاك المختلفة.

وبالإضافة إلى النتائج الإيجابية الثلاث المرغوبة لنظام النقل، يترتب عن مختلف أنشطة النقل عدد من النتائج السلبية ذات الآثار الضارة على الصحة العامة والبيئة. وتأتي في مقدمة الآثار السلبية الحوادث المرورية (أو حوادث الطرق)، التي تؤدي إلى وفاة نحو 1.35 مليون شخص في العالم سنوياً، بالإضافة إلى الإصابات الجسدية التي تطال زهاء 50 مليون شخص آخر[12]. ويتمثل الأثر الجانبي الثاني للنقل في حجم التلوث البيئي الذي يسببه، ولا سيما تلوث الهواء الناجم عن انبعاثات الكربون المتأتية من الاعتماد شبه الكلي على مشتقات الطاقة الاحفورية (النفط والغاز). أما الحزمة السلبية الثالثة فهي التلوث الضوضائي ومصدره الضجيج الناتج عن حركة مرور المركبات في المدن وعلى الطرق السريعة، بينما تتمثل الحزمة الرابعة بالتشوه البصري للمشاهد العامة الذي تسببه بعض منشآت البنى التحتية للنقل، مثل الجسور الطرقية الضخمة والمعابر الفوقية للسكك الحديدية ضمن الوسط العمراني للمدن.

والتمثيل التخطيطي لنظام النقل المبيّن في الشكل 1 يسمح بتلمس العلاقات بين مختلف العناصر المكونة لبيئة النظام، والتأثيرات المتبادلة بين النظام والبيئة المحيطة به، ودور هذه العلاقات وآثارها في تحديد مسار تطوير النظام على النحو المبيّن أدناه.

ومن الملاحظ وجود علاقات متبادلة بين العناصر التي تكوّن البيئة المباشرة لنظام النقل. فالمشهد الجغرافي يؤثر بأشكال شتى على النمو الاجتماعي والاقتصادي، وبالتالي على نضوج البيئة التشريعية والهيكل المؤسسي. بيد أن هذه الظروف غير ثابتة، ويمكن أن تتغير مع الزمن نتيجةً لعوامل داخلية أو خارجية مثل التغيّرات المناخية الكبرى، ناهيك عن الأوبئة الزراعية الرئيسية التي شكلت عبر التاريخ دافعاً للهجرات الجماعية وما استتبع ذلك من تغيّرات شاملة في التركيبات الاجتماعية والسكانية. فمن بين الجوانب العديدة لبيئة نظام النقل، يبدو أن التكنولوجيا والابتكار يؤديان الدور الأهم في تعزيز سيطرة الإنسان على عناصر الطبيعة على جميع الأصعدة. فالحواجز الجغرافية التقليدية، مثل الأنهار والبحار، أمكن التغلب عليها بابتكار الملاحة. أما تطورها التكنولوجي فجعل من الحواجز القديمة قنوات للنقل المائي الذي يشكل حتى الآن نمط النقل الأرخص والأكثر عملية للشحنات الكبرى. والتاريخ حافل بالأمثلة على دور الابتكار والتطوير في إحداث تحولات جذرية في نُظُم النقل، أدت بدورها إلى تغيّرات مستدامة في طبيعة حياة البشر والأنشطة الاقتصادية، مثل اختراع العجلة، والمجداف، والشراع، والبوصلة، والمحرك البخاري، ومحرك الديزل، والحاويات، ونظام التموضع العالمي، وحزمة الابتكارات التكنولوجية المرافقة للثورة المعاصرة في مجال المعلوماتية والاتصالات. ومن المرجح أن يكون للإرادة السياسية دور فعال في تطوير نُظُم النقل، من خلال اتخاذ الحكومات قرارات حاسمة في تطوير البنى التحتية، والموانئ، والمحطات اللوجستية، أو صياغة سياسات استراتيجية برؤى استباقية تفتح آفاقاً جديدة في مجال النقل وتؤثر إيجاباً على حركة الاقتصاد في بلدانها.

وتحدد التفاعلات بين مختلف عناصر نظام النقل طبيعة أدائه ونتائجه في مرحلة زمنية محددة. وينبغي في هذا الصدد التمييز بين تأثيرات البيئة على النظام، التي يمكن أن تكون مباشرة وسريعة، وتأثيرات النظام على البيئة، التي غالباً ما تستغرق سنوات عدة للظهور. وينعكس التطور الدائم في نُظُم النقل في الانتقال من حالة مستقرة إلى حالة أخرى من الاستقرار. وقد يحصل ذلك تدريجياً أو بقفزات نوعية ليشكل كل انتقال حلقة أساسية في سياق المسار البعيد المدى. وتعكس هذه القفزات انقلابات في التوازن الهش لعوامل ضبط النظام، يمكن أن تنجم عن إنشاء بنية تحتية جديدة، مثل خط قطار بين منطقتين؛ أو تشغيل نمط نقل جديد بنتيجة تطور تكنولوجي معيّن، كالقطار عالي السرعة؛ أو تعديل تشريعي يسمح بدخول القطاع الخاص ميدان النقل الجوي على سبيل المثال. كذلك، قد يحصل انتقال نظام النقل من حالة إلى أخرى بنتيجة تزايد التأثيرات السلبية فيه، فتصبح الحاجة إلى مكافحتها أو تقليلها أكثر إلحاحاً.

ومن ثم، لا بد من فهم أوجه التفاعل بين العناصر (النُظُم الفرعية) المبيّنة في الشكل 1 لتحديد محركات التغيير في نظام النقل الذي يتسم، بحسب رايشمان، بانتقاله من حالة مستقرة إلى حالة أخرى من الاستقرار. وتختلف طبيعة هذه التفاعلات وتأثيرها على أداء النظام وتطوره باختلاف المستويات والسياقات. فأثر النواتج على النظام والبيئة قد يكون بطيئاً ولا يُرى إلا على المدى الطويل، في حين أن التغيّرات في عناصر البيئة الواسعة عادة ما تكون آثارها مفاجئة ومباشرة وكبيرة، ومن المرجح أن تسبب تحولاً بنيوياً عميقاً في طبيعة أداء النظام.

والجدير بالذكر أن التحولات في قطاع النقل قد تكون ناجمة عن تغيّرات في البيئة والمناخ وندرة الموارد، وهي عوامل شكلت عبر التاريخ دافعاً للهجرات الجماعية لشعوبٍ بأكملها من منطقة إلى أخرى. وكانت العوامل الاقتصادية الدافع الأساسي لما يسمى «عصر الاكتشافات البحرية» بين القرنين الخامس عشر والثامن عشر، وهو ما يعتبره البعض الحقبة الأولى من العولمة. وفي الواقع، كان الدافع الرئيسي البحث عن طرق بحرية مباشرة لربط البلدان الأوروبية بأراضي التوابل في الشرق، وتجنب الطرق التقليدية الأكثر تكلفة عبر الشرق الأوسط وأفريقيا التي يسيطر عليها سماسرة يزدادون جشعاً. أما اليوم، فقد تتسبب بعض الصراعات التي اندلعت في المنطقة العربية بعد عام 2011 في تحولات طويلة المدى لطرق نقل تقليدية حول البحر الأبيض المتوسط، مع ما يترتب على ذلك من آثار ملموسة على أنماط الإنتاج والتجارة في البلدان المعنية[13]. ومع ذلك، ومع مراعاة جميع العوامل الأخرى، تُعَدُّ التكنولوجيا والابتكار أداتين جيدتين للدفع بتغيّرات تحويلية في قطاع النقل البري. ومن المرجح أن تتشكل نُظُم النقل مستقبلاً عبر إرساء توازن جديد بين القوى التي تحافظ على اتساق تلك النُظُم. وملامح النقل في المستقبل ستحدده مسائل رئيسية تتمثل في نقل الركاب والبضائع بسرعة وبأعداد أكبر، وبسلامة وبكفاءة أعلى.

# باء. العلاقة بين التكنولوجيا وقطاع النقل

## 1. لمحة تاريخية

لم يَعد الغرض من قطاع النقل مجرد تأمين نقل الأشخاص والسلع من مكان إلى آخر، بل تخطاه ليساهم في تحقيق الاستدامة الاقتصادية والاجتماعية والبيئية. ونظراً لشدة تعقيد نُظُم النقل، يجب على الحكومات والمدن أن تعالج المتطلبات المتضاربة، فتؤمن نظام نقل آمناً وفعالاً وموثوقاً به ومراعياً للبيئة. فعلى نُظُم النقل أن تدعم الاقتصاد بتوفير خدمات نقل ميسورة التكلفة تُقدَّم عبر وسائل نقل عديدة. وعلى هذه النُظُم نفسها الحد من انبعاثات الكربون والنفايات إلى حدود قدرة الكوكب على استيعابها، والتخفيف إلى أدنى حد من استهلاك الموارد غير المتجددة مثل الوقود، والحد من استخدام الأراضي وإنتاج الضوضاء.

والدور الذي أدته التكنولوجيا في تشكيل نُظُم النقل هو دور تاريخي بدأ مع اختراع العجلة. ويتضح من تحليل تطور نُظُم النقل من منظور تاريخي أثر الابتكارات التكنولوجية في إدخال تحولات هيكلية وعميقة على نُظُم النقل في جميع أنحاء العالم. لذلك، فإن نُظُم النقل الحالية هي نتيجة تطور طويل اتسم بفترات من التغيّرات السريعة التي اقترنت بظهور تكنولوجيات جديدة. وفيما يلي أمثلة على بعض الاختراعات والابتكارات الرئيسية التي طبعت تاريخ النقل بإدخالها تحولات هيكلية على نظام النقل، امتد أثرها لاحقاً على المجتمعات واقتصاداتها.

### أ. العجلة

لا شك في أن العجلة هي الاختراع الأكثر شهرة الذي أحدث ثورة في مجال النقل. وكان قد تم اختراعها في بلاد ما بين النهرين واستُخدمت أداةً لإنتاج الفخاريات نحو عام 3500 قبل الميلاد، وبعد ذلك لنقل الأشخاص والبضائع منذ عام 3200 قبل الميلاد. وتجدر الإشارة إلى أنه حتى بعد أكثر من 5000 سنة، لا تزال العجلة تهيمن إلى حد كبير على وسائل النقل البري حول العالم. ثم إن العجلة، بصرف النظر عن كونها مكوناً أساسياً في معظم المركبات، باتت عنصراً جوهرياً في التصميم الأساسي لمحركات الشاحنات والقطارات والسفن وحتى الطائرات. وهذا الاختراع ليس حكراً على مجال النقل، فهو يُستخدم في معدات التصنيع والمعالجة، وفي توليد الطاقة مثل مولدات الطاقة الكهرمائية والعنفات الريحية. ويمكن القول إنه لولا اختراع العجلة ربما لما نمت اقتصادات العالم إلى ما هي عليه اليوم[14].

### ب. الشراع

ثاني أشهر اختراع في مجال النقل هو الشراع الذي استخدمه أولاً السومريون والمصريون القدماء لتسهيل الملاحة النهرية ثم الصينيون للملاحة البحرية مستعينين في ذلك بـ «الطوافات الثنائية». ونظراً لاعتماد الملاحة الشراعية على اتجاه الرياح، فقد تم استكمال السفن الشراعية بالمجاديف على مدى قرون عدة، ولم يتوقف استخدامها إلا في القرن الرابع عشر. ففي تلك الحقبة، باتت الأشرعة تدفع وحدها بالسفن التي كانت أكثر سرعة وتتطلب طواقم أصغر حجماً، مما قلل من كلفة تشغيلها. وكان الشحن عبر السفن الشراعية يعتمد إلى حد كبير على

الرياح الموسمية. وقد شهد عام 1431 بداية التوسع البحري الأوروبي مع اكتشاف البرتغاليين تيارات الرياح الدائرية في شمال المحيط الأطلسي، حيث تهب الرياح التجارية غرباً والرياح الغربية شرقاً، مما أنشأ الهيكل التجاري الثلاثي الذي فسح المجال أمام التوسع الاستعماري في الأمريكتين. وعُثر فيما بعد على أنماط مماثلة في المحيطين الهندي والهادئ بما يسمى الرياح الموسمية.

## ج. السكك الحديدية والمحرك البخاري

قبل انطلاق الثورة الصناعية، كان النقل البري محدوداً من حيث السرعة والحجم ومكلفاً جداً. ففي القرن السادس عشر، كانت عربة النقل تعبر الريف الإنكليزي بسرعة متوسطية تبلغ 1.3 كم في الساعة؛ وبحلول أواخر القرن الثامن عشر، كانت كلفة نقل طن واحد من البضائع مسافة 50 كيلومتراً في الولايات المتحدة تعادل كلفة نقله عبر المحيط الأطلسي. وخلال تلك الفترة، بدأت أنظمة القنوات بالظهور في أوروبا فسمحت بأولى التنقُّلات الكبيرة للشحنات الضخمة في المناطق الداخلية وأسهمت بتوسيع نطاق التجارة الإقليمية.

وكان للنقل دور رئيسي في تهيئة بيئة ملائمة للثورة الصناعية، من خلال الاستخدام المعمّم للقنوات والممرات المائية الداخلية استناداً إلى مبدأ الأقفال للربط ما بين قطاعات مختلفة من النظام النهري وتحويلها إلى نظام شامل من شبكات المجاري المائية. ولولا نُظُم النقل المتقدمة هذه لاستحال نقل الكميات الهائلة من المواد الخام والفحم والمعادن والحبوب من أماكن إنتاجها إلى المراكز الصناعية الناشئة.

ومع أن المجاري المائية الداخلية الأولى اعتمدت على الحيوانات لشد السفن، فقد حقق النظام زيادة ملحوظة في الكفاءة مقارنة بالطرقات التقليدية. وعلى سبيل المثال، كانت أربعة خيول تستطيع شد عربة تزن طناً واحداً على مسافة 12 ميلاً في اليوم على طريق عادي، بينما كانت تشد صندلاً يزن 100 طن على مسافة 24 ميلاً في اليوم على قناة[15].

وفي عام 1698، اخترع توماس سافيري أول محرك عملي يعمل بالبخار على شكل مضخة مياه. فكان الجمع ما بين المحرك البخاري والعجلة التغيير الأساسي الذي أطلق الثورة الصناعية. وبفضل المحرك البخاري الموثوق الذي ابتكره جيمس واط عام 1765 بات بالإمكان زيادة الإنتاج مع خفض عدد الأشخاص والحيوانات، وبالتالي بكلفة أقل. وهكذا انطلقت الثورة الصناعية في إنكلترا وانتشرت في جميع أنحاء العالم بتوسيع نطاق التجارة والنقل.

وأدى اختراع المحرك البخاري المحمول على شكل قاطرة تعمل بالبخار إلى إنشاء أول نظام سكك حديدية تجاري عام 1826، وذلك بفضل القاطرة المعروفة بموثوقيتها التي ابتكرها جورج ستيفنسون (1781-1848). ومن المفارقات أن خطوط السكك الحديدية الأولى أنشئت باعتبارها مكملة لنُظُم القنوات المائية، لكن سرعان ما توسعت واتخذت شكل نظام نقل مستقل جديد تخطى مجموع السكك فيه 2000 ميل في إنكلترا وحدها بحلول نهاية عام 1843.

ومما لا شك فيه أن القاطرات البخارية غيرت طريقة نقل البضائع، أولاً في إنكلترا ثم في جميع أنحاء أوروبا وأمريكا الشمالية، فبات من الممكن نقل كميات أكبر من البضائع في وقت أقصر. وفي حالة أمريكا الشمالية مثلاً، أدى المحرك البخاري والسكك الحديدية دوراً أساسياً في تطوير الولايات المتحدة وكندا. وقد استُكملت نُظُم السكك الحديدية ووصلت إلى درجة النضج في أوائل القرن العشرين حين بلغت شبكة السكك الحديدية طولها الإجمالي الأقصى في معظم الاقتصادات المتقدمة النمو.

## د. محرك الاحتراق الداخلي

من أهم الاختراعات التي أحدثت تغييراً جذرياً في التنقُّل الفردي هي محرك الاحتراق الداخلي، وتحديداً محرك غوتليب دايملر رباعي الأشواط (1889) الذي كان نسخة معدلة عن محرك رودولف ديزل (1885)، بالتزامن مع الإطار الهوائي لجون بويد دنلوب (1885). وأضفى الجمع بين هذين الاختراعين مرونةً ثورية على مركبات النقل من الباب إلى الباب، مثل السيارات الفردية والحافلات والشاحنات. وأدى إنتاج هذه المركبات على نطاق واسع باستخدام خطوط التجميع التي اعتمدها هنري فورد عام 1913 إلى إتاحة السيارات بأسعار معقولة وزيادة شعبيتها، ومهد السبيل أمام هيمنة طرق السيارات بحلول عام 1950. وأتاح توسيع شبكات الطرق السريعة بدوره قيام مستوطنات حضرية أقل كثافة، وأدى إلى ظهور أحياء سكنية في ضواحي المدن.

وابتداءً من النصف الثاني من القرن العشرين، ظهر تكامل مكاني بين الطرق والسكك الحديدية لنقل الأشخاص والبضائع. ويعتبر النقل الطرقي أكثر تنافسية للمسافات القصيرة بحدود 500 كيلومتر، في حين أن الاستثمارات في السكك الحديدية للنقل الثقيل مجدية اقتصادياً أكثر للمسافات التي تتراوح بين 500 و1,500 كيلومتر[16].

## هـ. الاتصالات البرقية

كان لاختراع التلغراف على يد صمويل مورس عام 1844 دور هام في إدارة النقل البحري الدولي وأنظمة السكك الحديدية القارية. كذلك، أدى جهاز الاتصالات هذا إلى تحسين كفاءة المعاملات التجارية، فبات التفاعل بين مراكز الإدارة والإنتاج والاستهلاك يستغرق بضع ساعات فقط بدلاً من أسابيع.

## و. الحاوية

إن استخدام الحاويات لنقل البضائع ليس بالفكرة الحديثة. فأول مثال على وسيلة نقل في منطقة البحر الأبيض المتوسط القديم، منذ العصر الحجري الحديث، هي الآنية الفخارية (يُطلق عليها تسمية «أمفورة» في اللغة اليونانية) التي استُعملت كوسيط لنقل منتجات مثل زيت الزيتون والعطور والنبيذ والحبوب بكفاءة وفعالية[17]. ويعتبر ذلك، إلى حد ما، استخداماً مبكراً لمفهوم «النقل بالحاويات» في النقل البري والبحري.

وتشير سجلات إلى الاستعانة بالحاويات منذ ثلاثينات القرن التاسع عشر لنقل خام المعادن والحجر الجيري والفحم في انكلترا وسيليزيا وأمريكا قبل إنشاء شبكات السكك الحديدية فيها، غير أنها كانت أصغر حجماً من الحاويات الحديثة وتتراوح سعة معظمها بين 5 و10 أطنان[18].

ويُعزى تاريخ الحاويات الحديثة إلى مالكولم ماكلين، الملقب بـ «والد النقل بالحاويات»، عندما أبحرت ناقلته أيديل أكس (Ideal X) في 26 نيسان/أبريل 1956 من مرفأ نيوارك إلى هيوستن محملة بـ 58 حاوية طول كل واحدة منها 35 قدماً (حوالى 10 أمتار)[19]. وأدى استخدام الحاويات إلى خفض تكلفة التحميل من 5.83 دولارات للطن إلى 0.16 دولار فقط للطن الواحد، وأصبحت المزايا الاقتصادية لهذا النمط من النقل واضحة بالنسبة إلى صناعة النقل البحري[20]. ودفع نجاح هذه العملية إلى تحويل سفن شحن أخرى وتجهيزها برافعات معدة للأوزان الثقيلة لنقل المزيد من الحاويات. ويرى البعض أن النقل بالحاويات ربما كان له الأثر الأكبر على صناعة النقل البحري منذ اختراع المحرك البخاري[21].

وفي عام 1960، أبحرت ناقلة حاويات من نيويورك إلى فنزويلا فدخلت بذلك الحاوية إلى سوق التجارة الدولية. واليوم، تشكل الحاويات 16 في المائة من إجمالي حجم البضائع المنقولة بحراً. ومع ذلك، ترتفع النسبة بصورة ملحوظة عند النظر في قيمة البضائع المنقولة بالحاويات بدلاً من حجمها، إذ تقدر بعض المصادر أنها تمثل ما يعادل 60 في المائة من القيمة الإجمالية للبضائع المنقولة بحراً حول العالم[22].

وتُعزى شعبية نقل العديد من السلع الجافة بهذه الوسيلة، ولا سيما السلع المصنعة أو شبه المصنعة، إلى المزايا التي تقدمها الحاويات ومن أهمها: حماية البضائع من التلف والخسارة؛ وتخفيض الوقت والتكاليف اللازمة لتحميل وتفريغ البضائع في موانئ التحميل والوصول والتوقف؛ والمرونة التي توفرها الحاويات من حيث النقل المتعدد الأنماط، سواء عبر الشاحنات أو السكك الحديدية.

## ز. الطيران

قبل استحداث النقل الجوي، غالباً ما كان يقتصر دور النقل البحري على توفير تنقُّل الركاب عبر مسافات طويلة على متن السفن الشراعية، ثم السفن البخارية، وأخيراً السفن التي تعمل على النفط. وابتداءً من عام 1880، ربطت خدمات الخطوط البحرية بين الموانئ الرئيسية في العالم ودعمت الخدمات الدولية العادية لنقل الركاب، ولم يصبح النقل الجوي النمط السائد إلا في خمسينات القرن العشرين.

وفي 17 كانون الأول/ديسمبر 1903، وبفضل مثابرة الأخوين أورفل وويلبر رايت، تمت رحلة الطيران الأولى التي تعمل بقوة دفع محرك في شرق ولاية كارولينا الشمالية، على ساحل المحيط الأطلسي. فأصبح حلم لطالما راود الإنسان حقيقة واقعة. وبالرغم من القيام سابقاً برحلات جوية في مناطيد الهواء الساخن، غير أن هذا الحدث مثّل البداية الحقيقية للتحليق المتحكَم فيه، إذ لم يعد الطيارون تحت رحمة الرياح. وكما هو الحال مع ظهور السفن البخارية، أرست أول طائرة تعمل بقوة دفع محرك الأساس لتصميم وبناء طائرات ذات سعة أعلى قادرة على الطيران لمسافات أطول وبسرعات أكبر[23].

وعقب نهاية الحرب العالمية الثانية، ولا سيما منذ سبعينات القرن العشرين، شهد النقل الجوي معدلات نمو عالية وسجل الشحن الجوي نمواً بمعدل مماثل لمعدل نمو الركاب. وقد تعرّض نمو النقل الجوي لعدد من الانتكاسات المرتبطة بالركود (1973-1975؛ 1980-1984؛ 1990-1991؛ والأزمة المالية الآسيوية عام 1997؛ 2008-2009) أو بعدم الاستقرار الجيوسياسي (حرب الخليج عامي 1991 و2003؛ وهجمات 11 أيلول/سبتمبر عام 2001). وعلى الرغم من هذه الانتكاسات، يبدو أن نموه متسارع بشكل أسّي ومن المتوقع أن يستقر مع اكتمال نمو الاقتصادات النامية مثل الصين والهند والبرازيل. وسيبلغ عندئذٍ الطلب العالمي على النقل الجوي ذروته بحسب ما تتوقعه الأدبيات السائدة في مجال النقل[24]، ولكن ينبغي مراجعة هذا التوقع في ضوء الصدمة التي تعرض لها قطاع النقل الجوي جراء أزمة كوفيد-19.

وتؤثر الجائحة الحالية على كافة الأنشطة البشرية، وبالتالي على جميع خدمات النقل، وستؤثر حتماً على السلوك مستقبلاً، ولا سيما بين الركاب. وعلى الأجل القصير، سيتغير الغرض من الرحلات وتواترها وأساليبها، وهو أمرٌ يُعزى إلى شيوع العمل والاجتماعات عن بُعد. ومن المتوقع أيضاً أن تطرأ تغيّرات على المديين المتوسط والطويل، تصحبها فرص ابتكارية يتيحها تطوير تكنولوجيات جديدة ومتقدمة.

## 2. الدروس المستفادة: محركات التغيير من أجل النقل في المستقبل ---

بيّنت الأمثلة المستعرضة أعلاه كيف أن الابتكارات والاختراعات التكنولوجية أحدثت تحولات هيكلية في أداء نظام النقل وفي البيئة الأوسع المحيطة به.

وتستفيد نُظُم النقل الفعالة ذات الأداء الجيد من التكنولوجيا لتعود بفوائد اجتماعية واقتصادية وبيئية، فهي تُنشئ عموماً روابط قوية من حيث مساهمتها المحتملة في تحقيق أهداف التنمية المستدامة. أما التكنولوجيا فمن شأنها تحسين كفاءة تلك النُظُم وأدائها. تربط صلةٌ وثيقة بين نُظُم النقل ذات الأداء الجيد والأهداف والمقاصد التي حددتها خطة التنمية المستدامة لعام 2030. ولأنماط النقل المختلفة، مزايا مختلفة غير أن سهولة الوصول إلى المقصد، استناداً إلى معايير القرب والراحة والمرونة، التي تتيحها نُظُم النقل ذات الأداء الجيد تمثل ميزة تتواءم مع العناصر الخمسة من خطة عام 2030 (الناس والازدهار والكوكب والشراكة والسلام)، ولا سيما الأهداف المعنية بالناس والكوكب والازدهار. وهي تسهم في العديد من أهداف التنمية المستدامة ومقاصد خطة عام 2030، فدمج التكنولوجيا في النقل البري سيساعد البلدان الأعضاء على تحقيق الهدف 9، لا سيما المقصد 1 منه («إقامة بنى تحتية جيدة النوعية وموثوقة ومستدامة وقادرة على الصمود») والهدف 11، ولا سيما المقصد 2 منه («توفير إمكانية وصول الجميع إلى نُظُم نقل مأمونة وميسورة التكلفة ويسهل الوصول إليها ومستدامة»)، وذلك بتحسين سلامة وكفاءة البنى التحتية والنُظُم المتعلقة بالنقل. ويعرض الجدول 1 ملخصاً عن الروابط القائمة بين نُظُم النقل ذات الأداء الجيد وأهداف التنمية المستدامة. وسيسهم اعتماد التكنولوجيا في قطاع النقل، أو في أي قطاع آخر، في تحقيق العديد من المقاصد الأخرى وفقاً لما هو مبيّن في الفصل الرابع.

ويتأتى عن تطوير نظام النقل وإدماج التكنولوجيا في هذا القطاع فوائد اجتماعية هائلة توسَّع لاحقاً في هذا الفصل (انظر القسم -1دال)، منها تحسين قابلية الوصول والتكلفة والسلامة.

وعلاوةً على ذلك، يشارك قطاع النقل في الإنتاج الاقتصادي، ويساهم بشكل بارز في الناتج المحلي الإجمالي في أي بلد. وغالباً ما تحسب كلفة النقل في السعر النهائي للمنتجات الزراعية أو الصناعية، تبعاً لسلسلة عمليات النقل اللازمة لإنتاجها وإيصالها إلى أماكن الاستهلاك. وتحدد هوامش كلفة النقل واللوجستيات في العديد من الأحيان المزايا التنافسية للسلع في الأسواق الوطنية والعالمية. وهناك إجماع في الأدبيات العلمية على أن الاستثمار في البنى التحتية للنقل يحفز النمو الاقتصادي الإجمالي على المستوى الوطني، ويؤدي إلى تحقيق التنمية الاقتصادية في المناطق التي تستفيد من هذه البنى التحتية[25].

ومن الجدير ذكره أن نُظُم النقل تهدد استدامة مصادر الطاقة العالمية بسبب استهلاكها الكبير للطاقة. ففي عام 2012، بلغت حصة قطاع النقل 27.9 في المائة من الاستهلاك النهائي لإجمالي الطاقة و55 في المائة من استهلاك الطاقة السائلة في العالم، مع توقع استمرار الزيادة في الاستهلاك مستقبلاً. ويعتمد قطاع النقل حالياً اعتماداً كبيراً على مصادر الطاقة الأحفورية غير المتجددة المتمثلة بالمشتقات النفطية. لذلك فهو يساهم إلى حد كبير في نشر الانبعاثات الغازية الملوثة للهواء مثل ثاني أكسيد الكربون

الجدول 1 . **الروابط بين نُظُم النقل وأهداف التنمية المستدامة**

| | |
|---|---|
| **تجربة أفضل في التنقل** | الهدف 8 (المقصد 8-1) |
| **استخدام أكثر كفاءة للطاقة** | الهدف 9 (المقصد 9-4)؛ الهدف 13 (المقصد 13-2) |
| **أداء تشغيلي أحسن** | الهدف 7 (المقصدان 7-أ و 7-ب)؛ الهدف 9 (المقصد 9-1) |
| **تعزيز السلامة** | الهدف 3 (المقصد 3-6)؛ الهدف 11 (المقصد 11-2) |

المصدر: تجميع الإسكوا.

والنتروجين والكبريت، إضافةً إلى المعلقات الغازية الأخرى الضارة بالصحة.

وتشمل السياسات الرئيسية للحد من تلوث الهواء تصميم أو إعادة تصميم المدن عبر الاعتماد على المواصلات العامة النشطة باعتبارها وسيلة رئيسية للنقل، وتوفير وقود أنظف، وتحديد معايير الانبعاث للمركبات الخفيفة والمتينة. ولهذا السبب، أصبح تخفيض استهلاك الوقود وانبعاثات غازات الدفيئة المتأتية بصورة رئيسية من السيارات وحركة المرور هدفاً سياساتياً مشتركاً حول العالم. وتركز معظم النُهُج على الحد من استخدام السيارات في المدن من أجل تخفيض الانبعاثات، وتحسين نوعية الهواء، ودعم التنمية المستدامة.

ومن المتوقع أن اعتماد التكنولوجيات الرقمية في مجال النقل، باعتبارها أداة لتطوير منصات فعالة جديدة لحل المشاكل، سيقلل من أوجه قصور سلسلة الإمداد، ويحسن من مطابقة العرض والطلب، ويعزز الاتصال الإلكتروني ووضوح المسارات عبر كافة النُظُم. ونظراً إلى أن أهداف نظام النقل تتجاوز حركة الأشخاص والبضائع، فإن استخدام التكنولوجيا في النقل البري يرافقه وعد بتحسين تجربة التنقُّل في مجملها من خلال زيادة الكفاءة، والحد من الاختناقات المرورية وزمن الرحلة، وبالتالي تخفيض استهلاك الوقود. ومن المتوقع أن يعزز أيضاً الآثار البيئية الإيجابية تماشياً مع خطط التنمية العالمية مثل خطة التنمية المستدامة لعام 2030.

وتشمل فوائد دمج التكنولوجيا في نُظُم النقل البري ما يلي:

تحسين تجربة التنقُّل من خلال توفير معلومات دقيقة وحيّة عن مدة استغراق التنقُّلات وأحوال الطرق.

تعزيز رصد حالة البنية التحتية من أجل صيانة الطرق والسكك الحديدية ومركبات النقل العام قبل تدهور حالتها ووقوع الحوادث.

زيادة السلامة من خلال تتبُّع السرعات وتوقف السير المفاجئ، والإبلاغ عن الحوادث وحالات الطوارئ.

تحسين الأداء التشغيلي من خلال ترشيد المخزون وتسليم البضائع في الوقت المناسب، مما سيؤدي إلى خفض تكاليف الوقود ونفقات صيانة المركبات.

الحد من القصور في سلسلة الإمداد، وتحسين مطابقة العرض والطلب، وتعزيز الاتصال الإلكتروني ووضوح المسارات عبر كافة النُظُم.

رفع مستوى رضا العملاء وزيادة الربحية.

تعزيز كفاءة استخدام الطاقة من خلال الحد من الاختناقات المرورية، وتقليص وقت البحث عن مكان لركن المركبات، وخفض استهلاك الطاقة، مما سيؤدي إلى خفض انبعاثات غازات الدفيئة، وتحسين مؤشرات جودة الهواء، وتخفيف الآثار البيئية الضارة.

إيجاد فرص عمل وتطوير المهارات الرقمية (المدن الذكية).

## جيم. التكنولوجيات الناشئة في مجال النقل البري

تمثل الثورة الصناعية الرابعة أحدث الموجات التحويلية في التكنولوجيا الرقمية التي انتشرت في العالم بسرعة البرق فغيرت طرائق عيشنا وعملنا وتواصلنا وتعلمنا وترفيهنا. ثم إنها بدّلت نماذج العمل في الصناعات الكبرى وأنشأت نماذج معقدة وغير مألوفة لسلسلة الإمداد، فبات المستهلك في صميم تقديم الخدمات. فعلى سبيل المثال، «لا تملك أوبر، أكبر شركة سيارات أجرة في العالم، أي مركبات. ولا ينشئ فيسبوك، أكثر مالكي الوسائط الإعلامية شعبية في العالم، أي محتوى. وليس لدى علي بابا، تاجر التجزئة الأكثر قيمة، أي مخزون. ولا تملك شركة إير بي إن بي، أكبر مستضيف للنزلاء في العالم، أي عقار[26]». كذلك، تعالج أدوات التحول الرقمي المسائل المتعلقة بالنقل، مثل: (أ) الوضوح في المسارات، عبر إتاحة إمكانية التعقب/الرصد الآني للسلع؛ (ب) والسرعة، عبر تيسير الاستجابة لمطالب المستهلكين؛ (ج) والاستدامة، عن طريق خفض انبعاثات غازات الدفيئة.

ويرى كلاوس شواب[27] أن العوامل التكنولوجية التمكينية للثورة الصناعية الرابعة هي التالية: الروبوتات المستقلة، والبيانات الضخمة، والحوسبة السحابية، والتصنيع بالإضافة (الطباعة ثلاثية الأبعاد)، وإنترنت الأشياء، والأمن المعلوماتي، والمحاكاة، وتكامل النُظُم (انظر الشكل 2).

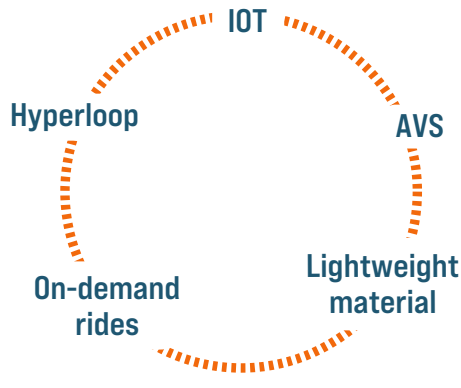
وجميع تكنولوجيات الثورة الصناعية الرابعة هي تكنولوجيات رقمية تشمل علوم الحاسوب والبرمجيات الحاسوبية والتطبيقات، ولكن لا تطبَّق هذه التكنولوجيات كلها حالياً في قطاع النقل. أما تلك التي لها الأثر الأكبر على النقل والخدمات اللوجستية فهي الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء والبيانات

الشكل 2. **العوامل التمكينية للثورة الصناعية الرابعة**

المصدر: Schwab and Davis, 2018.

الضخمة والحوسبة السحابية. ومن شأن الجمع بين هذه التكنولوجيات التي تميّز الثورة الصناعية الرابعة أن ينشئ تطبيقات بالغة الأهمية بالنسبة إلى النقل البري. وستُعرض هذه التكنولوجيات وتطبيقاتها على نحو مفصّل في الفصل الثاني من هذا التقرير الذي يركز على التكنولوجيات الرقمية. وتحدد جامعة أوهايو[28] خمس تكنولوجيات في طليعة ثورة النقل هي التالية: إنترنت الأشياء، ونُظُم المركبات الذاتية القيادة، والمواد الخفيفة الوزن لتصنيع المركبات، وخدمات الركوب عند الطلب، وقطارات الهايبرلوب.

الشكل 3. **خمس تكنولوجيات في طليعة قطاع النقل**




المصدر: Ohio University, 2020.

وقطار الهايبرلوب هو قطار فائق السرعة يتطلب بنية تحتية منفصلة، وهو مؤلف من حجيرات تجتاز المسافات بسرعة عالية ضمن أنابيب أو أنفاق شبه مفرغة من الهواء. وتقوم حالياً شركات عدة (بما فيها فيرجن وتسلا وسبايس إكس) ببناء نماذج أولية مستوحاة من مفهوم كان روبرت غودارد أول من اقترحه عام 1904. وقد شرعت الإمارات العربية المتحدة في بناء خط هايبرلوب بين دبي وأبو ظبي عام 2020، بينما تعمل حكومة ولاية ماهاراشترا الهندية منذ عام 2017 على بناء خط هايبرلوب تجاري بين مدينتي مومباي وبيون.

ولتخفيف وزن المركبات وبالتالي استهلاكها للطاقة، عمد المصنعون إلى إبدال الحديد الزهر والمكونات الفولاذية التقليدية بمواد خفيفة الوزن، مثل الفولاذ العالي المقاومة وسبائك المغنيسيوم والألمنيوم وألياف الكربون ومركبات البوليمر.

وتشكل نُظُم المركبات المستقلة، المعروفة أيضاً بتسمية المركبات الذاتية القيادة، بحد ذاتها مجالاً من مجالات العلوم التطبيقية. فهي تدمج عالم الروبوتات والذكاء الاصطناعي والأتمتة المتقدمة للسيارات بمركبات التوجيه والتحكم من دون أي تدخل بشري. ومع أنه أُحرز تقدم هائل على الصعيد العلمي لهذه الجهود، بيد أنه لم يتحقق على صعيد الأخلاقيات والتشريع. ومن الأمثلة على ذلك ما يحصل في حالة الحوادث والخسائر في الأرواح، علماً أن مسألة تحديد مسؤولية الإنسان أو الآلة لا تزال موضوع نقاش.

وسيتم التعمق في إنترنت الأشياء وخدمات الركوب عند الطلب في الفصل الثاني المخصص لحلول التكنولوجيا الرقمية في النقل البري.

ويمكن الافتراض أن مجموعة كبيرة من المتغيّرات المجتمعية والتكنولوجية الحتمية ستحدث ثورة في كيفية تنقلنا في العقود المقبلة، منها استجابات واسعة النطاق لأزمة تغيّر المناخ، وإيجاد مصادر للطاقة وسلامتها؛ وتغيّر الاتجاهات الديمغرافية (مثل الأعداد المتزايدة من المسنين)؛ وتطوير اقتصاد تعاوني؛ والمركبات الذاتية القيادة، التي يبدو أنها أمر محتوم؛ وأخيراً وليس آخراً، الاستخدام المتزايد للتكنولوجيا في النقل البري.

# دال. مزايا وفوائد الابتكار وتطبيقات التكنولوجيا الرقمية في قطاع النقل

يُعزى تطبيق الاختراعات التكنولوجية والابتكارات وانتشارها على نطاق واسع في قطاع النقل على مر التاريخ إلى المزايا والمنافع التي تتيحها، بالمقارنة مع وسائل ونُظُم النقل السائدة في وقتها. ومن الأمثلة على هذه المزايا التحول من الاستعانة المكلفة بالحيوانات إلى طاقة الرياح المجانية التي يوفرها مثلاً الشراع؛ وزيادة سعة النقل ونطاقه بكلفة منخفضة عبر السكك الحديدية؛ وزيادة ملحوظة في سرعة النقل ونطاقه باستخدام الطائرة؛ وزيادة كفاءة وفعالية نقل البضائع بالاستعانة بالحاويات. وفي هذه الأمثلة كلها، أدى التطبيق التكنولوجي إلى تحول التسوية التقليدية بين السرعة والطاقة، وعكس تغيّراً في معدل عائد تغطية المسافات من حيث الكلفة. وأدرج كل تطبيق تسوية جديدة بين عوامل العائد/الكلفة المرتبطة بالحل الجديد، مما أتاح تقديم خدمات لم يمكن تصورها من قبل.

وبدون التطلع إلى تحقيق نقلة نوعية مماثلة في تطور نُظُم النقل، أتاح التقدم المحرز مؤخراً على صعيد تكنولوجيا المعلومات والاتصالات فرصة تطوير تطبيقات عدة أدت إلى تحسين السرعة والكفاءة والسلامة والموثوقية في خدمات النقل الحالية.

وتقدير أثر كل من هذه التكنولوجيات على حدة ليس بالمهمة السهلة، نظراً إلى كونها جديدة نسبياً (يتراوح عمرها بين 20 و30 سنة) وإلى أنه يجري تطويرها على أساس كونها عناصر أو مكونات منفصلة لنُظُم أكثر تكاملاً تعرف باسم نُظُم النقل الذكية.

وهذه النُظُم هي مزيج من تكنولوجيا المعلومات والاتصالات الأكثر حداثةً، وتُستخدم في نُظُم النقل وإدارة حركة المرور لتحسين سلامة المستخدمين وكفاءة التشغيل واستدامة شبكة النقل، والحد من الاختناقات المرورية، وتعزيز سلوك السائقين. وهي تشمل الطرق السريعة الذكية، والمركبات الذاتية القيادة، وإدارة حركة المرور في المدن وبينها، وضبط الالتزام بحدود السرعة، وسلامة وأمن النقل، وتحسين التنقُّل. وتعمد نُظُم النقل الذكية هذه إلى تحسين البنى التحتية من أجل تعزيز كفاءة النقل، عوضاً عن الحاجة إلى إنشاء بنية تحتية مادية إضافية وما قد يترتب عنها من أضرار بيئية وتكاليف مالية.

وتقوم وكالات نقل عدة في بلدان عديدة بجمع البيانات ووضع نُهُج لقياس فوائد النُظُم المستخدمة أصلاً على نحو أدق. وتعرض الأقسام الفرعية التالية نتائج الدراسات التي أُجريت في بلدان مختارة حول الأثر الكمي لاعتماد نُظُم النقل الذكية.

## 1. فوائد نُظُم النقل الذكية في الولايات المتحدة الأمريكية[29]

أجرت إدارة البحوث والتكنولوجيات المبتكرة في وزارة النقل الأمريكية دراسة قيّمت فيها فوائد نُظُم النقل الذكية وكلفتها والإحصاءات المرتبطة بانتشارها، بالإضافة إلى عرض الدروس المستفادة. ودقّق الباحثون، عند قياسهم فوائد نشر نظام ما، في العناصر التالية: السلامة، وسهولة التنقُّل، والكفاءة، والإنتاجية، واستهلاك الطاقة، والآثار البيئية، ورضا العملاء. ومن الأمثلة على فوائد مختلف مكونات نُظُم النقل الذكية المطبقة أصلاً ما يلي:

1. **التحكم التكيّفي بالإشارات الضوئية:** تنسق نُظُم التحكم التكيّفي بالإشارات ضبط إشارات المرور الضوئية عبر شبكة الإشارات، وتكيّف توقيت كل إشارة وفقاً لظروف حركة المرور. وقد تم تقييم الفوائد التالية:

| الفائدة | الاستنتاجات الرئيسية |
|---|---|
| **السلامة** | خفض "التوقف" بنسبة 41 في المائة بعد أن كانت 10 في المائة |
| **سهولة التنقُّل** | خفض "التأخير" بنسبة 42 في المائة بعد أن كانت 5 في المائة |
| **الكفاءة** | زيادة حركة المركبات بنسبة 20 في المائة على الطرق الشريانية، و6 في المائة على الطرق السريعة |
| **الطاقة والبيئة** | خفض الانبعاثات بين 3 و6 في المائة، وتحقيق وفورات في الوقود بين 4 و7 في المائة |

2. **إدارة مواقف السيارات:** يشيع استخدام نُظُم إدارة مواقف السيارات القادرة على نشر المعلومات في المراكز الحضرية أو في نقاط التحوّل بين أنماط النقل، مثل المطارات. وترصد هذه النُظُم أماكن الركن المتاحة وتنقل المعلومات إلى السائقين، مما يقلل من إحباط المسافرين والاختناقات المرورية المرتبطة بالبحث عن مواقف للسيارات.

| الفائدة | الاستنتاجات الرئيسية |
|---|---|
| **سهولة التنقُّل** | خفض زمن الرحلة بنسبة 9 في المائة، وانخفاض التأخير الناتج عن أزمنة التوقف بنسبة 4 في المائة |
| **الكفاءة** | زيادة هائلة في استخدام المواصلات العامة (5.5 تنقلات إضافية في الشهر)، وانخفاض متوسط وقت التنقُّل (بمعدل 5 في المائة لتنقُّل مدته 50 دقيقة)، وخفض إجمالي الأميال التي يقطعها كل مشارك بمقدار 9.7 أميال شهرياً |
| **رضا العملاء** | أشار 81 في المائة من المسافرين الذين شملهم المسح إلى سهولة إيجاد موقف لركن المركبات، واتفق 68 في المائة منهم على سرعة هذه العملية. |

وتبيّن أيضاً، وفقاً للشبكة التعاونية لنشر نُظُم النقل الذكية (الموقع الإلكتروني ITS Cooperative Deployment Network)، أن الفوائد المتوقعة لنُظُم النقل الذكية في الولايات المتحدة (للفترة الممتدة بين عامي 1996 و2015) هي: وفورات في تكاليف الحوادث بنسبة 44 في المائة، وتوفير الوقت بنسبة 41 في المائة، والحد من انبعاثات غازات الدفيئة/وفورات في الوقود بنسبة 6 في المائة، ووفورات في تكاليف التشغيل بنسبة 5 في المائة، ووفورات في التكاليف الإدارية للوكالات بنسبة 4 في المائة.

## 2. فوائد نُظُم النقل الذكية في المملكة المتحدة والسويد[30]

تصف جمعية نُظُم النقل الذكية في المملكة المتحدة نفسها بأنها «جمعية المملكة المتحدة لكافة العاملين في نُظُم النقل الذكية». وهي جمعية مستقلة ممولة من اشتراكات أعضائها، تضم 160 عضواً من الشركات بما في ذلك الإدارات الحكومية، والسلطات المحلية، وشركات البرمجيات، وشركات التصنيع، وخدمات الخبرة الاستشارية، وخدمات تكامل النُظُم. ويعرض تقريرها لعام 2016 حول فوائد نُظُم النقل الذكية الاستنتاجات الرئيسية التالية:

### أ. الفوائد على الصحة والسلامة والبيئة

1. سجّل تقرير عن السلامة شمل فترة 3 سنوات وقوع 2.25 حادث إصابات جسدية شهرياً بعد العمل بالسرعة الإلزامية المتغيرة واعتماد كتف الطريق ممراً إضافياً، مقارنة بـ 5.08 حوادث بغياب تطبيق السرعة الإلزامية المتغيرة - بانخفاض نسبته 56 في المائة.
2. انخفض زمن الرحلات خلال الازدحامات المرورية بنسبة 16 في المائة وتقلب زمن الرحلات بنسبة 22 في المائة، بحيث أصبحت أكثر قابلية للتنبؤ.
3. تم تخفيض مستويات الضوضاء بمقدار 2.1 ديسيبل.
4. انخفضت انبعاثات أول أكسيد الكربون وثاني أكسيد الكربون بنسبة 4 في المائة، وانخفض أيضاً استهلاك الوقود.

5. وتأتى عما سبق انخفاضٌ في إجهاد السائقين وتحسنٌ في الامتثال لحدود السرعة. وسُجلت أيضاً مستويات عالية من رضا السائقين عن المخطط.

6. وانخفضت الحوادث التي تأتى عنها وفيات وإصابات بجروح بالغة بنسبة 70 في المائة.

## ب. الفوائد بالنسبة إلى السائقين وإدارة وحركة المرور

1. نتج عن مخطط لندن لفرض رسوم على المركبات خلال فترات الاختناق المروري زيادة بنسبة 6 في المائة في استخدام حافلات النقل العام وانخفاض بنسبة 20 في المائة في حركة المرور على الطرق.

2. وقد ساهمت ضريبة الاختناق المروري في ستوكهولم بخفض حركة المرور بأكثر من 20 في المائة، مما أدى إلى تحسن زمن الرحلات.

3. وعلى الرغم من الاعتقاد السائد بأن الناخبين لا يقبلون فرض رسوم الاختناق المروري، إلا أن الأدلة تشير إلى تقبل معظم السكان هذه الرسوم في حال أتيحت لهم المعلومات الصحيحة والتجارب المناسبة. فبعد أن كانت نسبة 62 في المائة من الناخبين قد عارضت في البداية فرض ضريبة الاختناق المروري في ستوكهولم، صوتت الأغلبية لجعل المخطط دائماً بعد تجربة دامت 7 أشهر أظهرت فوائد هذه الضريبة، وبات يؤيدها حالياً 74 في المائة من السكان.

### الإطار 1 . تطبيق نُظُم النقل الذكية في قطر

تعمل وزارة المواصلات والاتصالات القطرية حالياً على العديد من المشاريع الرئيسية التي تشمل استخدام التكنولوجيات الجديدة والنُظُم الذكية، مثل وضع استراتيجية وطنية لنُظُم النقل الذكية، ومواقف السيارات الذكية في الشوارع، وأدوات البرمجة اللازمة، وخطة النقل الشاملة في دولة قطر، والخطة الشاملة لمواقف المركبات في دولة قطر، والخطة الشاملة للشحن البري في دولة قطر، وأنظمة إدارة الأصول، وإنارة الشوارع الذكية، ومركز لإدارة حركة المرور. ثم إن حكومة قطر أصدرت قوانين وتشريعات شاملة من أجل تنظيم نظام النقل البري.

ووزارة المواصلات والاتصالات مسؤولة أيضاً عن برنامج قطر الذكية «تسمو» الذي يضم العديد من المشاريع الاستراتيجية الرئيسية، يتصل الكثير منها بمجال النقل، يُذكر منها على سبيل المثال لا الحصر:

1. الدليل الرقمي للتنقل
2. الإدارة الفورية للحشود ونظام النقل
3. لافتات الطرق الذكية
4. الاتصال بين الطريق والمركبات
5. لوحة وطنية لبيانات العرض والطلب
6. تقييم متبصر للخدمات الجمركية

المصدر: ESCWA, 2020b; TASMU Smart Qatar, 2021.