استراتيجية المطابقة الدقيقة بين العرض والطلب للتشغيل السككي بنمط النقل العام في المدن الجديدة الضاحية من منظور نطاق التنقل اليومي
— دراسة حالة خط تشنغدو–بوجيانغ

XU Lei, LIU Bing, WANG Fangkai

الملخص. يُعد تطوير المدن الجديدة الضاحية أداة أساسية في استراتيجية التحضر الجديدة في الصين. ولتيسير اندماج هذه المدن في نطاق التنقل اليومي للمدينة المركزية عبر تشغيل السكك الحديدية بنمط النقل العام، ورفع مستوى الخدمة، تقترح الدراسة إطارا للتقييم وصياغة الاستراتيجيات قائما على مفهوم «المطابقة الدقيقة بين العرض والطلب». وتتخذ خط تشنغدو–بوجيانغ، الذي يربط مركز تشنغدو بمدينة تشونغتشو الضاحية الجديدة، حالة تطبيقية. أولا، يجري دمج بيانات متعددة المصادر لتحديد الحجم الكلي للتنقل اليومي ووسائل السفر بين تشونغتشو ومركز تشنغدو. ثم تُحلل خصائص مستخدمي القطار بدقة، ويُقيَّم توافق العرض في أربعة أبعاد: المواعيد، والسعة، وأداء المحطة، والربط بوسائل النقل. وتكشف النتائج عن اختلالات عدة، منها قلة الرحلات في ساعات الذروة، وضعف مرونة تشكيل القطارات، وتعقيد إجراءات التفتيش والتحقق من التذاكر، وغياب حافلات الربط الليلية. ومن منظور تحسين سلسلة الرحلة كاملة، تُطرح استراتيجيات للمطابقة الدقيقة، وتُلخَّص في أربعة اتجاهات: التركيز على الطلب، ورفع كفاءة السلسلة كاملة، وتحقيق التكيف الديناميكي، والابتكار لتحسين الجودة. وتوفر الدراسة أساسا منهجيا جديدا لبناء نطاقات التنقل اليومي وتحسين التشغيل السككي بنمط النقل العام في المدن الكبرى.

الكلمات المفتاحية: التشغيل السككي بنمط النقل العام؛ مطابقة العرض والطلب؛ نطاق التنقل اليومي؛ مدينة جديدة ضاحية؛ خط تشنغدو–بوجيانغ.

تصنيف المكتبة الصينية: TU984

رمز الوثيقة: A

DOI: 10.16361/j.upf.202405008

رقم المقال: ١٠٠٠-٣٣٦٣ (٢٠٢٤) ٠٥-٠٠٥٥-٠٩

* مشروع عام للمؤسسة الوطنية للعلوم الطبيعية في الصين: «الأنماط المكانية ومناهج تحسين ممرات TOD السككية من منظور موازنة تدفقات الركاب: حالة منطقة شنغهاي الحضرية» (رقم المشروع 52178052)؛ ومشروع 2024 للتعاون الجامعي-الصناعي التابع لوزارة التعليم، تنفذه شركة معهد شنغهاي تونغجي للتخطيط والتصميم الحضري المحدودة: «دراسة حالة لإعداد خطط النقل العام باستخدام التقنيات الرقمية» (رقم المشروع 231100155192902).

1 متطلبات تطوير نطاقات التنقل اليومي والتشغيل السككي بنمط النقل العام في المدن الجديدة الضاحية

1.1 نطاق التنقل السككي لمدة ساعة بوصفه دعامة أساسية للمناطق الحضرية الحديثة

المنطقة الحضرية هي نمط مكاني للتحضر داخل التجمع الحضري، يتمحور حول مدينة ضخمة أو كبيرة ذات قدرة قوية على الإشعاع، ويُتخذ نطاق التنقل اليومي لمدة ساعة مجالا أساسيا لها①. وتُعد المدن الجديدة الضاحية جزءا مهما من هذا النمط، كما تمثل أداة رئيسة لتحسين استراتيجية التحضر في الصين ودفع التنمية متعددة المراكز والمتجمعة. وخلال الخطة الخمسية الرابعة عشرة، أصدرت مدن كبرى مثل بكين وشنغهاي وتشنغدو سياسات لدعم تطوير المدن الجديدة الضاحية②.

في السنوات الأخيرة أصبح بناء نطاقات التنقل اليومي أداة لتوجيه تنمية المناطق الحضرية والمدن الجديدة وموضوعا بحثيا بارزا [1-2]. وازدادت الدراسات المتعلقة بحدود هذه النطاقات وخصائص الأنشطة المكانية والزمانية. فقد ميّز تشاي يانوي وآخرون [3] بين ثلاثة أنماط للتنظيم المكاني: داخل المدينة، والضاحية القريبة، والضاحية البعيدة. واستخدم قوه ليانغ وآخرون [4] بيانات الهاتف المحمول الضخمة لتحديد نطاق التنقل اليومي لوسط ووهان وقياس بنيته الحلقية وتركيبه الداخلي وشكله الخارجي. كما حدد وو ييمين وآخرون [5] المقاطعات المحيطة ببكين الداخلة في نطاقها باستخدام مؤشرات منها معدل التنقل، واقترحوا ممرات ومجموعات فرعية وأنماطا للتنقل العابر للحدود. وفي الوقت نفسه نمت بسرعة الدراسات المتعلقة بـ«المنطقة الحضرية على السكك»، ولا سيما العلاقة بين النقل السككي الحضري والمنطقة الحضرية [6-9]. كما تناولت دراسات أخرى دور السكك الحديدية في بناء نطاقات التنقل؛ واقترح وانغ ديلي [10] تدابير في أربعة مجالات — التنظيم المكاني، ودعم النقل، والتوجيه الوظيفي، وآليات الضمان — لتمكين السكك الإقليمية والضاحية من تشكيل نطاق التنقل لمدة ساعة في المدن الكبرى.

1.2 التشغيل السككي بنمط النقل العام كإجراء رئيس لدمج المدن الجديدة في الشبكة المكانية الإقليمية

لتعزيز تجمع السكان والوظائف في المدن الجديدة واندماجها في نطاق المدينة المركزية، من الضروري إنشاء منظومة نقل مريحة وفعالة [11]. ففي فبراير 2019 دعت «توجيهات اللجنة الوطنية للتنمية والإصلاح بشأن تنمية المناطق الحضرية الحديثة» إلى «بناء نطاقات تنقل يكون النقل السككي عمودها الفقري، وتطوير السكك الإقليمية والضاحية بقوة، وإعطاء الأولوية لاستخدام الموارد القائمة لتشغيل قطارات إقليمية وضاحية». وفي ديسمبر 2021 أوضحت «خطة تطوير منظومة النقل المتكامل الحديثة خلال الخطة الخمسية الرابعة عشرة» ضرورة «الاستخدام النشط للخطوط الرئيسة وخطوط الربط بين المدن لتقديم خدمات التنقل اليومي، وزيادة عدد التوقفات وتواترها في مراكز الطلب المهمة، وتشجيع التشغيل بنمط النقل العام في ساعات الذروة، وتحسين جودة الخدمة».

ومنذ المؤتمر الوطني الثامن عشر للحزب الشيوعي الصيني، أدى نمو التجمعات والمناطق الحضرية إلى زيادة كبيرة في طلب التنقل اليومي متعدد المقاييس. لذلك حظي التشغيل السككي بنمط النقل العام باهتمام متزايد، ونُفذت تجارب كثيرة في بكين–تيانجين–خبي، ودلتا اليانغتسي، ومنطقة الخليج الكبرى قوانغدونغ–هونغ كونغ–ماكاو، وتشنغدو–تشونغتشينغ (الجدول 1). ومن منظور تطوره، انتقلت وظيفته من خدمة سفر أعمال مباشرة بين المدن إلى خدمة تنقل يومي متعددة المستويات والوظائف.

ومن خلال رفع كثافة القطارات إلى الحد الأقصى، وتبسيط شراء التذاكر، وتسهيل إجراءات الركوب، يسعى هذا النمط إلى توفير تجربة قريبة من النقل الحضري، أي «الوصول والانطلاق فور تقريبا»، بما يعزز جاذبية القطار بدرجة كبيرة. وبالنسبة إلى المدينة الجديدة الضاحية، يتيح ربطا فعالا بالمركز من دون استثمارات ضخمة في بنية تحتية جديدة، ويقدم للمتنقلين خدمة دقيقة ومريحة. وقد ارتفع تشغيل خط جينشان في شنغهاي، أول خط صيني يخدم التنقل بين مدينة جديدة ضاحية والمركز بهذا النمط، خلال عشر سنوات منذ افتتاحه عام 2012 من 15 إلى 37.5 زوجا من القطارات يوميا، ومن 13 ألفا إلى 32 ألف راكب يوميا③.

الجدول 1. مشروعات التشغيل السككي بنمط النقل العام القائمة في الصين وتصنيفها

الإقليم	السنة	المشروع	المستوى المكاني المخدوم	الغرض الرئيس
بكين–تيانجين–خبي	2008	قطارات بكين–تيانجين بين المدن	بين المدن المركزية	أعمال
بكين–تيانجين–خبي	2023	الحلقة الشمالية الشرقية للسكك الضاحية في بكين	وسط المدينة المركزية–مدينة جديدة ضاحية	تنقل يومي
دلتا اليانغتسي	2012	خط جينشان في شنغهاي	وسط المدينة المركزية–مدينة جديدة ضاحية	تنقل يومي
دلتا اليانغتسي	2017	قطارات نينغبو–يوياو بين المدن	وسط المدينة المركزية–مدينة جديدة ضاحية	تنقل يومي
دلتا اليانغتسي	2022	خط ليانيونقانغ–هوايآن–يانغتشو–تشنجيانغ	بين مدن محيطة	أعمال
منطقة الخليج الكبرى قوانغدونغ–هونغ كونغ–ماكاو	2021	خط قوانغتشو–تشينغيوان والحلقة الشرقية لقوانغتشو	مدينة مركزية–مدينة محيطة	أعمال

الإقليم	السنة	المشروع	المستوى المكاني المخدوم	الغرض الرئيس
منطقة الخليج الكبرى قوانغدونغ–هونغ كونغ–ماكاو	2022	خط قانتشو–شنتشن عالي السرعة	مدينة مركزية–مدينة محيطة	أعمال
تشنغدو–تشونغتشينغ	2010	خط تشنغدو–دوجيانغيان	وسط المدينة المركزية–مدينة جديدة ضاحية	تنقل يومي
تشنغدو–تشونغتشينغ	2017	تشغيل تشنغدو–دييانغ بنمط النقل العام	مدينة مركزية–مدينة محيطة	أعمال
تشنغدو–تشونغتشينغ	2022	الحلقة الشمالية الغربية لتشونغتشينغ	بين مدن جديدة ضاحية	تنقل يومي
مناطق أخرى	2021	خط تشانغشا–تشوتشو–شيانغتان بين المدن	مدينة مركزية–مدينة محيطة	أعمال
مناطق أخرى	2021	خط تشنغتشو–كايفنغ–جياوتسو بين المدن	مدينة مركزية–مدينة محيطة	أعمال
مناطق أخرى	2023	الخط السياحي للحلقة الغربية في هاينان بنمط النقل العام	مدينة مركزية–مدينة محيطة	سياحة

1.3 خدمات السكك الحديدية في المدن الجديدة بحاجة إلى تحسين ملاءمتها للطلب

مع تطور تقنيات دمج الشبكات السككية، يملك التشغيل بنمط النقل العام إمكانات كبيرة لدمج المدن الجديدة الضاحية في نطاق تنقل المدينة المركزية، وهي العملية التي يُشار إليها لاحقا بـ«الاندماج في النطاق». ويمكن تصنيف الدراسات القائمة إلى جانبي الطلب والعرض. فمن جانب الطلب، تُستخدم مصفوفات المنشأ-المقصد السككية [12] وبيانات إشارات الهاتف [13] واستبيانات الركاب [14] لتوصيف المستخدمين وتقسيم الفئات والتنبؤ بالتدفقات. ومن جانب العرض، تُحدد الاختناقات في مراحل التشغيل وتقترح تحسين التفتيش الأمني والتحقق [15]، وتنظيم المسارات التشغيلية [16]، ونظام التذاكر [17]، ونمط الإدارة [18].

وفي السنوات الأخيرة دفع تنوع مستخدمي التنقل المندمجين في النطاق [19] إلى تقييم العوامل المؤثرة في الطلب [21-20] وتكييف الخدمة بصورة أدق. وبرزت ثلاثة أبعاد: أولا، المطابقة «من محطة إلى محطة» عبر تحسين الجداول وخطط التوقف لتلبية طلب كل محطة [22]. ثانيا، المطابقة بين المنزل أو مقر العمل والمحطة، من خلال تحسين إمكانية الوصول استنادا إلى توزيع السكن والعمل [23]. ثالثا، مطابقة مستوى الراحة، لأن الازدحام المرتفع يخفض الرفاه [24] ويحد من الاستفادة من زمن الرحلة [25].

وفي ظل نمو التنقل اليومي داخل المناطق الحضرية، يصبح تحديد الطلب بدقة وتقديم عرض سككي ملائم هو مفتاح نجاح التشغيل بنمط النقل العام. ورغم انتقال الدراسات من تحليل منفصل للعرض أو الطلب إلى التنسيق بينهما، لا يزال إطار شامل لتقييم الملاءمة غائبا. ومن ثم تستمر فجوة بين تحليل الطلب وصياغة الاستراتيجيات. كما لا تُراعى بصورة كافية القيود الصارمة، مثل أوقات بدء العمل وانتهائه والمدة القصوى المقبولة للرحلة، ولا متطلبات الراحة، ولذلك يصعب الوصول إلى تكييف دقيق حقيقي.

في هذا السياق تتخذ الدراسة خط تشنغدو–بوجيانغ، الرابط بين مركز تشنغدو ومدينة تشونغتشو الجديدة، موضوعا لها. ومن منظور التنقل المندمج في النطاق، تستخدم بيانات متعددة المصادر لتحليل المطابقة الدقيقة بين الطلب على التنقل والعرض السككي، ثم تقترح تدابير موجهة تسهم في البحث والممارسة في الصين.

2 مناهج البحث ومصادر البيانات

2.1 عرض الحالة

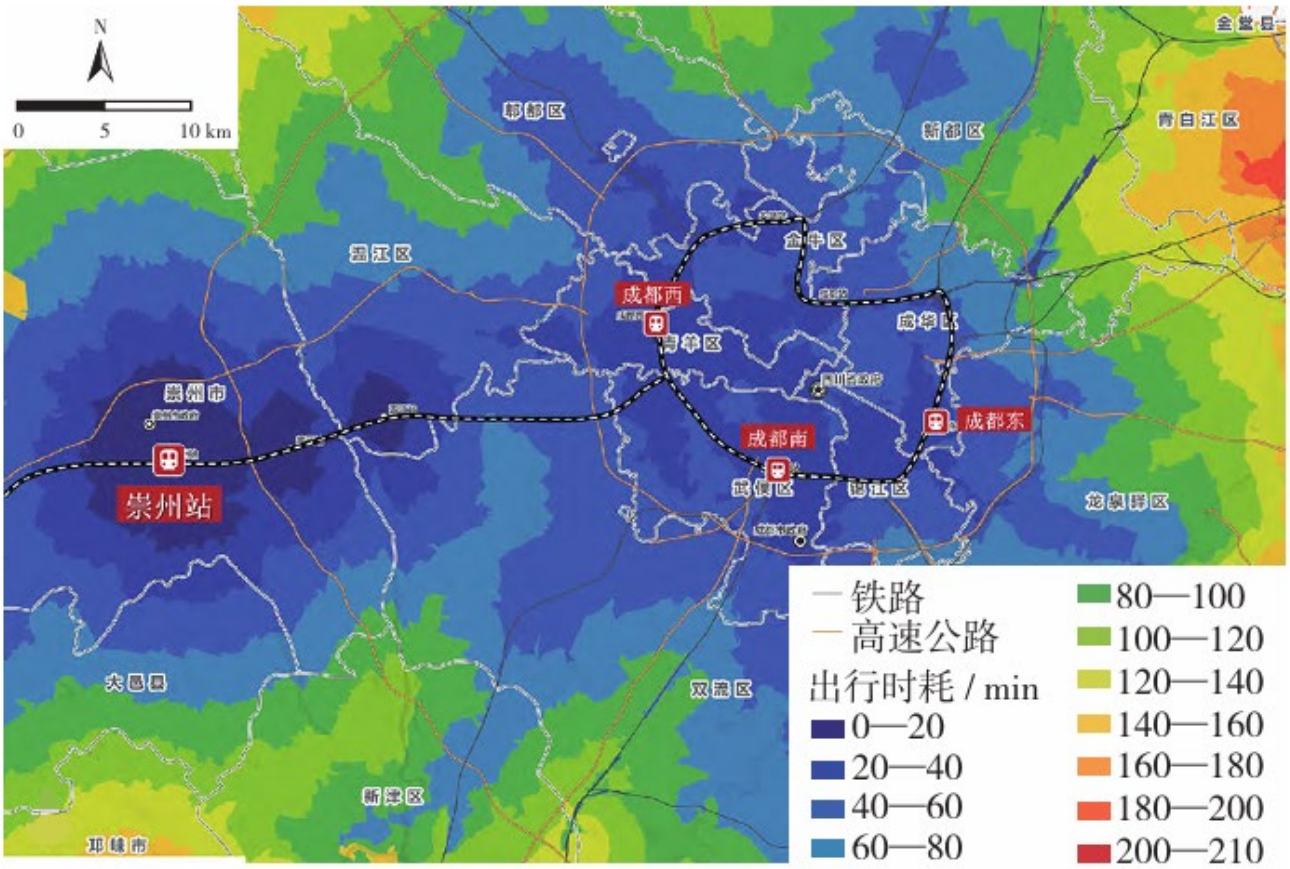
في عام 2023 طلبت لجنة الحزب وحكومة تشنغدو «تسريع بناء نطاقات تنقل عالية الكفاءة للمدن الجديدة الضاحية». وطُلب من تشونغتشو، بوصفها إحدى المدن الجديدة ذات الأولوية، «رفع مستوى التشغيل بنمط النقل العام على خط تشنغدو–بوجيانغ لتيسير التنقل بينها وبين مركز تشنغدو». وتقع تشونغتشو غرب بلدية تشنغدو، على بعد نحو 37 كم بخط مستقيم من ساحة تيانفو، ويبلغ عدد سكانها الدائمين 780 ألف نسمة.

خط تشنغدو–بوجيانغ هو الاتصال السككي الوحيد بين تشونغتشو ومركز تشنغدو. افتتح عام 2018 بسرعة تصميمية 200 كم/س، وطول 99 كم، ويضم 11 محطة (الشكل 1). ومنذ ربطه عام 2022 بالخط الدائري لعقدة تشنغدو السككية، أصبحت محطة تشونغتشو متصلة مباشرة بمحطتي تشنغدو الجنوبية والشرقية. وبالمقارنة مع التشغيل التقليدي، جرى تكييف بعض المنشآت جزئيا مع نمط النقل العام، مثل أبواب الأرصفة وقطارات CRH6A، لكن المطابقة الدقيقة للطلب على التنقل اليومي لا تزال بحاجة إلى تحسين كبير.

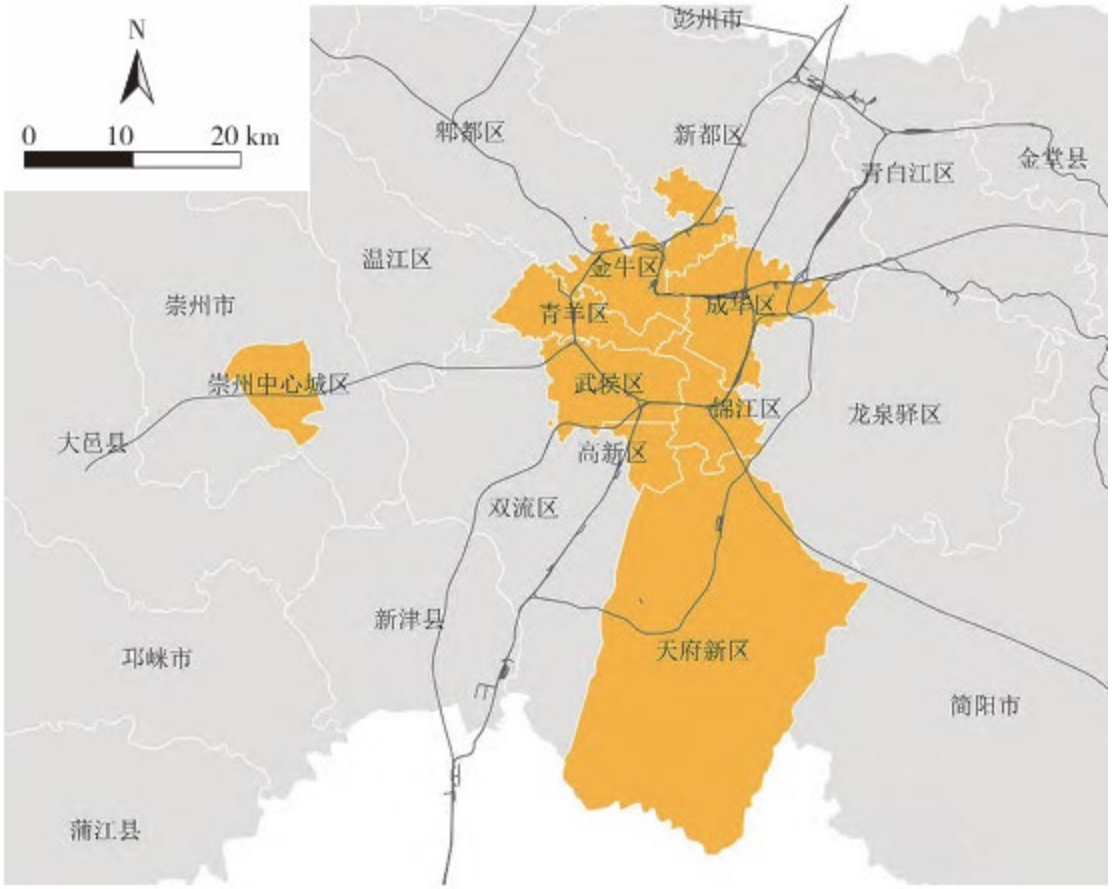
الشكل 1. مخطط خط تشنغدو–بوجيانغ

2.2 تحديد نطاق الدراسة

حُدد النطاق انطلاقا من نطاق الزمن السككي لمدة ساعة من محطة تشونغتشو④ (الشكل 2)، ثم عُدّل في ضوء الحدود الإدارية وتوزيع فرص العمل. ويتمثل مكان السكن في وسط تشونغتشو، بينما تشمل أماكن العمل المقاطعات الخمس المركزية في تشنغدو — جينجيانغ، وتشينغيانغ، وجيننيو، ووهو، وتشنغهوا — إضافة إلى منطقة التقنية العالية ومنطقة تيانفو الجديدة (الشكل 3).



الشكل 2. نطاق الزمن السكني من محطة تشونغتشو



الشكل 3. تحديد نطاق الدراسة

2.3 المنهج

أولا، تُستخدم بيانات متعددة المصادر وتحليلات السمات السكانية لتحديد حجم التدفقات بين تشونغتشو ومركز تشنغدو والوسائل المستخدمة وتفضيلات مستخدمي القطار. ثانيا، تُدمج الجداول وبيانات التذاكر لتحليل المطابقة الدقيقة بين العرض والطلب في أربعة أبعاد: الوقت، والسعة، والمحطة، والربط. ثم تُستخدم النتائج الكمية أساسا لصياغة الاستراتيجيات. ويعرض الشكل 4 المسار المنهجي.

وبالنظر إلى سلسلة الرحلة اليومية كاملة، تقترح الدراسة أربعة مؤشرات لتقييم مستوى التشغيل ومدى تلبية الطلب.

(1) الملاءمة الزمنية. يشمل التحليل جميع القطارات التي تتوقف في تشونغتشو أو تعبرها، ويحدد ثلاث فئات ذات إمكانات للتنقل اليومي: قطارات تتوقف لكن مواعيدها لا تسمح بالوصول إلى العمل في الوقت المناسب، فتحتاج إلى تعديل توقيت التوقف؛ قطارات لا تتوقف لكن مرورها بتشونغتشو ووصولها إلى المركز ملائمان، ويمكن إضافة توقف لها؛ وقطارات تتوقف في تشونغتشو لكنها تخدم محطات تشنغدو الغربية والجنوبية والشرقية بعدد قليل، ويُستحسن زيادة توقفاتها في المركز.

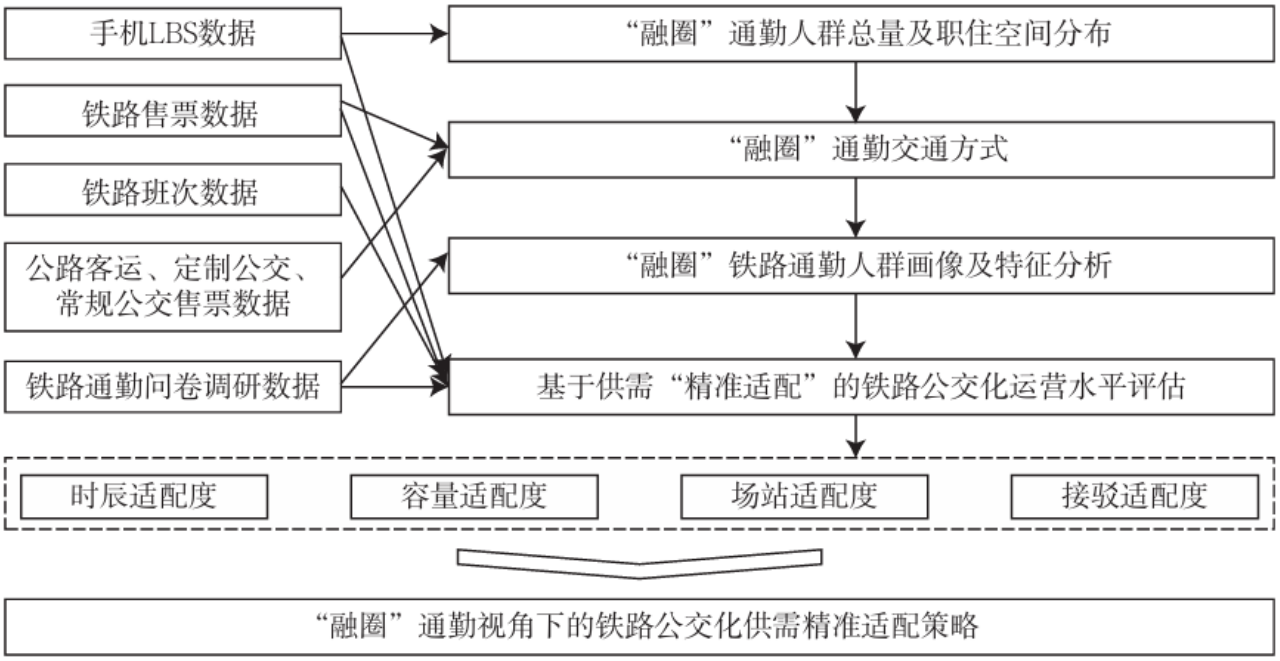
(2) ملاءمة السعة. عندما يفي القطار بمتطلبات الوقت والتوقف، تُحلل درجة امتلائه بعد مغادرته تشونغتشو للتحقق من كفاية السعة. ويُستخدم مؤشّران:

$$\eta_1 = M / S, \quad \eta_2 = M / N$$

η1 هو معدل إشغال المقاعد: القيمة الأقل من 1 تعني وجود مقاعد شاغرة، والقيمة المساوية أو الأكبر من 1 تعني إشغال جميع المقاعد، ويزداد الانزعاج مع ارتفاع النسبة. أما η2 فهو معدل التحميل: القيمة الأقل من 1 تعني وجود سعة متبقية، والقيمة المساوية أو الأكبر من 1 تعني تجاوز مستوى الخدمة المقبول. ويرمز M إلى عدد الركاب، وS إلى عدد المقاعد، وN إلى عدد الركاب الموافق لمستوى الخدمة المقبول، المحدد بنسبة 70% من السعة الاسمية وفق معايير النقل العام الحضري⑤.

(3) ملاءمة المحطة. يُفكك الزمن اللازم لجميع مراحل الدخول والخروج من محطة تشونغتشو لتحديد المراحل ذات الأولوية في التقليل، من نقطة الربط إلى البوابات، ومن البوابات إلى الرصيف. كما تُحلل جودة الحيز والخدمات المساندة.

(4) ملاءمة الربط. يركز التحليل على الحافلات العادية المرتبطة بمحطة تشونغتشو، ولا سيما التوافق الزمني مع القطارات. ويُستخدم الفرق بين وصول الحافلة ومغادرة القطار، أو بين وصول القطار ومغادرة الحافلة، مؤشرا للتقييم. ويكون الربط جيدا إذا غطى هذا الفرق الزمن اللازم للدخول أو الخروج مع هامش مناسب؛ أما الفرق الكبير جدا أو الصغير جدا فيشير إلى ضعف الملاءمة.



الشكل 4. المسار المنهجي للبحث

2.4 مصادر البيانات

يجمع التحليل بين بيانات الهاتف المحمول وبيانات تشغيل النقل ومسح استبياني. وتغطي بيانات تحديد الموقع عبر الهاتف (location-based services, LBS)، المقدمة من شركة اتصالات، السكان الدائمين والمؤقتين النشطين في بلدية تشنغدو خلال أبريل 2023. وتشمل بيانات التذاكر السككية، المقدمة من الإدارة الحديدية، مصفوفات المنشأ-المقصد لجميع محطات الخط وتدفقات الدخول والخروج. أما بيانات تذاكر الحافلات بين المدن والحافلات المخصصة فتأتي من المشغلين، وبيانات الربط بين الحافلة والمترو من شركة النقل العام. وتغطي المجموعات الأربع الفترة من 10 إلى 16 أبريل 2023. وأُجري كذلك استبيان لمستخدمي القطار عبر الإنترنت ورموز QR في محطة تشونغتشو خلال ذروتي الصباح والمساء، وجُمع 2913 استبيانا صالحا.

3 تحليل طلب الرحلات السككية بنمط النقل العام لاندماج تشونغتشو في نطاق التنقل

3.1 الحجم الكلي والبنية النمطية

استنادا إلى بيانات LBS، يُعرّف الأشخاص الذين يقومون برحلات منتظمة بين نقاط منشأ ومقصد ثابتة في أيام العمل بوصفهم متنقلين يوميين. ويُعد مكان الإقامة نهارا مقر العمل، ومكان الإقامة ليلا المنزل. وتُستخدم نسبة تغطية بيانات الهاتف لتقدير الحجم الفعلي.

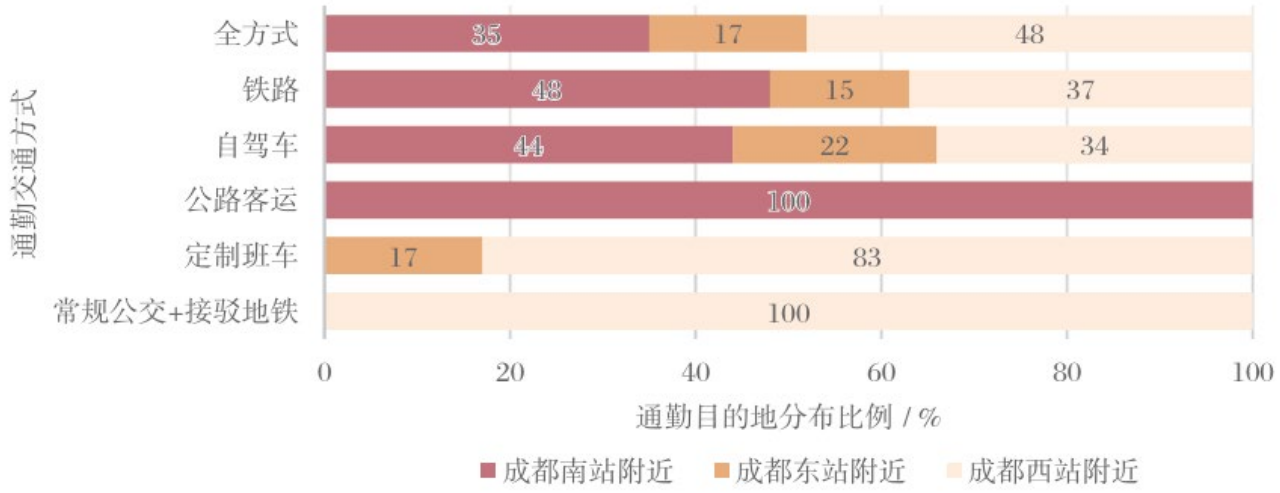
يبلغ إجمالي الرحلات ذهابا وإيابا بين تشونغتشو ومركز تشنغدو نحو ٢٨,١ ألف رحلة في يوم العمل. ويبلغ حجم التنقل المندمج في النطاق باتجاه تشونغتشو–المركز خلال ذروة الصباح من الساعة ٧:٠٠ إلى ٩:٠٠، وباتجاه المركز–تشونغتشو خلال ذروة المساء من الساعة ١٧:٠٠ إلى ١٩:٠٠، نحو ٩٦٣٣ رحلة يوميا، أي ما يعادل ٤٠٠٠–٥٠٠٠ شخص. ومن حيث الوجهات، تستحوذ منطقة محطة تشنغدو الغربية القريبة على ٤٨٪، ومنطقة تشنغدو الجنوبية ذات التركيز العالي للوظائف المكتبية والتجارية على ٣٥٪، بينما لا تتجاوز تشنغدو الشرقية البعيدة والأقل تركيزا للوظائف ١٧٪.

تُستخدم خمس وسائل: السيارة الخاصة، والقطار، والحافلة المخصصة، والحافلة بين المدن، والحافلة العادية مع التحويل إلى المترو. وباستثناء السيارة، تنتمي الوسائل الأربع الأخرى إلى النقل الجماعي. ويُظهر التقدير بنية تهيمن عليها السيارة الخاصة وتكملها السكك ووسائل جماعية متنوعة: تمثل السيارة 63%، بينما لا يتجاوز القطار 17.1%، ما يعكس ضعف قدرته التنافسية النسبية (الجدول 2).

الجدول 2. حجم التنقل المندمج في نطاق تشونغتشو وبنيته النمطية في أيام العمل

الوسيلة	الرحلات اليومية ذهابا وإيابا بين تشونغتشو ومركز تشنغدو	رحلات التنقل المندمج في النطاق	الحصة (%)
القطار	4854	1646	17.1
حافلة عادية + مترو	4781	1320	13.7
حافلة بين المدن	73	28	0.3
حافلة مخصصة	910	572	5.9
سيارة خاصة	17442	6066	63.0
المجموع	28060	9633	100.0

تختلف الوجهات بشدة باختلاف الوسيلة. فالقطار والسيارة يغطيان مساحة أوسع ضمن زمن مقبول ويوفران خيارات عمل أكثر، ولذلك يتجهان بنسبة أكبر إلى منطقة تشنغدو الجنوبية التي تتركز فيها الوظائف، بحصتين 48% و44% على الترتيب. وتعتمد الحافلات بين المدن والمخصصة أكثر على مسارات التشغيل، بينما تُستخدم الحافلة مع المترو، الأبطأ نسبيا، أساسا للوصول إلى تشنغدو الغربية (الشكل 5).



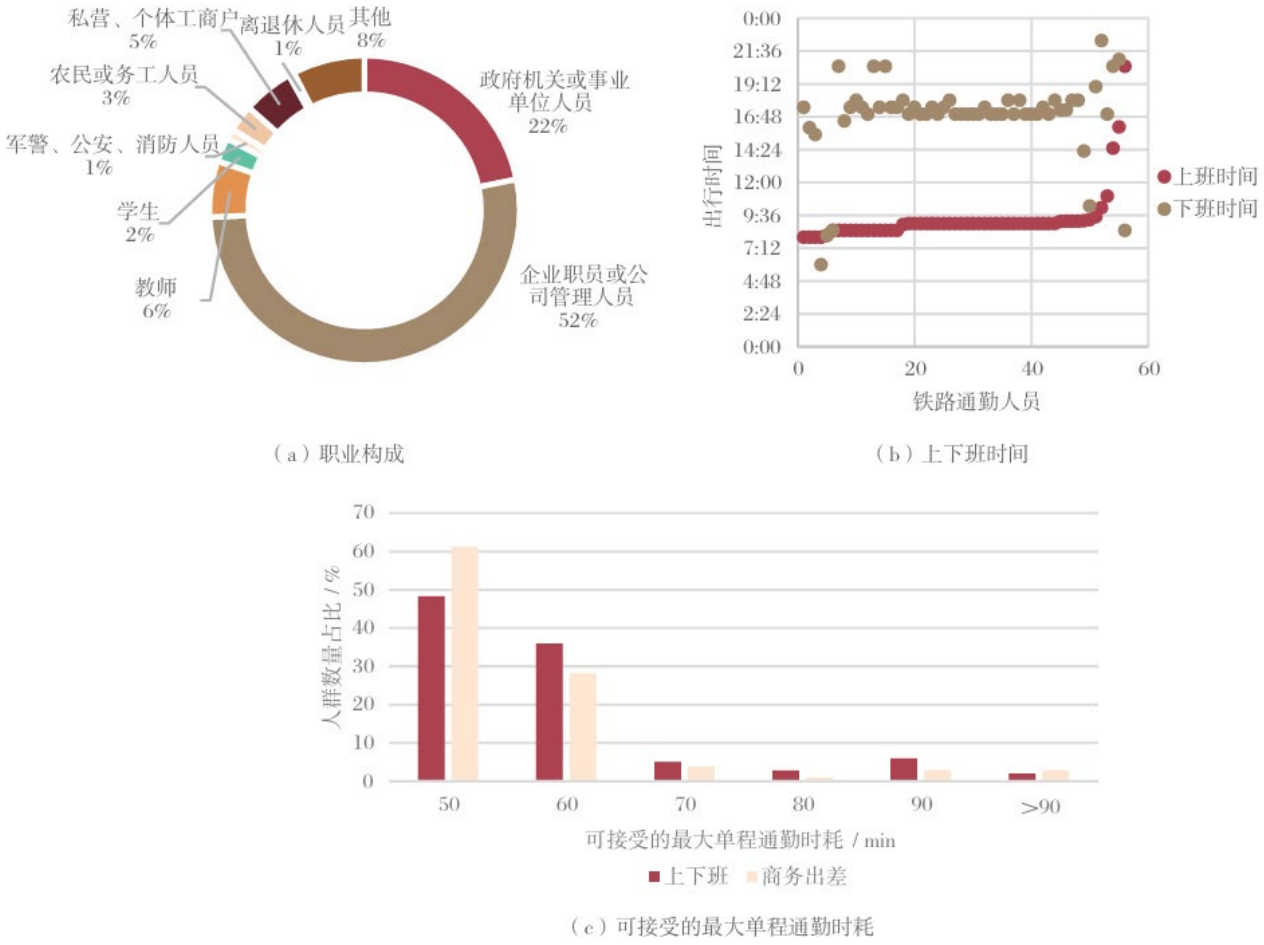
الشكل 5. توزيع وجهات التنقل اليومي من تشونغتشو والفروق بين الوسائل في أيام العمل

3.2 خصائص مستخدمي القطار في تشونغتشو

تُحلل الخصائص بالاستناد إلى الاستبيان. ويشمل الملف الشخصي المهنة، وأوقات العمل، والمدة القصوى المقبولة للرحلة في اتجاه واحد (الشكل 6). ويشمل تحليل الربط الوسيلة والزمن من المنزل إلى المحطة، ومن محطة الوصول إلى مقر العمل (الشكل 7).

3.2.1 ملف المستخدم: عمل مستقر، أوقات ثابتة، وقبول رحلة لمدة ساعة

يعمل مستخدمو القطار أساسا في الجهات الحكومية والمؤسسات والشركات العامة، وتمثل هاتان الفئتان 74%. وتتميز الأوقات بالثبات النسبي: يتركز الوصول إلى العمل بين 8:00 و9:00، والمغادرة بين 17:00 و18:00. ويقبل أكثر من 85% مدة قصوى تقل عن 60 دقيقة للرحلة الواحدة.



（a）职业构成　（b）上下班时间

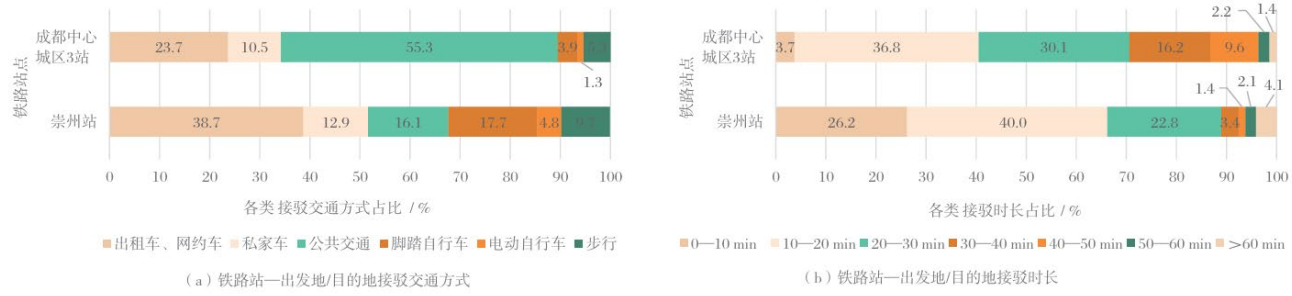
（c）可接受的最大单程通勤时耗

الشكل 6. ملف مستخدمي القطار المندمجين في نطاق التنقل

3.2.2 خصائص الربط

وسائل الربط. نظرا إلى عدم وجود مترو في تشونغتشو، يعتمد الوصول إلى المحطة أساسا على الوسائل الفردية الآلية — سيارة الأجرة، والسيارة المحجوزة عبر التطبيقات، والسيارة الخاصة — بنسبة 51.6%. ولا تمثل الحافلة العادية سوى 16.1%. أما في المحطات الثلاث وسط تشنغدو فيهيمن المترو بنسبة 55.3%.

المدة. يبلغ متوسط زمن الربط 18 دقيقة في تشونغتشو و25 دقيقة في المركز. وتبلغ نسبة الرحلات الأقصر من 20 دقيقة 66.2% و40.5% على الترتيب. ووفقا لجداول منصة 12306، تبلغ أزمنة الرحلة داخل القطار بين تشونغتشو ومحطات تشنغدو الغربية والجنوبية والشرقية 18 و22 و34 دقيقة. وفي ضوء الهدف المتمثل في رحلة كلية أقل من 60 دقيقة، لا يزال الربط بحاجة إلى تحسين.



（a）铁路站—出发地/目的地接驳交通方式　（b）铁路站—出发地/目的地接驳时长

الشكل 7. خصائص الربط في المحطات

3.3 تقييم ملاءمة التشغيل

3.3.1 قلة القطارات الملائمة للتنقل اليومي وانخفاض التواتر

يكشف تحليل القطارات المتوقفة في تشونغتشو خلال ساعات الذروة عن مشكلة «القطار الأول متأخر، وخدمات المساء متباعدة» (الجدول 3). ففي الصباح يكون أول قطار نحو المركز C3382 (7:58 تشونغتشو–8:20 تشنغدو الجنوبية)، وهو غير كاف لمن يجب أن يصل قبل 8:30. وفي المساء لا يوجد أي قطار بين D6194 (18:42 تشنغدو الشرقية، 18:59 تشنغدو الجنوبية–19:22 تشونغتشو) وC3372 (20:15 تشنغدو الجنوبية–20:39 تشونغتشو)، ما لا يلائم من ينتهي عملهم بين 19:00 و20:00.

كما أن عدد الرحلات الملائمة صباحا قليل: رحلة واحدة فقط إلى تشنغدو الغربية، ولا توجد رحلة مناسبة إلى تشنغدو الشرقية. ويشغل الخط حاليا 100 قطار يوميا، لا يتوقف منها في تشونغتشو سوى 46. ومن ثم توجد مساحة كبيرة لإضافة توقفات وتعزيز الاتصال بالمحطات المركزية الثلاث.

الجدول 3. القطارات المتوقفة في تشونغتشو والملائمة للتنقل المندمج في النطاق

الغرض	القطار	المغادرة	الوصول
العمل صباحا	C3382	7:58، تشونغتشو	8:20، تشنغدو الجنوبية
العمل صباحا	C6602	8:19، تشونغتشو	8:37، تشنغدو الغربية
العمل صباحا	C3384	8:41، تشونغتشو	9:03، تشنغدو الجنوبية
العودة مساء	C3366	17:32، تشنغدو الجنوبية	17:55، تشونغتشو
العودة مساء	C6637	18:01، تشنغدو الغربية	18:22، تشونغتشو
العودة مساء	D6194	18:42، تشنغدو الشرقية؛ 18:59، تشنغدو الجنوبية	19:22، تشونغتشو
العودة مساء	C3372	20:15، تشنغدو الجنوبية	20:39، تشونغتشو
العودة مساء	C3462	21:05، تشنغدو الشرقية؛ 21:25، تشنغدو الجنوبية	21:49، تشونغتشو
العودة مساء	C6643	21:22، تشنغدو الغربية	21:38، تشونغتشو
العودة مساء	C3376	22:05، تشنغدو الجنوبية	22:29، تشونغتشو

3.3.2 محدودية مرونة تشكيل القطارات أمام تغير التدفقات

تتكون معظم القطارات الملائمة من أربع عربات، ولا يضم ثماني عربات سوى D6194 (الجدول 4). وتبين بيانات التذاكر أن معدلات التحميل لا تبلغ الحد الأقصى، لكنها تتجاوز 80% في بعض الرحلات، ما يسبب كثافة مرتفعة. كما تتجاوز معدلات إشغال المقاعد 100% عادة، ما يعني أن معظم الركاب الصاعدين في تشونغتشو يضطرون إلى الوقوف.

وفي رحلات الصباح نحو المركز تكون معدلات التحميل قبل تشونغتشو أقل من 60% في القطارات الثلاثة، بل يظل في C3382 بعض المقاعد الشاغرة. وبعد صعود ركاب تشونغتشو ترتفع معدلات إشغال المقاعد إلى نحو 150%، ومعدلات التحميل إلى 80–75%، بما يعكس ازدحاما مرتفعا.

الجدول 4. تحليل السعة المتبقية للقطارات الملائمة للتنقل اليومي

الاتجاه	القطار	العربات	قبل تشونغتشو	بعد تشونغتشو	التحميل قبل (%)	التحميل بعد (%)	المقاعد قبل (%)	المقاعد بعد (%)

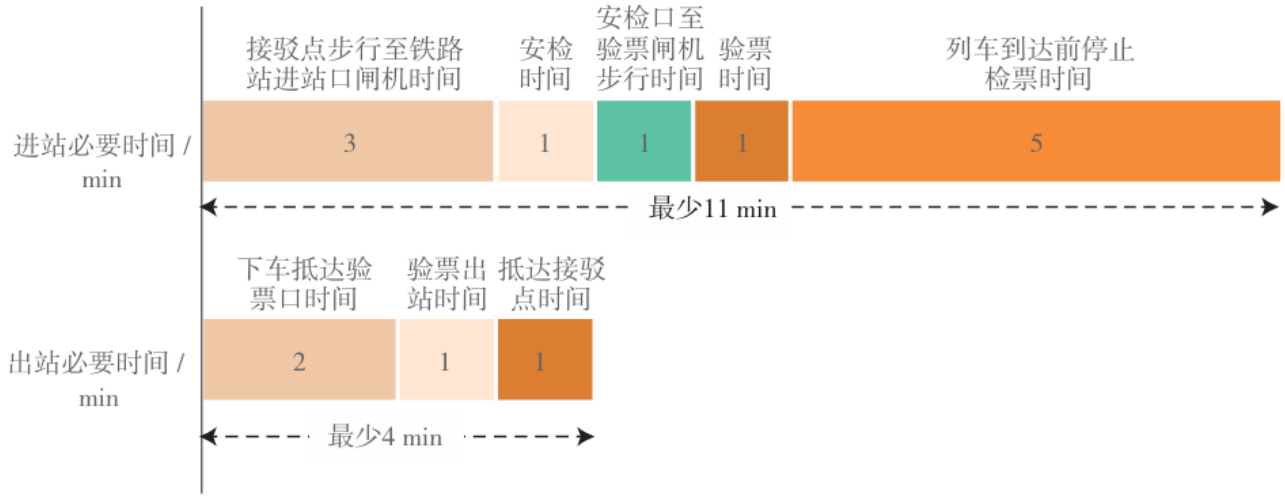
الاتجاه	القطار	العربات	قبل تشونغتشو	بعد تشونغتشو	التحميل قبل (%)	التحميل بعد (%)	المقاعد قبل (%)	المقاعد بعد (%)
الصباح إلى العمل	C3382	4	149	384	31	80	60	155
الصباح إلى العمل	C6602	4	261	371	54	77	105	150
الصباح إلى العمل	C3384	4	278	360	58	75	112	145
المساء إلى المنزل	C3366	4	430	267	89	55	173	108
المساء إلى المنزل	C6637	4	306	167	64	35	123	67
المساء إلى المنزل	D6194	8	517	186	54	19	104	38
المساء إلى المنزل	C3372	4	193	87	40	18	78	35
المساء إلى المنزل	C3462	4	404	282	84	59	163	114
المساء إلى المنزل	C6643	4	207	183	43	38	83	74
المساء إلى المنزل	C3376	4	230	175	48	36	93	71

ملاحظة: تضم القطارات ذات الأربع والثماني عربات 248 و496 مقعدا على الترتيب، وتبلغ سعتها القصوى 688 و1376 راكبا، بينما تبلغ السعة الموافقة لمستوى الخدمة المقبول 481 و963 راكبا.

3.3.3 تعقيد إجراءات الأمن والتحقق وإطالة الزمن داخل المحطة

يبين تفكيك الزمن اللازم للدخول والخروج (الشكل 8) أن الخروج فعال ويستغرق نحو أربع دقائق، بينما يتطلب الدخول نحو إحدى عشرة دقيقة. ويتمثل الاختناق الرئيس في نافذة الدخول إلى الرصيف، المحصورة بدقة بين إحدى عشرة وخمس دقائق قبل المغادرة، ما يؤدي إلى تجمع قصير وحاد عند التحقق من التذاكر ويضعف الانسيابية. كما أن الفصل المكاني بين التفتيش الأمني والتحقق يزيد الزمن والتعقيد.

كما أن خدمات المحطة غير مكتملة؛ فلا توفر مساحات كافية للعمل أو القراءة أو تناول وجبة خفيفة أو التسوق للركاب الذين يملكون وقت انتظار، ولا تلبي بصورة كافية الطلب على خدمات شخصية عالية الجودة.



الشكل 8. تفكيك الزمن اللازم للدخول والخروج من محطة تشونغتشو

3.3.4 غياب الحافلات العادية ليلا

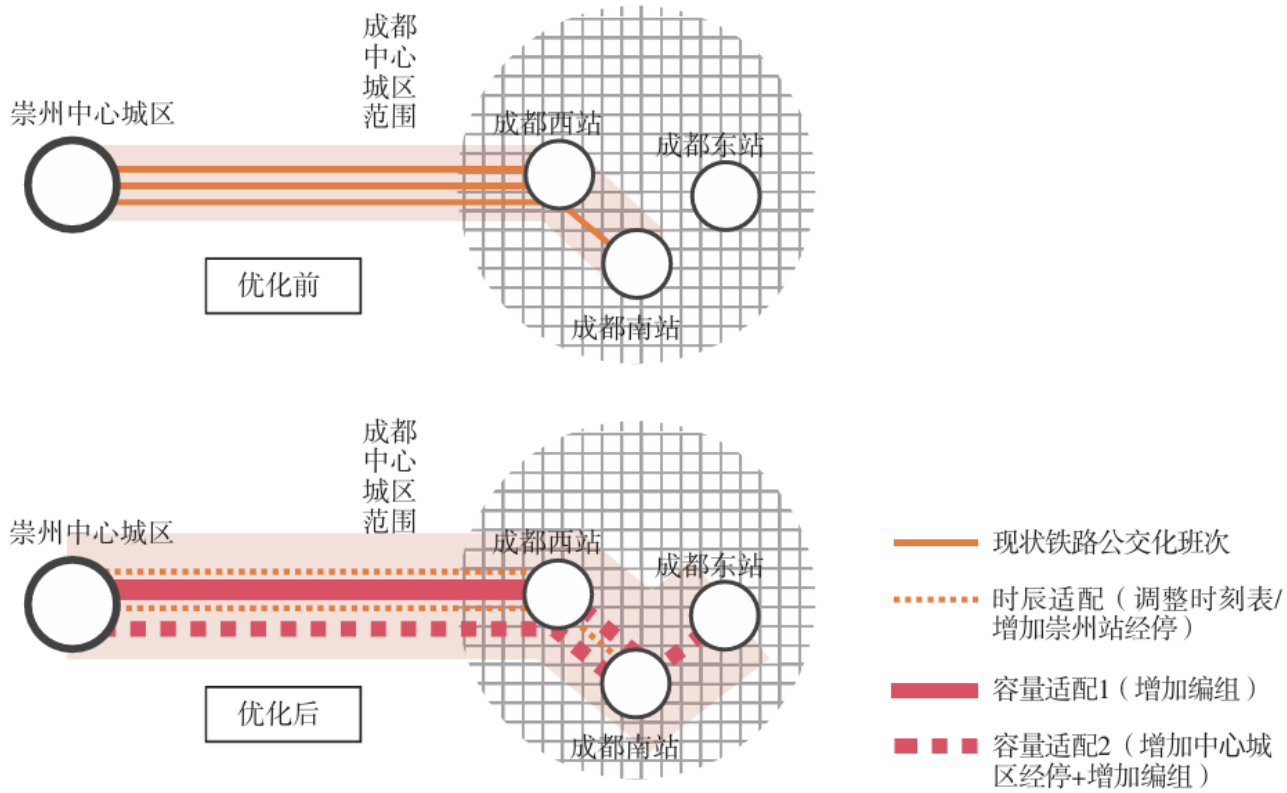
تخدم المحطة حاليا 34 خط حافلات، لكن آخر رحلاتها تنتهي قبل 18:30، ولذلك لا يتوفر ربط لركاب القطارات اللاحقة. وتسجل بيانات التذاكر 917 راكبا مغادرا أو واصلا بعد 18:30، منهم 297 مغادرا و620 واصلا. وباستخدام الحصة الحالية للحافلات، وهي 16%، يُقدَّر الطلب الليلي بنحو 150 رحلة (الجدول 5)، ما يبرر إضافة خدمات.

الجدول 5. الطلب الليلي على الربط بالحافلات العادية في محطة تشونغتشو

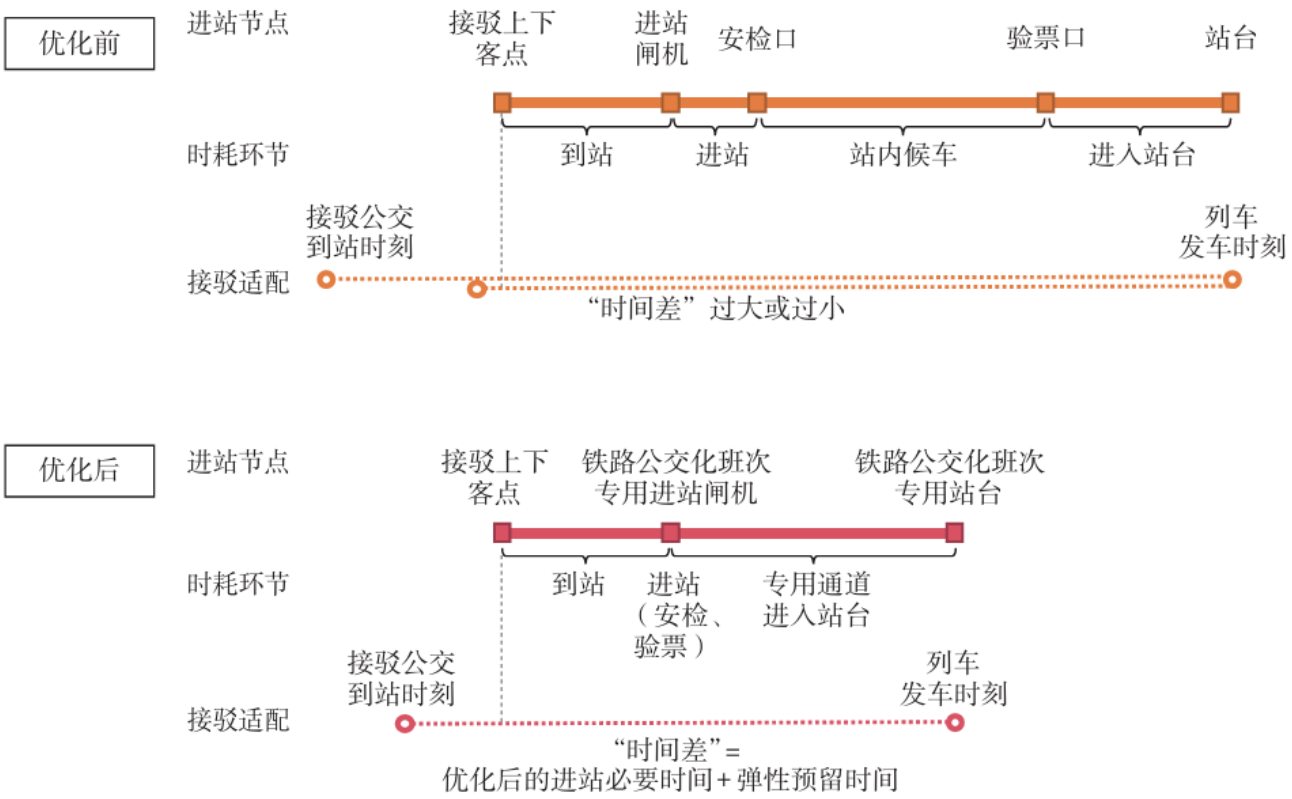
الاتجاه	القطار	وقت المغادرة أو الوصول في تشونغتشو	ركاب المغادرة / الوصول	طلب الربط بالحافلة
تشونغتشو إلى المركز	C3418	19:00	96	15
تشونغتشو إلى المركز	C3422	19:54	69	11
تشونغتشو إلى المركز	C6686	20:22	81	13
تشونغتشو إلى المركز	C3426	21:32	51	8
المركز إلى تشونغتشو	D6195	19:22	321	51
المركز إلى تشونغتشو	C3372	20:39	127	20
المركز إلى تشونغتشو	C6643	21:38	72	12
المركز إلى تشونغتشو	C3462	21:49	55	9
المركز إلى تشونغتشو	C3376	22:29	45	7
المجموع	—	—	917	147

4 استراتيجية المطابقة الدقيقة للتشغيل بنمط النقل العام على خط تشنغدو–بوجيانغ

في مواجهة محدودية الرحلات، وتجانس التشكيلات، وتعقيد إجراءات التحقق، وضعف التنسيق مع وسائل الربط، ينبغي أن يستند التحسين إلى مبدأ المطابقة الدقيقة بين العرض والطلب، لتلبية احتياجات نطاق التنقل وتعزيز دور السكك في المنطقة الحضرية على السكك. ومن منظور السلسلة الكاملة، تُنظم التدابير على مستويين: «تحسين القطارات» و«تحسين المحطات». ويشمل الأول ملاءمة الجداول والسعة من خلال التوقفات والتشكيلات (الشكل 9)، بينما يشمل الثاني تحسين أداء المحطة والربط الليلي (الشكل 10).



الشكل 9. استراتيجيات تحسين التشغيل على مستوى الجداول والخدمات



الشكل 10. استراتيجيات التحسين على مستوى المحطة

4.1 إضافة خدمات في ساعات الذروة وتعزيز الملاءمة الزمنية

ينبغي تحسين الجداول القائمة في ضوء أوقات بدء العمل وانتهائه، لزيادة عدد القطارات المناسبة في الذروة. ويُقترح تقديم مغادرة C3384 (يآن–تشنغدو الجنوبية) من تشونغتشو من 8:39 إلى 8:10، ووصوله إلى تشنغدو الجنوبية من 9:03 إلى 8:34. كما ينبغي تقديم مغادرة C6606 (تشيونغلاي–تشنغدو الغربية) من تشونغتشو من 9:43 إلى وقت بين 7:00 و8:00.
وبالنسبة إلى القطارات التي تعبر تشونغتشو دون توقف لكن مواعيدها ملائمة، يُوصى بإضافة توقف، ولا سيما للخدمات C3380 (7:27 تشيونغلاي–8:00 تشنغدو الجنوبية)، وC3382 (7:03 يآن–8:20 تشنغدو الجنوبية)، وC6639 (18:30 تشنغدو الغربية–18:48 يآن).

4.2 تحسين التوقفات والتشكيلات لرفع ملاءمة السعة

تتوافق مواعيد بعض القطارات مع ساعات التنقل، وهي تتوقف أو يمكن أن تتوقف في تشونغتشو. ويُوصى بزيادة كثافة توقفها في المحطات الثلاث وسط تشنغدو وتكييف التشكيلات مع التدفقات. فينبغي أن يتوقف C3380 في تشونغتشو، ويمتد إلى تشنغدو الشرقية، ويرتفع من أربع إلى ثماني عربات. وينبغي كذلك تمديد C3382 من تشنغدو الجنوبية إلى تشنغدو الشرقية وزيادة تشكيله من أربع إلى ثماني عربات. ومن شأن ذلك معالجة غياب خدمة التنقل الحديدي إلى تشنغدو الشرقية.

4.3 تحسين الانتظار داخل المحطة ورفع ملاءمة التشغيل

في النمط الحالي — الانتظار في الصالة وإغلاق التحقق قبل المغادرة بخمس دقائق — يزداد احتمال فقدان القطار لمن يصلون قبل وقت قصير. ويُقترح تخصيص رصيف لقطارات التنقل المندمج، بحيث ينتظر الركاب مسبقا من دون الارتباط بقطار محدد، ويركبون أول قطار متاح. كما ينبغي دمج التفتيش الأمني والتحقق لتقليل الانقطاعات في مسار الدخول.
ويمكن لهذه التدابير خفض الزمن اللازم للدخول من نحو إحدى عشرة إلى ست دقائق، وتحسين الكفاءة بدرجة واضحة، وزيادة الشعور بالأمان في استخدام القطار. كما ينبغي دمج فضاءات بيع التذاكر والانتظار لخلق استخدامات متنوعة وتقديم خدمات شخصية لمن يملكون وقتا فائضا.

4.4 تنسيق وسائل الربط مع وصول القطارات ومغادرتها

بعد 18:30 يكون طلب الربط قليلا ومتشتتا. ويُوصى بإنشاء خطوط حافلات ليلية منسقة بدقة مع القطارات والتحكم في الفارق الزمني. ووفق مبدأ «الزمن اللازم للدخول أو الخروج + هامش ثلاث دقائق»، ينبغي للحافلات التي تخدم المغادرين من تشونغتشو أن تصل قبل القطار بنحو تسع دقائق، وللحافلات التي تخدم العائدين أن تنطلق بعد وصوله بنحو سبع دقائق.

وبناء على توزيع السكن والعمل يمكن تنظيم الخطوط بصورة متمايزة حسب المسافة: تُخدم الرحلات البعيدة بخطوط سريعة تربط المحطات الرئيسة، بينما تُخدم الرحلات القريبة بمسارات قصيرة مترابطة تقارب الخدمة من الباب إلى الباب.

5 الخاتمة

يمثل التشغيل السككي بنمط النقل العام وسيلة فعالة واقتصادية ومريحة، وله أهمية خاصة في سياق تطوير المدن الجديدة الضاحية ونطاقات التنقل اليومي في الصين. وقد قيّمت الدراسة آثار خط تشنغدو–بوجيانغ، وبنت من منظور الاندماج في النطاق إطارا تحليليا قائما على المطابقة الدقيقة بين العرض والطلب، مقدمة بذلك منهجا جديدا للبحث والممارسة.

تعتمد استدامة هذا النمط على قدرته على جذب فئة ثابتة نسبيا من المتنقلين اليوميين. وبين تشونغتشو ومركز تشنغدو لا تزال حصة القطار منخفضة مقارنة بالسيارة، ما يدل على وجود إمكانات كبيرة. لكن السعة السككية بلغت التشبع في بعض ساعات الذروة، وهو ما يحد من جودة الخدمة. لذلك تمثل دقة المطابقة الشرط الحاسم. وإلى جانب كفاءة تقارب السيارة، ينبغي تلبية التوقعات المتباينة للجودة والتكلفة بمنتجات متنوعة.

ويُعد التشغيل السككي بنمط النقل العام أداة مهمة لدمج الشبكات وتعزيز الصلة بين المدن الجديدة والمركز الحضري. وتوصي الدراسة بأربعة اتجاهات.

(1) التركيز على الطلب. تختلف نطاقات التنقل ووظائف المدن الجديدة بين المناطق الحضرية، كما تختلف مراحل التنمية والتوزيعات المكانية والزمانية للمتنقلين. لذلك يجب تكييف الأولويات مع كل مدينة: فالمدينة الجديدة السكنية ينبغي أن تركز على ذروتي التنقل في أيام العمل، بينما ينبغي للمدينة ذات التركيز التعليمي أن تحلل رحلات الطلاب في عطلة نهاية الأسبوع بين المؤسسات التعليمية والمركز.

(2) رفع كفاءة السلسلة كاملة. تتكون الرحلة السككية من مراحل متعددة. وإلى جانب الزمن داخل القطار والمحطة، تمثل المرحلة الأولى والأخيرة عاملا حاسما. وفي ظل قيد الزمن المقبول، يؤدي تحسين الوصول إلى وسائل الربط وتغطية مزيد من أماكن السكن والعمل [26] إلى توسيع النطاق المحتمل وزيادة التدفقات السككية.

(3) تحقيق التكيف الديناميكي. سيجذب تحسين العرض مزيدا من المتنقلين إلى القطار، ويولد حول المحطات دافعا تنمويا قريبا من TOD الحضري. وسيستمر توزيع السكن والعمل مكانيا وزمانيا في التغير، ولذلك ينبغي تحليل تطور الطلب دوريا وتعديل التدابير بصورة ديناميكية.

(4) الابتكار لتحسين الجودة. تعترف الخبرة الدولية تدريجيا بـ«المنفعة الإيجابية للتنقل اليومي» [27]، بوصفه وقتا شخصيا للراحة وفترة انتقال مفيدة [28]. ويمكن لابتكارات تجمع الجودة والتكلفة — مثل مقعد مضمون مقابل زيادة طفيفة في السعر — أن تعطي الأولوية للراحة وتعزز جاذبية القطار.

يشكر المؤلفون لجنة الحزب وحكومة تشونغتشو والجهات الحديدية المحلية على البيانات المقدمة. كما يشكرون تشانغ هانشوانغ، ولي جيا، ووانغ يوجيا، ووانغ قه يانغ، ولي لي، وجيا يونشيانغ، وفنغ شيانغ، وجين يانغ، وتساو جوانجوان على مساهمتهم في المسح والتحليل.

ملاحظات

① تعريف المنطقة الحضرية الحديثة الوارد في «توجيهات اللجنة الوطنية للتنمية والإصلاح بشأن تنمية المناطق الحضرية الحديثة» (Fagai Guihua [2019] رقم 328).

② في عام 2021 أصدرت شنغهاي «آراء التنفيذ لتسريع تخطيط وبناء المدن الجديدة خلال الخطة الخمسية الرابعة عشرة»؛ وأصدرت بكين «خطة التنفيذ لتعزيز التنمية عالية الجودة للمدن الجديدة في السهل ورفع قدرتها الاستيعابية»؛ وأصدرت تشنغدو عام 2022 «آراء التنفيذ لتحسين وتقوية المركز الحضري والمناطق الجديدة والمدن الجديدة الضاحية واستكمال الوظائف الحضرية».

③ انظر The Paper: «خط جينشان في شنغهاي، أول تشغيل سككي بنمط النقل العام: 85 مليون راكب خلال عشر سنوات»، 28 سبتمبر 2022، https://www.thepaper.cn/newsDetail_forward_20092699.

④ يستند تحديد النطاق إلى نطاق زمني سككي لمدة ساعة، مع تعديله بحسب الحدود الإدارية والرحلات الفعلية. والمعايير الرئيسة هي: سرعة قطار 110 كم/س محسوبة من المسافات بين المحطات والجداول؛ سرعة الربط بالحافلة في تشونغتشو 15 كم/س؛ وسرعة الربط بالمترو في مركز تشنغدو 35 كم/س.

⑤ في قطار CRH6A الشائع الاستخدام، تضم العربة 62 مقعدا وسعتها الاسمية 172 راكبا، وتُحدد السعة الموافقة لمستوى الخدمة المقبول عند 120 راكبا. ويبلغ معدل إشغال المقاعد 100% عند 62 راكبا، ومعدل التحميل 100% عند 120 راكبا، وهو حد الازدحام المقبول. وبين 120 و172 راكبا يتجاوز معدل التحميل 100% ويشير إلى حالة تشبع مفرط شديد.

المراجع

[1] GAO Guoli, QIU Aijun, PAN Zhaoyu, et al. الفهم الموضوعي والدقيق لخصائص نطاق التنقل لمدة ساعة ودوره في توجيه ودعم التنمية المستقرة للمناطق الحضرية الحديثة في الصين [J]. Macroeconomic Management, 2023(1): 26-32.

[2] WANG Guangtao, LI Fen, LIU Xiang, et al. نمط جديد للتحضر في مرحلة التنمية الجديدة: مفهوم المناطق الحضرية الحديثة ومعايير تحديدها [J]. Urban Planning Forum, 2021(2): 15-24.

[3] CHAI Yanwei, ZHANG Xue, SUN Daosheng. تخطيط نطاقات الحياة الحضرية استنادا إلى السلوك المكاني-الزماني: دراسة حالة بكين [J]. Urban Planning Forum, 2015(3): 61-69.

[4] GUO Liang, ZHENG Chaoyang, HUANG Jianzhong, et al. تحسين البنية المكانية للمدن الكبرى استنادا إلى تحديد نطاق التنقل اليومي: دراسة حالة المنطقة المركزية في ووهان [J]. City Planning Review, 2019, 43(10): 43-54.

[5] WU Yimin, LI Wei, DU Liqun, et al. تحديد نطاق التنقل اليومي في بكين وخصائصه وأنماط التنقل العابر للحدود [J]. Planners, 2023, 39(6): 56-62.

[6] PAN Zhaoyu. القضايا الرئيسة في تخطيط وبناء النقل السككي في المناطق الحضرية [J]. Urban Rapid Rail Transit, 2020, 33(6): 7-14.

[7] ZHANG Yan, GU Zhihui, ZHOU Wei. توافق السكن والعمل في المدن الكبرى وتنسيقه مع النقل السككي: دراسة حالة شنتشن [J]. Urban Planning Forum, 2018(1): 99-106.

[8] CHEN Tao, PAN Haixiao. تحليل اقتران النقل السككي الحضري في شنغهاي بتوزيع السكان وفرص العمل [J]. Urban Planning Forum, 2020(5): 32-38.

[9] WANG Chen, CAI Runlin, GENG Jian, et al. نموذج التنمية الموجهة بالنقل العام للنقل السككي في إطار تكامل الشبكات: المضمون والأولويات والمنظومة، دراسة حالة سوتشو [J]. Urban Planning Forum, 2022(S2): 135-141.

[10] WANG Deli. بناء السكك الحديدية الضاحية وإعادة تشكيل نطاق التنقل لمدة ساعة في المدن الضخمة: تحليل تجريبي لنطاق التنقل المحيط ببكين [J]. Urban Problems, 2023(12): 70-77.

[11] JU Xiaoting, DU Fengjiao, XIONG Jian, et al. المدن الجديدة الخمس في شنغهاي: تحسين المنظومة الوظيفية من منظور المنطقة الحضرية العالمية [J]. Urban Planning Forum, 2022(3): 72-79.

[12] ZHANG Hongwei, LI Wenju, REN Chong. دراسة نمط تنظيم نقل الركاب على خط تشنغدو–بوجيانغ [J]. High-Speed Railway Technology, 2011, 2(2): 42-46.

[13] WANG Jing, LAI Yihuan, LIU Jianfeng. منهج للتنبؤ بتدفقات ركاب السكك الحديدية الإقليمية والضاحية استنادا إلى ملفات الركاب [J]. Urban Transport of China, 2023, 21(2): 102-108.

[14] ZHANG Kuo, HUANG Xin, QU Xinmiao, et al. تدابير تشغيل السكك الحديدية بين المدن بنمط النقل العام استنادا إلى تحليل طلب الركاب: دراسة حالة خط بكين–تيانجين [J]. Modern Urban Research, 2017(10): 81-88.

[15] ZOU Minghui. مناقشة نمط التشغيل بنمط النقل العام للسكك الحديدية بين المدن في منطقة الخليج الكبرى قوانغدونغ–هونغ كونغ–ماكاو [J]. Railway Transport and Economy, 2021, 43(4): 91-95.

[16] LI Jie, YANG Liuwen, LI Ouyang. استراتيجيات مبتكرة للتشغيل بنمط النقل العام لخط تشانغشا–تشوتشو–شيانغتان بين المدن [J]. Urban Mass Transit, 2022, 25(10): 1-5.

[17] SUN Rong, TIAN Wo, JIANG Zhiwei. دراسة نظام تذاكر التشغيل بنمط النقل العام لخط شنتشن–هويتشو بين المدن [J]. Railway Standard Design, 2023, 67(3): 17-21.

[18] HU Xiaodan, SONG Yuansheng, CAO Linwei. دراسة نمط إدارة تشغيل قطارات بنمط النقل العام على الخطوط القائمة [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2017, 34(8): 104-108.

[19] GOSTENINA V, MELNIKOV S, SYCHEVA E, et al. تطوير نموذج تحسين لحركة قطارات الضواحي: دراسة حالة إقليم بريانسك في روسيا [J]. Transportation Research Procedia, 2022, 63: 1034-1041.

[20] RAHMAN M, AKTHER S. التنقل بين المدن في المناطق الحضرية: تحليل اختيار وسيلة النقل للمتنقلين إلى دكا من المدن المجاورة [J]. Journal of Urban Planning and Development, 2022, 148(1): 05021060.

[21] SHANTZ A, CASELLO J, WOUDSMA C, et al. فهم العوامل المرتبطة باستخدام سكك الضواحي: دراسة لمرونة الطلب في شبكة قطارات GO Transit [J]. Transportation Research Record, 2022, 2676(8): 131-143.

[22] SHI J, YANG J, YANG L, et al. جدولة القطارات وتخطيط التوقفات الموجهان نحو السلامة في ظل طلب مرن ومتغير زمنيا على خطوط المترو المزدحمة [J]. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 2023, 175: 103136.

[23] ZUO T, WEI H, CHEN N. تعزيز استخدام النقل العام من خلال تحسين إمكانية الوصول في الميل الأول والأخير: دروس مستفادة من نمذجة استخدام المتنقلين للنقل العام [J]. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 2020, 86: 102446.

[24] KUMAGAI J, WAKAMATSU M, MANAGI S. هل يتكيف المتنقلون مع الازدحام داخل عربات القطار؟ [J]. Transportation, 2021, 48: 2357-2399.

[25] VARGHESE V, CHIKARAISHI M, KATO H. تحليل استخدام زمن الرحلة في القطارات المزدحمة باستخدام الاختيارات المنفصلة-المستمرة للمتنقلين في طوكيو، اليابان [J]. Transportation Research Record, 2020, 2674(10): 189-198.

[26] TILAHUN N, THAKURIAH P V, LI M, et al. استخدام النقل العام ورحلة العمل اليومية: تحليل دور قضايا الميل الأخير [J]. Journal of Transport Geography, 2016, 54: 359-368.

[27] OKUBO T, KITANO N, MORIMOTO A. نموذج لاختيار وسيلة النقل في سكك الضواحي باستخدام التعلم المعزز العكسي [J]. Asian Transport Studies, 2022, 8: 100072.

[28] REDMOND L S, MOKHTARIAN P L. المنفعة الإيجابية للتنقل اليومي: نمذجة زمن التنقل المثالي والمقدار النسبي المرغوب من التنقل [J]. Transportation, 2001, 28: 179-205.

النسخة المنقحة: أغسطس 2024

ترجمة بمساعدة الذكاء الاصطناعي