



## UvA-DARE (Digital Academic Repository)

### Dynamic delay management at railways: a Semi-Markovian Decision approach

Al Ibrahim, A.

**Publication date**  
2010

[Link to publication](#)

#### **Citation for published version (APA):**

Al Ibrahim, A. (2010). *Dynamic delay management at railways: a Semi-Markovian Decision approach*. Thela Thesis.

#### **General rights**

It is not permitted to download or to forward/distribute the text or part of it without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), other than for strictly personal, individual use, unless the work is under an open content license (like Creative Commons).

#### **Disclaimer/Complaints regulations**

If you believe that digital publication of certain material infringes any of your rights or (privacy) interests, please let the Library know, stating your reasons. In case of a legitimate complaint, the Library will make the material inaccessible and/or remove it from the website. Please Ask the Library: <https://uba.uva.nl/en/contact>, or a letter to: Library of the University of Amsterdam, Secretariat, Singel 425, 1012 WP Amsterdam, The Netherlands. You will be contacted as soon as possible.

## دينامية حسم إشكالية التضادات ومعالجة التأخيرات في حركة القطارات في شبكة السكك الحديدية

الأطروحة أعدت لنيل شهادة الدكتوراه Ph.D. كلية الاقتصاد والاعمال، جامعة امستردام. مايو ٢٠١٠

عالمياً تُعتبر شبكة السكك الحديدية الهولندية واحده من أشد وأعقد شبكات السكك ازدحاماً. وحيث أن مساحة المملكه الهولنديه من أصغر، أضحي إنتقال الأفراد ونقل البضائع عبر هذه الشبكة الوسيله الفضلى والأولى للمواصلات.

إن جدولة حركة القطارات غالباً ما تُخطط لمديّات قصيره جداً في ما بين قطار والقطار الذي يليه. هذه المديّات لا تتجاوز في غالبيتها ثلاث - أربع دقائق، لذا فإن أي تذبذب أو تأخر لأي قطار من شأنه أن يُؤثر وبسرعه خاطفه على إنتظام سير مجموعه كبيره من القطارات الأخرى. وهذا هو بالذات ما يحدث غالباً، حيث الإحتقان والتأخر في إنطلاق القطارات أضحي يكتسب ظاهرة التكرار اليومي. من الناحيه الاقتصاديه فإن ذلك يعني بدهة هدر متعظم للمال والوقت في أن هذا في حين أن المعلومات المستقاة من جُمله موثقه من التوقعات تشير الى زيادة الطلب على خدمة هذه الشبكة في المستقبل، وهذا يعني بدون مواربه إزدياد حجمها سواء كان ذلك على مستوى نقل الأفراد أو البضائع.

إن إنشاء شبكات سكك حديد جديده يحمل في طياته تكلفه فادحه يتحملها الاقتصاد الهولندي، ناهيك عن أن ذلك يعني الأنتظار لسنوات طويله يحتمها إنجاز بُنى تحتيه جديده لهذه الشبكة.

هذا يعني بدهة أن الأكثر فاعليّة ومردوديّة هو الإرتكان إلى البحث الدؤوب عن تلك الامكانيات المضافه الكامنه في إطار عمل وتشغيل الشبكات الحاليه وفي ظل البنى التحتيه القائمه. يسود الاعتقاد لدى إدارة السكك الحديدية بل ولدى الحكومه الهولنديه أيضاً بأن أسلوب العمل المتبع حالياً غير مؤهل البتّه بالمقياس العلمي الدقيق لولوج المستقبل.

الأمر يتعلق في أن جدول سير القطارات المعمول به حالياً بشكليه الكلاسيكي ألمرن أو بشكله المحتم والمدعو بأهدافه المرسومه لضمان إنسيابه غير متضاده لحركة القطارات من شأنه في المستقبل المنظور أن يفضي إلى تدني مستوى الإستيعاب المروري للقطارات.

كمثال لما نؤول إليه الإشاره إلى أسلوب إعادة تدوير الركاب من قطار إلى قطار آخر موضوع في الجدوله. هذا التدوير أو النقله تؤول لا محاله الى أن تنتظر القطارات بعضها البعض لفته ضاعه مُستخدمةً في ذات الوقت بُني تحته عظيمه التكلفة.

في عام ٢٠٠٨ تبنت الحكومة الهولنديه برنامج أسمى - تكثيف عديد حركة القطارات - (High-Frequency Railway Transport) والهادف إلى زيادة عديد القطارات في محيط المنطقه الأكبر إزدحاماً واهمياً في المملكه الهولنديه والمعروفه بأسم Randstad والتي يشمل قطرها المدن التاليه: امستردام، روتردام، لاهاي وأترخت. المدن المذكوره تتسم بقربها الجغرافي بعضها البعض بالإضافة إلى صفاتها المشتركة في النمو الديموغرافي والاقتصادي. ومن شأن هذا البرنامج من وجهة نظر واضعيه تقريب عمل منظومه السكك الحديدية فيها الى عمل منظومه شبكة المترو حيث يتحرر الراكب نهائياً من التبعية لجدوله حركة القطارات وتأخر مواعيد إنطلاقها. في كلتا الحالتين سيكون متوسط وقت الانتظار للقطار التالي بالنسبه للراكب في حدّه الأدنى. في جوهر الأمر فإن الأفضلية الكبرى لهذا البرنامج تكمن في أنه يُفضي الى إنسيابه وإستيعابه أكبر للشبكه وبالتالي الى رفع عائديتها وربحيته.

بيد أن هذا البرنامج يحمل في طياته مؤشرات نوعيه سلبيه حيث أن قصر المسافات بين إنطلاق القطارات يُؤدي الى تشديد تبعية القطارات بعضها البعض، وبالتالي فإن أي تأخير يحدث في أي عقده يُؤدي الى نشوء حالة تضاد غير مرغوبه البتّه.

بروريل (ProRail) هي المؤسسة الحكومية الهولنديه المالكه القانونيه للبنى التحتية لشبكة السكك الحديدية. وهي بصفتها هذه المكلفه حصراً بضمان العمل الكفئ للشبكه وتطويرها المستقبلي، وهي التي تمنح الإمتياز السنوي لإستخدام هذه البنى التحتية للمؤسسات التي تملك القطارات. بالإضافة إلى ذلك فإن بروريل هي التي تُدير شبكة السكك الحديدية. وهي بصفتها هذه مصدر الأوامر والأرشادات لعمل الشبكه كليه. وفي حالة نشوء حالة تضاد فإن بروريل تتصدى لحلها عبر ما يُعرف بمنظومه إرشادات العمل (TAD). هذه الإرشادات في ذاتها تُمثل وثيقه رسميه مُلزمه لمرشدي القطارات وهي بالتالي تتحكم في المسار اليومي لجدولة حركتها وتراتبية إنطلاقها.

بدهاهً فإن الارشادات هذه إنما تُرسم وفقاً لإحتمالات مخططه مُسبقاً لنشوء الأختناقات أو حالات التضاد في حركة القطارات وهي التي توغز في هذه الحاله بوضع الترابتيه أو الأولويه

المناسبه لإنطلاق القطارات.

بيد أن البحث الذي قمنا به أكد للأسف أن هذه الإرشادات لم يكن بمقدورها أن تتسع أو تتنبأ بكل حالات الاختناقات أو التضادات الممكنة الحدوث في اية لحظة. هذا يُفضي لا محاله الى أن المرشد المنظم يعمد أنذ الى حلول تنبع في حقيقتها من إستلهاام خبرته الشخصية في هذا المجال لا اكثر. وبالتالي، فإن مصير حركة المئات من الركاب يكون معلقاً على حالة إحتمال التوافق بين الصواب والخطأ. وهو أمر بعيد البتة عن وجوب الحل العلمي لهذه المعضلة.

في اطروحتنا موضوع البحث تمّ الركون، ولأول مره الى إمكانية الاستفاده من التطبيقات الرياضيه لنظرية ماركوف في إدارة العمليات المتتاليه (Semi Markovian Decision Processes) بهدف حل معضلة حالات التضاد في حركة القطارات. هذه النظرية وجدت تطبيقات مُوفّقه لها في شتى فروع الاقتصاد، بيد أنها قط لم تستخدم في مجال السكك الحديد وحركة القطارات ومعالجة حالات التضاد بها.

في الجوهر فإن المحور الأراس لهذه النظرية يكمن على المستوى النظري في أنها تحاول الالمام بتلك المنظومه حيث الديناميه والتذبذب في أن يلعبان الدور المركزي. إن قطاع السكك الحديد، بهذا المعنى وفي هذا الاطار بالذات، هو في طبيعته ينتسب الى هذه المنظومه اعلاه. الديناميه اللحظويه لهذا القطاع من ناحية وخضوعه لمجمل تأثيرات عشوائيه غير مُحُظطه وغير مُتوقعه يُمثلان السمتين الرئيسيتين له.

إن اطروحتنا موضوع البحث تتصدى لسؤالين مركزيين، الأول يحمل طابعاً نظرياً ويهتم بالإحاطه وبإمكانية إخضاع شبكة السكك الحديد الهولنديه كموضوع بحث عموماً وحركة التضادات في سير القطارات على وجه الخصوص لمختبر بحث النظرية الماركوفيه. بعبارة أخرى الإجابة على سؤال: هل بوسع هذه النظرية حقاً وضع آليات مُمكنة التطبيق لنمذجة عمل شبكة السكك الحديد وحل إشكالية الاختناقات والتأخر في إنطلاق القطارات، سواء في ظل الوضع الراهن أو في المستقبل.

الثاني فإن صلب موضوعه ألتناحيه ألتطبيقيه، بعبارة أخرى الإجابة على سؤال: هل بإمكان ألتنمؤذج الرياضيه المرتكز على نظرية ماركوف أن يطبق عملياً، وإذا كان الجواب بالإيجاب فهل بوسع حقا طرح حلول وبدائل عمليه بنوعيات أكفاً لتفكيك إشكالية ألتضادات القائمه في شبكة السكك الحديد الهولنديه والتي تعتمد في عملها وحلولها في الوقت الراهن على إرشادات

· TAD

للإجابة على هذين السؤالين، من الضروري أن يكون نتاج هذا ألتنمؤذج وضع ارشادات جديده بوسعها ليس حل إشكالية التضادات على المستوى النظري حسب بل وإمكانية تطبيقها

بسهولة في الواقع العملي. بالإضافة الى ذلك أن تكون هذه الارشادات محملة بقواعد واضحه وقابله للفهم من لدن مرشدي منظومة القطارات المكون إليهم تطبيقها.

تمثل تلك التقاطعات التي تلتقي فيها القطارات الآتية من نقاط مختلفه واسطة الدعم المتبادل بين القطارات ومركز التأخرات في حركتها في أن. في هذه الحاله فإن الذي يحدث أنه يتم ترحيل هذه التأخيرات من قطار الى قطار آخر ذي الوجهه البعيده، حيث ينشأ وضع قوامه أن القطارات ذات الوجهة الاسرع لا يمكنها تخطي مثيلاتها ذات الوجهة الابطأ، وهي مُضطره بذلك الى تتبعها وتخلفها لمسافات بعيده.

إن اهتمام هذه الاطروحه مُنصب بالضبط على دراسة إشكالية هذه التقاطعات التي تنشأ فيها حالات التضاد.

في الفصول الاولى من الاطروحة تمّ التركيز على دراسة نموذج لتلك التقاطعات التي تحمل طابعاً سهلاً حيث تلتقي فيها القطارات الآتية من محورين حسب. وفي الفصول اللاحقه فإن هذا النموذج يتعرض للتطوير على حساب توسيع طاقته الاستيعابيه. هذا يعني أن تلك التقاطعات الاشد تعقيداً وازدحاماً تضحى موضع إمكانية عملية لإخضاعها لنموذج أعم.

إننا هنا بصدد تعميم النموذج وتوسيع استخدامه في تلك التقاطعات التي تُحمّل بأكثر من إتجاهين متوازيين ومتقاطعين، وايضاً تلك التي غالباً ما تتجه القطارات في مابعد تخطيها الى محاور تتباين تماماً في مآلها.

نتاج النموذج هو ارشادات نسميها: دليل SMD. هذا الدليل أسوةً بإرشادات TAD يُحمّل في مضمونه بتراتبية مُنظمة لسير القطارات وهي واجبة التطبيق في حالات نشوء التضاد.

ومن أجل التأكيد من نوعية نتائج التطبيق العملي لدليل SMD ومقارنتها بنتائج تطبيق إرشادات ودلائل أخرى عمدنا إلى استخدام اسلوب التمثل الكمبيوترى - المحاكاة بالحاسوب - (Computer Simulation)<sup>1</sup>. هذا الأسلوب يمنح إمكانية إستبدال أو إستخلاف أحواله الواقعيه للشبكة بنموذج تمثلي (محاكاة) بأقصى قدر من التأكيد والمضبوطيه الذي تسمح به منظومة حركه القطارات.

<sup>1</sup>Computer Simulation: التمثل " المحاكاة " هي عملية تقليد سلوك نظام ما بإستخدام الوسائل المتاحة في نظام آخر، حيث يقلد النظام الاساسي بكل خصائصه في النظام البديل " المحاكي " . أنظر: Eekles, J. Product design fundamentals and methods, John Wiley and Sons, UK, 1995, p.233. ترجمة هذا المصطلح إلى التمثل الكمبيوترى وليس الى المحاكاة بالحاسوب كما ترجمه مثلا الأستاذ الدكتور احمد وحيد مصطفى في كتابه (مدخل في التصميم والمعرفه الصادر عام ٢٠٠٩ وكذلك الاستاذ عبد الحليم فتح الباب سيد في كتابه - الكمبيوتر في التعليم - عالم الكتب، القايره ١٩٩٥)

في إطار هذا الاستخدام التمثلي، فإن فحص سير القطارات المازة طوال سنوات عدة عبر تقاطعات معينة سيكون ممكناً خلال ثواني حسب.

وبالتالي فعند نشوء حالات التضاد بين سير القطارات فإن إعادة تأهيل الحركة لا تتجاوز جزء من الثانية، خلالها يُبحث الاجراء المناسب المتنبأ به مُسبقاً من قبل دليل SMD وتطبيقه حالاً في إطار ذلك الجزء في الثانية.

وبفضل تعميم النموذج أضحى مقارنة نوعية دليل SMD ممكنة ليس حسب مع دليل TAD بل وأيضاً مع هكذا دلائل معروفه سواء كان على مستوى النظرية أو التطبيق من مثل FCFS (First Come First Served)<sup>2</sup>، أو تلك التي تمنح الأفضليته في المرور وفقاً لطرز القطار<sup>3</sup> أو وفقاً لحالة تأخره<sup>4</sup>.

إن جميع الدلائل المشار إليها اعلاه تُحاكى لعدد من السنين، خلالها يتم حصر جميع حالات التضاد وتأخر القطارات. وفي نهاية المطاف فإن البقاء للأصلح، بمعنى ذلك النموذج الذي يتضمن الامكانيه الأكبر لانهاء حالات التضاد، والذي بإمكانه أكثر من غيره الحيلولة دون حدوث حالات التأخر.

إن النتائج التي توصلنا إليها في الأطروحة تُشير الى أن دليل SMD المقترح من قبلنا بإمكانه فعلاً أن يتصدى بفاعليه لتفكيك حالات التضاد مُختصراً بما لا يُقاس حالات التأخر. دليل SMD يتفوق على جُمله غالبه من الأدلائل على الرغم من أننا توصلنا في بحثنا الى أن بعض هذه الدلائل في حالات مُعينة تتسم بخصائص مُماثله تقريباً لدليل SMD. وفي مُعايينه دؤوبه لهذه الدلائل وجدنا أن نوعيتها تتسم بتذبذب كبير من حالة الى أخرى. تأسيساً على ذلك، فانه على الصعيد العملي لم تتمخض هذه الدلائل دوماً على نتائج إيجابيه مرغوبه، في حين أن دليل SMD بفضل ديناميته خصائصه أثبت في جميع الحالات أهليته وجدوى نتائجه.

هذه النتائج منحتنا الحجة لتوسيع مجال البحث من إطار موضعي أحادي لكيفا يشمل تلك التقاطعات والنقاط في جمله من مناطق تضاد على المستوى المحلي ثم على مستوى شبكي أوسع. في هذا الاطار فإن دليل SMD المُنتج في الأطروحة في طبيعته وسيمائه بوسعه إعطاء حلول عمليه لحالات التضاد على المستوى المحلي، بيد أن النتائج المستخلصة من عملية التمثيل (المحاكاة)

منظومة إرشادات تعطي الأفضليه لتخطي حالات التضاد في التقاطعات للقطار الواصل مبكراً، أي وفق FCFS<sup>2</sup> نظام الطابور.

الأفضليه هنا تعطي للقطار السريع يليه قطار الضواحي تم قطار البضائع<sup>3</sup>

الأفضليه في هذه الحاله للقطار الذي مضى على تأخره الوقت الأطول<sup>4</sup>

على هذا المستوى تُعاین في إطار الشبكة كلها. بالارتباط مع ذلك تم وضع ثلاث شبكات ذات تعقيد مُتدرّج. في ذات الوقت فإن الشبكة الأخرى منها تضمنت مؤشرات كثيرة مماثلة لتلك الموجودة في الشبكات الواقعية.

دليل SMD أثبت فاعليته في أي من هذه الشبكات، ومُعظماً بذات الوقت من نوعية الحلول للتضادات في أعقد الحالات لأي من الشبكات الثلاث المذكورة.

النتائج المستقاة من الشبكات النظرية هذه أظهرت بجلاء مُستقبلية دليل SMD وفتحت الآفاق لمعاينة جدوى تطبيقه في الشبكات الواقعية.

إن ProRail إقترحت إرسال نتائج هذا البحث من أجل معاينة جدوى تطبيقه في أكثر شبكات السكك الحديدية الهولندية تحميلاً وهي تقع في مُحيط مدينتي أوترخت - خاودا، بهدف حل إشكالية تضادات القطارات فيها.

إن هذا المقطع ما بين مدينتي أوترخت - خاودا في نطاق Randstad يُعتبر من أكثف فواصل السكك الحديدية الهولندية إزدحاماً وتحميلاً، وهو يتضمن المحطة الأكبر سعةً وتحميلاً وهي أوترخت حيث تلتقي القطارات الآتية من مناطق شتى، وحيث تُتاح للركاب هنا الامكانية لتغيير القطارات الى وجهات عده بما فيها الى الخارج.

بالاضافة الى ذلك فإن فاصل أوترخت - خاودا يُستخدم من لدن قطارات البضائع القادمة والرائحة من والى ميناء روتردام والمانيا. وباعتباره أحد اكبر الموانئ العالمية فإن روتردام يُمثل الفاصل الأكثر تحميلاً لقطارات البضائع.

إن الهدف الأساس من بحثنا لهذا الفاصل يكمن في فحص تطبيق إرشادات TAD المعمول بها لحد الآن من قبل ProRail لحل إشكالات التضاد واختبار جدوى إحلال إرشادات دليل SMD ، هادفين من ذلك تحقيق فاعليه ومردوديه اكبر لحل التضادات.

خلال البحث تم عرض طريقة عمل ضروريه لنمذجة هكذا فاصل على غاية من التعقيد الهيكلية. بالاضافة الى ذلك وبفضل استخدام أسلوب النمذجة، فإن النتائج المستقاة من استخدام دليل SMD ، تم مقارنتها بمشيلاتها في دليل TAD وغيرها من الأدلائ.

النتائج المُستحصّله أكدت بشكل قاطع أفضلية دليل SMD الذي وضعناه بالمقاييسه مع دليل TAD المعمول به. حيث إرتفعت نسبة الدقة في مواعيد إنطلاق وإياب القطارات من وإلى اوترخت - خاودا. بيد أن تحديد هذه النسبه مرهونٌ بداهةً لحالة التطبيق العملي.

نتائج البحث في أطروحتنا هذه برهنت وأكدت جدوى مُستقبلية المُدخلات القائم على أسس النظرية الماركوفيه. إن نموذج SMD والقائم على أساس هذه النظرية، حقق نتائج جيدة

سواءً على مستوى الشبكة المستقبلي للسكك الحديد والتي ستتحرر من أسلوب الجدوله الصارمه بل وأيضاً على مُستوى الشبكة الحاليه.  
في إطار مُستقبل هذا البرنامج فاننا نقترح مُعاينة نشر تطبيقات موسعه لهذه النظرية من أجل طرح حلول لإشكالية التضادات في شبكة السكك الحديد وإختبار فاعلية هذه المدخلات على مُستوى منظومات أكثر عمقاً وفضاءً مُرجحين تطبيقها على المستوى الوطني بإعتماد النمذجة بطريقة التمثّل.