



# عدو الخير

تقدير كلفة الانتظار إلى حين تطوير  
مركبات آلية شبه مثالية

نيدي كالرا (Nidhi Kalra) وديفيد ج. غروفز (David G. Groves)

# عدو الخير

تقدير كلفة الانتظار إلى حين تطوير  
مركبات آلية شبه مثالية

نيدي كالرا (Nidhi Kalra) وديفيد ج. غروفز (David G. Groves)

للحصول على مزيدٍ من المعلومات حول هذا المنشور، الرجاء زيارة الموقع الإلكتروني:  
www.rand.org/t/RR2150

نشرته مؤسسة RAND ، سانتا مونيكا، كاليفورنيا  
© حقوق الطبع والنشر لعام 2017 محفوظة لصالح مؤسسة RAND  
®RAND علامة تجارية مسجلة.

صورة الغلاف: AP Photo / جين ج. بوسكار (Gene J. Puskar)

## حقوق الطبع والنشر الإلكتروني محدود

هذه الوثيقة والعلامة (العلامات) التجارية الواردة فيها محمية بموجب القانون. يتوفر هذا التمثيل للملكية الفكرية الخاصة بمؤسسة RAND للاستخدام لأغراض غير تجارية حصريًا. يحظر النشر غير المصرح به لهذا المنشور عبر الإنترنت. يصرح بنسخ هذه الوثيقة للاستخدام الشخصي فقط، شريطة أن تظل مكتملة بدون إجراء أي تعديل عليها. يلزم الحصول على تصريح من مؤسسة RAND لإعادة إنتاج أو إعادة استخدام أي من الوثائق البحثية الخاصة بنا، بأي شكل كان، لأغراض تجارية. للمزيد من المعلومات حول تصاريح إعادة الطباعة والربط على المواقع الإلكترونية، الرجاء زيارة صفحة التصاريح في موقعنا الإلكتروني: [www.rand.org/pubs/permissions.html](http://www.rand.org/pubs/permissions.html)

مؤسسة RAND مؤسسة بحثية تعدّ حلولًا لتحديات السياسات العامة للمساهمة في جعل المجتمعات من حول العالم أكثر أمانًا، وسلامة، وصحة وازدهارًا. مؤسسة RAND مؤسسة غير ربحية، حيادية وملتزمة بالصالح العام.

لا تعكس منشورات مؤسسة RAND بالضرورة آراء الداعمين ورعاة الأبحاث الذين يتعاملون معها.

## ادعم مؤسسة RAND

وتبرع بمساهمة خيرية مغفأة من الضريبة على الموقع الإلكتروني التالي:  
[www.rand.org/giving/contribute](http://www.rand.org/giving/contribute)

[www.rand.org](http://www.rand.org)

لمؤسسة RAND تاريخ عريق في الأبحاث حول الأنظمة الذكية. فمنذ خمسينيات القرن المنصرم، ومن خلال عملها على أجهزة الكمبيوتر التي تلعب الشطرنج وبرنامج الذكاء الاصطناعي (Logic Theory Machine)، خرجت المؤسسة بدراسات موضوعية قائمة على الأدلة لإلقاء الضوء على الطريقة التي يمكن بها للمجتمع الاستفادة من منافع التقنيات الذكية التحويلية وإدارة مخاطرها. ويأتي عمل مؤسسة RAND في مجال المركبات ذاتية القيادة والآلية ليستند إلى هذه الأسس المتينة. وغاص مقال صدر عام 2009 بعنوان "مسؤولية وتنظيم تقنيات المركبات ذاتية القيادة" (Lia-bility and Regulation of Autonomous Vehicle Technologies) والتقارير الرئيسي "تقنية المركبات ذاتية القيادة: دليل لصنّاع السياسات" (*Autonomous Vehicle Technology: A Guide for Policymakers*) الصادر عام 2014 (والمنقح عام 2016) في مجال السياسات المحيطة بهذه التقنيات. وفيما تقترب هذه الأخيرة من حالة الجهوزية، يواجه صنّاع السياسات اليوم أسئلة ملحة حول كيفية تحديد سلامة المركبات عالية الآلية وكم يجب أن تكون آمنة قبل أن يتم طرحها أمام المستهلك. وقام تقرير صدر عام 2016 بعنوان: "القيادة إلى برّ الأمان: ما المسافة التي يتعين على المركبات ذاتية القيادة اجتيازها ليتم إثبات موثوقيتها؟" (*Driving to Safety: How Many Miles of Driving Would It Take to Demonstrate Autonomous Vehicle Reliability?*) بتناول السؤال الأول المذكور، مبيناً أنّ اختبار قيادة هذه المركبات ليس طريقةً مجديةً لإثبات أداء هذه المركبات قبل نشرها. والآن، تأتي دراسة عام 2017 هذه لتجيب بشكل مباشر على السؤال الثاني عبر تقييم النتائج المتعلقة بالسلامة بموجب مختلف السياسات التي تنظم إدخال المركبات عالية الآلية. وتكتملها دراسة مؤسسة RAND بعنوان "نموذج سلامة المركبات الآلية: توثيق النموذج" (*Model of Automated Vehicle Safety (MAVS): Model Documentation*) التي تصف بالتفصيل النموذج المستخدم في التحليل الوارد في هذه الدراسة.

### "العلوم والتقنية والسياسات" في مؤسسة RAND

تم إجراء هذه الدراسة ضمن برنامج "العلوم والتقنية والسياسات" (Science, Technology, and Policy program) لدى مؤسسة RAND الذي يركز في المقام الأول على دور التطوير العلمي والابتكار التقني في السلوك البشري وصناعة القرارات العالمية والإقليمية في ما يتصل بالعلوم والتقنية والتأثيرات المتزامنة التي تحدثها العلوم والتقنية على تحليل السياسات واختيارها.

ويندرج هذا البرنامج ضمن قسم "العدالة والبنية التحتية والبيئة" (Justice, Infrastructure, and Environment) في مؤسسة RAND المخصص لتحسين صنع السياسات والقرارات في طيفٍ واسع من مجالات السياسات، بما فيها العدالة المدنية والجنائية وتطوير البنية التحتية وتمويلها والسياسات البيئية والتخطيط للمواصلات وتقنياتها والهجرة وحماية الحدود والسلامة العامة والمهنية وسياسات الطاقة وسياسات العلوم والابتكار والفضاء والاتصالات.

خلال إعداد هذه الدراسة ولدى نشرها، كان زوج نيدي كالرا (Nidhi Kalra) -أحد مؤلفي هذا التقرير- المؤسس الشريك ورئيس شركة "نورو" (Nuro)، وهي شركة ناشئة تُعنى بالتعلم الآلي والروبوتات وتعمل على تطوير المركبات ذاتية القيادة. وعمل في السابق كمهندس رئيسي لمشروع سيارة "جوجل" (Google) ذاتية القيادة. إلا أنه لم يكن لا لزوج كالرا ولا لأي من الشركات التي عمل فيها أي تأثير على هذه الدراسة.

ويجدر إرسال الأسئلة أو التعليقات حول هذه الدراسة إلى قائدة المشروع نيدي كالرا عبر البريد الإلكتروني إلى (Nidhi\_Kalra@rand.org). وللحصول على المزيد من المعلومات حول برنامج "العلوم والتقنية والسياسات" (Science, Technology, and Policy) في مؤسسة RAND، يرجى زيارة موقع [www.rand.org/jie/stp](http://www.rand.org/jie/stp) أو التواصل مع مدير البرنامج عبر البريد الإلكتروني على [stp@rand.org](mailto:stp@rand.org).

## مشروع RAND Ventures

إنّ مؤسسة RAND منظمة بحثية تطوّر الحلول للتحديات المتعلقة بالسياسات العامة من أجل المساهمة في تعزيز سلامة المجتمعات المحلية حول العالم وأمنها وصحتها وازدهارها. مؤسسة RAND غير ربحية وغير حزبية وهي ملتزمة بتحقيق الصالح العام.

ويشكل مشروع (RAND Ventures) أداة للاستثمار في الحلول المتعلقة بالسياسات، إذ تدعم المساهمات الخيرية قدرتنا على التفكير بالمستقبل والتصدي للمواضيع الصعبة التي غالبًا ما تثير الجدل ومشاركة نتائجنا بطرق مبتكرة ومقنعة. وتستند نتائج دراسات RAND وتوصياتها على البيانات والأدلة، وهي بالتالي لا تعكس بالضرورة تفضيلات أو مصالح عملائها أو مانحها أو داعمها في ما يخص السياسات.

وقد تمكنا من إنجاز هذا المشروع جزئيًا بفضل صندوق "زويك إمباكت فاند" (Zwick Impact Fund). فكان تشارلز زويك (Charles Zwick) باحثًا في مؤسسة RAND منذ عام 1956 وحتى عام 1965 واضطلع في ما بعد بدور عضو في مجلس الأمناء وعضو استشاري في مجلس الأمناء. قدّم مشروع RAND Ventures مليون دولار وأوكل المؤسسة مهمة تناول تحديات جديدة وناشئة متعلقة بالسياسات، كما ودعم أفضل المواهب في طور تركيزها على هذه المسائل. ولذا، يستند رئيس المؤسسة في كل عام على هذه المنحة السخية لمساعدة فرق RAND المعنية بالأبحاث والتوعية على توسيع رقعة أثر الدراسات المنجزة.

كما وتلقى هذا المشروع الدعم بجزء منه من الدخل الذي جنته مؤسسة RAND من العمل على دراسات ممولة من الداعمين ومن المساهمات السخية من "المجلس الاستشاري لقسم العدالة والبنية التحتية والبيئة" (Justice, Infrastructure, and Environment Advisory Board).

iii.....	تمهيد
vii.....	الأشكال والجداول
i.....	ملخص
xi.....	شكر وعرfan
xiii.....	الاختصارات

### الفصل الأول

1.....	المقدمة
--------	---------

### الفصل الثاني

5.....	التعريفات والأعمال السابقة
5.....	ما هي المركبات عالية الآلية وما هي المركبات غير عالية الآلية؟
7.....	كيف يتم تقييم سلامة الطرقات المستقبلية في الدراسات السابقة؟

### الفصل الثالث

9.....	المنهجيات
9.....	لمحة عامة حول عملية صنع القرار المتينة (RDM)
11.....	لمحة عامة حول النموذج والتصميم التجريبي
13.....	تعريف سياسات إدخال المركبات عالية الآلية إلى السوق
14.....	مراعاة العوامل غير المؤكدة في سيناريو مستقبلي أساسي بدون مركبات عالية الآلية
15.....	مراعاة العوامل غير المؤكدة في ظل سياسة Improve10
17.....	مراعاة العوامل غير المؤكدة في ظل سياستي Improve75 و Improve90

### الفصل الرابع

19.....	النتائج التحليلية
	في أي ظروف تقوم كل من السياسات بإنتفاذ أكبر عدد من الأرواح على المدى القصير وما هو عدد الأرواح التي سيتم إنقاذها؟
19.....	

في أي ظروف تقوم كل من السياسات بإنقاذ أكبر عدد من الأرواح على المدى الطويل وما هو عدد الأرواح التي سيتم إنقاذها؟ ..... 26.....

#### الفصل الخامس

29..... **تداعيات السياسات والاستنتاجات** .....

إلام تشير الأدلة حول الظروف التي تؤدي إلى دفع ثمن ضئيل نتيجة انتظار تقنيات أكثر أماناً

بأضعاف من قيادة السائق البشري؟ ..... 30.....

31.. ما الذي يعنيه ذلك بالنسبة إلى سياسات طرح المركبات عالية الألية لاستخدام المستهلك؟

33 ..... **المراجع** .....

### الأشكال

- 3.1 مدخلات ومخرجات نموذج MAVS ..... 11
- 4.1 الفرق الإجمالي في العدد التراكمي للأرواح المنقذة على مدى 15 عامًا في 500 حالة ... 20
- 4.2 الفرق بين Improve10 و Improve75 من حيث العدد التراكمي للوفيات على مدى 15 عامًا بحسب عدد السنوات المتبقية حتى التطبيق الكامل لسياسة
- 21..... Improve10
- 4.3 العوامل التي تسفر عن عدد تراكمي أدنى للوفيات بموجب Improve75 مقارنةً
- 22..... Improve10 على مدى 15 عامًا
- 4.4 المسافة المقطوعة سنويًا في الحالة 117 ..... 24
- 4.5 تحسين معدل الوفيات في الحالة 117 ..... 24
- 4.6 العدد السنوي للوفيات في الحالة 117 ..... 25
- 4.7 الفرق الإجمالي ما بين Improve10 و Improve75 من حيث العدد التراكمي
- 26..... للأرواح المنقذة على مدى 30 عامًا في 500 حالة
- 4.8 الفروقات ما بين Improve10 و Improve75 أو Improve90 من حيث العدد
- 27..... التراكمي للوفيات على مدى 30 عامًا نظرًا إلى وضعين

### الجداول

- 2.1 مستويات أتمتة القيادة بحسب جمعية مهندسي السيارات
- 6..... الدولية (SAE International)
- 3.1 ملخص التصميم التجريبي ..... 12
- 4.1 قيم المعايير غير المؤكدة في الحالة 117 ..... 23





ينظر الكثيرون حاليًا في احتمال استخدام المركبات عالية الآلية (HAVs)، أي المركبات القادرة على قيادة ذاتها طوال الوقت أو لجزءٍ منه، للتخفيف من أزمة الصحة العامة التي تشكلها حوادث السير. لكن السؤال الأساسي الذي يطرح نفسه في قطاع المواصلات ولدى صناعات السياسات كما لدى عامة الناس هو: كم يجب أن تكون المركبات عالية الآلية آمنة قبل أن يُسمح بطرحها على الطرقات أمام المستهلك؟ من وجهة نظر منفعية، يبدو من المعقول أن يُسمح بالمركبات عالية الآلية على الطرقات الأمريكية حالما يُثبت أنها أكثر أمانًا من السائق البشري العادي، لكي يبدأ عدد الأرواح التي تلقى حتفها على الطرقات بالانخفاض في أسرع وقت ممكن. إنما بموجب مثل هذه السياسة، ستتسبب المركبات عالية الآلية أيضًا بحوادث وإصابات ووفيات كثيرة، ولو كانت أقل من نظيراتها التي يقودها البشر. وقد لا يكون ذلك مقبولًا بالنسبة إلى المجتمع، والبعض يقول إنه يجدر بالتقنية أن تكون أكثر أمانًا بكثير أو ربما شبه مثالية قبل أن يُسمح بالمركبات عالية الآلية على الطرقات. ومع ذلك، فانتظار تطوير مركبات عالية الآلية أكثر أمانًا بأضعاف من السائق البشري يفوت فرصًا جمة لإنقاذ الأرواح. وهذا بالضبط خير مثال على السماح للكمال بأن يكون عدو الخير.

ويعكس عدم التوافق على التوقيت المناسب لإدخال المركبات عالية الآلية إلى السوق اختلافًا في القيم والمعتقدات في ما يخص البشر مقابل الآلات، إلا أنه يمكن دعم هذه القيم والمعتقدات بالعلم والأدلة. وفي هذه الدراسة، نسعى إلى توفير هذه الأدلة عبر الإجابة على سؤال: كم يجب أن تكون المركبات عالية الآلية آمنة قبل أن يُسمح بإدخالها إلى السوق؟ وقد لجأنا إلى نموذج سلامة المركبات الآلية (MAVS) الخاص بمؤسسة RAND (كالرا Kalra) وغروفز (Groves)، (2017) لمقارنة عدد الوفيات الناجمة عن حوادث السير على مرّ عدة عقود في ظل (1) سياسة تسمح بطرح المركبات عالية الآلية أمام المستهلك عندما تصبح سلامتها أعلى بـ10 في المئة فقط من سلامة قيادة السائق البشري العادي (ونسبتي هذا الخيار Improve10) و(2) سياسة لا تسمح بطرح المركبات عالية الآلية أمام المستهلك إلا عندما تصبح سلامتها أعلى بـ75 في المئة أو 90 في المئة من سلامة قيادة السائق البشري العادي (ونسبتي هذين الخيارين Improve75 و Improve90 على التوالي). إلا أن التنبؤ بدقة بنتائج السلامة أمرٌ محفوف بالمضاعفات بما أنه من المستحيل التنبؤ بالعوامل التي ستطغى على سلامة الطرقات في العقود القادمة نظرًا إلى الطبيعة المفاجئة للتقنية. لذا نستخدم أساليب صنع قرارات في ظل ظروف غير مؤكدة للغاية، وبخاصة "عملية صنع القرار المتينة" (Robust Decision Making)، من أجل تقييم كل سياسة من خلال مجموعة من مئات الظروف المستقبلية الممكنة واستخدام النتائج لطرح ثلاثة أسئلة والإجابة عليها.

أولاً، في ظل أي ظروف يمكن إنقاذ عدد أكبر من الأرواح في كل سياسة على المدى القصير والطويل، وما هو عدد الأرواح التي سيتم إنقاذها؟ وجدنا أنه على المدى القصير (أي 15 عامًا)،

يتم إنقاذ عدد تراكمي أكبر من الأرواح في سياسة Improve10 الأقل صرامة مقارنةً بالسياستين Improve75 و Improve90 الأكثر صرامة في كافة الظروف تقريبًا، ويمكن لعدد الأرواح المنقذة تلك أن تكون كبيرة - فتتراوح بين عشرات آلاف ومئات آلاف الأرواح. ويبلغ العدد ذروته عندما يتم استخدام المركبات عالية الآلية بموجب سياسة Improve10 بسرعة. ولا تقوم سياسة Improve75 أو Improve90 بإنقاذ عدد أكبر من الأرواح إلا عندما تؤدي المركبات عالية الآلية المستحدثة في إطار Improve10 إلى زيادة كبيرة في المسافة التي يتم عبورها بهذه السيارات ولا يقابلها انخفاض سريع في معدل الوفيات الناجمة عن حوادث السير بالمركبات عالية الآلية. ولكن حتى في ظل هذه الظروف، يبقى عدد الأرواح المنقذة على المدى القصير في ظل السياسات الأكثر صرامة صغيرًا نسبيًا (حيث يبلغ حدّه الأقصى قرابة 3 آلاف شخصًا بشكل تراكمي) ويختفي مع مرور الوقت في حين تستمر معدلات الوفيات الناجمة عن حوادث السير بالمركبات عالية الآلية بالانخفاض بموجب سياسة Improve10.

أما على المدى الطويل (أي 30 عامًا)، فيمكن إنقاذ عدد أكبر من الأرواح بشكل تراكمي بموجب سياسة Improve10 مقارنةً بسياسة Improve75 أو Improve90 في ظل مجموعات الظروف كلها التي نظرنا فيها، ويمكن لعدد الأرواح المنقذة هذا أن يكون مرتفعًا للغاية، بحيث يصل في بعض الحالات إلى ما يزيد عن نصف مليون نسمة. ويبلغ هذا العدد ذروته عندما يتم تأخير إدخال المركبات عالية الآلية إلى السوق بموجب Improve75 أو Improve90 بشكل كبير بعد إدخالها بموجب Improve10 لأن (1) مسافة القيادة اللازمة في العالم الفعلي لتحقيق تحسينات كبيرة في سلامة المركبات عالية الآلية كبيرة ولأنه (2) لا يمكن تحقيق التحسين عينه بالسرعة عينها في المختبر أو في إعدادات تحاكي الواقع. وتبين أن عدد الأرواح المنقذة يكون الأدنى عندما تكون الظروف هي عكس ذلك.

ثانيًا، إلام تشير الأدلة في ما يخص الظروف التي تؤدي إلى تدني الكلفة جراء انتظار تطوير تقنيات أكثر أمانًا بأضعاف من قيادة السائق البشري؟ ما من أسباب وجيهة كثيرة للاعتقاد بأن تحسين سلامة المركبات عالية الآلية سيكون سريعًا ويمكن أن يحدث بدون نشر المركبات على نطاق واسع، نظرًا إلى السنوات التي سبق أن تم تكريسها لتطوير المركبات عالية الآلية ونظرًا إلى أن القيادة في العالم الحقيقي أمر أساسي لتحسين هذه التقنية. وبالفعل، ثمة ما يدفع للاعتقاد بأن تحقيق تحسينات كبيرة على مستوى السلامة قد يستغرق وقتًا أكبر وقد يكون صعبًا قبل نشر هذه المركبات.

ثالثًا، ما الذي يعنيه ذلك بالنسبة إلى السياسات التي تنظم عرض المركبات عالية الآلية لاستخدام المستهلك؟ في مجتمع منفعي، يمكن لنتائجنا أن تعني أنه يجدر بصناع السياسات السماح بالمركبات عالية الآلية وبالشركات المطورة نشرها عندما يصبح معدل أمانها أفضل من أمان قيادة السائق البشري العادي. غير أننا لا نعيش في مجتمع منفعي وقد يترتب على رد المجتمع، الذي قد يكون سلبيًا إزاء حوادث المركبات عالية الآلية، انعكاسات عميقة على هذه التقنية. لذا تشير نتائجنا عوضًا عن ذلك إلى أنه على المجتمع، بما فيه الجمهور وصناع السياسات والنظام القضائي وقطاع المواصلات، أن يحقق توازنًا ما بين وقوع الحوادث في المركبات عالية الآلية ووقوعها في المركبات العادية من جهة وقبول كل منهما في المجتمع من جهة أخرى. وبإمكان الأدلة الواردة في هذه الدراسة أن تساعد الجهات المعنية على التوصل إلى متطلبات مشتركة لسلامة المركبات عالية الآلية تثبت أنها تنقذ العدد الأكبر من الأرواح بالإجمال.

## شكر و عرفان

---

نود أن نتوجه بخالص الشكر إلى أنيتا تشاندرا (Anita Chandra) ومارجوري بلومنتال (Marjory Blumenthal) وجيمز أندرسون (James Anderson) على مشورتهم ودعمهم منذ بداية هذا العمل. ونشعر بالامتنان كبير لكونستانتين سماراس (Constantine Samaras) من جامعة كارنيغي ميلون (Carnegie Mellon University) وستيفن شلادوفر (Steven Shladover) من برنامج شركاء تقنيات المواصلات المتقدمة (Partners for Advanced Transportation Technology) في جامعة كاليفورنيا في بركلي (University of California Berkeley) على مراجعاتهم المتعمقة والغنية. فقد استفاد تحليلنا ودراستنا إلى حد كبير من اقتراحاتهم. وأخيرًا، نتوجه بالامتنان إلى تشارلز زويك (Charles Zwick) على دعمه السخي لمؤسسة RAND من خلال هبات زويك إمباكت (Zwick Impact Awards) التي لم نكن سنتمكن بدونها من إنتاج هذه الدراسة وما يتصل بها من مواد.



نظام القيادة الآلية	ADS
مهمة القيادة الديناميكية	DDT
إدارة الطرقات السريعة الفيدرالية	FHWA
مركبة آلية للغاية	HAV
نموذج سلامة المركبات الآلية لدى مؤسسة RAND	MAVS
الإدارة الوطنية لسلامة السير على الطرقات السريعة الأمريكية	NHTSA
مجال التصميم التشغيلي	ODD
عملية صنع القرار المتينة	RDM
المسافة المقطوعة بالمركبة	VMT



تشكل حوادث السير أزمةً في مجال الصحة العامة في الولايات المتحدة والعالم بأسره. ففي عام 2015، لقي 35,092 شخصًا حتفهم في هذه الحوادث في الولايات المتحدة، في زيادة بلغت نسبتها 7.2 في المئة مقارنةً بعام 2014، مع إصابة 2.44 مليون شخص في زيادة بلغت 4.5 في المئة مقارنةً بعام 2014 (وفقًا للإدارة الوطنية لسلامة السير على الطرقات السريعة الأمريكية (NHTSA, 2016a). وكان عام 2016 أفظع بعد، إذ شهد 37,461 حالة وفاة (NHTSA, 2017). ويترتب عن حوادث السير الأمريكية تكاليف اقتصادية واجتماعية تزيد عن 800 مليار دولار في السنة الواحدة (Blincoe et al., 2015). كما أنّ أكثر من 90 في المئة من الحوادث تحصل نتيجة أخطاء ارتكبتها السائق (NHTSA, 2015; Dingus et al., 2016) مثل القيادة بسرعة عالية وسوء تقدير سلوكيات السائقين الآخرين والإلهاء والتعب وتأثير الكحول. من هنا، ينظر الكثيرون حاليًا في خيار نشر المركبات عالية الآلية، أي المركبات ذاتية القيادة طوال الوقت أو لجزءٍ منه، للتخفيف من حدة هذه الأزمة.<sup>1</sup> فمثل هذه المركبات القدرة على القضاء على الكثير من الأخطاء التي غالبًا ما يرتكبها السائق البشري (Anderson et al., 2015; Fagnant and Kockelman, 2016).<sup>2</sup> بدايةً، لا يمكن للمركبات عالية الآلية أن تشمل بتاتًا ولا أن يتشتت انتباهها ولا أن تتعب؛ وهذه العوامل تؤدي دورًا في 29 في المئة، و 10 في المئة و 2.5 في المئة من كافة الحوادث المميتة على التوالي (NHTSA, 2016c; NHTSA, 2016d; NHTSA, 2011).<sup>3</sup> كما ويمكن لأدائها أن يكون أفضل من أداء السائق البشري بسبب نظرها الأفضل (فلا يقع عمياء لديها مثلًا) واتخاذها قرارات أفضل (مثل التخطيط بشكل أدق لخطوات القيادة المعقدة مثل تبديل الخط أثناء القيادة بسرعة عالية) وتنفيذها الأفضل (مثل التحكم بشكل أسرع وأدق بتوجيه المقود واستعمال المكابح وزيادة السرعة). إلا أنه ثمة اعتراف أيضًا بأنه يمكن لهذه المركبات أن تشكل هي أيضًا مخاطر على السلامة. إذ يفرض سوء الأحوال الجوية مثلًا (Kutilla et al., 2016) وبيئات القيادة المعقدة

<sup>1</sup> نستخدم مصطلح "المركبات عالية الآلية" (HAV) للإشارة إلى المركبات التي تندرج في الفئات 3 و4 و5 من تصنيف SAE الدولية (2016) للسيارات الآلية. ونوسّع شرح هذا الموضوع وغيره من التعريفات وناقش الفوارق في المصطلحات في الفصل الثاني.

<sup>2</sup> كما ناقش في الفصل الثاني، إنّ المركبات التي تندرج أليتها ضمن المستويين 1 و2 وفقًا لتصنيفات SAE قد تساعد هي أيضًا على تلافي الكثير من الحوادث التي تحدث نتيجة لأخطاء بشرية. وفي الفصل الثالث، نصف الطريقة التي أدخلنا فيها هذه التغييرات في تحليلنا.

<sup>3</sup> هذا لا يعني أن 41.5 في المئة من كافة الحوادث المميتة ناجمة عن هذه العوامل، لأنّ الحادث قد يشمل أحد هذه العوامل وألا يكون ناجمًا بالكامل عنه ولأنّه يمكن لحادث واحد أن يشمل أكثر من عامل واحد من بين هذه العوامل.



التحديات على المركبات عالية الآلية (Shladover, 2016) تمامًا كما تفرضها على السائقين البشر، وقد يكون أداء المركبات عالية الآلية أسوأ من السائقين البشر في بعض من هذه الحالات (Gomes, 2014). كما وثمة احتمال أن تفرض المركبات عالية الآلية مخاطر تصادم جديدة ومختلفة مثل الحوادث المنسقة أو المتزامنة الناجمة عن الهجمات السيبرانية (Anderson et al., 2016; Petit and Shladover, 2015) أو أن تعاني من أخطاء في الأجهزة أو البرمجيات (Koopman and Wagner, 2017).

ومن الواضح أن المركبات عالية الآلية تنطوي على منافع وأخطار محتملة كبيرة، فقد تخفض المخاطر المألوفة مقارنةً بالسائق البشري، لكنّها ستستحدث في الوقت عينه مخاطر غير مألوفة خاصة بالآلات. وبالتالي، تشكل سلامة المركبات عالية الآلية مصدر قلق رئيسي لقطاع المواصلات وصناع السياسات وعامة الناس على السواء.<sup>4</sup> ويتطلب تقييم السلامة النظر في مسألتين: الأولى هي كيف يجب أن تقاس سلامة المركبات عالية الآلية وما عتبة السلامة التي يجب أن تُفرض لتتم إتاحة المركبات عالية الآلية أمام المستهلك؟ بعبارة أخرى، ما الاختبار الذي يجب أن تخضع له هذه المركبات وما هي علامة نجاحها في هذا الاختبار؟ من شأن الإجابات على هذه الأسئلة أن تساعد صناع السياسات في إعداد اللوائح الملائمة وأن تمكن القطاع من تطوير الاختبارات الملائمة لأداء المركبات عالية الآلية وأن تساعد الجمهور على التحلي بتوقعات أكثر وضوحًا بشأن سلامة المركبات عالية الآلية.

في الوقت الحالي، لا يزال كلا السؤالين بلا إجابة. وقد أثبتت دراسات مؤسسة RAND مؤخرًا أن السبيل الوحيد المثبت لاختبار السلامة، ألا وهو قيادة المركبات عالية الآلية في ظروف سير حقيقية ومراقبة أداؤها، يتطلب اجتياز مسافات كبيرة جدًا ليصبح عمليًا قبل استخدامها على نطاق واسع (Kalra and Paddock, 2016). ولكن يتم لحسن الحظ بذل جهود كبيرة لتطوير وسائل بديلة والتحقق منها، بما في ذلك تسريع الاختبار على الطرقات وفي ظروف محاكاة للواقع (Zhao and Peng, 2017; Google Auto LLC, 2016) واختبار الكفاءة السلوكية في المسارات المغلقة وميادين الاختبار (U.S.; Nowakowski et al., 2017; Department of Transportation, 2017). ويشكل مشروع "بيغاسوس" (Pegasus Project) القائم في ألمانيا أحد أبرز الجهود الرامية إلى الاستناد إلى هذه الوسائل وغيرها ودمجها ضمن إطار اختبار وتحقيق واحد (Lemmer, 2017).

وفي الوقت عينه، نحتاج إلى جهود إضافية للإجابة على السؤال الثاني المتعلق بكم يجب أن تكون المركبات عالية الآلية آمنة قبل أن يُسمح بها على الطرقات لاستخدام المستهلك. ويأتي هذا السؤال ليساند جزءًا كبيرًا من الجدل القائم حول كيفية إدخال التقنية واستخدامها ومتى، حرصًا على خفض المخاطر التي قد تنجم عن المركبات عالية الآلية وزيادة منافعها. فيبحث صناع السياسات في الكونغرس الأمريكي مثلًا في إمكانية تنقيح المعايير واللوائح الفيدرالية القائمة التي تحكم السيارات التقليدية، ما من شأنه أن يؤثر في طريقة وتوقيت بيع المركبات عالية الآلية للمستهلكين (U.S. Senate, 2017; Roose, 2017; Fraade-Blanar and Kalra, 2017). ويساور قطاع المركبات عالية الآلية السؤال عينه (Hsu, 2017)، وذلك ليس لاستيفاء التغييرات المحتملة في اللوائح فحسب، بل أيضًا لتلبية توقعات المستهلك والتخفيف من حدة رد الفعل السلبي من الجمهور عندما يقع حادث في نهاية المطاف وإدارة المسائل

<sup>4</sup> عقد الكونغرس الأمريكي مثلًا جلسات استماع عدة حول المركبات الآلية وتشكل سلامتها دومًا نقطة ذات أولوية في البيانات التي يُدلي بها صناع السياسات. يمكن مثلًا مراجعة Walden (2017) و Collins (2016).

المتعلقة بتحمل المسؤولية. وسيحتاج المستهلكون بالطبع إلى اتخاذ قرار حول ما إذا كانوا يتحلون بالثقة الكافية في أداء المركبات عالية الآلية لركوبها، حيث أن الكثير منهم لا يزالون غير متأكدين من الأمر (Abraham et al., 2017).

من وجهة نظر منفعية، يبدو من المعقول أن يُسمح بالمركبات عالية الآلية على الطرقات الأمريكية حالما يُثبت أنها أكثر أماناً من السائق البشري العادي، لكي يبدأ عدد الأرواح التي تلقى حتفها على الطرقات بالانخفاض في أسرع وقت ممكن. إنّما بموجب مثل هذه السياسية، ستتسبب المركبات عالية الآلية أيضًا بحوادث وإصابات ووفيات كثيرة، ولو كانت أقل من نظيراتها التي يقودها البشر. وقد لا يكون ذلك مقبولاً بالنسبة إلى المجتمع. فثمة أبحاث كثيرة تلفت إلى أن استعداد الناس لقبول الخطر الذي تشكله التقنية رهن بعوامل لا ترتبط بالخطر الفعلي فحسب، بل أيضًا بخصائص أخرى (Sjöberg, 2000; Slovic and Peters, 2006; Dietvorst, 2006; Simmons, and Massey, 2014). فتكون المخاطر مقبولةً أكثر مثلاً عندما تكون طوعيةً (ما لن يكون ممكنًا لمستخدمي الطرق الكثر الذين سيتعين عليهم تشارك الطرقات مع المركبات عالية الآلية) وعندما يكون بإمكان الشخص أن يتحكم بالنتائج (وذلك بطبيعته ليس حال المستويات العالية من أتمتة المركبات) (Starr, 1969; Fischhoff et al., 1978; Otway and von Winterfeldt, 1982; Slovic, 1987, 2000; Dietvorst, Simmons, and Massey, 2016).

وثمة وجهة نظر أخرى أيضًا تقول إنّ الناس يتقبلون الأخطاء من سائر الناس لأنهم يتحلون بتعاطف لا يشعرون به تجاه الآلات. وكما يقول جيل برات (Gill Pratt) من معهد أبحاث تويوتا (Toyota Research Institute): "المجتمع يتحمّل قدرًا كبيرًا من الأخطاء البشرية التي تحدث على طرقاتنا. فنحن مجرد بشر في النهاية. ولكن، من جهة أخرى، نتوقع من الآلات أن تؤدي عملًا أفضل بكثير... فلم يبد البشر حتى الآن أي تسامح تجاه الإصابات أو الوفيات التي تتسبب بها الأخطاء في الآلات" (Pratt, 2017). ومع ذلك، فانتظار تطوير مركبات عالية الآلية شبه مثالية قد يفوّت علينا فرصًا جمّة لإنقاذ الأرواح. وهذا بالضبط خير مثال على السماح للكامل بأن يكون عدوًا للخير.

إلى ذلك، قد تكون تجربة قيادة هذه المركبات في العالم الحقيقي من أهم الأدوات لتحسين سلامتها، وبالتالي السلامة على الطرقات. وذلك لأنه بإمكان المركبات عالية الآلية، بعكس البشر، أن تتعلم من أخطاء بعضها البعض. فعندما يقترف سائق بشري خطأ ما على الطريق، لا يتعلم سواه في العادة من تلك التجربة ولا يُحسّن أحد سواه عاداته في القيادة ولا يتأثر سائر السائقين. لكنّ تلك ليست حالة المركبات عالية الآلية. إذ يستخدم مطوّرو هذه الأخيرة تجربة قيادة كل من المركبات لتحسين سلامة جميع المركبات عالية الآلية (Musk, 2015). وإنّ خوارزميات تعلم الآلة التي تحيط بنظرة المركبات عالية الآلية وصنعها القرارات وتنفيذها تعتمد إلى حد كبير على خبرة القيادة التي تخوضها لتحسن. وبالتالي، كلما زادت (وتنوَّعت) المسافة التي تجتازها هذه المركبات، زاد احتمال تحسين سلامتها.

ويعكس انعدام التوافق بشأن كم يجب أن تصبح المركبات عالية الآلية آمنة قبل أن يُسمح بها على الطرقات لاستخدام المستهلك اختلافًا في القيم والمعتقدات في ما يخص البشر والآلات. إلا أنه يمكن دعم هذه القيم والمعتقدات بالعلم والأدلة. وفي هذه الدراسة، نسعى إلى توفير هذه الأدلة. وقد لجأنا إلى نموذج MAVS الخاص بمؤسسة RAND (Kalra and Groves, 2017) لاحتساب ومقارنة الوفيات الناجمة عن حوادث السير في ظل (1) سياسة تسمح بنشر المركبات عالية الآلية لاستخدام المستهلك عندما تصبح سلامتها أعلى بـ10 في المئة فقط من سلامة قيادة السائق

البشري العادي (ونسَمي هذا الخيار *Improve10*) و(2) سياسة لا تسمح بنشر المركبات عالية الآلية لاستخدام المستهلك إلا عندما تصبح سلامتها أعلى بـ75 في المئة أو 90 في المئة من سلامة قيادة السائق البشري العادي (ونسَمي هذين الخيارين *Improve75* و *Improve90* على التوالي). ونستخدم نموذج MAVS للإجابة على ثلاثة أسئلة مهمة وهي:

1. في ظل أي ظروف يمكن إنقاذ عدد أكبر من الأرواح في كل من هذه السياسات على المدى القصير والطويل، وكم يبلغ عدد الأرواح التي سيتم إنقاذها؟
2. إلام تشير الأدلة في ما يخص الظروف التي تؤدي إلى تدني الكلفة جراء انتظار تطوير تقنيات أكثر أماناً بأضعاف من السائق البشري؟
3. ما الذي يعنيه ذلك بالنسبة إلى السياسات التي تنظم عرض المركبات عالية الآلية لاستخدام المستهلك؟

والأهم من ذلك أنّ الإجابات على هذه الأسئلة تعتمد على ظروف غير مؤكدة تساهم بارتفاع أعداد الوفيات الناجمة عن حوادث السير، بما في ذلك توقيت إطلاق المركبات عالية الآلية في السوق وكم سيستغرق اعتمادها وانتشارها وكيف ستتحسن سلامتها مع الوقت وكيف سيتطور استخدام المركبات غير عالية الآلية وأدائها. ولذلك، عوضاً عن استخدام النموذج للتنبؤ بالوفيات الناجمة عن حوادث السير بموجب مجموعة واحدة من الظروف المستقبلية، قمنا باستخدام أساليب لصنع القرارات في ظل مستوى عالٍ من عدم اليقين، وهو ما نطلق عليه بالتحديد اسم "عملية صنع القرار المتينة" (Robust Decision Making – RDM) (Groves and Lempert; 2007; Lempert et al., 2003) لتقدير أعداد الوفيات الناجمة عن حوادث السير في ظل مجموعة عالية من الظروف والسياسات المستقبلية المحتملة لإطلاق المركبات في السوق. ثم قمنا بتحليل هذه النتائج للإجابة على الأسئلة الثلاثة. وينقسم ما تبقى من هذه الدراسة إلى أربعة فصول، حيث يعرض الفصل الثاني تعريف كل من المركبات عالية الآلية والمركبات غير عالية الآلية، إلى جانب استعراض الدراسات حول توقعات السلامة المستقبلية لهذه المركبات. ويعرض الفصل الثالث نهجنا التحليلي فيما يعرض الفصل الرابع نتائج التحليلات ويصف الفصل الخامس السياسات المترتبة على هذه النتائج ويقدم الاستنتاجات.

نعرض في هذا الفصل تعريفنا للمركبة عالية الآلية (HAV) ونصف كيف تم تقييم سلامة الطرقات في المستقبل بوجود المركبات عالية الآلية وفي غيابها في الدراسات الموجودة.

### ما هي المركبات عالية الآلية وما هي المركبات غير عالية الآلية؟

يصف تصنيف جمعية مهندسي السيارات الدولية (SAE International) لأتمتة قيادة المركبات، والتي يرد تلخيص عنها في الجدول 2.1 مستويات الأتمتة الستة<sup>1</sup>. وبذلك، فالقاسم المشترك بين المستوى 0 (لا أتمتة للقيادة) والمستوى 1 (مساعدة السائق) والمستوى 2 (أتمتة جزئية للقيادة) هو أنّ الشخص الذي يجلس خلف المقود مسؤول عن جزء من مهمة القيادة الديناميكية (DDT) أو كلها، حتى عندما تكون نظم مساعدة السائق مفعلة<sup>2</sup>. والقاسم المشترك بين المستوى 3 (أتمتة القيادة المشروطة) والمستوى 4 (أتمتة القيادة العالية) والمستوى 5 (أتمتة القيادة الكاملة) هو أنّ المركبة مسؤولة عن مهمة القيادة الديناميكية (DDT) كلها عندما يتم تفعيل قدرات القيادة الآلية. ومنذ عام 2017 باتت المركبات التي تندرج في المستويات من 3 إلى 5 متاحة للإيجار أو الشراء، لكنّ الاختبارات التجريبية جارية بحيث يقودها سائقون مدربون على توخي السلامة. ويبين الجدول 2.1 وصف كل مستوى وفقاً لتصنيف جمعية مهندسي السيارات الدولية (SAE International) (بخط مائل) يليه تفسيرنا المبسط.

ونستخدم مصطلح المركبات عالية الآلية (HAVs) للإشارة إلى المركبات التي تندرج ضمن المستويات 3 و4 و5 بما يتوافق مع سياسة المركبات الآلية الفيدرالية (RAND, 2016b).<sup>3</sup> ونستخدم مصطلح المركبات غير عالية الآلية للإشارة إلى المركبات التي تندرج ضمن المستويات 0 و1 و2.

<sup>1</sup> لقد تمت صياغة مصطلحات عدة لوصف المجموعة المتنوعة من التقنيات التي تقوم بتحويل قيادة المركبات من البشرية إلى الآلية، مثل مصطلحات "آلية" و"ذاتية القيادة" و"مستقلة" و"بدون سائق". وتستخدم هذه المصطلحات بطرق مختلفة في توجيهات السياسات والدراسات الأكاديمية والإعلام، ويوفر تصنيف جمعية مهندسي السيارات الدولية (SAE International) نقاشاً مفيداً للاختلافات بين هذه المصطلحات. في الأعمال السابقة (مثل Kalra and Paddock, 2016; Anderson et al., 2016)، كان الباحثون في مؤسسة RAND قد فضلوا مصطلح المركبة ذاتية القيادة، لكننا نستخدم مصطلح "مركبة آلية للغاية" هنا حرصاً على مزيد من الاتساق مع السياسة الفيدرالية (NHTSA, 2016b).

<sup>2</sup> تعرّف جمعية مهندسي السيارات الدولية (SAE International) (2016) مصطلح "مهمة القيادة الديناميكية" (DDT) على أنّها كافة الوظائف التشغيلية والتكتيكية في الوقت الفعلي اللازمة لقيادة السيارة في حركة المرور على الطرقات، بما في ذلك الوظائف الاستراتيجية مثل جدولة الرحلة واختيار الوجهات والنقاط الوسيطة.

<sup>3</sup> تجدر الإشارة إلى أنّه في تصنيف جمعية مهندسي السيارات الدولية (SAE International)، ينطبق مصطلح "آلية للغاية" على مركبات المستوى 4 تحديداً، إلا أنّ سياسة المركبات الآلية الفيدرالية تستخدم مصطلح "المركبات عالية الآلية" على نطاق أوسع.

## الجدول 2.1 مستويات أتمتة القيادة بحسب جمعية مهندسي السيارات الدولية (SAE International)

المستوى	الاسم	الوصف
0	لا أتمتة للقيادة	السائق يؤدي جزءاً من مهمة القيادة الديناميكية أو كلها (مركبات غير آلية للغاية). أداء السائق لكامل مهمة القيادة الديناميكية حتى عندما تكون معززة بأنظمة سلامة ناشطة. يكون الشخص السائق مسؤولاً بالكامل عن القيادة، حتى وإن كانت تتوفر في السيارة مزايا مثل نظام ثبات إلكتروني وكانت هذه المزايا مفعلة.
1	مساعدة السائق	قيام نظام أتمتة القيادة، ضمن مجال تصميم تشغيلي ومستدام (ODD) محدد، بتنفيذ إما مهمة التحكم بحركة المركبة الجانبية أو الطولية في إطار مهمة القيادة الديناميكية (DDT)، (إنما ليس الاثنان في الوقت عينه)، على أن يؤدي السائق ما تبقى من مهمة القيادة الديناميكية. <sup>٥</sup> يكون الشخص السائق مسؤولاً بالكامل عن القيادة ولكن، يمكن أن تساعده ميزة واحدة تعمل على أتمتة توجيه السيارة أو تحديد سرعتها، مثل ميزة الحفاظ على المسار وميزة تثبيت السرعة التكيفي إنما ليس الإثنين معاً.
2	أتمتة جزئية للقيادة	قيام نظام أتمتة القيادة، ضمن مجال تصميم تشغيلي ومستدام (ODD) محدد، بتنفيذ كل من مهمة التحكم بحركة المركبة الجانبية والطولية في إطار مهمة القيادة الديناميكية (DDT)، على أن يؤدي السائق مهام رصد الأغراض والأحداث والاستجابة لها وأن يشرف على نظام أتمتة القيادة. يكون الشخص السائق مسؤولاً بالكامل عن القيادة ولكن، يمكن أن تساعده وظائف تقوم بأتمتة كل من توجيه السيارة وتحديد سرعتها، مثل الحفاظ على المسار وتثبيت السرعة التكيفي؛ ويكون السائق مسؤولاً عن مراقبة البيئة المحيطة والتدخل عند الحاجة.
يؤدي نظام القيادة الآلية كامل مهمة القيادة الديناميكية عند تفعيله (مركبات عالية الآلية)		
3	أتمتة القيادة المشروطة	قيام نظام أتمتة القيادة ضمن مجال تصميم تشغيلي ومستدام (ODD) محدد بتنفيذ كامل مهمة القيادة الديناميكية (DDT) على أن يكون ثمة مستخدم جاهز لتأدية مهمة القيادة الديناميكية وتلقي طلبات التدخل الصادرة عن نظام أتمتة القيادة ورسائل فشل النظام في أداء مهمة القيادة الديناميكية في سائر أنظمة المركبات وأن يكون مستعداً للتصرف بحسب الضرورة. تكون المركبة مسؤولة بالكامل عن القيادة في بعض الظروف، لكنها قد تطلب التدخل السريع من الشخص السائق عند الحاجة.
4	أتمتة القيادة العالية	قيام نظام أتمتة القيادة ضمن مجال تصميم تشغيلي ومستدام (ODD) محدد بتنفيذ كامل مهمة القيادة الديناميكية (DDT) والحلول مكانها، بدون توقع أن يجيب المستخدم على أي طلب تدخل. تكون المركبة مسؤولة بالكامل عن القيادة في بعض الظروف ولا تطلب تدخلاً من الشخص السائق.
5	أتمتة القيادة الكاملة	قيام نظام أتمتة القيادة بتنفيذ مستدام وغير مشروط (أي ليس ضمن مجال تصميم تشغيلي (ODD) محدد) لكامل مهمة القيادة الديناميكية (DDT) والحلول مكانها، بدون توقع أن يجيب المستخدم على أي طلب تدخل. تكون المركبة مسؤولةً بالكامل عن القيادة في الظروف كافة ولا تطلب تدخلاً من أحد داخلها. ويجوز لهذه المركبات أن تسيّر بدون أي راكب داخلها.

المصدر: جمعية مهندسي السيارات الدولية (SAE International). 2016.

ملاحظة: تحت كل وصف مقتبس مباشرةً من تصنيف جمعية مهندسي السيارات الدولية (SAE International) (2016)، (الجدول 2) (بالخط المائل)، يرد تفسيرنا المبسط.

<sup>٥</sup> تعرّف جمعية مهندسي السيارات الدولية (SAE International) (2016) مصطلح ODD على أنه الظروف المحددة التي يتم تصميم نظام أتمتة قيادة معين أو ميزة فيه ليعمل فيها.

## كيف يتم تقييم سلامة الطرقات المستقبلية في الدراسات؟

تكثر التقديرات حول منافع مختلف أنواع نظم مساعدة السائق المتقدمة أو نظم تجنب الحوادث، سواء لها مَعًا ولكل منها على حدة (Gordon et al., 2010; Funke et al., 2011; Perez et al., 2011; Jer-). ويتم تصنيف المركبات المجهزة بهذه التقنيات في العادة على أنها تتحلى إما بأتمتة المستوى 1 أو 2 وفقًا لتصنيف جمعية مهندسي السيارات الدولية (SAE International) وتعد مركبات غير آلية للغاية. وفي أحد الأمثلة على ذلك، يلخص مرجع (Funke et al. (2011)) مدى سلامة أربع تقنيات لتجنب الحوادث على أنها نتاج حجم مشكلة حوادث السير في الولايات المتحدة ككل (أي عدد الحوادث المرتبطة بمغادرة المسار في السنة) وقسم هذه الحوادث التي يمكن تخفيفها بفضل التقنية (مثل نظام التحذير لدى مغادرة المسار). كما وثمة جهود رامية إلى تقدير منافع تقنيات المركبات المتصلة بالإنترنت، حيث تقوم التطبيقات المثبتة في المركبة بالتواصل مع مركبات أخرى أو مع البنى التحتية لتحسين سلامتها، لتنسيق تحرك المركبة مثلًا عند تقاطع الطرقات (Najm, Toma, and Brewer, 2013; Eccles et al., 2012).

ويصف مرجع (Rau, Yanagisawa, and Najm (2015)) نهجًا لتحديد الأنواع والأعداد المحتملة للحوادث الحالية التي يمكن للتقنيات المندرجة ضمن مستويات الأتمتة من 2 إلى 5 أن تخففها، فيما يستند مرجع (Li and Kockelman (2016)) إلى هذه المنهجية لتقدير فوائد السلامة الخاصة بمجموعة متنوعة من تقنيات المركبات المتصلة بالإنترنت والمركبات المؤتمتة التي تندرج في المستويين 1 و2، بافتراض اعتماد هذه التقنيات على نطاق واسع. وبتخاذ خطوة أخرى بعد، يقوم مرجع (Li and Kockelman (2016)) بتقدير كلا أنواع ودرجات حدة الحوادث التي يمكن تجنبها بفضل كل نوع من أنواع التقنيات، كما والفائدة الاقتصادية لهذا التجنب. وفي اعتراف بعدم معرفة الأداء المؤكد للتقنيات، يقيم أصحاب هذا المرجع الفوائد في سياق ثلاثة سيناريوهات مختلفة حول فعالية هذه التقنية.

إلا أن ثمة تقديرات أقل لفوائد المركبات عالية الآلية من حيث السلامة، وما من توافق حتى الآن حول تلك التقديرات (Winkle, 2015). فيحتسب مرجع (Fagnant and Kockelman (2015)) الفوائد الاجتماعية للمركبات عالية الآلية التي تندرج في المستويين 4 و5 في مجموعة متنوعة من فئات الفوائد، بما في ذلك السلامة<sup>4</sup> وبالاستناد إلى نتائج المسح الوطني حول أسباب حوادث السيارات (National Motor Vehicle Crash Causation Survey) الذي توصل إلى أن الأخطاء البشرية تسبب بـ 93 في المئة من حوادث السيارات اليوم (NHTSA, 2008)، يفترض فاجنانت (Fagnant) و كوكلمان (Kockelman) في حساباتهما أن المركبات عالية الآلية تخفض معدلات الحوادث والإصابة بـ 50 في المئة بافتراض معدل انتشار في السوق بالغ 10 في المئة وبـ 90 في المئة بافتراض معدل انتشار بالسوق بالغ 90 في المئة. في المقابل، قام فريق عمل المركبات الآلية التابع للجمعية الإكتوارية للضحايا (Casualty Actuarial Society) مؤخرًا بتقييم نتائج المسح الوطني حول أسباب حوادث السيارات (National Motor Vehicle Crash Causation Survey) في سياق المركبات عالية الآلية. فخلصت دراسة فريق العمل إلى أنه بإمكان المركبات عالية الآلية معالجة نصف الحوادث تقريبًا، في حين أن 49% من الحوادث تضم عاملًا مقيدًا واحدًا على الأقل بإمكانه أن يعطل تقنية [المركبة عالية الآلية] أو أن يخفض فعاليتها (Casualty Actuarial Society, 2014).

<sup>4</sup> لا تحدد هذه الدراسة بشكل صريح أي مستويات قيادة ذاتية يدرجها المؤلفان في حساباتهما، لكننا نستنتج أنها تشير إلى المستويين 4 و5 وليس إلى المستوى 3.

وتقدّم هذه الدراسات تبصرات مهمة حول قدرة مختلف تقنيات المركبات عالية الآلية وغير عالية الآلية على التخفيف من حوادث السير اليوم. غير أنه لم يتم حتى الآن استخدام هذه المرئيات لفهم الطريقة التي ستعكس فيها آثار السلامة مع مرور الوقت - نظراً إلى اعتماد تقنيات مختلفة في أطر زمنية مختلفة، وإلى تبدل أداء التقنيات فيما يتم نشرها. ومن الصعب استخدام هذه التقديرات للقيام بمثل هذه التوقعات لسببين رئيسيين. أولاً، تركز التقديرات عادةً على الطريقة التي بإمكان التقنيات أن تخفف بها أنواع الحوادث التي يتسبب بها السائق البشري حاليًا، لكنها تتغاضى عن الطرق المهمة التي بإمكان التقنيات الجديدة أن تزيد بها الحوادث. فقد يحدث ذلك إذا أضعفت التقنيات مهارات السائقين البشر أو انتباههم، أو إذا تعرضت التقنيات إلى إخفاقات متصلة بالأمن السيبراني، ما يؤدي إلى أنواع جديدة من الحوادث، أو إذا كان أداء المركبات عالية الآلية أسوأ من أداء السائق البشري بكل بساطة، حتى ولو في بادئ الأمر (Kalra, 2017).<sup>5</sup> وكما تشير الجمعية الإكتوارية للضحايا (Casualty Actuarial Society): "لا يجب أن يتم تحديد سلامة المركبات الآلية بالاستناد إلى معايير اليوم؛ فالأمور التي تتسبب بالحوادث اليوم يمكن أن تتسبب أو ألا تتسبب بحوادث في عصر المركبات الآلية" (2014, p. 1). إلا أنه من الصعب توقع مخاطر السلامة الجديدة، ما يضيف صعوبة شديدة في معرفة التأثير الكامل لتقنيات جديدة كثيرة.

ثانيًا، تقوم هذه التقديرات المتوفرة بالمقارنة أيضًا ما بين الفوائد الهامشية للتقنية مع أداء السلامة الخاص بالمركبات والسائقين الحاليين. إلا أنه من الأفضل تقدير فائدة مركبة تتحلّى بتقنية معينة في مرحلة ما في المستقبل بمقارنتها بأداء المركبات المستقبلية التي لا تتحلّى بهذه التقنية في المرحلة عينها في المستقبل، بدلًا من مقارنتها بالمركبات في الظروف الراهنة.

وتاريخ الوسائد الهوائية خير مثال على ذلك (Anderson et al., 2016; Houston and Rich-ardson, 2000) فلدّى إدخال الوسائد الهوائية للمرة الأولى في سبعينيات القرن الفائت، تم تصميمها لحماية راكب ذكر لا يرتدي حزام الأمان وتم تصوّرها لتكون بديلاً وليس مكملًا لحزام الأمان الذي لم يكن متوفرًا في كافة الحالات. وتم الاستناد في تقديرات الفوائد المستقبلية التي تمت في ذلك الوقت إلى وجهة الاستخدام هذه وتبين في نهاية المطاف أنه مبالغ فيها جدًا - وذلك إلى حد كبير لأنه بحلول الوقت الذي باتت فيه الوسائد الهوائية منتشرة على نطاق واسع، باتت أحزمة الأمان أيضًا مستخدمة على نطاق واسع، لذا باتت فائدة الوسائد الهوائية الهامشية أصغر بكثير مما كان متوقعًا لها. إلى ذلك، وفيما تابعت الوسائد الهوائية إنقاذ أرواح كثيرة، فإن القوة اللازمة لحماية رجل راشد لا يرتدي حزام أمان تسببت بإصابة ووفاة راكب آخرين كثير من ذوي البنية الأصغر (مثل النساء والأطفال) الذين كان بإمكانهم أن ينجوا من الحوادث لو لم تفعّل الوسائد الهوائية. فكان أن أدّت هذه الحوادث إلى إدخال تحسينات على تقنية الوسائد الهوائية لكنها بيّنت أيضًا أنّ الوسائد الهوائية استحدثت مخاطر حوادث جديدة على الرغم من أنها كانت تخفف من وطأة مخاطر قائمة. وفي الخلاصة، فإنّ التطور طويل الأمد لسلامة الطرقات أمر لا بد من فهمه، إلا أنه معقد أيضًا وغير مؤكد بتاتا ومن الصعب التنبؤ به. وتأتي هذه الدراسة لتسدّ فجوة في الدراسات القائمة عبر استخدام منصة بسيطة لإعداد النماذج للغوص في أثر سلامة المركبات عالية الآلية في سياق سياسات وظروف مختلفة.

<sup>5</sup> ما يزيد الأمور تعقيدًا بحسب Kalra و Paddock (2016)، هو أنه ما من طريقة معتمدة حاليًا لتقييم سلامة المركبات عالية الآلية بثقة قائمة على الإحصاءات قبل إتاحتها للاستخدام على نطاق واسع. لذا من الممكن ألا تعلم الجهات المعنية بكل بساطة كم تُعدّ التقنية المعنية آمنة.

سوف تعتمد نتائج السلامة طويلة وقصيرة الأمد لكل سياسة متعلقة بالمركبات عالية الآلية على تطوير عوامل كثيرة مثل استخدام المركبات غير عالية الآلية وسلامتها مع الوقت؛ وتوقيت اعتماد المركبات غير الآلية وانتشارها ومعدل ذلك ونطاقه على صعيد أسطول السيارات بأكمله؛ والسلامة المبدئية للمركبات غير الآلية وكم تتحسن وبأي سرعة. لذا، فالتنبؤ بدقة بنتائج السلامة أمر محفوف بالمضاعفات لأنّ هذه العوامل غير مؤكدة بتاتاً، ما معناه أنّه ما من توافق حول الطريقة التي ستتطور فيها، وسيكون أيّ تنبؤ حول الأمر خاطئاً نظراً إلى الطبيعة المفاجئة للتقنية. لذا قد لا تكون هذه التنبؤات مفيدة في نهاية المطاف في تحديد السياسة التي ستؤدي إلى نتائج سلامة أفضل. ولذلك نستعين بوسائل لصنع القرارات في ظل غموض شديد (Kalra et al., 2014) – وهو ما يسمى تحدياً بعملية صنع القرار المتينة أو (Lempert, Popper, and Bankes, 2003; Groves RDM and Lempert, 2007).

ويعرض ما تبقى من هذا الفصل منهجيتنا وتصميمنا التجريبي بتفاصيل أكثر دقة. فنقدم أولاً لمحة عامة حول عملية صنع القرار المتينة (RDM) ومن ثم نموذج سلامة المركبات الآلية (MAVS). وبعد ذلك، نقدم تعريفاً لسياساتنا ونشرح كيف نراعي الأوجه غير المؤكدة التي تسود أداء كل سياسة.

### لمحة عامة حول عملية صنع القرار المتينة (RDM)

غالباً ما يكون لا غنى عن التحليل الكمي للقيام بخيارات سليمة في ما يخص السيارات. وتستخدم هذه الأساليب في العادة نهج التنبؤ ثم التصرف، حيث يجمع المحللون الأدلة المتوفرة ويعدون منها افتراضات أو تنبؤات استناداً إلى أفضل التقديرات، ومن ثم يستخدمون نماذج وأدوات لاقتراح الاستراتيجية الأفضل بالنظر إلى هذه التنبؤات. وقد ثبتت فائدة هذه التحليلات في الإجابة على سؤال: أيّ خيارات في ما يخص السياسات تحقق أهدافنا بالشكل الأفضل بناءً على معتقداتنا بشأن المستقبل؟ وتنجح هذه الأساليب التي تتضمن تحليلاً لاحتمالية المخاطر، بشكل خاص عندما تكون التنبؤات دقيقة وغير مشيرة للجدل (Lempert, Popper, and Bankes, 2003; Kalra et al., 2014; Lempert and Kalra, 2011). غير أنّ الطابع المفاجئ للتقنيات (مثل المركبات عالية الآلية) لا تتوافق بطبيعة الحال مع عملية إعداد تنبؤات موثوقة. وكما سبق أن أشرنا، فإنّ نتائج السلامة طويلة وقصيرة الأمد لمختلف سياسات إدخال المركبات عالية الآلية سوف تعتمد على تطوّر عوامل كثيرة غير مؤكدة. وقد أثبتت الأساليب التقليدية هشاشتها في وجه الظروف غير المؤكدة. وبإمكان الاختلافات بشأن التنبؤات المستقبلية أن تؤدي إلى حالة من الجمود في أوساط الجهات المعنية. والأسوأ من ذلك بعد هو أنّ



القرارات المصممة وفقاً لمجموعة معينة من الافتراضات غالباً ما يتبين أنها غير ملائمة أو حتى مضرّة في حال برز وضع مستقبلي آخر.

وقد جرى تطوير أساليب عدة على مرّ نصف القرن المنصرم لمساعدة صنّاع السياسات على إدارة أوجه الغموض وصنع قراراتٍ متينة في وجه المستقبل الذي يتعدّر التنبؤ به. وتمّ تصميم عملية صنع القرار المتينة (RDM) خاصةً للمساعدة على إدارة أوجه الغموض الشديد عبر المساعدة على تطوير سياسات متينة، أي سياسات تحقق أهداف صنّاع القرارات في ظلّ أوضاع مستقبلية معقولة عدة بدلاً من تحقيق نتيجة مثلى في ظلّ تقدير واحد جيد للمستقبل (Lempert et al., 2013).

وتقوم عملية صنع القرار المتينة (RDM) على مبدأ بسيط. فبدلاً من استخدام النماذج والبيانات لتقييم السياسات بموجب مجموعة واحدة من الافتراضات، تطبّق عملية صنع القرار المتينة (RDM) النماذج على مئات أو آلاف المجموعات من الافتراضات المختلفة لوصف أداء كل من الخطط في ظروف كثيرة معقولة. وبخلاف تحليل مونتي كارلو (Monte-Carlo) مثلاً الذي يسند نسبة احتمال لكل من هذه الافتراضات لتقدير النتائج المحتملة، تستخدم عملية صنع القرار المتينة (RDM) المحاكاة لإخضاع الاستراتيجيات لاختبار إجهاد. فتستند عملية صنع القرار المتينة (RDM) إلى كل من التخطيط للسياريات وتحليل احتمالية المخاطر لمعرفة أي من السياسات تخفض المخاطر في ظلّ أي مجموعة افتراضات، فتسأل مثلاً: "في ظلّ أي افتراضات علينا أن نرفض الخيار (أ) ونلجأ إلى الخيار (ب)؟"

وعبر العمل بمجموعات افتراضات أو ظروف مستقبلية عدة معقولة، يمكن لعملية صنع القرار المتينة (RDM) المساعدة في خفض الثقة المفرطة وعامل المفاجأة المضر وتضمين معلومات غير دقيقة بشكل منهجي في التحليل، ومساعدة صنّاع القرارات والجهات المعنية الذين يملكون توقعات مختلفة بشأن المستقبل للتوصل إلى توافق حول الخطوات التالية. وبالمختصر، تساعد عملية صنع القرار المتينة (RDM) على التخطيط للمستقبل بدون التنبؤ به أولاً. وسبق أن تم تطبيق عملية صنع القرار المتينة (RDM) في إدارة الموارد المائية (Groves, Davis, et al., 2008; Groves, Fischbach, et al., 2013) وإدارة مخاطر الفيضانات (Fischbach et al., 2017) والتأمين ضد مخاطر الإرهاب (Dixon et al., 2007) والاستثمارات في قطاع الطاقة (Popper et al., 2009) وغيرها من القطاعات. وفي هذه الدراسة، نستخدم عملية صنع القرار المتينة (RDM) ونموذج (MAVS) (Kalra and Groves, 2017) من أجل:

- توليد مجموعة واسعة من الظروف المستقبلية المعقولة التي من شأنها أن تحدد معالم نتائج سلامة المركبات عالية الآلية، بدون تحديد احتمال حصول كل من تلك الظروف
- تقييم أعداد الوفيات مع مرور الوقت في ظل سياسات مختلفة لإدخال المركبات عالية الآلية في تلك الظروف المستقبلية
- رصد مجموعة الظروف المستقبلية التي تؤدي إلى إنقاذ عدد أكبر من الأرواح في ظل كل سياسة على المدى القصير (2020 – 2035) وعلى المدى الطويل (2020 – 2050)
- تقييم معقولية تلك الظروف لتحديد ما إذا كانت إحدى السياسات أكثر متانةً من غيرها – أي أنه من المرجح أكثر لها أن تؤدي إلى إنقاذ عدد أكبر من الأرواح على الرغم من وجود حالة شديدة من الغموض.

وتساعد النتائج التي نناقشها في الفصل الرابع على تسليط الضوء على ما إذا كان من الأفضل الانتظار إلى حين التوصل إلى أداء شبه مثالي للمركبات عالية الآلية قبل السماح بها على الطرقات لاستخدام المستهلك أو نشر المركبات عالية الآلية ما أن يصبح أداء سلامتها أفضل بقليل من أداء السائق البشري.

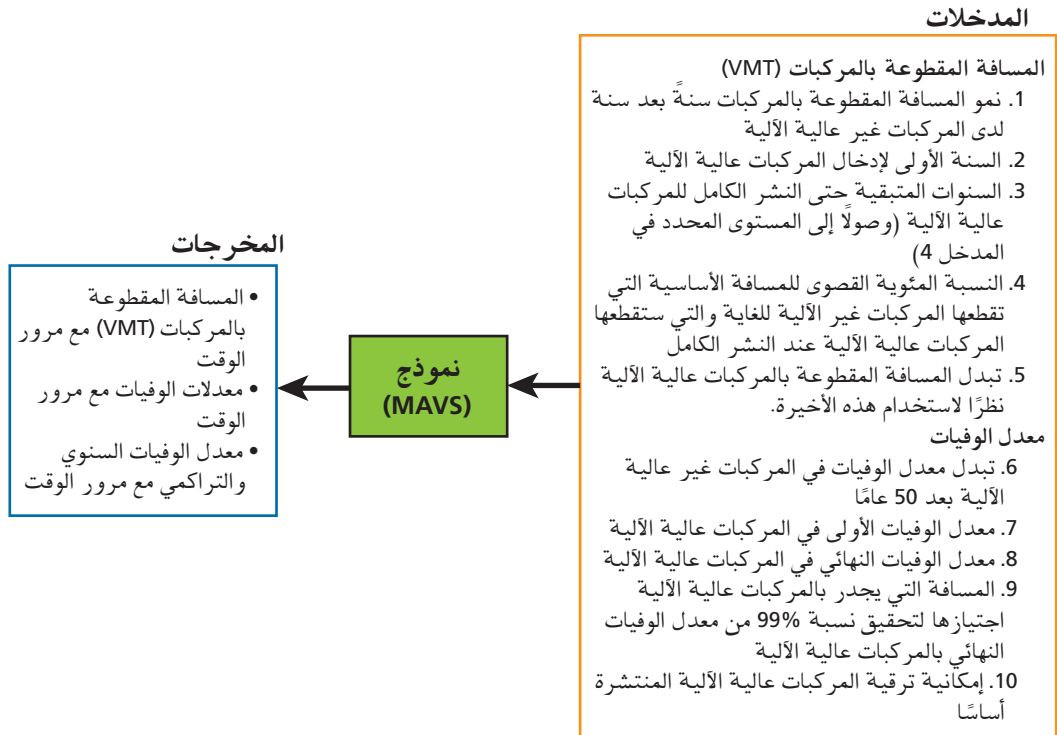
## لمحة عامة حول النموذج والتصميم التجريبي

إنّ نموذج (MAVS) عبارة عن نموذج يقوم بتقدير الوفيات الناجمة عن حوادث السير مع مرور الوقت في مستقبل أساسي لا يتضمن مركبات عالية الآلية وفي مستقبل بديل يتضمن مركبات عالية الآلية. <sup>1</sup>وتستند الحسابات إلى مجموعة متنوعة من العوامل، بما في ذلك:

- تبدّل أداء السلامة لدى المركبات غير عالية الآلية مع مرور الوقت
- طلب التنقل في المركبات غير عالية الآلية مع مرور الوقت
- وقت إدخال المركبات عالية الآلية في السوق ومعدل ومستوى انتشارها واستخدامها مع مرور الوقت
- أداء السلامة لدى المركبات عالية الآلية مع مرور الوقت

يُصوّر الشكل 3.1 أبرز مدخلات ومخرجات نموذج (MAVS)، بما في ذلك معدل الوفيات وسنة الإدخال إلى السوق والمسافة المقطوعة بالمركبات (VMT) إلى جانب عوامل أخرى.

### الشكل 3.1 مدخلات ومخرجات نموذج (MAVS)



RAND RR2051z2-3.1

<sup>1</sup> يمكن ضبط نموذج MAVS لتقييم الحوادث أو الإصابات أو تضرر الممتلكات أو التكاليف الاقتصادية أو أي مقياس آخر للسلامة. لتبسيط الأمور ونظرًا إلى التركيز بشكل خاص على الوفيات الناجمة عن حوادث السير، نقيس السلامة وفقًا لعدد حالات الوفاة ومعدل الوفيات.

من خلال وضع تركيبات مختلفة من قيم المدخلات، نستخدم نموذج (MAVS) لنستعرض سياسات مختلفة في ظل ظروف مستقبلية معقولة كثيرة. ويلخص الجدول 3.1 التصميم التجريبي الذي استخدمناه في هذا التحليل. ويعد الجدول كل من المدخلات العشر التي يتألف منها نموذج (MAVS) والمبيّنة في الشكل 3.1 (ويرافق كل منها رقم لمتابعتها بسهولة) ويشير إلى تعريف كل منها في السياسات التي يشملها تحليلنا. ونعرّف في هذه الدراسة معدل الوفيات المعياري على أنّه

### الجدول 3.1 ملخص عن التصميم التجريبي

مدخلات نموذج (MAVS)	سياسة Improve10	سياسات Improve75 و Improve90
المسافة المقطوعة بالمركبات (VMT)		
1. نمو المسافة المقطوعة بالمركبات سنّة بعد سنة لدى المركبات غير عالية الآلية	غير مؤكّد؛ ثابت 2020	غير مؤكّد؛ 0.4% - 1.8%
2. السنة الأولى لإدخال المركبات عالية الآلية	غير مؤكّد؛ ثابت 2020	غير مؤكّد؛ يعتمد على معدلات الوفيات في سياسة Improve10 وتأخير غير مؤكّد يتراوح ما بين 0 و 15 عامًا إلى حين إدخال المركبات عالية الآلية
3. السنوات المتبقية حتى النشر الكامل للمركبات عالية الآلية (وصولاً إلى المستوى المحدد في المدخل 4)	غير مؤكّد؛ 20 - 50 عامًا	غير مؤكّد، تحدده نسبة تسريع انتشار غير مؤكدة في إطار سياسة Improve10
4. النسبة المئوية القصوى للمسافة الأساسية التي تقطعها المركبات غير عالية الآلية والتي ستقطعها المركبات عالية الآلية عند النشر الكامل	غير مؤكّد؛ 50% - 100%	غير مؤكّد؛ 50% - 100%
5. تبدل المسافة المقطوعة بالمركبات عالية الآلية نظرًا لاستخدام هذه الأخيرة.	غير مؤكّد؛ -50% - 100%	غير مؤكّد؛ -50% - 100%
معدل الوفيات		
6. تبدل معدل الوفيات في المركبات غير عالية الآلية بعد 50 عامًا	110% - 50% من معدل الوفيات المعياري	غير مؤكّد؛ 110% - 50% من معدل الوفيات المعياري
7. معدل الوفيات الأولي في المركبات عالية الآلية	تعرفه السياسة على أنّه 90% من معدل الوفيات المعياري	تعرفه السياسة على أنّه 25% من معدل الوفيات المعياري في Improve75 و 10% في Improve90
8. معدل الوفيات النهائي في المركبات عالية الآلية	غير مؤكّد؛ مثبت، يستند إلى معدلات الوفيات الأساسية في إطار Improve90 و Improve75	غير مؤكّد؛ مثبت، يستند إلى معدلات الوفيات الأساسية في إطار Improve90 و Improve75
9. المسافة التي يجدر بالمركبات عالية الآلية اجتيازها لبلوغ نسبة 99% من معدل الوفيات النهائي في المركبات عالية الآلية	غير مؤكدة؛ 100 مليون إلى 10 تريليون	لا ينطبق
10. إمكانية ترقية المركبات عالية الآلية المنتشرة أصلاً	غير مؤكدة؛ 0 - 1	لا ينطبق

معدل وفيات السائقين البشر في الولايات المتحدة (1.12 حالة وفاة لكل 100 مليون ميل في عام 2015؛ راجع (NHTSA, 2016a)<sup>2</sup>).

يُعرّف مدخل واحد فقط من مدخلات نموذج (MAVS) (المدخل 7) سياسة المركبات عالية الآلية، في حين أنّ معظم المدخلات الأخرى غير مؤكّدة وتحدد الأداء المحتمل لكل من السياسات. ولكل من المدخلات غير المؤكّدة، نشير في الجدول إلى ما إذا كان يتم التعامل مع المدخل المعني على أنّه مثبت (مثل المدخل 2)، أو ما إذا تم البحث فيه ضمن النطاق المذكور (مثل المدخل 1) أو تحدده أمور غير مؤكّدة أو عوامل أخرى (مثل المدخل 3 في إطار سياستي Improve75 وImprove90).

وتماشياً مع عملية صنع القرار المتينة (RDM)، يشمل تصميمنا التجريبي طيفاً واسعاً من القيم المعقولة لمعلمات نموذج (MAVS) التي من شأنها أن تحدد معالم سلامة المركبات عالية الآلية لكنّها لا تنسب أي احتمالية لأي مجموعة قيم أو أوضاع مستقبلية. لذا، قد تشمل هذه النطاقات قيماً لا تعتبرها كافة الجهات المعنية معقولة. إلا أنّ منهجية عملية صنع القرار المتينة (RDM) لا تعد دقيقة للغاية في النطاقات الواسعة، نظراً إلى أنّ التحليلات تركز على رصد العتبات المؤتية لكل من السياسات المختلفة بدلاً من أن تركز على إيجاد السياسات المثلى.

واقترضت الخطوة التالية في تحليلنا بتحديد 500 وضع مستقبلي معقول<sup>3</sup> ويُعرّف الوضع المستقبلي على أنّه تركيبة محددة وفريدة من المدخلات غير المؤكّدة وغير الثابتة في نموذج (MAVS) ونولد هذه المجموعات باستخدام إجراء جمع العينات (Latin Hypercube)<sup>4</sup>. وقمنا بتقييم سياسات إدخال المركبات عالية الآلية بموجب كل وضع مستقبلي وحفظنا النتائج في قاعدة بيانات لتحليلها كما يرد في الفصل الرابع. وتوسّع الأقسام التالية سياسات إدخال تلك المركبات ونطاقات القيم التي استخدمناها لتمثّل الأمور غير المؤكّدة ولنولد مجموعة الأوضاع التي استخدمناها.

## تعريف سياسات إدخال المركبات عالية الآلية إلى السوق

لقد صمّمنا نموذج (MAVS) من أجل تقييم نتائج السلامة طويلة الأمد لسياسات المركبات عالية الآلية التي تختلف من حيث أداء السلامة الذي يتعين على المركبات عالية الآلية بلوغه قبل أن يُسمح بها على الطرقات الأمريكية لاستخدام المستهلك. لذا تعرّف كل من السياسات المدخل 7 في نموذج (MAVS) (معدل الوفيات الأولي للمركبات عالية الآلية) بطريقة مختلفة.

<sup>2</sup> في تشرين الأول (أكتوبر)، وقبل نشر هذه الدراسة، أطلقت الإدارة الوطنية لسلامة السير على الطرقات السريعة الأمريكية بيانات حول سلامة الطرقات لعام 2016 وتقديرات منقحة لعام 2015. وتفيد الإدارة أنّه، في عام 2016، ارتفعت معدلات الوفيات أكثر بعد لتصل إلى 1.18 حالة وفاة لكل 100 مليون ميل من المسافة المقطوعة بالمركبة مقارنةً بالمعدل (المنقّح) البالغ 1.15 حالة وفاة للمسافة المقطوعة عينها في عام 2015 (NHTSA, 2017). يستند التحليل في هذه الدراسة إلى التقدير الذي كان قد صدر أولاً لعام 2015 والبالغ 1.12 حالة وفاة لكل 100 مليون ميل من المسافة المقطوعة بالمركبة.

<sup>3</sup> تم اختيار عدد الأوضاع المستقبلية اعتباطياً، إلا أنّ اختيار عدد أقل بكثير قد يؤدي إلى استكشاف غير كافٍ لمجال التصميم التجريبي، في حين أن اختيار عدد أكبر بكثير لن يضيف بالضرورة المزيد من المرئيات وقد يكون من الأصعب احتسابه وتصوّر النتائج فيه.

<sup>4</sup> يحرص إجراء أخذ العينات (Latin Hypercube Sampling) على أن يتم أخذ عينات من كافة المتغيرات بشكل موحد في كامل النطاق وعلى أن يتم اختيار تركيبات قيم المتغيرات بشكل عشوائي (Saltelli, Chan, and Scott, 2000).

تسمح السياسة الأولى، أي Improve10، بنشر المركبات عالية الآلية حالما يبلغ معدل الوفيات فيها حالة وفاة واحدة لكل 100 ميل تقطعه المركبات، أو يصبح أفضل بـ10 في المئة من المعدل المعياري (أي 1.12 حالة وفاة لكل 100 مليون ميل كما سبق وأشرنا).<sup>5</sup> أما السياسة الثانية التي بحثنا فيها، فلا تسمح بنشر المركبات عالية الآلية إلا عندما يصبح أدائها أفضل بأضعاف من أداء السائق البشري. وحددنا هنا متغيرين اثنين نظرًا إلى أنه من غير المؤكد كم يمكن للمركبات عالية الآلية أن تصبح آمنة في نهاية المطاف وكم ستكون الجهات المعنية متسامحة مع عدم كمال التقنية. لا تسمح المتغيرة الأولى، أي Improve75، بنشر المركبات عالية الآلية إلا عندما يصبح معدل الوفيات فيها 0.28 حالة وفاة لكل 100 مليون ميل مقطوع بها، ما يمثل تحسُّنًا بنسبة 75 في المئة مقارنةً بالمعدل المعياري، في حين أن المتغيرة الثانية، Improve90، أكثر صرامة بعد ولا تسمح بالمركبات عالية الآلية إلا عندما يصبح معدل الوفيات فيها 0.11 حالة وفاة لكل 100 مليون ميل مقطوع بها، ما يمثل تحسُّنًا بنسبة 90 في المئة مقارنةً بالمعدل المعياري.

### مراعاة العوامل غير المؤكدة في سيناريو مستقبلي أساسي بدون مركبات عالية الآلية

قام نموذج MAVS باحتساب المسافة المقطوعة سنويًا بالمركبات ومعدلات الوفيات السنوية ومن ثم معدلات الوفيات في مستقبل بدون مركبات عالية الآلية (انطلاقًا من هذين العاملين). وشكل ذلك خط أساس تشعّب منه مستقبل يتضمن المركبات عالية الآلية. تم احتساب المسافة المقطوعة سنويًا بالمركبات بالاستناد إلى نمو غير مؤكد سنة بعد سنة في المسافة المقطوعة بالمركبات (المدخل 1 في نموذج (MAVS) في الجدول 3.1). تضمنت توقعات إدارة الطرق السريعة الفيدرالية لعام 2017 إمكانية نمو المسافة الإجمالية المقطوعة بالمركبات من عام 2015 إلى 2045 بـ0.66 في المئة إلى 0.89 في المئة سنويًا (FWHA, 2017). إلا أن الحدود التي وضعتها هذه الإدارة غير مؤكدة وقد تغيرت بشكل كبير سنة بعد سنة. ففي عام 2016 مثلًا، تراوحت الزيادة المتوقعة في المسافة المقطوعة بالمركبات بين 0.53 و0.65 في المئة، ما يعني أن الحد الأعلى في توقعات الإدارة لعام 2016 (0.65 في المئة) كان أدنى من الحد الأدنى في توقعات عام 2017 (0.66 في المئة) (FHWA, 2016). وتضمنت توقعات الطاقة السنوية الصادرة عن إدارة معلومات الطاقة وتوقعات وتغير مشابه على مر الأعوام. إذ توقع تقرير عام 2017 معدل نمو بلغ 0.7 في المئة للمركبات الخفيفة حتى 2050 وزيادات سنوية أكبر للشاحنات التجارية (Energy Information Administration, 2017a). غير أن توقعات معدل النمو السنوي تراوحت في العقود الأخيرة ما بين 0.7 و1.8 في المئة لبعض الفترات (Energy Information Administration, 2006).<sup>6</sup> يشير هذا التباين إلى حالة شديدة من عدم اليقين الذي يحيط بمستقبل المسافات المقطوعة بالمركبات على المدى الطويل. وانطلاقًا من ذلك وما يرتبط به من أدبيات، سعينا في تجاربنا إلى البحث في نطاق واسع تراوح ما بين 0.4 و1.8 في المئة.

<sup>5</sup> كان اختبار نسبة التحسُّن البالغة 10 في المئة اعتباريًا. فأي تقنية تخفّض معدلات الوفيات ولو حتى قليلًا (1 في المئة مثلًا) مقارنةً بالسائقين البشر تكون أفضل من المعدل. إلا أنه ومن بين الأسباب العملية التي دفعتنا إلى تفضيل فرق متواضع على فرق صغير جدًا هو أنه يصبح من الأسهل رصد مثل هذا الفرق في الأداء والتحقق منه (Kalra and Paddock, 2016).

<sup>6</sup> يمكن لهذه التوقعات أن تشمل تغيرات محتملة في المسافة المقطوعة بالمركبات ناجمة عن استخدام المركبات عالية الآلية، الأمر الذي لم ندرجه في خط الأساس. تتوقع إدارة الطرق السريعة الفيدرالية نطاق معدلات نمو لمراعاة مجموعة متنوعة من الأوجه غير المؤكدة، بما في ذلك النمو الاقتصادي المستقبلي واستخدام المركبات وملكيتهما والتقنية (FHWA, 2017).

وكان العامل غير المؤكد التالي الذي واجهناه هو معدل الوفيات في المركبات غير عالية الآلية مع مرور الوقت (المدخل 6 في نموذج (MAVS)). ففي حين تراجعت معدلات الوفيات الناجمة عن حوادث السير بشكل كبير منذ خمسينيات القرن الفائت، شهد هذا الأمر مرحلة استقرار نسبي على مر العقد الفائت وزيادة في السنوات الأخيرة (Bureau of Transportation Statistics, 2016). واستناداً إلى تقديرات فوائد السلامة التي تقدمها نظم مساعدة القائد التي ترد في الفصل الثاني، سمحنا بانخفاض وصل إلى 50 في المئة في معدلات الوفيات بالمركبات غير عالية الآلية على المدى الطويل. غير أنه من الممكن أيضاً أن تزيد معدلات الوفيات إذا تراجع انتباه السائق ومهاراته (التي ستبقى ضرورية لقيادة المركبات غير عالية الآلية) أو غير ذلك من السلوكيات غير القادرة على التأقلم بقدر يتجاوز فوائد سلامة هذه التقنيات (Milakis, van Arem, and van Wee, 2017). لذا، سمحنا بزيادة بنسبة 10 في المئة في معدلات الوفيات بالمركبات غير عالية الآلية مقارنةً بالمعدل المعياري.

### مراعاة العوامل غير المؤكدة في ظل سياسة Improve10

بعد ذلك، حلل نموذج (MAVS) المسافة المقطوعة ومعدل الوفيات بالمركبات عالية الآلية والمركبات غير عالية الآلية في وضع مستقبلي يتم فيه إدخال المركبات عالية الآلية في ظل سياسة Improve10 (أي عندما تصبح المركبات عالية الآلية أكثر أماناً بـ10 في المئة من السائق البشري العادي). وبحث هذه الحسابات في نشر المركبات عالية الآلية، الأمر الذي يتم تمثيله مع مرور الوقت كالنسبة المئوية للمسافة المقطوعة التي ستحوّل في نهاية المطاف للمركبات عالية الآلية والوقت الذي سيستغرقه الوصول إلى الانتشار الكامل (أي إلى المستوى النهائي من تشعب الأسطول بهذه المركبات، كما يعرف المدخل 4 الأمر).

**العوامل غير المؤكدة التي تحيط بالمسافة المقطوعة بالمركبات عالية الآلية في سياسة Improve10** تعتمد المسافة المقطوعة سنوياً بالمركبات عالية الآلية في سياسة Improve10 أولاً على التوقيت: أي متى سيتم إدخال المركبات عالية الآلية (المدخل 2 في نموذج (MAVS)) ومتى سيتم نشرها الكامل في أسطول السيارات (المدخل 3 في نموذج (MAVS))؟ لا يزال إدخال المركبات عالية الآلية غير مؤكد لأننا لا نعلم متى ستصبح هذه المركبات أكثر أماناً من البشر. ولكن، لتبسيط الأمر، اخترنا عامًا ثابتاً في المستقبل القريب لاعتبار أنه سيشهد إطلاق هذه المركبات - وهو عام 2020 - وعلى أساسه تم احتساب كافة النتائج في السياسات كلها. (كان بإمكاننا أن نسمي هذا العام "العام صفر"، ولكن، لتسمية العام 2020 دلالة أكبر من الناحية النظرية وهي أكثر اتساقاً مع ما يتوقعه صناع المركبات حول تاريخ إطلاق المركبات عالية الآلية على الطرقات (Ross, 2017; Ford Motor Com-pany, 2016).

كما أننا لا نعلم متى سوف تنتشر المركبات عالية الآلية بالكامل. ولكن، إذا استندنا إلى انتشار سائر تقنيات المركبات (Jutilla, 1987; DeCicco, 2010; Highway Loss Data Institute, 2012)، فسيحتاج الانتشار الكامل للمركبات عالية الآلية بضعة عقود بعد على الأقل (Litman, 2017; Bansal, 2017; Kockelman, 2017). ثمة ما يشير إلى أن الأمر قد يجري بسرعة كبيرة، وبخاصة في المناطق الحضرية (Boston Consulting Group, 2017). ولكن، لتوخي الشمول في دراستنا، نظرنا في فترة 20 إلى 50 عاماً إلى حين الانتشار الكامل للمركبات عالية الآلية في إطار سياسة Improve10.

ثانيًا، تعتمد المسافة المقطوعة بالمركبات الآلية (VMT) بشكل كبير على مدى استخدام هذه الأخيرة، الأمر الذي نقيسه عند نقطة الانتشار الكامل للمركبات عالية الآلية. ففي البداية، ستزول نسبة مئوية معينة من قيادة المركبات غير عالية الآلية في الوضع المستقبلي الأساسي لتحل مكانها المركبات عالية الآلية في نهاية المطاف (المدخل 4 في نموذج (MAVS)). إلا أن هذا الأمر غير مؤكد بتاتا، ونبحث في دراستنا في نسبة مئوية تتراوح ما بين 50 و 100 في المئة من المسافة المقطوعة في الوضع الأساسي. (أما الأميال أو المسافة التي لا يتم استبدالها، فهي تشير إلى المسافة المقطوعة بالمركبات غير عالية الآلية). كما يتوقع الكثيرون أن تساهم المركبات عالية الآلية في زيادة الطلب على المواصلات عبر خفض كلفتها وزيادة فرص التنقل بالمركبات للذين لا يقودون السيارات حاليًا أو الذين يستخدمون وسائل مواصلات أخرى (Anderson et al., 2016; Harper et al., 2016; U.S. Department of Energy, 2017). وتشكل المركبات التي لا تضم أي ركاب مصدر قلق بشكل خاص، وكذلك زيادة المسافة المقطوعة بالمركبات عالية الآلية لغرض تسليم السلع. ومع ذلك، قد يشهد المستقبل أيضًا انخفاضًا في المسافة المقطوعة إذا تم تشارك المركبات عالية الآلية واستخدامها بشكل حكيم (Energy Information Administration, 2017b).

ويعرض نموذج (MAVS) تبدل المسافة المقطوعة نتيجة استخدام المركبات عالية الآلية (المدخل 5 في نموذج (MAVS)). وي طرح هذا المدخل السؤال: لكل ميل مقطوع بسائق بشري يتم استبداله بمركبة آلية للغاية، ما حجم الميل الذي يتم استبداله؟ أي، إلى كم ميل مقطوع بمركبات عالية الآلية نحتاج لاستبدال ميل واحد مقطوع بفضل سائق بشري؟ إذ قد تدفع المركبات عالية الآلية مثلًا العاملين إلى القبول باجتياز مسافات أطول لأنه بات بإمكانهم الاضطلاع بأنشطة أخرى يرغبون فيها مثل القراءة أو مشاهدة الوسائط المتعددة على الطريق بدلًا من القيادة. وقد يسفر ذلك عن قطع عدد أميال أكبر بالإجمال؛ فيمكن هنا استبدال ميل واحد مقطوع بفضل سائق بشري مثلًا بـ 1.25 ميل مقطوع بمركبة آلية للغاية، ما يعكس تغييرًا بنسبة 25 في المئة في المسافة المقطوعة نتيجة للمركبات عالية الآلية. في المقابل، يمكن استبدال ميل واحد مقطوع بفضل سائق بشري بـ 0.75 ميل مقطوع بمركبة آلية للغاية، ما يعكس تبدلًا بنسبة 25- في المئة في المسافة المقطوعة نتيجة للمركبات عالية الآلية. ونظرًا إلى العوامل غير المؤكدة الكبيرة، نظرنا في دراستنا إلى نطاق أثر يتراوح ما بين -50 و +100 في المئة، ما يعكس نطاقًا يتراوح ما بين نصف المسافة المقطوعة وضعفي المسافة المقطوعة، ليضم هذا النطاق كافة توقعات تغيير المسافة المقطوعة التي وجدناها في الأدبيات.

**العوامل غير المؤكدة التي تحيط بمعدلات الوفيات بالمركبات عالية الآلية في سياسة Improve10**  
تُعرف سياسة Improve10 نفسها معدل الوفيات الأولي بالمركبات عالية الآلية: تُعدّ المركبات عالية الآلية أفضل بـ 10 في المئة من المعدل المعياري لدى إدخالها إلى السوق. ومع مرور الوقت، يتحسن هذا المعدل فيما تتحسن تقنيات ضمان سلامة المركبات عالية الآلية وفيما تتم ترقية أسطول المركبات عالية الآلية المتوفرة لمواكبة هذا التحسن. وفي حين أنّ أفضل معدل سلامة يمكن للمركبات عالية الآلية بلوغه غير مؤكد في الواقع، اعتمدنا قيمة ثابتة له وربطناها بمفهوم مصطلح شبه مثالي في سياستي Improve75 و Improve90. أي أنه بموجب سياسة Improve10، تتحسن تقنيات المركبات عالية الآلية لنتقل من 10 في المئة أفضل من المعدل المعياري إلى 75 في المئة أو 90 في المئة أفضل من المعدل المعياري (المدخل 8 في نموذج (MAVS))، وفقًا للسياسة التي تتم مقارنتها معها.

وإنّ معدل هذا التحسن أيضًا غير مؤكد. يعرفه نموذج (MAVS) على أنه العدد التراكمي للأميال المقطوعة بعد نشر المركبات غير الآلية، واللازم للتحسن من معدل الوفيات الأساسي إلى

معدل وفيات نهائي (المدخل 9 في نموذج (MAVS)). وبالكاد يتوفر القليل من الأدلة الفعلية التي تساعد على تحديد هذا العدد. فيقال إن شركة تسلا (Tesla) كانت قد سجّلت حتى كانون الأول (ديسمبر) 2016 1.3 مليار ميل من بيانات القيادة الفعلية بمركبات مزودة بجهاز القيادة الذاتية (Autopilot) (Tesla, 2016)، وحتى أيار (مايو) 2017، كانت شركة وايمو (Waymo) قد سجّلت 3 ملايين أميال من القيادة (Waymo، بدون تاريخ). وما من سبب يدفع للاعتقاد أن أي من هاتين التقنيتين أفضل بأضعاف من السائق البشري، وما من بيانات موثوقة حول معدّل تحسّن الأداء. في إطار سياسة Improve10، نبحت في نطاق واسع لمعدلات التحسّن، من 100 مليون إلى 10 تريليون ميل من المسافة التراكمية المقطوعة بين نشر المركبات عالية الآلية. ولأنّه يهّمنا ترتيب أعداد الأميال اللازمة لتحقيق التحسّن، أخذنا عينات في هذا المجال بشكل لوغاريتمي (وليس بشكل خطي كما فعلنا في أوجه عدم التأكد الأخرى). أي أنّنا، وبتعبير آخر، أخذنا عدد العينات عينه في الشريحة بين 100 مليون و1 مليار ميل كما فعلنا في الشريحة ما بين 1 مليار و10 مليار ميل. أخيراً، وفي حين أنّ معدل الوفيات الأفضل بالمركبات عالية الآلية قد يتحسّن بوتيرة معينة، يبقى من غير المؤكد مدى إمكانية تعميم هذا التحسّن على أسطول المركبات الآلية المنتشرة أساساً. وذلك يعتمد على مدى إمكانية ترقية الأسطول الحالي، إما من خلال تحديث أجهزة أو برمجيات المركبات الحالية أو من خلال تبديل المركبات. يستخدم نموذج (MAVS) قيمة محددة لإمكانية الترقية (المدخل 10 في نموذج (MAVS)) حيث يمثل الحد الأدنى 0 عدم إمكانية ترقية المركبات المتوفرة. وهذا يعني عندما يتم إطلاق مركبة آلية للغاية على الطرقات، تبقى كما هي بالأداء الذي تحلت به عندما تم إدخالها إلى السوق، في حين يمثل الحد الأعلى 1 إمكانية الترقية المثلى للمركبات المتوفرة، أي اعتبار أنّ كل مركبة آلية للغاية ستحقق أعلى مستويات السلامة طوال الوقت. إلا أنّ أيًا من هذين الوضعيين غير واقعي، إنما يتم النظر في إمكانية الترقية ما بين هذين الحدين بموجب السياسة Improve10.

### مراعاة العوامل غير المؤكدة في ظل سياستي Improve75 و Improve90

على سبيل المقارنة، يقوم نموذج (MAVS) باحتساب الأميال المقطوعة ومعدلات الوفيات بكلا المركبات عالية الآلية والمركبات غير عالية الآلية في مستقبل حيث يتم إدخال المركبات عالية الآلية بموجب سياسة تشترط أن تكون هذه المركبات أكثر أمانًا بـ75 في المئة و90 في المئة من المركبات الحالية.

العوامل غير المؤكدة التي تحيط بالمسافة المقطوعة بالمركبات عالية الآلية في سياستي Improve75 و Improve90

كما في حالة Improve10، تعتمد المسافة المقطوعة سنويًا بالمركبات عالية الآلية في سياستي Improve75 و Improve90 على وقت إدخال المركبات ووقت نشرها الكامل ومدى استخدامها. ويعتمد إدخالها (المدخل 2 في نموذج (MAVS)) على الوقت المستغرق لبلوغ المركبات عالية الآلية أداء السلامة المستهدف وهو تحسّن بنسبة 75 أو 90 في المئة. وتجدر ملاحظة أنّه في إطار سياسة Improve10، تتحلّى شركات تطوير المركبات عالية الآلية بكافة الأدوات لتحسين هذه المركبات كما في سياستي Improve75 و Improve90، بالإضافة إلى أداة التعلم بعد نشر المركبات، وذلك لا يتوفر في إطار هاتين السياستين الأخيرتين. هذا يعني أنّ المركبات عالية الآلية ستبلغ في سياسة Improve10 أداء السلامة المستهدف في الوقت عينه كهاتين السياستين الأخيرتين أو قبل.



لذا، فإنَّ أقرب وقت يمكن أن يتم فيه إدخال المركبات عالية الآلية في ظل سياستي Improve75 و Improve90 هو الوقت الذي ستبلغ فيه أيضًا أداء السلامة المستهدف بموجب سياسة Improve10. وهذه متغيرة داخلية ضمن نموذجنا، تحددها المسافة المقطوعة بالمركبات عالية الآلية ومعدلات التحسُّن بموجب سياسة Improve10. ولكن، إلى ذلك، فإذا اعتبرنا أنَّ التعلُّم بعد النشر يشكِّل أداةً قيِّمةً بشكل خاص، فمن شأن المركبات عالية الآلية في سياستي Improve75 و Improve90 أن تبلغ الأداء المستهدف بعد وقت مما يمكنها فعل ذلك في سياسة Improve10. يتم التعامل مع هذا التأخير على أنَّه عامل خارجي وهو يتراوح ما بين 0 و 15 عامًا حيث يعني تأخر يبلغ صفر أعوام أنَّ التعلُّم بعد النشر لا يتفوق بشيء على أساليب التطوير الأخرى (مثل المحاكاة واختبار القيادة وغيرها)، في حين أنَّ التأخر البالغ 15 عامًا يشير إلى أنَّ للتعلُّم بعد النشر قيمة كبيرة. لذا، فتكون سنة الإدخال مجموع السنة التي تبلغ فيها سياسة Improve10 أداء السلامة المستهدف والتأخر الإضافي الذي سينتج إذا تبيَّن أنَّ التحسين أمر صعب بدون التعلُّم بعد نشر المركبات.

كما أننا لا نعلم كم ستستغرق المركبات عالية الآلية بموجب Improve75 و Improve90 حتى يتم نشرها بالكامل (المدخل 3 في نموذج MAVS)، لكنَّه يمكننا أن نحدد المدة من حيث وقت النشر المحدد في الوضع المستقبلي عنه في Improve10. من المنطقي ألا تستغرق المركبات عالية الآلية بموجب سياستي Improve75 و Improve90 عدد سنوات أكبر مما تحتاج إليه في Improve10 لبلوغ الانتشار الكامل، نظرًا إلى أنَّ أداء هذه المركبات في Improve10 سيكون أدنى بكثير وقد يبدي المستهلكون درجة عدم يقين أكبر أو استعدادًا أقل لاستخدام التقنية مما سيفعلون في السياستين الأخيرتين. لذا، فيبلغ الحد الأعلى من وقت النشر قيمة وقت النشر عنه في سياسة Improve10. في المقابل، يمكن للمركبات عالية الآلية في سياستي Improve75 و Improve90 أن تبلغ الانتشار الكامل في عدد سنوات أقل لأنَّه قد يكون ثمة طلب كامن على التقنية بسبب التأخر المحتمل في إدخالها إلى السوق. لكننا لا نتوقع أن تبلغ المركبات الانتشار الكامل قبل قيامها بذلك في سياسة Improve10 لأنه وبحلول إدخال المركبات في سياستي Improve75 و Improve90، ستكون قد حققت أداء السلامة المستهدف بموجب Improve10 أيضًا. لذا، فالحد الأدنى من وقت الانتشار في هاتين السياستين يساوي عدد السنوات اللازمة إلى حين تحقيق المركبات الانتشار الكامل في Improve10 إذا لم يكن الانتشار الكامل قد حصل بعد. وإلا، فهو يساوي سنة واحدة. ونولي ثقلاً يتراوح ما بين 0 و 1 للبحث ما بين هذين الحدين.

ويتم تعريف أوجه عدم التأكُّد التي تحيط باستخدام المركبات عالية الآلية (المدخلان 4 و 5 في نموذج MAVS) بالطريقة عينها في السياسات كافة، وقيمتها هي عينها في كل السياسات في أي وضع مستقبلي محدد.

### العوامل غير المؤكدة التي تحيط بمعدلات الوفيات بالمركبات عالية الآلية في سياستي Improve75 و Improve90

يعتمد تعريف معدل الوفيات الأولي بالمركبات عالية الآلية في سياستي Improve75 و Improve90 على كل من السياستين. فكما سبق أن ذكرنا، فإنَّ معدل الوفيات الأفضل بالمركبات عالية الآلية غير مؤكَّد، لذا، ولتبسيط الأمور، افترضنا أنَّ تعريف مصطلح "شبه مثالي" قريب من الحد الأقصى عملياً لأداء المركبات عالية الآلية. لذا، فلا تشهد المركبات عالية الآلية تحسُّناً بموجب هاتين السياستين مع مرور الوقت. ويتم تعريف معدل الوفيات النهائي بالمركبات عالية الآلية (المدخل 8 في نموذج MAVS) على أنَّه هو عينه معدل الوفيات الأساسي بالمركبات عالية الآلية (تحسُّن بنسبة 75 أو 90 في المئة مقارنةً بالمعدل المعياري). وأما معدل التعلُّم وقابلية الترقية (المدخلان 9 و 10 في نموذج MAVS)، فلا ينطبقان على المركبات عالية الآلية بموجب هاتين السياستين.

نستخدم في هذا الفصل النموذج والوسائل التي وصفناها في الفصل الثالث للإجابة على السؤال الأول الذي طرحناه في المقدمة: في أي ظروف تقوم كل من السياسات بإنقاذ أكبر عدد من الأرواح على المدى القصير وال المدى الطويل وما وسع عملية الإنقاذ هذه؟ فنتفحص أولاً النتائج على المدى القصير ومن ثم على المدى الطويل.

### في أي ظروف تقوم كل من السياسات بإنقاذ أكبر عدد من الأرواح على المدى القصير وما هو عدد الأرواح التي سيتم إنقاذها؟

يبين الشكل 4.1 الفرق في العدد التراكمي للوفيات ما بين Improve10 و Improve75 (الرسم أ) وما بين Improve10 و Improve90 (الرسم ب) في 500 حالة على المدى القصير، بعد 15 عامًا من النشر الأولي للمركبات عالية الآلية في سياسة Improve10. وتشير القيم الإيجابية إلى الحالات حيث تنقذ Improve10 عددًا أكبر من الأرواح بشكل تراكمي (مبيّنة باللون الأزرق الفاتح حيث الأرواح المنقذة أقل من 50 ألف وباللون الأزرق الداكن حيث تزيد الأرواح المنقذة عن 50 ألف)، في حين تشير القيم السلبية إلى الحالات حيث تنقذ سياستا Improve75 و Improve90 عددًا أكبر من الأرواح بشكل تراكمي (مبيّنة باللون الأحمر).

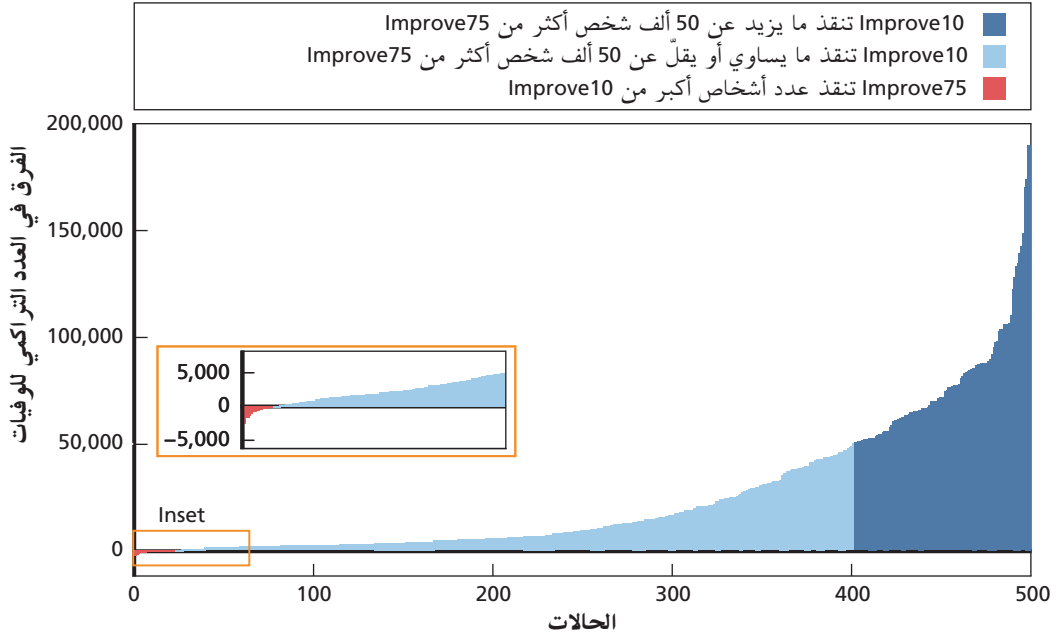
تبيّن هذه النتائج أن سياسة Improve10 تنقذ عددًا أكبر من الأرواح من السياستين الأخيرتين في كل تركيبات الظروف التي درسناها تقريبًا (476 حالة من أصل 500، أو 95 في المئة من كافة الحالات مقارنة بمقارنة Improve75؛ و484 حالة من أصل 500، أو 97 في المئة من كافة الحالات مقارنة بمقارنة Improve90).<sup>1</sup> لدى مقارنة عدد الأرواح المنقذة التراكمي في سياسة Improve10 بالعدد في Improve75، يتبيّن أنه يمكن للأولى أن تبلغ 200 ألف نسمة؛ ولدى مقارنتها بالعدد التراكمي للأرواح المنقذة في Improve90، يتبيّن أنه يمكنها أن تتجاوز 200 ألف نسمة. ويتم إنقاذ عدد أرواح في المقارنة الثانية أكبر من المقارنة الأولى لأن (1) إدخال المركبات عالية الآلية بموجب Improve90 سيتأخر أكثر من إدخالها في Improve75، ما سيخلق فرصة إضافية للمركبات عالية الآلية المستحدثة بموجب Improve10 لإنقاذ الأرواح، و(2) بإمكان المركبات عالية الآلية المستحدثة بموجب Improve10 أن تحقق معدلات وفيات بموجب Improve90 أدنى من تلك في Improve75، ما يخلق وسائل إضافية لتنقذ هذه المركبات عالية الآلية المزيد من الأرواح.

<sup>1</sup> لا يجدر تفسير هذا الأمر على أنه إشارة إلى احتمالية كل نتيجة من نتائج إنقاذ الأرواح، لأن الحالات لم تنشأ من توزيع ترجيحي للمدخلات. وتحول أوجه عدم التأكد الشديدة دون التنبؤ بشكل ترجيحي وموثوق بالأمور غير المؤكدة والنتائج.

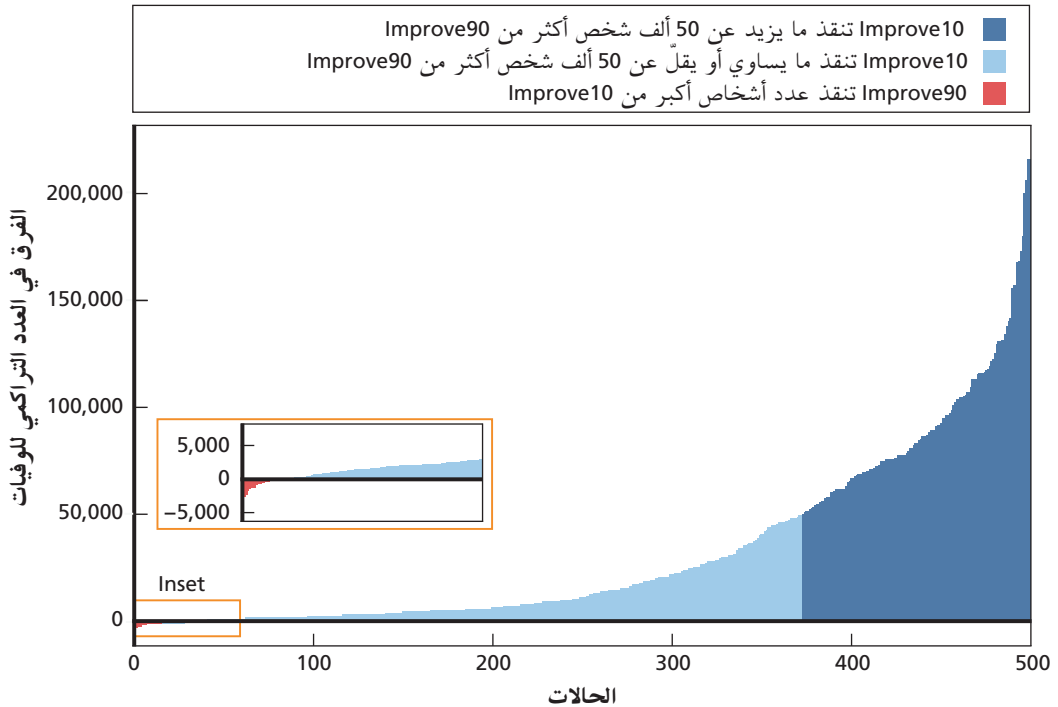
#### الشكل 4.1

الفرق الإجمالي في العدد التراكمي للأرواح المنقذة على مدى 15 عامًا في حالة 500

الرسم أ. مقارنة بين Improve75 و Improve10



الرسم ب. مقارنة بين Improve90 و Improve10

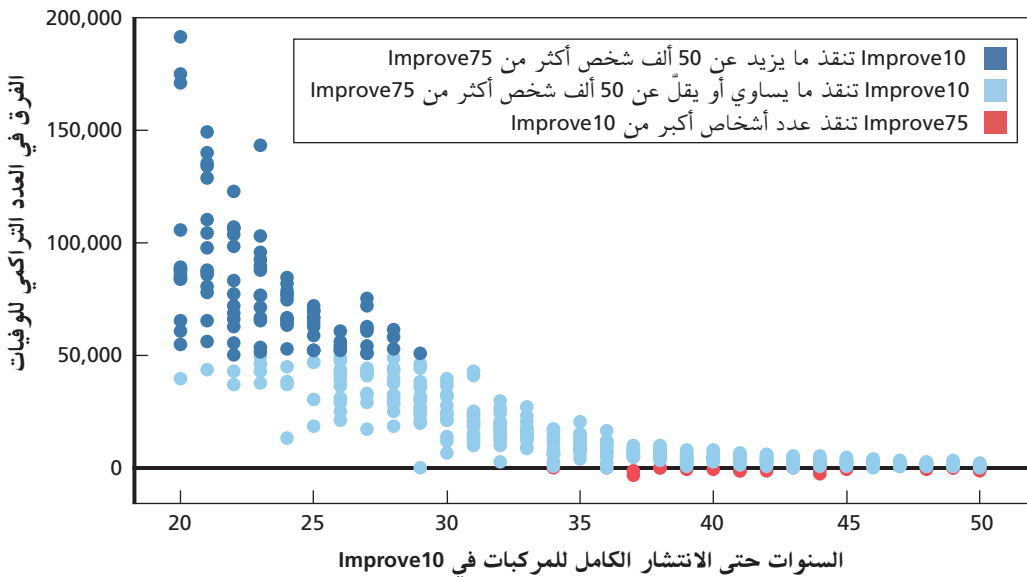


يبين الشكل 4.2 أنه على المدى القصير، يتركز الفرق في العدد التراكمي للوفيات (المحور العامودي) إلى حد كبير على الوقت الذي ستستغرقه المركبات عالية الآلية لبلوغ الانتشار الكامل في سياسة Improve10 (المحور الأفقي). وهذا أمر متوقع: إذ يعني انتشار هذه المركبات بشكل أسرع قيادة مسافات أكبر في وقت أبكر بمركبات عالية الآلية تتحلى بتقنيات أمانة، ما يؤدي بدوره إلى فرص أكبر لزيادة الفروقات في عدد الوفيات بين السياستين. وفي المقابل، إذا استغرق الانتشار عقوداً عدة، فسيتم قطع أميال قليلة بالمركبات عالية الآلية في أي من السياسات، ما سيسفر عن إمكانية أصغر لإحداث الفرق. وتمثل كل نقطة في الشكل واحدة من الحالات الـ500.

وثمة بضعة ظروف حيث تنقذ سياسة Improve75 أو Improve90 عدد أرواح أكبر من Improve10 في الإطار الزمني الممتد على 15 عامًا. إنما بحلول عام 2035، سيكون العدد التراكمي الأكبر للأرواح المنقذة بسياستي التحسين الأكبر، [أي Improve75 و Improve90]، مقارنةً بـ Improve10 حوالي 3 آلاف شخص، وذلك أقل بكثير من عشرات آلاف وأحياناً مئات آلاف الأرواح التي تنقذها Improve10 في ظل الكثير من الظروف التي درسناها.

#### الشكل 4.2

الفرق بين Improve75 و Improve10 من حيث العدد التراكمي للوفيات على مدى 15 عامًا بحسب عدد السنوات المتبقية حتى الانتشار الكامل للمركبات تحت سياسة Improve10

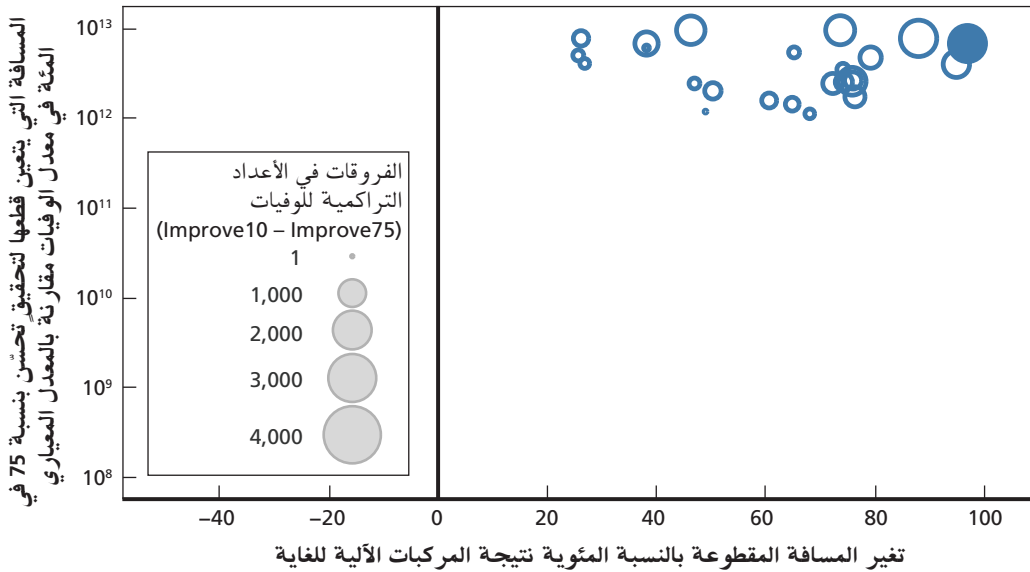


يحدث إنقاذ ما يصل إلى 3 آلاف شخص في سياسة Improve75 أو Improve90 في الأوضاع المستقبلية حيث لا يعدّ بعد معدل الوفيات بالمركبات عالية الآلية المستحدثة في أولى سنوات Improve10 منخفضًا بما يكفي للتعويض عن زيادة المسافات المقطوعة الناجمة عن استخدام المركبات عالية الآلية. والتحصّن البطيء في معدل الوفيات بالمركبات عالية الآلية في سياسة Improve10 ناجم بدوره عن معدل تعلم بطيء وانتشار بطيء نسبيًا للتقنية. ويبين الشكل 4.3 هذا الأثر، حيث تمثل كل علامة وضعًا مستقبليًا (أو حالة) حيث يكون العدد التراكمي للوفيات في Improve75 أدنى من العدد في Improve10 بحلول عام 2035. ويناسب حجم كل علامة الفرق في العدد التراكمي للوفيات. يبيّن الشكل أنّ كل هذه الأوضاع المستقبلية تتضمن زيادةً تساوي أو تزيد عن 23 في المئة في المسافة المقطوعة نتيجة استخدام المركبات عالية الآلية (المحور الأفقي) وتتطلب قيادة 1 تريليون ميل أو أكثر لتحقيق تحسّن بنسبة 75 في المئة في معدلات الوفيات مقارنة بالمعدل المعياري.

ويمكننا استعراض آثار هذه العوامل في وضع مستقبلي واحد، إذ تبين الحالة 117 أنّ سياسة Improve75 تنقذ 3200 شخصًا أكثر من Improve10 في السنوات الخمسة عشرة الأولى التي تلي إدخال المركبات عالية الآلية. وتُبين قيم المعلمات غير المؤكدة في هذه الحالة في الجدول 4.1، فيما تبين الأشكال الثلاث التالية أثر هذه القيم في المسافة المقطوعة سنويًا بالمركبات (الشكل 4.4) ومعدل الوفيات (الشكل 4.5) والأعداد السنوية للوفيات (الشكل 4.6).

### الشكل 4.3

العوامل التي تسفر عن عدد تراكمي أدنى للوفيات بموجب Improve75 مقارنةً بـ Improve10 على مدى 15 عامًا



#### الجدول 4.1 قيم المعايير غير المؤكدة في الحالة 117

النطاق الذي جرى تقييمه	القيمة	المعلم غير المؤكد	مدخلات نموذج MAVS	10 Improve أو 75 Improve
0.4%-1.8%	0.56%	نمو المسافة المقطوعة بالمركبات غير عالية الآلية سنة بعد سنة	1	الاثنان
0-15	8	سنوات التأخر لإدخال المركبات عالية الآلية في سياسة Improve75 <sup>a</sup> (يستخدم لاحتساب سنة الإدخال الأولي للمركبات عالية الآلية)	2	Improve75
20-50	37	السنوات حتى بلوغ النشر الكامل للمركبات عالية الآلية في Improve10	3	Improve10
0-1	0.59	زيادة وتيرة اعتماد المركبات عالية الآلية في Improve75 <sup>a</sup> (يستخدم لاحتساب عدد السنوات حتى بلوغ النشر الكامل للمركبات عالية الآلية)	3	Improve75
50%-100%	60%	النسبة المئوية القصوى للأموال المقطوعة بالمركبات غير عالية الآلية في الوضع الأساس والتي من شأن المركبات عالية الآلية أن تحل مكانها عند النشر الكامل	4	الاثنان
-50%-100%	97%	التبديل في المسافة المقطوعة بالمركبات عالية الآلية نتيجةً لاستخدام هذه الأخيرة	5	الاثنان
0.5-1.1	0.81	التبديل في معدل الوفيات بالمركبات غير عالية الآلية بعد 50 عامًا	6	الاثنان
100 مليون-10 تريليون	6.9 تريليون	الأميال التي يتعين على المركبات عالية الآلية أن تقطعها لبلوغ 99% من معدل الوفيات النهائي بالمركبات عالية الآلية	9	Improve10
0-1	0.58	إمكانية ترقية المركبات عالية الآلية التي سبق أن تم نشرها	10	Improve10

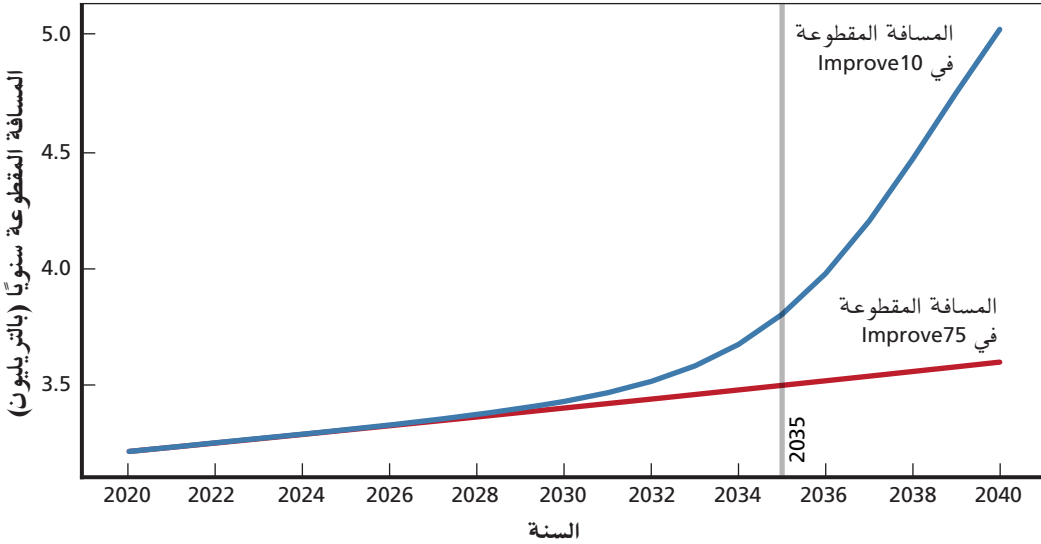
<sup>a</sup> كما ذكرنا في الفصل الثالث، لا يتم استخدام المعلمات غير المؤكدة هذه بشكل مباشر في نموذج (MAVS) بل يتم استخدامها لاحتساب المدخل المشار إليه في النموذج.

يُبين الصف بعنوان "التبديل في المسافة المقطوعة بالمركبات عالية الآلية نتيجةً لاستخدام هذه الأخيرة" في الجدول 4.1 أن انتشار المركبات عالية الآلية في هذه الحالة يزيد بشكل كبير المسافة المقطوعة.<sup>2</sup> ويمكن رؤية أثر هذه الزيادة في الشكل 4.4، حيث يسبب استخدام المركبات عالية الآلية في سياسة Improve10 (باللون الأزرق) زيادة كبيرة في المسافة المقطوعة بالمركبات بعد 15 عامًا من إدخال المركبات عالية الآلية مقارنةً بـ Improve75 (باللون الأحمر) حيث لا يكون قد تم إدخال المركبات عالية الآلية بعد فلا تحصل أي زيادة.

ويبين الصف بعنوان "الأميال التي يتعين على المركبات عالية الآلية أن تقطعها لبلوغ 99% من معدل الوفيات النهائي بالمركبات عالية الآلية" في الجدول 4.1 أنه يلزم قيادة 6.9 تريليون ميل بعد نشر المركبات عالية الآلية لكي تتمكن هذه الأخيرة من تحسين معدل الوفيات السنوي بـ 90

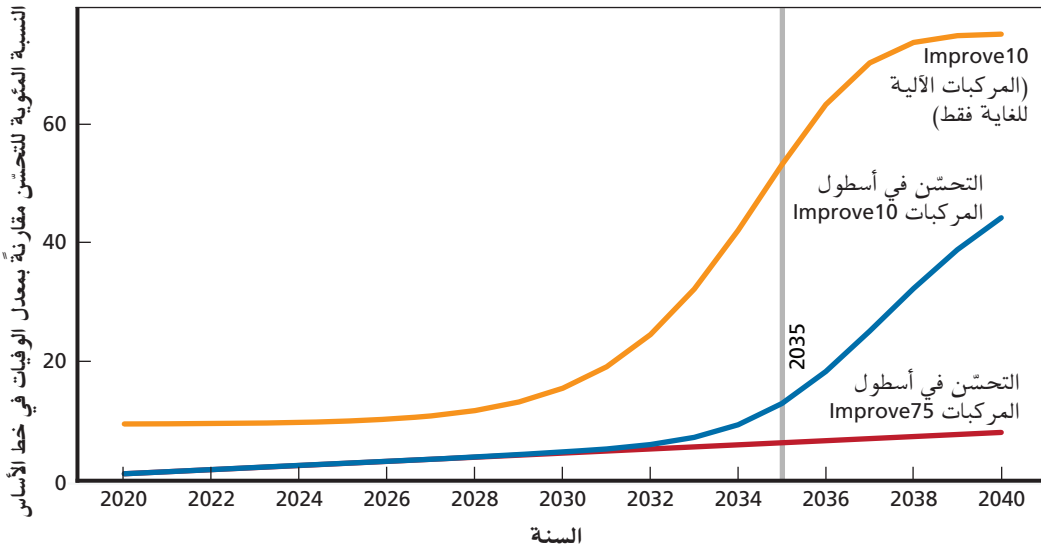
<sup>2</sup> في هذا الوضع المستقبلي بشكل خاص، لكل ميل مقطوع بالسائقين البشر في وضع خط الأساس ويتم استبداله لاحقًا بمركبة آلية للغاية في الوضع المستقبلي الذي يتضمن مركبات عالية الآلية (Improve10 أو Improve75)، تقطع المركبات عالية الآلية 0.97 ميلًا إضافيًا نتيجةً لزيادة الطلب على التنقل.

الشكل 4.4  
المسافة المقطوعة سنويًا (VMT) في الحالة 117



RAND RR2150z2-4.4

الشكل 4.5  
تحسّن معدل الوفيات في الحالة 117



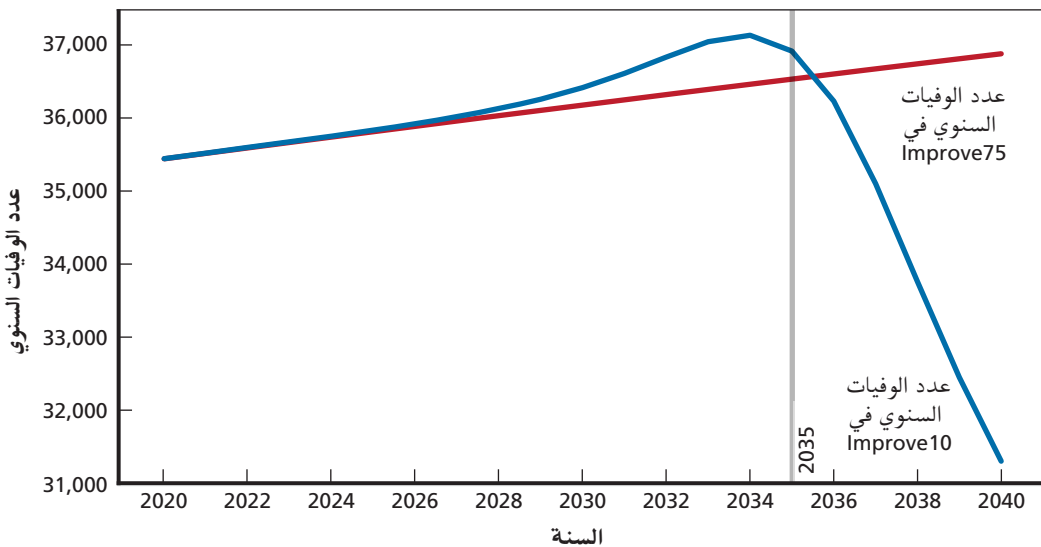
RAND RR2150z2-4.5

في المئة مقارنةً بالمعدل المعياري في سياسة Improve10. وتعني وتيرة نشر أبطأ (أي 35 عامًا) قطع هذه الأميال ببطء. ويبدو أثر هذا الأمر بديهيًا في الشكل 4.5 حيث يظهر أنه وبعد 15 عامًا من إدخال المركبات عالية الآلية واجتياز 1.6 تريليون ميل من المسافة التراكمية بالمركبات عالية الآلية، يتحسن معدل الوفيات بأحدث المركبات عالية الآلية المتوفرة (باللون البرتقالي) في سياسة Improve10 بـ 50 في المئة مقارنةً بالمعدل المعياري، إنما يبقى ذلك دون نسبة التحسن البالغة 75 في المئة والتي تشكّل الأداء الأفضل بموجب هذه السياسة. وبلغ التحسّن الفعلي في أسطول المركبات بمجمله في سياسة Improve10 (المركبات عالية الآلية وغير عالية الآلية معًا، باللون الأزرق) حوالي 15 في المئة، ذلك لأنّ معظم المركبات لا تزال غير آليّة للغاية ولأنّ ثمة مركبات عالية الآلية أقدم لا تزال تعمل على الطرقات بأداء لا يستوفي أحدث المعايير التقنية.

وتحسن معدل الوفاة في Improve75 (باللون الأحمر) أدنى بعد، حيث يبلغ 7 في المئة، لأنّه لم يتم هنا إدخال أي مركبات عالية الآلية بعد (غير أنّه يتحسن لأنّ معدلات الوفيات بالمركبات غير عالية الآلية تنخفض في هذا الوضع المستقبلي). وهذا المعدل هو عينه الذي يمكن ملاحظته في وضع مستقبلي خالٍ من المركبات عالية الآلية.

يبين الشكل 4.6 أنّ تركيبة المسافة المقطوعة بالمركبات وتحسّن معدلات الوفيات غير الكافي قادرة على زيادة أعداد الوفيات السنوية مقارنةً بعدم وجود أي مركبات عالية الآلية بتاتًا. وفي الحالة 117، لا تحدث هذه الزيادة في ظل سياسة Improve75 لأنّه يتم تأخير إدخال المركبات عالية الآلية إلى حين تحسّن معدل الوفيات بشكل كبير فيصبح قادرًا على التعويض عن المسافة الكبيرة المقطوعة. كما ويبين الشكل أنّه، وفي سياسة Improve10، يتم التعويض عن زيادة الوفيات في السنوات الأولى لاحقًا في السنوات التالية فيما يتحسن أداء سلامة المركبات عالية الآلية ويزيد انتشار هذه المركبات المحسّنة. وبحلول عام 2040، يصبح عدد الوفيات السنوية أصغر في Improve10 مما هو عليه في Improve75.

الشكل 4.6  
عدد الوفيات السنوي في الحالة 117





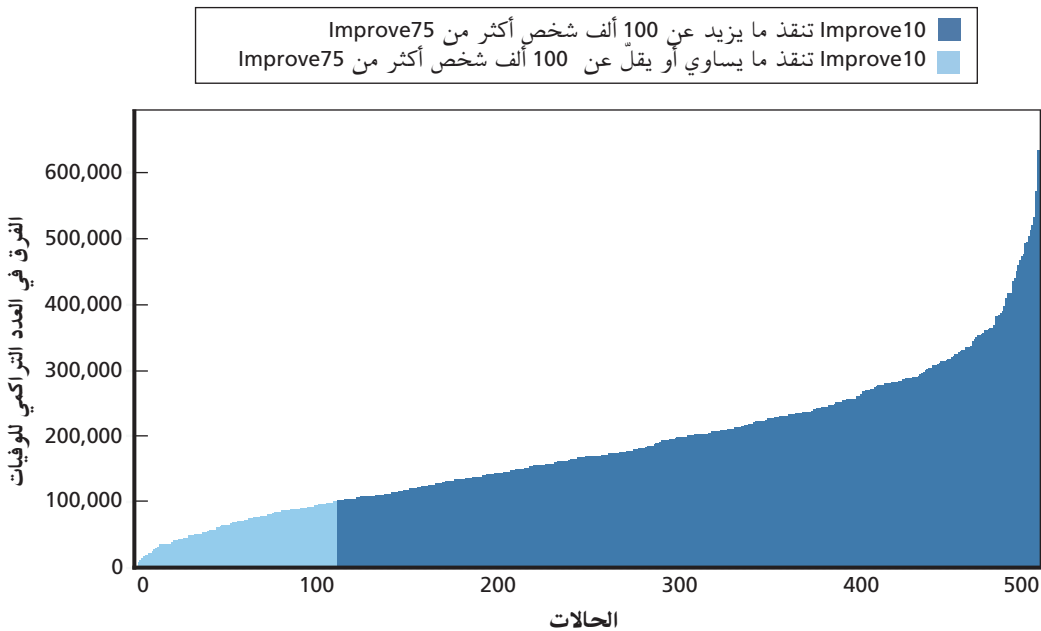
والخلاصة أنه على المدى القصير (أي بعد 15 عامًا من إدخال هذه المركبات)، يتم إنقاذ عدد تراكمي من الأرواح في سياسة Improve10 أكبر من Improve75 أو Improve90 في كافة الظروف تقريبًا، ويمكن لعدد الأرواح المنقذة هذه أن تبلغ أرقامًا هائلة - بحيث تصل إلى عشرات أو مئات آلاف الأرواح. وتبدو هذه الأعداد كبيرة بشكل خاص عندما يتم اعتماد المركبات عالية الآلية بسرعة في Improve10. وفي المقابل، لا تقوم السياسات الأكثر صرامة بإنقاذ عدد أكبر من الأرواح إلا عندما تؤدي المركبات المستحدثة في Improve10 إلى زيادات كبيرة في المسافات المقطوعة ولا يقابل هذه الزيادات تحسّن سريع في معدلات الوفيات بالمركبات عالية الآلية. ولكن، وحتى في هذه الظروف، تبقى أعداد الأرواح المنقذة على المدى القصير في Improve75 و Improve90 صغيرة نسبيًا (تقارب 3 آلاف شخص في فترة 15 عامًا) وتختفي مع الوقت فيما تستمر معدلات الوفيات بالمركبات عالية الآلية بالتحسّن في ظل سياسة Improve10.

**في أي ظروف تقوم كل من السياسات بإنقاذ أكبر عدد من الأرواح على المدى الطويل وما هو عدد الأرواح التي سيتم إنقاذها؟**

نركّز الآن على أعداد الأرواح المنقذة على المدى الطويل - أي بعد ثلاثين عامًا من الإطلاق الأولي للمركبات عالية الآلية في سياسة Improve10. يبيّن الشكل 4.7 الفرق في الأعداد التراكمية للوفيات بين Improve75 و Improve10 في مجمل الحالات على المدى الطويل الذي يحدد بالعام 2050. وكما في الشكل 4.1، تشير القيم الإيجابية (باللون الأزرق) إلى أنّ Improve10 تنقذ عددًا أكبر من الأرواح

#### الشكل 4.7

الفرق بين Improve75 و Improve10 من حيث العدد التراكمي للأرواح المنقذة على مدى 30 عامًا في 500 حالة



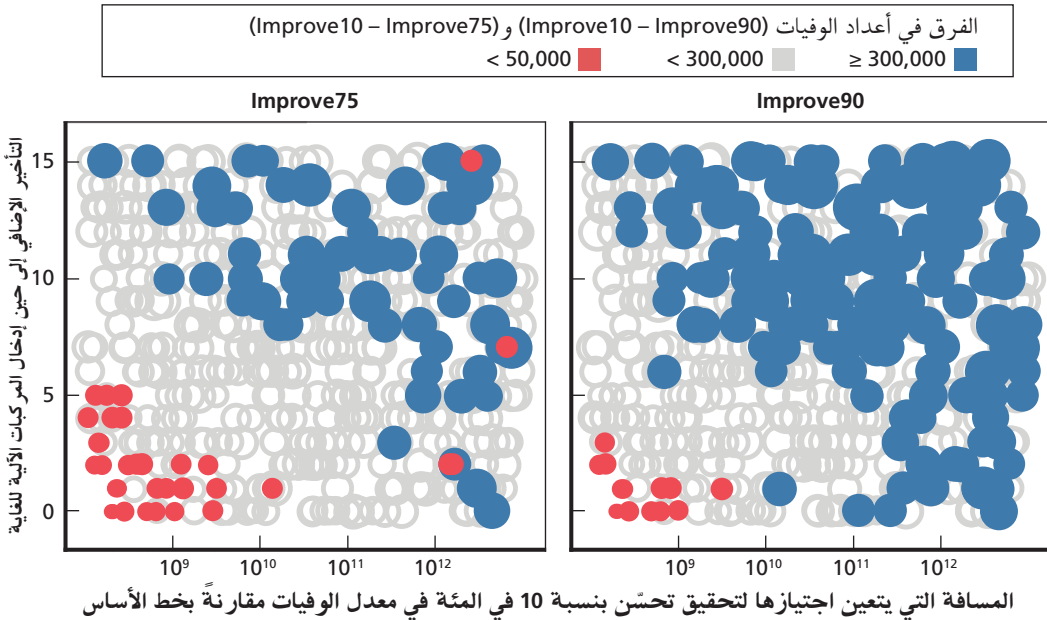
بشكل تراكمي، في حين أنّ القيم السلبية تشير إلى أنّ Improve75 هي التي تنقذ عددًا أكبر من الأرواح بشكل تراكمي.

وكما يبيّن الشكل 4.7، في فترة 30 عامًا، يتم إنقاذ عدد تراكمي أكبر من الأرواح في سياسة Improve10 من سياسة Improve75 في كل تركيبات ظروف اعتماد المركبات وأدائها المستقبلي التي درسناها. بعبارة أخرى، لم نتمكن من إيجاد أي مجموعة ظروف معقولة حيث يؤدي انتظار تحقق تحسينات كبيرة في السلامة إلى إنقاذ عدد أكبر من الأرواح على المدى الطويل. كما ويمكن لكلفة انتظار هذه التحسينات الكبيرة أن تكون عالية جدًا - فتزيد في بعض الحالات عن نصف مليون نسمة. وذلك يمثل زيادة تصل إلى 83 في المئة في عدد الوفيات مقارنة بالفترة عينها في سياسة Improve10.

ويتخذ الفرق في عدد الأرواح المنقذة بين Improve10 و Improve90 نمطًا مشابهًا جدًا (لا نظهره هنا ضمن شكل لتوخي الإيجاز). فننقذ Improve10 عددًا أكبر من الأرواح في كل وضع مستقبلي درسناه ويمكن للفرق أن يصل إلى 700 ألف نسمة في الحالات الأكثر تطرفًا. لذا، تشهد سياسة Improve90 نسبة وفيات أكبر بـ 116 في المئة مقارنة بالفترة عينها في سياسة Improve10. على المدى القصير، يتأتى حجم الفرق في أعداد الوفيات في المقام الأول من عدد الأميال الإضافية المقطوعة بالمركبات عالية الآلية في Improve10 مقارنة بـ Improve75 أو Improve90. وعلى المدى الطويل، يبدو الفرق في المسافة المقطوعة بالمركبات، وبالتالي الفرق في الأعداد التراكمية للوفيات، الأصغر في الأوضاع المستقبلية حيث يتم إدخال المركبات عالية الآلية في كلا السياستين في الوقت عينه تقريبًا. ويبيّن الشكل 4.8 أنّ ذلك يحصل بشكل عام عندما (1) يكون

#### الشكل 4.8

الفرق بين Improve10 و Improve75 أو Improve90 من حيث العدد التراكمي للوفيات على مدى 30 عامًا بالنظر إلى طرفين



عدد الأميال اللازم لتحقيق التحسّن الكامل في Improve10 (أي تحسّن بنسبة 10 في المئة في نسبة الوفيات مقارنةً بالمعدل المعياري) صغيرًا (المحور الأفقي)؛ و(2) يمكن تحقيق التحسّن عينه بالسرعة عينها في المختبر أو في إعدادات محاكية للواقع بدلًا من نشر المركبات على الطرقات، وبالتالي إما لا يكون ثمة تأخير أو يكون التأخير بسيطًا إلى حين إدخال المركبات عالية الآلية في Improve75 أو Improve90 (المحور العمودي). وكما في ما سبق، يتم تمثيل الأوضاع المستقبلية التي تشهد الفرق الأكبر من حيث عدد الوفيات بحلقات أكبر؛ وفي هذه الحالة، تمثّل الفروقات العدد الإضافي التراكمي للوفيات التي تؤدي إليها سياسة Improve75 أو Improve90 في فترة 30 عامًا مقارنةً بسياسة Improve10.

يتم تبيان الأوضاع المستقبلية حيث يساوي الفرق في عدد الوفيات أو يقل عن 50 ألف نسمة بحلقات حمراء ممتلئة، في حين يتم تبيان الأوضاع المستقبلية حيث يزيد الفرق عن 300 ألف نسمة بحلقات زرقاء ممتلئة؛ ويتم تبيان الأوضاع المستقبلية حيث يقع الفرق ما بين هذين الحدين بحلقات رمادية فارغة. وكما سبق أن ذكرنا، تشهد سياستا Improve75 و Improve90 عدد وفيات تراكميًا أكبر من Improve10 على المدى الطويل في كافة الحالات.

ويعني ذلك أنّه يقع فرق يساوي 50 ألف حالة وفاة أو أقل عندما يتطلب الأمر أقل من 10 مليارات (10<sup>9</sup>) ميل من القيادة لتحسين أداء السلامة وعندما يساوي التأخر الإضافي إلى حين إدخال المركبات عالية الآلية في Improve75 أو Improve90 خمس سنوات أو أقل. وتصل زيادة الوفيات إلى 300 ألف نسمة في حالات كثيرة حيث يستغرق الأمر 100 مليار ميل أو أكثر من القيادة وعندما يصل التأخر الإضافي لإدخال المركبات 10 سنوات أو أكثر. كما يمكن لهذه الزيادة الكبيرة أن تحصل عندما يكون التعلم سريعًا لكنّ التأخر كبيرًا أو العكس، ما يشير إلى أنّ ثمة علاقة مبادلة ما بين هذين العاملين.

كما وتدخل بالطبع عوامل أخرى في اللعبة لتخلق اختلافًا في هذه النتائج. فالعوامل التي تتيح قطع مسافات أكبر بالمركبات عالية الآلية (مثل الزيادات الأكبر في المسافات الإجمالية المقطوعة والاستخدام الأوسع للمركبات عالية الآلية) تؤدي إلى فروقات أكبر في أعداد الأرواح المنقذة بالمركبات عالية الآلية في Improve10 مقارنةً بـ Improve75. وفي المقابل، يقلص ضعف إمكانية ترقية المركبات هذا الفرق لأن المركبات القديمة ذات أداء السلامة الأضعف تبقى عاملة على الطرقات. ومع ذلك، يكشف تحليلنا أنّ هذه العوامل ليست هي الدوافع الأساسية خلف تبدل النتائج بين سياسة وأخرى. بالمختصر المفيد، يتم إنقاذ عدد تراكمي أكبر من الأرواح على المدى الطويل في سياسة Improve10 مقارنةً بكل من Improve75 و Improve90 في كافة تركيبات الظروف التي درسناها، ويمكن لهذه الأعداد أن تكون كبيرةً فتصل إلى مئات آلاف الأشخاص في حالات عديدة وإلى نصف مليون نسمة في حالات أخرى. وتبلغ هذه الأعداد أوجهاً عندما يتأخر إدخال المركبات عالية الآلية في Improve75 أو Improve90 كثيرًا لأنّ (1) عدد الأميال اللازمة لتحسين المركبات عالية الآلية من «أفضل بقليل من السائق البشري العادي» إلى «شبه مثالية» كبير؛ و(2) لأنه لا يمكن تحقيق التحسّن عينه بالسرعة عينها في المختبر أو في إعدادات محاكية للواقع. وتكون الأعداد هي الأصغر عندما تنطبق الظروف المعاكسة لذلك.

لقد عرضنا في الفصل الرابع نتائج التحليلات التي تحدد الظروف التي يتم فيها إنقاذ عدد أكبر من الأرواح في كل سياسة على المدى القصير والمدى الطويل، وما عدد الأرواح المنقذة هذا. وتبين أنه على المدى القصير (أي بعد 15 عامًا)، يتم إنقاذ عدد تراكمي أكبر من الأرواح في ظل سياسة أكثر تساهلاً (Improve10) مقارنةً بالسياستين الأكثر صرامة اللتين تتطلبان تحقيق تطورات أكبر في السلامة (Improve75 و Improve90) في كافة الظروف تقريبًا، وأنه يمكن لعدد الأرواح هذا أن يكون كبيرًا - فتصل إلى مئات آلاف الأرواح. ويبلغ العدد أقصاه عندما يتم اعتماد المركبات عالية الآلية في إطار سياسة Improve10 بسرعة. وفي المقابل، لا تؤدي السياستان الأكثر صرامة إلى إنقاذ عدد أكبر من الأرواح إلا عندما يؤدي إدخال المركبات عالية الآلية إلى زيادات كبيرة في المسافات المقطوعة ولا يقابل ذلك انخفاضات سريعة ملائمة في معدلات الوفيات بالمركبات عالية الآلية في Improve10. ولكن، وحتى في هذه الظروف، يبقى عدد الأرواح المنقذة على المدى القصير في ظل السياستين الصارمتين Improve75 و Improve90 صغيرًا نسبيًا (فيبلغ حده التراكمي الأقصى 3 آلاف شخص) ويختفي مع الوقت فيما تستمر معدلات الوفيات بالمركبات عالية الآلية بالتحسن في ظل سياسة Improve10.

وعلى المدى الطويل (أي بعد 30 عامًا)، يتم إنقاذ عدد تراكمي من الأرواح في سياسة Improve10 أكبر من ذلك في سياسة Improve75 أو Improve90 في كافة تركيبات الظروف التي درسناها. ويبدو هذا العدد أكبر بعد - فيزيد في حالات كثيرة عن نصف مليون نسمة. ويبلغ هذا العدد أقصاه عندما يتأخر كثيرًا إدخال المركبات عالية الآلية في إطار سياسة Improve75 أو Improve90 لأن (1) عدد الأميال اللازمة لتحسين المركبات عالية الآلية من أفضل بقليل من السائق البشري العادي إلى "شبه مثالية" كبير؛ و (2) لأنه لا يمكن تحقيق التحسن عينه بالسرعة عينها في المختبر أو في إعدادات محاكية للواقع. وتكون الأعداد هي الأصغر عندما تقع الظروف المعاكسة لذلك.

والآن، سيغوص هذا الفصل في السؤالين الثاني والثالث اللذين تطرحهما هذه الدراسة، وهما:

2. إلام تشير الأدلة حول الظروف التي تؤدي إلى دفع ثمن ضئيل نتيجة انتظار تقنيات أكثر أمانًا بأضعاف من قيادة السائق البشري؟
3. ما الذي يعنيه ذلك بالنسبة إلى سياسات طرح المركبات عالية الآلية لاستخدام المستهلك؟

## إلام تشير الأدلة حول الظروف التي تؤدي إلى دفع ثمن ضئيل نتيجة انتظار تقنيات أكثر أمناً بأضعاف من قيادة السائق البشري؟

كون معظم الأوضاع المستقبلية التي درسناها يترتب عليها ثمن باهظ نتيجة انتظار مركبات عالية الآلية أفضل بكثير لا يعني بالضرورة أنّ تلك هي النتيجة الأكثر ترجيحاً التي تترتب على الانتظار، لأنّ الأوضاع المستقبلية التي درسناها لم يتم توليدها بشكلٍ ترجيحي. وذلك لأنّ العوامل التي ترسم معالم الوفيات في كل سياسة تحيط بها حالة شديدة من عدم اليقين ولا يمكن إسناد ترجيح لأي نتيجة معينة. وتماشياً مع عملية صنع القرار المتينة (RDM)، تم استخدام الأوضاع المستقبلية لتحديد الظروف التي تؤدي إلى نتائج مختلفة في ظل كل من السياسات، بدون افتراضات مسبقة بشأن احتمالية كل وضع مستقبلي.

من هنا، من الأنسب طرح سؤال ما إذا كان ثمة أدلة تشير إلى أنّ الظروف التي تؤدي إلى دفع ثمن ضئيل أو عدم دفع أي ثمن لانتظار مركبات عالية الآلية أفضل بكثير من السائق البشري هي ظروف معقولة أكثر من تلك التي تؤدي إلى دفع ثمن أكبر لقاء الانتظار. بعبارة أخرى، هل ثمة ما يدفعنا إلى الاعتقاد أنّ نمط تحسين المركبات عالية الآلية سيكون سريعاً، أو أنّ للتعلم بعد نشر المركبات قيمة ضئيلة؟ إذا كان الأمر كذلك، فقد يكون من الأفضل تأجيل إطلاق المركبات عالية الآلية إلى حين تحقيق تحسينات كبرى في السلامة.

أولاً، ما من أدلة تشير إلى أنّ تحسين المركبات عالية الآلية من أفضل بقليل من السائق البشري العادي إلى أفضل بأضعافٍ سيكون أمراً سريعاً، مهما كانت الأدوات والتقنيات المتوفرة. فقد بدأ التطوير التجاري للتقنية قبل بضعة عقود وهو جارٍ بشكلٍ جديّ فعلاً منذ عشر سنوات، حيث تقوم كل شركات تصنيع السيارات الكبرى تقريباً بتطوير هذه التقنية. وفي حين أنّه من غير الواضح في الوقت الحالي ما إذا كانت المركبات عالية الآلية اليوم أفضل أو أسوأ من السائق البشري العادي، يعتقد الكثير من رواد المجال أنّ هذه الصناعة لا تزال بعيدة جداً عن بلوغ تحسينات كبيرة.

لا أحد منّا في مجال السيارات أو [تقنية المعلومات] اقترب من تحقيق القيادة الذاتية من المستوى 5 فعلاً. وإذا جمعنا تقنياتنا معاً، يمكن للنماذج المبدئية الحالية لسياراتنا المستقلة أن تتعامل مع الكثير من الحالات. ولكن، لا يزال هناك حالات كثيرة أخرى تتجاوز قدرة الآلات الحالية. وسيلزمنّا أعوام كثيرة من تعلم الآلات واجتياز أميال أكثر بكثير مما سجّلته أي شركة حتى الآن سواء بالاختبار المحاكي للواقع أو بالقيادة على الطرقات الفعلية لتحقيق الكمال الذي تتطلبه القيادة الذاتية من المستوى 5. (Pratt, 2017)

وفي الوقت عينه، تشير الأبحاث الرامية إلى تحسين التقنيات في مجمل القطاعات إلى أنّ ثمة علاقة نسبية بين الإنتاج والأداء: حيث تؤدي مضاعفة الإنتاج إلى تحسّن مستمر في الأداء (بقياسه بالكلفة وخصائص أخرى) (Nagy et al., 2013). وربما توجد علاقة مماثلة بين أداء خوارزميات تعلم الآلات ومجموعات البيانات (Sun et al., 2017). ويشير ذلك في سياق المركبات عالية الآلية إلى أنّ تحقيق المكاسب التي قد يعتبرها البعض "شبه مثالية" قد يستغرق جهداً ووقتاً أكبر بكثير من بلوغ أداء أفضل من السائق البشري العادي، الأمر الذي لا يزال ربما هو نفسه بعيد المنال.

ثانيًا، ما من سبب يدفعنا إلى الاعتقاد أن قيمة القيادة على الطرقات الفعلية قليلة بالنسبة إلى تحسين المركبات عالية الآلية. إذ تُشكّل القيادة على الطرقات الفعلية جزءًا هامًا من جهود التطوير، وفقًا لما تشير إليه الشركات الـ 36 التي تسجّلت حتى الآن لدى إدارة كاليفورنيا للمركبات لإجراء الاختبارات على الطرقات العامة (California Department of Motor Vehicles، بدون تاريخ). فالحلول البديلة – من محاكاة للواقع ومسارات مغلقة – ليست سوى حلولاً مُكمّلة إنما لا يمكنها أن تحل مكان القيادة على الطرقات الفعلية. لذا، ما من سبب مقنع يدفعنا إلى الاعتقاد أن الفرق في توقيت إدخال المركبات عالية الآلية سيكون صغيرًا بين السياسيين.

وبالمختصر المفيد، تشير تحليلاتنا إلى أنّ سياسة انتظار أن تصبح المركبات عالية الآلية أفضل بأضعاف من السائق البشري العادي أو أن تصبح شبه مثالية ستسفر عن ثمن باهظ من حيث عدد الوفيات. إنّما كم سيكون هذا الثمن باهظًا؟ يمكن لهذا الأمر أن يختلف بشكل كبير – من عشرات إلى مئات آلاف الأرواح مع الوقت، بحسب الطريقة التي تتطور بها التقنية ومدى انتشارها.

### ما الذي يعنيه ذلك بالنسبة إلى سياسات طرح المركبات عالية الآلية لاستخدام المستهلك؟

في سياق مجتمع منفعي، تشير نتائجنا إلى أنّه يجدر بصنّاع السياسات السماح بالمركبات عالية الآلية والسماح للشركات المطوّرة بنشرها عندما تصبح أكثر أمانًا من قيادة السائق البشري العادي. غير أنّنا لا نعيش في مجتمع منفعي (Bonnefon, Shariff, and Rahwan, 2016). لذا بإمكان رد فعل كبير مثلًا إزاء حادث ناجم عن مركبات عالية الآلية، حتى ولو كانت آمنة نسبيًا، أن يضع حدًا لهذا القطاع – ما قد يسفر عن خسارة العدد الأكبر من الأرواح مع الوقت. وفي مثال آخر، يُشكّل أحيانًا غضب عامة الناس أمام الإخفاقات التقنية عاملاً يدفع القطاع إلى القيام بتحسينات إضافية في السلامة كان سيتم التغاضي عنها في خلاف ذلك.<sup>1</sup>

عوضًا عن ذلك، تشير نتائجنا إلى أنّه يترتب ثمن فعلي وباهظ على انتظار حلول تقنية شبه مثالية، وأنّه على المجتمع – بما فيه عامة الناس وصنّاع السياسات والنظام القضائي وقطاع المواصلات – أن يحقق التوازن ما بين استجابة المجتمع لحوادث المركبات عالية الآلية من جهة ومعدلات حوادث المركبات عالية الآلية تحت سياسات مختلفة من جهة أخرى. وربما تساعد الأدلة المتاحة في هذه الدراسة الجهات المعنية على إيجاد حل مشترك لمتطلبات أداء المركبات عالية الآلية تنقذ العدد الأكبر من الأرواح في نهاية المطاف.

<sup>1</sup> تُوفّر الوسائد الهوائية مثل هذا المثال. فقد ساعدت الوسائد الهوائية على إنقاذ حياة الكثير من الركاب الذكور الراشدين، لكنّها تسببت أيضًا بإصابة ووفاة ركاب ذوي بنية أصغر. فكان أن طالب الجمهور وصنّاع السياسات بإدخال تحسينات على التقنية، ما حفز تطوير وسائد هوائية أكثر ذكاءً نجدها في المركبات اليوم (Houston and Richardson, 2000).



- Abraham, Hillary, Bryan Reimer, Bobbie Seppelt, Craig Fitzgerald, Bruce Mehle, and Joseph F. Coughlin, *Consumer Interest in Automation: Preliminary Observations Exploring a Year's Change*, Cambridge, Mass.: Massachusetts Institute of Technology AgeLab, White Paper 2017-2, 2017. As of September 12, 2017:  
<http://agelab.mit.edu/sites/default/files/MIT%20-%20NEMPA%20White%20Paper%20FINAL.pdf>
- Anderson, James M., Nidhi Kalra, Karlyn D. Stanley, Paul Sorensen, Constantine Samaras, and Oluwatobi A. Oluwatola, *Autonomous Vehicle Technology: A Guide for Policymakers*, Santa Monica, Calif.: RAND Corporation, RR-443-2-RC, 2016. As of January 24, 2016:  
[http://www.rand.org/pubs/research\\_reports/RR443-2.html](http://www.rand.org/pubs/research_reports/RR443-2.html)
- Bansal, Prateek, and Kara M. Kockelman, "Forecasting Americans' Long-Term Adoption of Connected and Autonomous Vehicle Technologies," *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Vol. 95, January 2017, pp. 49–63.
- Blincoe, Lawrence, Ted R. Miller, Eduard Zaloshnja, and Bruce A. Lawrence, *The Economic and Societal Impact of Motor Vehicle Crashes 2010 (Revised)*, Washington, D.C.: U.S. Department of Transportation, DOT HS 812 013, May 2015. As of March 3, 2016:  
<http://www-nrd.nhtsa.dot.gov/pubs/812013.pdf>
- Bonnefon, Jean-François, Azim Shariff, and Iyad Rahwan, "The Social Dilemma of Autonomous Vehicles," *Science*, Vol. 352, No. 6293, 2016, pp. 1573–1576.
- Boston Consulting Group, "By 2030, 25% of Miles Driven in US Could Be in Shared Self-Driving Electric Cars," press release, April 10, 2017. As of September 12, 2017:  
<https://www.bcg.com/d/press/10april2017-future-autonomous-electric-vehicles-151076>
- Bureau of Transportation Statistics, "Table 2-17: Motor Vehicle Safety Data," in *National Transportation Statistics*, Washington, D.C.: U.S. Department of Transportation, April 2016. As of January 31, 2017:  
[https://www.rita.dot.gov/bts/sites/rita.dot.gov/bts/files/publications/national\\_transportation\\_statistics/html/table\\_02\\_17.html](https://www.rita.dot.gov/bts/sites/rita.dot.gov/bts/files/publications/national_transportation_statistics/html/table_02_17.html)
- California Department of Motor Vehicles, "Testing of Autonomous Vehicles," web page, undated. As of September 12, 2017:  
<https://www.dmv.ca.gov/portal/dmv/detail/vr/autonomous+/testing>
- Casualty Actuarial Society, *Restating the National Highway Transportation Safety Administration's National Motor Vehicle Crash Causation Survey for Automated Vehicles*, Casualty Actuarial Society E-Forum, Vol. 1, Fall 2014.



Collins, Susan M., "Chairman Susan M. Collins Opening Statement," hearing on "The Automated and Self-Driving Vehicle Revolution: What Is the Role of Government?" U.S. Senate, Committee on Appropriations, Subcommittee on Transportation, Housing and Urban Development, and Related Agencies, November 16, 2016. As of September 8, 2017:

<https://www.appropriations.senate.gov/imo/media/doc/111616-Chairman-Collins-Opening-Statement-21.pdf>

DeCicco, John M., *A Fuel Efficiency Horizon for U.S. Automobiles*, September 2010. As of September 12, 2017:

[https://deepblue.lib.umich.edu/bitstream/handle/2027.42/78178/DeCicco\\_AutoEfficiencyHorizon\\_Sept2010.pdf?sequence=1](https://deepblue.lib.umich.edu/bitstream/handle/2027.42/78178/DeCicco_AutoEfficiencyHorizon_Sept2010.pdf?sequence=1)

Dietvorst, Berkeley J., Joseph P. Simmons, and Cade Massey, "Algorithm Aversion: People Erroneously Avoid Algorithms After Seeing Them Err," *Journal of Experimental Psychology: General*, July 6, 2014.

———, "Overcoming Algorithm Aversion: People Will Use Imperfect Algorithms If They Can (Even Slightly) Modify Them," *Management Science*, November 4, 2016.

Dingus, T. A., F. Guo, S. Lee, J. F. Antin, M. Perez, M. Buchanan-King, and J. Hankey, "Driver Crash Risk Factors and Prevalence Evaluation Using Naturalistic Driving Data," *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Vol. 113, No. 10, 2016, pp. 2636–2641.

Dixon, Lloyd, Robert J. Lempert, Tom LaTourrette, and Robert T. Reville, *The Federal Role in Terrorism Insurance: Evaluating Alternatives in an Uncertain World*, Santa Monica, Calif.: RAND Corporation, MG-679-CTRMP, 2007. As of September 12, 2017:

<http://www.rand.org/pubs/monographs/MG679.html>

Eccles, K., F. Gross, M. Liu, and F. Council, *Crash Data Analyses for Vehicle-to-Infrastructure Communications for Safety Applications*, Washington, D.C.: Federal Highway Administration, DTFH61-06-C-00013, 2012.

Energy Information Administration, *Annual Energy Outlook 2006*, Washington, D.C.: U.S. Department of Energy, DOE/EIA-3083, February 2006. As of September 12, 2017:

[http://maecourses.ucsd.edu/MAE119/WI\\_2015/PDF-PublishedDocuments/US\\_EIAAnnualEnergyOutlook-2006.pdf](http://maecourses.ucsd.edu/MAE119/WI_2015/PDF-PublishedDocuments/US_EIAAnnualEnergyOutlook-2006.pdf)

———, "Appendix A: Reference Case," in *Annual Energy Outlook 2017*, Washington, D.C.: U.S. Department of Energy, January 2017a. As of September 12, 2017:

<https://www.eia.gov/outlooks/aeo/pdf/appa.pdf>

———, *Study of the Potential Energy Consumption Impacts of Connected and Automated Vehicles*, Washington, D.C.: U.S. Department of Energy, March 2017b. As of September 12, 2017:

[https://www.eia.gov/analysis/studies/transportation/automated/pdf/automated\\_vehicles.pdf](https://www.eia.gov/analysis/studies/transportation/automated/pdf/automated_vehicles.pdf)

Fagnant, Daniel J., and Kara Kockelman, "Preparing a Nation for Autonomous Vehicles: Opportunities, Barriers and Policy Recommendations," *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Vol. 77, July 2015, pp. 167–181.

Federal Highway Administration, *FHWA Forecasts of Vehicle Miles Traveled (VMT): Spring 2016*, Washington, D.C.: U.S. Department of Transportation, May 2, 2016.

———, *FHWA Forecasts of Vehicle Miles Traveled (VMT): Spring 2017*, Washington, D.C.: U.S. Department of Transportation, May 4, 2017. As of January 17, 2017:

[https://www.fhwa.dot.gov/policyinformation/tables/vmt/vmt\\_forecast\\_sum.pdf](https://www.fhwa.dot.gov/policyinformation/tables/vmt/vmt_forecast_sum.pdf)

FHWA—See Federal Highway Administration.

Fischbach, Jordan R., Kyle Siler-Evans, Devin Tierney, Michael T. Wilson, Lauren M. Cook, and Linnea Warren May, *Robust Stormwater Management in the Pittsburgh Region: A Pilot Study*, Santa Monica, Calif.: RAND Corporation, RR-1673-MCF, 2017. As of September 12, 2017: [https://www.rand.org/pubs/research\\_reports/RR1673.html](https://www.rand.org/pubs/research_reports/RR1673.html)

Fischhoff, Baruch, Paul Slovic, Sarah Lichtenstein, Stephen Read, and Barbara Combs, "How Safe Is Safe Enough? A Psychometric Study of Attitudes Towards Technological Risks and Benefits," *Policy Sciences*, Vol. 9, No. 2, 1978, pp. 127–152.

Ford Motor Company, "Ford Targets Fully Autonomous Vehicle for Ride Sharing in 2021; Invests in New Tech Companies, Doubles Silicon Valley Team," press release, August 16, 2016. As of September 12, 2017:

<https://media.ford.com/content/fordmedia/fna/us/en/news/2016/08/16/ford-targets-fully-autonomous-vehicle-for-ride-sharing-in-2021.html>

Fraade-Blonar, Laura, and Nidhi Kalra, *Autonomous Vehicles and Federal Safety Standards: An Exemption to the Rule?* Santa Monica, Calif.: RAND Corporation, PE-258-RC, 2017. As of September 12, 2017:

<https://www.rand.org/pubs/perspectives/PE258.html>

Funke, James, Gowrishankar Srinivasan, Raja Ranganathan, and August Burgett, *Safety Impact Methodology (SIM): Application and Results of the Advanced Crash Avoidance Technologies (ACAT) Program*, Paper No. 11-0367, 2011.

Gomes, Lee, "Hidden Obstacles for Google's Self-Driving Cars: Impressive Progress Hides Major Limitations of Google's Quest for Automated Driving," *MIT Technology Review*, August 28, 2014. As of March 3, 2016:

<https://www.technologyreview.com/s/530276/hidden-obstacles-for-google-self-driving-cars/>

Google Auto LLC, *Google Self-Driving Car Project: Monthly Report*, Menlo Park, Calif., January 2016. As of September 12, 2017:

<https://static.googleusercontent.com/media/www.google.com/en//selfdrivingcar/files/reports/report-0116.pdf>

Gordon, T., H. Sardar, D. Blower, M. Ljung Aust, Z. Bareket, M. Barnes, A. Blankespoor, I. Isaksson-Hellman, J. Ivarsson, B. Juhas, K. Nobukawa, and H. Theander, *Advanced Crash Avoidance Technologies (ACAT) Program: Final Report of the Volvo-Ford-UMTRI Project: Safety Impact Methodology for Lane Departure Warning—Method Development and Estimation of Benefits*, Washington, D.C.: U.S. Department of Transportation, DOT HS 811 405, October 2010.

Groves, David G., Martha Davis, Robert Wilkinson, and Robert Lempert, "Planning for Climate Change in the Inland Empire: Southern California," *Water Resources IMPACT*, Vol. 10, No. 4, July 2008, pp. 14–17. As of September 12, 2017:

<http://www.jstor.org/stable/wateresoimpa.10.4.0014>

Groves, David G., Jordan R. Fischbach, Evan Bloom, Debra Knopman, and Ryan Keefe, *Adapting to a Changing Colorado River: Making Future Water Deliveries More Reliable Through Robust Management Strategies*, Santa Monica, Calif.: RAND Corporation, RR-242-BOR, 2013. As of October 20, 2017:

[http://www.rand.org/pubs/research\\_reports/RR242.html](http://www.rand.org/pubs/research_reports/RR242.html)

Groves, David G., and Robert J. Lempert, "A New Analytic Method for Finding Policy-Relevant Scenarios," *Global Environmental Change*, Vol. 17, No. 1, 2007, pp. 73–85.

Harper, C., C. Hendrickson, S. Mangones, and S. Constantine, "Estimating Potential Increases in Travel with Autonomous Vehicles for the Non-Driving, Elderly and People with Travel-Restrictive Medical Conditions," *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, Vol. 72, November 2016.

Harper, Corey D., Chris T. Hendrickson, and Constantine Samaras, "Cost and Benefit Estimates of Partially-Automated Vehicle Collision Avoidance Technologies," *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 95, Part A, October 2016, pp. 104–115.

Highway Loss Data Institute, "Predicted Availability of Safety Features on Registered Vehicles," bulletin, Arlington, Va., Vol. 28, No. 26, April 2012. As of September 12, 2017:  
[http://www.iihs.org/media/db4aeba1-6209-4382-9ef2-275443fcccea/\\_LdQUQ/HLDI%20Research/Bulletins/hldi\\_bulletin\\_28.26.pdf](http://www.iihs.org/media/db4aeba1-6209-4382-9ef2-275443fcccea/_LdQUQ/HLDI%20Research/Bulletins/hldi_bulletin_28.26.pdf)

Houston, David J., and Lilliard E. Richardson, Jr., "The Politics of Air Bag Safety: A Competition Among Problem Definitions," *Policy Studies Journal*, Vol. 28, No. 3, August 2000, pp. 485–501.

Hsu, Jeremy, "When It Comes to Safety, Autonomous Cars Are Still 'Teen Drivers,'" *Scientific American*, January 18, 2017. As of September 12, 2017:  
<https://www.scientificamerican.com/article/when-it-comes-to-safety-autonomous-cars-are-still-teen-drivers1/>

Jermakian, Jessica S., "Crash Avoidance Potential of Four Passenger Vehicle Technologies," *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 43, No. 3, May 2011, pp. 732–740.

Jutila, Sakari T., "Dynamic Modeling of Adoption, Rejection and Life Cycles of Innovations," in Qifan Wang and Robert Eberlein, eds., *The 5th International Conference of the System Dynamics Society*, Shanghai, 1987. As of September 12, 2017:  
<http://www.systemdynamics.org/conferences/1987/proceed/jutil274.pdf>

Kalra, Nidhi, *Challenges and Approaches to Realizing Autonomous Vehicle Safety*, testimony submitted to the House Energy and Commerce Committee, Subcommittee on Digital Commerce and Consumer Protection, Santa Monica, Calif.: RAND Corporation, CT-463, February 14, 2017. As of September 12, 2017:  
<https://www.rand.org/pubs/testimonies/CT463.html>

Kalra, Nidhi, and David G. Groves, *RAND Model of Autonomous Vehicle Safety (MAVS): Model Documentation*, Santa Monica, Calif.: RAND Corporation, RR-1902-RC, 2017. As of October 1, 2017:  
[https://www.rand.org/pubs/research\\_reports/RR1902.html](https://www.rand.org/pubs/research_reports/RR1902.html)

Kalra, Nidhi, S. Hallegatte, Robert Lempert, Casey Brown, Adrian Fozzard, Stuart Gill, and Ankur Shah, *Agreeing on Robust Decisions: New Processes for Decision Making Under Deep Uncertainty*, World Bank Policy Research Working Paper No. 6906, June 1, 2014. As of September 12, 2017:  
<http://ssrn.com/abstract=2446310>

Kalra, Nidhi, and Susan Paddock, *Driving to Safety: How Many Miles of Driving Would It Take to Demonstrate Autonomous Vehicle Reliability?* Santa Monica, Calif.: RAND Corporation, RR-1478-RC, 2016. As of September 12, 2017:  
[http://www.rand.org/pubs/research\\_reports/RR1478.html](http://www.rand.org/pubs/research_reports/RR1478.html)

Koopman, Philip, and Michael Wagner, "Autonomous Vehicle Safety: An Interdisciplinary Challenge," *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine*, Vol. 9, No. 1, Spring 2017. As of September 12, 2017:  
<http://ieeexplore.ieee.org/document/7823109/>

Kutilla, Matti, Pasi Pyykönen, Werner Ritter, Oliver Sawade, and Bernd Schäufele, "Automotive LIDAR Sensor Development Scenarios for Harsh Weather Conditions," *2016 IEEE 19th International Conference on Intelligent Transportation Systems*, November 2016, pp. 265–270.

Lemmer, Karsten, "Effectively Ensuring Automated Driving," presentation at the VDA Technical Congress, Berlin, April 6, 2017. As of September 12, 2017:  
[http://www.pegasus-projekt.info/files/tmpl/pdf/PEGASUS\\_VDA\\_techn.congress\\_EN.pdf](http://www.pegasus-projekt.info/files/tmpl/pdf/PEGASUS_VDA_techn.congress_EN.pdf)

Lempert, Robert, and Nidhi Kalra, *Managing Climate Risks in Developing Countries with Robust Decision Making*, Washington D.C.: World Resources Institute, 2011.

Lempert, Robert J., Steven W. Popper, and Steven C. Bankes, *Shaping the Next One Hundred Years: New Methods for Quantitative, Long-Term Policy Analysis*, Santa Monica, Calif.: RAND Corporation, MR-1626-RPC, 2003. As of September 12, 2017:

[https://www.rand.org/pubs/monograph\\_reports/MR1626.html](https://www.rand.org/pubs/monograph_reports/MR1626.html)

Lempert, Robert J., Steven W. Popper, David G. Groves, Nidhi Kalra, Jordan R. Fischbach, Steven C. Bankes, Benjamin P. Bryant, Myles T. Collins, Klaus Keller, Andrew Hackbarth, Lloyd Dixon, Tom LaTourrette, Robert T. Reville, Jim W. Hall, Christophe Mijere, and David J. McInerney, "Making Good Decisions Without Predictions: Robust Decision Making for Planning Under Deep Uncertainty," Santa Monica, Calif.: RAND Corporation, RB-9701, 2013. As of September 12, 2017:

[http://www.rand.org/pubs/research\\_briefs/RB9701/index1.html](http://www.rand.org/pubs/research_briefs/RB9701/index1.html)

Li, Tianxin, and Kara M. Kockelman, *Valuing the Safety Benefits of Connected and Automated Vehicle Technologies*, Transportation Research Board 95th Annual Meeting, 2016.

Litman, Todd, *Autonomous Vehicle Implementation Predictions: Implications for Transport Planning*, Victoria, British Columbia, Canada: Victoria Transport Policy Institute, January 2, 2017.

Milakis, Dimitris, Bart van Arem, and Bert van Wee, "Policy and Society Related Implications of Automated Driving: A Review of Literature and Directions for Future Research," *Journal of Intelligent Transportation Systems*, Vol. 21, No. 4, 2017, pp. 324–348.

Musk, Elon, "Tesla Press Conference for the Autopilot v7.0 Software," October 14, 2015. As of December 15, 2016:

[https://www.youtube.com/watch?v=73\\_Qjez1Mbl](https://www.youtube.com/watch?v=73_Qjez1Mbl)

Nagy, Béla, J. Doyné Farmer, Quan M. Bui, and Jessika E. Trancik, "Statistical Basis for Predicting Technological Progress," *PLoS ONE*, Vol. 8, No. 2, e52669, 2013.

Najm, Wassim G., Samuel Toma, and John Brewer, *Depiction of Priority Light-Vehicle Pre-Crash Scenarios for Safety Applications Based on Vehicle-to-Vehicle Communications*, Washington, D.C.: U.S. Department of Transportation, DOT HS 811 732, April 2013. As of September 12, 2017:

<https://ntl.bts.gov/lib/47000/47400/47497/DOT-VNTSC-NHTSA-11-12.pdf>

National Highway Traffic Safety Administration, *National Motor Vehicle Crash Causation Survey*, Washington, D.C.: U.S. Department of Transportation, DOT HS 811 059, 2008.

———, *Drowsy Driving*, Washington, D.C.: U.S. Department of Transportation, DOT HS 811 449, March 2011. As of July 28, 2017:

<https://crashstats.nhtsa.dot.gov/Api/Public/ViewPublication/811449>

———, *Critical Reasons for Crashes Investigated in the National Motor Vehicle Crash Causation Survey*, Washington, D.C.: U.S. Department of Transportation, DOT HS 812 115, February 2015. As of September 12, 2017:

<https://crashstats.nhtsa.dot.gov/Api/Public/ViewPublication/812115>

———, *2015 Motor Vehicle Crashes: Overview*, Washington, D.C.: U.S. Department of Transportation, DOT HS 812 318, August 2016a. As of January 18, 2017:

<https://crashstats.nhtsa.dot.gov/Api/Public/ViewPublication/812318>

———, *Federal Automated Vehicle Policy: Accelerating the Next Revolution in Roadway Safety*, Washington, D.C.: U.S. Department of Transportation, September 2016b. As of September 12, 2017:

<https://www.transportation.gov/sites/dot.gov/files/docs/AV%20policy%20guidance%20PDF.pdf>

———, *Alcohol-Impaired Driving*, Washington, D.C.: U.S. Department of Transportation, DOT HS 812 350, December 2016c. As of July 28, 2017:  
<https://crashstats.nhtsa.dot.gov/Api/Public/Publication/812350>

———, *Distractions Driving 2014*, Washington, D.C.: U.S. Department of Transportation, DOT HS 812 260, December 2016d. As of July 28, 2017:  
<https://crashstats.nhtsa.dot.gov/Api/Public/ViewPublication/812260>

———, *2016 Fatal Motor Vehicle Crashes: Overview*, Washington, D.C.: U.S. Department of Transportation, DOT HS 812 456, October 2017. As of October 25, 2017:  
<https://crashstats.nhtsa.dot.gov/Api/Public/Publication/812456>

NHTSA—See National Highway Transportation Safety Administration.

Nowakowski, Christopher, Steven E. Shladover, and Ching-Yao Chan, “Determining the Readiness of Automated Driving Systems for Public Operation: Development of Behavioral Competency Requirements,” *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, Vol. 2559, 2016, pp. 65–72.

Otway, Harry J., and Detlof von Winterfeldt, “Beyond Acceptable Risk: On the Social Acceptability of Technologies,” *Policy Sciences*, Vol. 14, No. 3, 1982, pp. 247–256.

Perez, M., L. S. Angell, J. Hankey, R. K. Deering, R. E. Llaneras, C. A. Green, M. L. Neurauter, and J. F. Antin, *Advanced Crash Avoidance Technologies (ACAT) Program—Final Report of the GM-VTTI Backing Crash Countermeasures Project*, Washington, D.C.: U.S. Department of Transportation, DOT HS 811 452, August 2011.

Petit, J., and S. E. Shladover, “Potential Cyberattacks on Automated Vehicles,” *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, Vol. 16, No. 2, 2015, pp. 546–556.

Popper, Steven W., Claude Berrebi, James Griffin, Thomas Light, Endy M. Daehner, and Keith Crane, *Natural Gas and Israel’s Energy Future: Near-Term Decisions from a Strategic Perspective*, Santa Monica, Calif.: RAND Corporation, MG-927-YSNFF, 2009. As of September 12, 2017:  
<http://www.rand.org/pubs/monographs/MG927>

Pratt, Gill, “2017 Consumer Electronics Show (CES2017) Press Conference,” Toyota, January 4, 2017.

As of September 12, 2017:

[http://corporatenews.pressroom.toyota.com/article\\_display.cfm?article\\_id=5878](http://corporatenews.pressroom.toyota.com/article_display.cfm?article_id=5878)

Rau, Paul, Mikio Yanagisawa, and Wassim G. Najm, *Target Crash Population of Automated Vehicles*, Paper No. 15-0430, 2015.

Roose, Kevin, “As Self-Driving Cars Near, Washington Plays Catch-Up,” *New York Times*, July 21, 2017. As of September 12, 2017:  
<https://www.nytimes.com/2017/07/21/technology/self-driving-cars-washington-congress.html>

Ross, Philip E., “CES 2017: Nvidia and Audi Say They’ll Field a Level 4 Autonomous Car in Three Years,” *IEEE Spectrum*, January 5, 2017. As of September 12, 2017:  
<http://spectrum.ieee.org/cars-that-think/transportation/self-driving/nvidia-ceo-announces>

SAE International, *Surface Vehicle Recommended Practice: Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles*, Warrendale, Pa., J2016, September 2016.

Saltelli, A., K. Chan, and E. M. Scott, *Sensitivity Analysis*, New York: Wiley and Sons, 2000.

Shladover, Steven, “The Truth About ‘Self-Driving’ Cars,” *Scientific American*, December 2016. As of September 12, 2017:  
<https://www.scientificamerican.com/article/the-truth-about-ldquo-self-driving-rdquo-cars/>

Sjöberg, Lennart, "Factors in Risk Perception," *Risk Analysis*, Vol. 20, No. 1, 2000, pp. 1–12.

Slovic, P., "Perception of Risk," *Science*, Vol. 236, 1987, pp. 280–285.

———, ed., *The Perception of Risk*, New York: Earthscan, 2000.

Slovic, Paul, and Ellen Peters, "Risk Perception and Affect," *Current Directions in Psychological Science*, Vol. 15, No. 6, 2006, pp. 322–325.

Starr, Chauncey, "Social Benefit Versus Technological Risk," *Science*, Vol. 165, No. 3899, September 1969, pp. 1232–1238.

Sun, Chen, Abhinav Shrivastava, Saurabh Singh, and Abhinav Gupta, "Revisiting Unreasonable Effectiveness of Data in Deep Learning Era," arXiv, July 2017. As of September 12, 2017: <https://arxiv.org/abs/1707.02968>

Tesla, *Tesla Third Quarter 2016 Update*, Palo Alto, Calif., 2016. As of September 12, 2017: [http://files.shareholder.com/downloads/ABEA-4CW8X0/2238129554x0x913801/F9E5C36A-AFDD-4FF2-A375-ED9B0F912622/Q3\\_16\\_Update\\_Letter\\_-\\_final.pdf](http://files.shareholder.com/downloads/ABEA-4CW8X0/2238129554x0x913801/F9E5C36A-AFDD-4FF2-A375-ED9B0F912622/Q3_16_Update_Letter_-_final.pdf)

Walden, Greg, "Opening Statement of Chairman Greg Walden," hearing on "Self-Driving Cars: Road to Deployment," U.S. House of Representatives, Energy and Commerce Committee, Subcommittee on Digital Commerce and Consumer Protection, February 14, 2017. As of September 8, 2017:

<http://docs.house.gov/meetings/IF/IF17/20170214/105548/HHRG-115-IF17-MState-W000791-20170214.pdf>

Waymo, "On the Road," web page, undated. As of September 12, 2017: <https://waymo.com/ontheroad/>

Winkle, Thomas, "Safety Benefits of Automated Vehicles: Extended Findings from Accident Research for Development, Validation and Testing in Autonomous Driving," in Markus Maurer, J. Christian Gerdes, Barbara Lenz, and Hermann Winner, eds., *Autonomous Driving: Technical, Legal and Social Aspects*, London: SpringerOpen, 2015, pp 335–364. As of September 12, 2017: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-662-48847-8\\_17/fulltext.html](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-662-48847-8_17/fulltext.html)

U.S. Department of Energy, *The Transforming Mobility Ecosystem: Enabling an Energy-Efficient Future*, Washington, D.C., DOE/EE-1489, January 2017. As of September 12, 2017: [https://energy.gov/sites/prod/files/2017/01/f34/The%20Transforming%20Mobility%20Ecosystem-Enabling%20an%20Energy%20Efficient%20Future\\_0117\\_1.pdf](https://energy.gov/sites/prod/files/2017/01/f34/The%20Transforming%20Mobility%20Ecosystem-Enabling%20an%20Energy%20Efficient%20Future_0117_1.pdf)

U.S. Department of Transportation, "U.S. Department of Transportation Designates 10 Automated Vehicle Proving Grounds to Encourage Testing of New Technologies," press release, January 19, 2017. As of September 12, 2017: <https://www.transportation.gov/briefing-room/dot1717>

U.S. Senate, Self-Drive Act, H.R. 3388, September 7, 2017. As of September 12, 2017: <https://www.congress.gov/bill/115th-congress/house-bill/3388/text>

Zhao, Ding, and Hui Peng, *From the Lab to the Street: Solving the Challenge of Accelerating Automated Vehicle Testing*, Ann Arbor, Mich.: University of Michigan, Mcity, May 2017. As of September 12, 2017: [https://mcity.umich.edu/wp-content/uploads/2017/05/Mcity-White-Paper\\_Accelerated-AV-Testing.pdf](https://mcity.umich.edu/wp-content/uploads/2017/05/Mcity-White-Paper_Accelerated-AV-Testing.pdf)

كم يجب أن تكون المركبات عالية الآلية (HAVs) آمنةً قبل أن يُسمح بإطلاقها على الطرقات ليستخدمها المستهلك؟ يهيمن هذا السؤال على الجزء الأكبر من النقاش حول الطريقة والتوقيت الأفضل لإطلاق هذه التقنية واستخدامها بشكل يقلص المخاطر المحتملة للمركبات عالية الآلية إلى حدّها الأدنى ويزيد منافعتها إلى حدّها الأقصى. استخدمنا في هذه الدراسة نموذج مؤسسة RAND لسلامة المركبات الآلية لنقارن معدلات الوفيات في حوادث السير مع مرور الوقت في ظل (1) سياسة تسمح بنشر المركبات عالية الآلية ليستخدمها المستهلك عندما تصبح أكثر أماناً بـ10 في المئة فقط من قيادة السائق البشري العادي وفي ظل (2) سياسة تؤجل نشر المركبات عالية الآلية إلى أن تصبح أكثر أماناً بـ75 أو 90 في المئة من السائق البشري العادي – أي ما قد يعتبره البعض شبه مثالي. وخلصت دراستنا إلى أنّه على المدى الطويل، لا يؤدي انتظار تحقيق مكاسب سلامة كبيرة في أي من الظروف التي درسناها إلى تقليص عدد الوفيات. ففي أفضل الحالات، تكون معدلات الوفيات متقاربة، إنّما في أسوأها، يترتب على الانتظار ثمن باهظ من حيث عدد الوفيات الذي قد يصل في بعض الحالات إلى أكثر من نصف مليون نسمة. كما وأنّ الظروف التي يمكن أن تؤدي إلى عدد وفيات متقارب في الخيارين – في حال اختيار استخدام السيارات عالية الآلية فإنّ التحسّن السريع في أداء سلامة هذه المركبات من دون انتشار التقنية على نطاق واسع – يبدو غير معقول. وهذا يشير إلى أنّ الثمن الذي يتعين دفعه من حيث عدد الوفيات لقاء انتظار أداء أفضل قد يكون باهظاً للغاية. وقد تساعد هذه الأدلة صنّاع القرارات على فهم ثمن كل من خيارات السياسات التي تحيط بالمركبات عالية الآلية بشكل أفضل من حيث عدد الوفيات وعلى إعداد سياسات تنقذ العدد الأكبر من الأرواح.



[www.rand.org](http://www.rand.org)

Arabic translation:  
*The Enemy of Good*  
*Estimating the Cost of Waiting for*  
*Nearly Perfect Automated Vehicles*

RR-2150/2-RC