

استخدام النمذجة الاحتمالية في تحليل مخاطر مشاريع النقل الحضرية: دراسة تطبيقية في المملكة
العربية السعودية

إعداد الطالب/

عمر منصور آل سلمه

253000219

إشراف/

د. الفيصل عبد الحميد محمد حسن

د.فايز جراد

العام الدراسي: 2026

3	.....	مقدمة:
4	.....	مشكلة الدراسة
5	.....	أهداف الدراسة:
6	.....	أسئلة الدراسة
6	.....	فروض الدراسة
7	.....	أهمية الدراسة
8	.....	الدراسات السابقة:
18	.....	المنطلقات النظرية للدراسة:
21	.....	المنهجية وطرق البحث:
22	.....	مجتمع الدراسة وعينتها
22	.....	مصادر جمع البيانات
23	.....	أداة الدراسة (الاستبانة)
24	.....	سأ: الأساليب الإحصائية المستخدمة
24	.....	حدود الدراسة
26	.....	المراجع:

مقدمة:

تشهد المدن الكبرى حول العالم تحولات جذرية في منظومات النقل الحضري استجابةً للنمو السكاني المتسارع والتوسع العمراني المتزايد، حيث أصبحت مشاريع البنية التحتية للنقل ركيزةً أساسية في تحقيق التنمية الاقتصادية والاجتماعية المستدامة. وتتسم هذه المشاريع بطبيعتها المعقدة التي تتشابك فيها أبعاد فنية ومالية وبيئية واجتماعية متعددة، مما يُولد مستويات مرتفعة من عدم اليقين تستوجب تبني منهجيات تحليلية متقدمة تتجاوز الأساليب التقليدية الحتمية في تقدير المخاطر وإدارتها. وفي هذا الإطار، برزت الحاجة الملحة إلى توظيف أدوات كمية أكثر دقة وشمولية قادرة على استيعاب حالات عدم اليقين المصاحبة لدورة حياة مشاريع النقل الحضرية بمراحلها المختلفة. (Nguyen et al., 2024)

وتمثل النمذجة الاحتمالية أحد أبرز التطورات المنهجية في حقل إدارة المخاطر، إذ تقوم على مبدأ تمثيل حالات عدم اليقين من خلال توزيعات احتمالية تعكس المدى الكامل للنتائج الممكنة بدلاً من الاعتماد على تقديرات نقطية واحدة. وتتضمن هذه النمذجة مجموعة من التقنيات المتقدمة، في مقدمتها محاكاة مونت كارلو التي تُتيح توليد آلاف السيناريوهات العشوائية لتقدير التوزيع الاحتمالي لمخرجات المشروع، والشبكات البيزية التي تُمكن من نمذجة العلاقات السببية المترابطة بين عوامل المخاطر المختلفة وتحديث تقديراتها ديناميكياً مع توفر معلومات جديدة. (Khodabakhshian et al., 2025)

و يحظى تحليل مخاطر مشاريع النقل الحضرية باهتمام بحثي متصاعد نظراً لما يكتنف هذه المشاريع من تعقيدات فنية وإدارية ومالية تُفرز طيفاً واسعاً من المخاطر المحتملة. وتتنوع هذه المخاطر لتشمل مخاطر تجاوز التكلفة الناجمة عن عدم دقة التقديرات الأولية وتقلبات أسعار المواد والتغيرات في نطاق العمل، ومخاطر التأخر الزمني المرتبطة بالتحديات الجيولوجية والتأخر في إصدار التصاريح ونقص العمالة الماهرة، فضلاً عن مخاطر الجودة والسلامة المتصلة بالظروف البيئية والتصميمية والتنفيذية (Liu et al., 2021).

وتُنفذ المملكة العربية السعودية حزمةً من مشاريع النقل الحضري الضخمة ضمن مستهدفات رؤية 2030، وتتقدمها مشاريع مترو الرياض وحافلات جدة السريعة وقطار الحرمين، وهي مشاريع تستلزم توظيف أحدث المنهجيات العلمية في تحليل مخاطرها نظراً لحجمها وتعقيدها غير المسبوق في المنطقة. وقد

أشارت الدراسات المحلية إلى أن مشاريع البناء والبنية التحتية في المملكة لا تزال تعتمد بشكل سائد على أساليب تقليدية في تقدير المخاطر تقتصر إلى الدقة الكمية المطلوبة (الشهري وآخرون، 2022)

و تأتي هذه الدراسة لتتناول أثر استخدام النمذجة الاحتمالية بأبعادها على تحليل مخاطر مشاريع النقل الحضرية في المملكة العربية السعودية، ساعيةً إلى تقديم إسهام علمي وتطبيقي يسدّ فجوةً بحثية واضحة في الأدبيات العربية، ويوفر إطاراً منهجياً قابلاً للتوظيف من قِبل الجهات المعنية بتخطيط وتنفيذ مشاريع النقل الحضرية في المملكة بما يتوافق مع مستهدفات الرؤية الوطنية الطموحة .

مشكلة الدراسة

تُعدّ مشاريع النقل الحضرية من أكثر المشاريع تعقيداً وتكلفةً على المستوى العالمي، إذ تتسم بطبيعتها متعددة الأبعاد التي تتشابه فيها العوامل الفنية والمالية والبيئية والاجتماعية والسياسية، مما يجعلها عرضةً لمستويات مرتفعة من عدم اليقين والمخاطر التي تُهدد نجاحها وتحقيق أهدافها المرسومة. وتُشير الإحصاءات الدولية إلى أن ما يقارب 75% من مشاريع البنية التحتية للنقل حول العالم تعاني من تجاوزات في التكلفة بمتوسط يبلغ 28% عالمياً، فيما ترتفع هذه النسبة إلى 48% في الاقتصادات الناشئة، كما أن نحو 65% من هذه المشاريع تشهد تأخيرات زمنية تتجاوز الجداول المعتمدة (Ariza Flores & Zavala Ascaño, 2025).

وتتفاقم هذه الإشكالية في مشاريع السكك الحديدية الحضرية والمترو تحديداً، حيث تُصنّف ضمن أعلى فئات المشاريع تعرضاً لمخاطر تجاوز الميزانيات وعدم الالتزام بالجدول الزمنية وتدني مستويات الجودة والسلامة. (Liu, Jiao, & Guo, 2021; Wang, Zhang, & Li, 2023)

وتشهد المملكة العربية السعودية طفرةً غير مسبوقة في مشاريع النقل الحضري ضمن رؤية 2030، تشمل مشروع مترو الرياض الذي يُعدّ أحد أكبر مشاريع النقل الحضري في العالم بتكلفة تتجاوز 82 مليار ريال، ومشروع حافلات الرياض وحافلات جدة السريعة وقطار الحرمين السريع وغيرها من المشاريع الاستراتيجية. وعلى الرغم من ضخامة الاستثمارات الموجهة لهذا القطاع، إلا أن الدراسات المحلية تُشير إلى أن مشاريع البناء والبنية التحتية في المملكة لا تزال تواجه تحديات جوهرية في إدارة المخاطر، حيث أكدت دراسة الشهري وآخرين (2022) أن عوامل المخاطر المؤدية إلى تجاوز التكلفة والوقت في

المشاريع السعودية ترتبط بشكل وثيق بعدم دقة التقديرات الأولية وضعف منهجيات التحليل الكمي للمخاطر.

وتتعمق هذه الفجوة البحثية عند استقراء الأدبيات العربية والسعودية، حيث يتبين ندرة شبه تامة في الدراسات التي تتناول العلاقة المباشرة بين النمذجة الاحتمالية بأبعادها المتعددة وتحليل مخاطر مشاريع النقل الحضرية في البيئة السعودية تحديداً. فمعظم الدراسات السابقة إما ركزت على النمذجة الاحتمالية في سياقات غير متعلقة بالنقل الحضري، أو تناولت مخاطر مشاريع النقل دون توظيف الأدوات الاحتمالية المتقدمة، أو أجريت في بيئات جغرافية واقتصادية مختلفة عن البيئة السعودية التي تتميز بخصوصية واضحة من حيث حجم المشاريع وطبيعتها والأنظمة التعاقدية المعتمدة والظروف المناخية والجيولوجية المؤثرة.

وبناءً على ما تقدم، تتبلور مشكلة الدراسة في التساؤل الرئيس التالي: ما أثر استخدام النمذجة الاحتمالية على تحليل مخاطر مشاريع النقل الحضرية بأبعاده (مخاطر تجاوز التكلفة، مخاطر التأخر الزمني، مخاطر الجودة والسلامة) في المملكة العربية السعودية؟

أهداف الدراسة:

تهدف الدراسة الحالية إلى دراسة أثر استخدام النمذجة الاحتمالية على تحليل مخاطر مشاريع النقل الحضرية بأبعاده (مخاطر تجاوز التكلفة، مخاطر التأخر الزمني، مخاطر الجودة والسلامة) في المملكة العربية السعودية.

ويتفرع من هذا الهدف الرئيس الأهداف الفرعية التالية:

❖ التعرف على أثر استخدام النمذجة الاحتمالية على تحليل مخاطر تجاوز التكلفة في مشاريع

النقل الحضرية بالمملكة العربية السعودية.

❖ التعرف على أثر استخدام النمذجة الاحتمالية على تحليل مخاطر التأخر الزمني في مشاريع

النقل الحضرية بالمملكة العربية السعودية.

❖ التعرف على أثر استخدام النمذجة الاحتمالية على تحليل مخاطر الجودة والسلامة في مشاريع النقل الحضرية بالمملكة العربية السعودية.

❖ تقديم إطار مقترح لتوظيف النمذجة الاحتمالية في تعزيز فاعلية تحليل مخاطر مشاريع النقل الحضرية بما يتوافق مع مستهدفات رؤية المملكة 2030.

أسئلة الدراسة

السؤال الرئيس:

ما أثر استخدام النمذجة الاحتمالية على تحليل مخاطر مشاريع النقل الحضرية بأبعاده (مخاطر تجاوز التكلفة، مخاطر التأخر الزمني، مخاطر الجودة والسلامة) في المملكة العربية السعودية؟

الأسئلة الفرعية:

س1: ما أثر استخدام النمذجة الاحتمالية على تحليل مخاطر تجاوز التكلفة في مشاريع النقل الحضرية بالمملكة العربية السعودية؟

س2: ما أثر استخدام النمذجة الاحتمالية على تحليل مخاطر التأخر الزمني في مشاريع النقل الحضرية بالمملكة العربية السعودية؟

س3: ما أثر استخدام النمذجة الاحتمالية على تحليل مخاطر الجودة والسلامة في مشاريع النقل الحضرية بالمملكة العربية السعودية؟

فروض الدراسة

الفرض الرئيس:

يوجد أثر ذو دلالة إحصائية عند مستوى معنوية ($\alpha \leq 0.05$) لاستخدام النمذجة الاحتمالية على تحليل مخاطر مشاريع النقل الحضرية بأبعاده (مخاطر تجاوز التكلفة، مخاطر التأخر الزمني، مخاطر الجودة والسلامة) في المملكة العربية السعودية.

الفروض الفرعية:

الفرض الفرعي الأول: يوجد أثر ذو دلالة إحصائية عند مستوى معنوية ($\alpha \leq 0.05$) لاستخدام النمذجة الاحتمالية على تحليل مخاطر تجاوز التكلفة في مشاريع النقل الحضرية بالمملكة العربية السعودية.

الفرض الفرعي الثاني: يوجد أثر ذو دلالة إحصائية عند مستوى معنوية ($\alpha \leq 0.05$) لاستخدام النمذجة الاحتمالية على تحليل مخاطر التأخر الزمني في مشاريع النقل الحضرية بالمملكة العربية السعودية.

الفرض الفرعي الثالث: يوجد أثر ذو دلالة إحصائية عند مستوى معنوية ($\alpha \leq 0.05$) لاستخدام النمذجة الاحتمالية على تحليل مخاطر الجودة والسلامة في مشاريع النقل الحضرية بالمملكة العربية السعودية.

أهمية الدراسة

الأهمية العلمية (النظرية):

تسهم هذه الدراسة في سدّ فجوة بحثية واضحة في الأدبيات العربية والسعودية تحديداً، حيث تندر الدراسات التي تربط بشكل مباشر ومنهجي بين النمذجة الاحتمالية بأبعادها المتعددة وتحليل مخاطر مشاريع النقل الحضرية، إذ إن معظم الدراسات السابقة تناولت كل متغير على حدة أو في سياقات جغرافية مختلفة عن البيئة السعودية.

تقدم الدراسة إطاراً نظرياً يُصنّف العلاقات السببية بين أبعاد النمذجة الاحتمالية الثلاثة (محاكاة مونت كارلو، الشبكات البيزية، تحليل الحساسية الاحتمالي) وأبعاد تحليل المخاطر الثلاثة (التكلفة، الوقت، الجودة والسلامة)، مما يوفر خارطة مفاهيمية شاملة يمكن للباحثين البناء عليها في دراسات مستقبلية.

تجمع الدراسة بين حقول معرفية متعددة تشمل الإحصاء التطبيقي وبحوث العمليات وهندسة النقل وإدارة المشاريع، مما يُثري الحوار الأكاديمي التخصصي ويفتح آفاقاً بحثية جديدة عند نقاط التقاطع بين هذه الحقول.

الأهمية العملية (التطبيقية):

تُقدم الدراسة نتائج قابلة للتطبيق المباشر من قِبَل صانعي القرار في وزارة النقل والخدمات اللوجستية والهيئة الملكية لمدينة الرياض وهيئة تطوير منطقة مكة المكرمة وغيرها من الجهات المشرفة على مشاريع المترو والحافلات السريعة والسكك الحديدية، حيث تُساعدهم على تبني أساليب كمية أكثر دقة في تقدير المخاطر.

توفر الدراسة أدوات عملية تُمكن مديري المشاريع من التنبؤ المبكر بمصادر التأخير المحتملة واتخاذ إجراءات استباقية للتعامل معها، وهو ما يتسق مع حرص المملكة على الالتزام بالجدول الزمنية لمشاريع رؤية 2030.

تُسلط الدراسة الضوء على أثر النمذجة الاحتمالية في الكشف المبكر عن مخاطر الجودة والسلامة في مشاريع النقل الحضرية، مما يُعزز من قدرة المقاولين والاستشاريين على تطوير خطط سلامة أكثر فاعلية تحمي الأرواح والممتلكات.

توفر الدراسة إطاراً عملياً مقترحاً يمكن تبنيه من قِبَل شركات المقاولات ومكاتب إدارة المشاريع في المملكة لتطوير ممارساتها في إدارة المخاطر، والانتقال من الأساليب التقليدية القائمة على الخبرة الشخصية إلى أساليب كمية قائمة على البيانات والنماذج الاحتمالية.

تتسق نتائج الدراسة بشكل مباشر مع محاور رؤية 2030 المتعلقة بتطوير البنية التحتية للنقل وتحسين جودة الحياة في المدن السعودية، حيث تُسهم في رفع كفاءة الإنفاق الرأسمالي على مشاريع النقل الحضرية الضخمة كمترو الرياض وقطار الحرمين وحافلات جدة السريعة.

الدراسات السابقة:

المحور الأول: الدراسات المتعلقة بالمتغير المستقل (النمذجة الاحتمالية) وعلاقته بمتغيرات أخرى

دراسة بوداود: (2023) التحليل الكمي للمخاطر باستخدام طريقة محاكاة Monte Carlo دراسة حالة المديرية الجهوية لشركة التأمين SAA بالبلدية"

هدفت الدراسة إلى التعرف على مدى قدرة النمذجة الاحتمالية باستخدام محاكاة مونت كارلو بأبعادها (إنشاء التوزيعات الاحتمالية، توليد الأعداد العشوائية، محاكاة النظام الكلي) على قياس ومواجهة المخاطر المحتملة الوقوع للمؤسسة وإدارتها، في المديرية الجهوية لشركة التأمين SAA بالبلدية بالجزائر. واستخدمت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي مع دراسة حالة ميدانية، وتكونت عينة الدراسة من البيانات التاريخية للمؤسسة المتعلقة بالمتغيرات المحركة للمخاطر. وتوصلت نتائج الدراسة إلى أن التوزيع الاحتمالي المنشأ لمحاكاة مونت كارلو أعطى صورة مطابقة تماماً عن النظام المحاكى وبنفس خصائص التوزيع الاحتمالي للمجتمع الحقيقي، كما أثبتت الدراسة وجود علاقة ذات دلالة بين المتغيرات المحركة للمخاطر المحتملة واستراتيجية الاستجابة المتبعة من طرف المؤسسة، مع وجود حجم تأثير كبير من تلك المتغيرات. وأوصت الدراسة بضرورة اعتماد المؤسسات على أساليب المحاكاة الاحتمالية كأداة استباقية لقياس المخاطر بدلاً من الاعتماد على الطرق التقليدية الحتمية.

دراسة رحاحلة وحوادق": (2023) تقييم المخاطر في مشاريع البنية التحتية

هدفت الدراسة إلى التعرف على دور أساليب التقييم الاحتمالي والكمي بأبعادها (تحديد المخاطر، التحليل النوعي، التحليل الكمي، خطط الاستجابة) على تقييم مخاطر مشاريع البنية التحتية، في سياق تجربة نظام BOT في الجزائر. واستخدمت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي، وتكونت العينة من مجموعة من مشاريع البنية التحتية المنفذة وفق عقود BOT في الجزائر. وتوصلت نتائج الدراسة إلى أن نظام BOT يحمل الكثير من المزايا التي تستطيع من خلالها الدولة الجزائرية الاستفادة منها في تقليل المخاطر المالية والتشغيلية، وأن التقييم الاحتمالي المنهجي للمخاطر يسهم بشكل فعال في رفع كفاءة تنفيذ مشاريع البنية التحتية. وأوصت الدراسة بضرورة تبني إطار احتمالي متكامل لتقييم المخاطر في المشاريع الكبرى قبل مرحلة التعاقد.

دراسة مرزوق": (2024) تأثير إدارة مخاطر سلسلة التوريد على أداء المشروع في قطاع البناء والتشييد في المملكة العربية السعودية

هدفت الدراسة إلى التعرف على تأثير إدارة مخاطر سلسلة التوريد بأبعادها (مخاطر التوريد، مخاطر الطلب، المخاطر التشغيلية، المخاطر البيئية) على أداء المشروع في قطاع البناء والتشييد، في المملكة العربية السعودية. واستخدمت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي مع استخدام النمذجة الاحتمالية لتقدير

أثر المخاطر، وتكونت العينة من مجموعة من المهنيين والمديرين العاملين في قطاع البناء والتشييد بالمملكة. وتوصلت نتائج الدراسة إلى وجود تأثير معنوي قوي لإدارة مخاطر سلسلة التوريد على أداء المشروعات من حيث الالتزام بالتكلفة والجدول الزمني والجودة، وأن المخاطر التشغيلية كانت الأكثر تأثيراً مقارنة بالأبعاد الأخرى. وأوصت الدراسة بتطوير نماذج تنبؤية احتمالية لتقييم مخاطر سلسلة التوريد بشكل مبكر في المشاريع الإنشائية السعودية.

دراسة بن عمار وبوقروشة" (2020) استخدام نموذج مونت كارلو للمحاكاة في تقييم المشاريع الاستثمارية

هدفت الدراسة إلى التعرف على فاعلية استخدام أسلوب محاكاة مونت كارلو بأبعاده (تحديد المتغيرات العشوائية، بناء التوزيعات الاحتمالية، تشغيل المحاكاة، تحليل المخرجات) على تقييم واختيار المشاريع الاستثمارية، في بيئة الأعمال الجزائرية. واستخدمت الدراسة المنهج التجريبي التحليلي، وتكونت العينة من بيانات مالية تاريخية لمشاريع استثمارية متعددة تم تقدير توزيعاتها الاحتمالية. وتوصلت نتائج الدراسة إلى أن أسلوب محاكاة مونت كارلو يتفوق على الطرق التقليدية في تقييم المشاريع الاستثمارية من حيث الدقة والشمولية، وأنه يوفر صورة أكثر واقعية عن مدى المخاطر المحتملة من خلال تقديم توزيع احتمالي كامل للعوائد بدلاً من قيمة واحدة. وأوصت الدراسة بضرورة اعتماد أساليب المحاكاة الاحتمالية كأداة أساسية في عملية اتخاذ القرارات الاستثمارية.

دراسة الهادي" (2025) مدخل مقترح لتقييم دور المراجعة الداخلية في إدارة المخاطر

هدفت الدراسة إلى التعرف على دور المراجعة الداخلية بأبعادها (الاستقلالية، الكفاءة المهنية، نطاق العمل، أداء المراجعة) على فاعلية إدارة المخاطر المؤسسية باستخدام النماذج الاحتمالية، في المؤسسات المصرية. واستخدمت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي، وتكونت العينة من (85) من المراجعين الداخليين ومسؤولي إدارة المخاطر في عدد من المؤسسات. وتوصلت نتائج الدراسة إلى أن المراجعة الداخلية تلعب دوراً محورياً في تعزيز فاعلية إدارة المخاطر، وأن تبني النماذج الاحتمالية في تقييم المخاطر يُعزز من جودة التقارير الرقابية ودقتها، كما أن هناك علاقة إيجابية ذات دلالة إحصائية بين جميع أبعاد المراجعة الداخلية وفاعلية إدارة المخاطر. وأوصت الدراسة بضرورة دمج أدوات النمذجة الاحتمالية ضمن منهجيات المراجعة الداخلية لتحسين عمليات تقييم المخاطر.

Khodabakhshian, Puolitaival, & Kestle (2025): "Probabilistic Risk
Identification and Assessment Model for Construction Projects Using
Elicitation-Based Bayesian Network"

هدفت الدراسة إلى التعرف على فاعلية نموذج الشبكات البيزية القائم على الاستنباط بأبعاده (تحديد المخاطر الاحتمالية، بناء هيكل الشبكة البيزية، تقدير الاحتمالات المشروطة، تحليل الحساسية) على تقييم مخاطر مشاريع البناء، في سياق مشاريع إنشائية دولية. واستخدمت الدراسة المنهج التحليلي الكمي مع مراجعة منهجية للأدبيات ودراسة حالة تطبيقية، وتكونت العينة من (12) خبيراً في إدارة مشاريع البناء تم استنباط آرائهم باستخدام تقنية الاستنباط المنظم. وتوصلت نتائج الدراسة إلى أن النموذج البيزي الاحتمالي المقترح يتفوق على الطرق التقليدية في تحديد وتقييم المخاطر المترابطة، وأنه يسمح بتحديث تقديرات المخاطر ديناميكياً مع توفر معلومات جديدة، كما أظهرت النتائج أن المخاطر المالية والتقنية هي الأكثر تأثيراً على نتائج المشاريع الإنشائية. وأوصت الدراسة بتبني الشبكات البيزية كأداة رئيسية في إدارة المخاطر الاحتمالية لمشاريع البناء المعقدة.

Canesi & Gallo (2025): "Probabilistic Risk Assessment Framework for
Cost Overruns in Construction Projects: PRIMoS"

هدفت الدراسة إلى التعرف على فاعلية إطار التقييم الاحتمالي للمخاطر PRIMoS بأبعاده (مصفوفة المخاطر الاحتمالية، محاكاة مونت كارلو، تكامل التكلفة والجدول الزمني، تحليل السيناريوهات) على التنبؤ بتجاوزات التكلفة والوقت في مشاريع البناء. واستخدمت الدراسة المنهج الكمي التجريبي مع محاكاة حاسوبية، وتكونت العينة من بيانات (15) مشروعاً إنشائياً كبيراً في أوروبا. وتوصلت نتائج الدراسة إلى أن إطار PRIMoS يُحسن دقة التنبؤ بتجاوزات التكلفة بنسبة تتراوح بين 60% و 70% مقارنة بالطرق التقليدية، وأن دمج مصفوفة المخاطر مع محاكاة مونت كارلو يوفر تقديرات أكثر واقعية لاحتياجات الطوارئ. وأوصت الدراسة بضرورة اعتماد أطر التقييم الاحتمالي المتكاملة في مراحل التخطيط المبكر للمشاريع الإنشائية الكبرى.

Moselhi & Roghabadi (2020): "Risk Quantification Using Fuzzy-Based
Monte Carlo Simulation"

هدفت الدراسة إلى التعرف على فاعلية منهجية التقدير الكمي للمخاطر القائمة على المنطق الضبابي ومحاكاة مونت كارلو بأبعادها (تحديد عدم اليقين الضبابي، بناء توزيعات المدخلات، تشغيل المحاكاة المركبة، حساب احتياطي الطوارئ) على تقدير احتياطات الطوارئ في مشاريع البناء. واستخدمت الدراسة المنهج الكمي التجريبي، وتكونت العينة من بيانات مشروع إنشائي حقيقي مع مدخلات من (8) خبراء في إدارة المشاريع. وتوصلت نتائج الدراسة إلى أن المنهجية المطورة التي تدمج المنطق الضبابي مع محاكاة مونت كارلو تحقق نتائج مكافئة لمحاكاة مونت كارلو الكاملة مع الارتباطات، وأن تجاهل الارتباطات بين عناصر التكلفة يؤدي إلى تقدير ناقص كبير لتباين التكلفة الإجمالية. وأوصت الدراسة بأن الارتباط بين المتغيرات هو "القضية الأكثر أهمية" في تقدير احتياطات الطوارئ بشكل دقيق.

Chen, Lu, Li, He, & Yang (2021): "Bayesian Monte Carlo Simulation—دراسة
Driven Approach for Construction Schedule Risk Inference"

هدفت الدراسة إلى التعرف على فاعلية النهج المدفوع بمحاكاة مونت كارلو البيزية بأبعاده (بناء النموذج البيزي، المحاكاة العشوائية، استدلال المخاطر الزمنية، تحديث المعلومات المسبقة) على استنتاج مخاطر الجدول الزمني في مشاريع البنية التحتية المعقدة. واستخدمت الدراسة المنهج الكمي التحليلي مع دراسة حالة تطبيقية، وتكونت العينة من بيانات مشروع بنية تحتية كبير في الصين شمل (47) نشاطاً إنشائياً. وتوصلت نتائج الدراسة إلى أن النهج البيزي المقترح يتفوق على محاكاة مونت كارلو التقليدية في دقة التنبؤ بمخاطر التأخير، لا سيما عند محدودية البيانات التاريخية، وأن النموذج يُمكن من تحديث تقديرات المخاطر تدريجياً مع تقدم المشروع. وأوصت الدراسة بتبني الأساليب البيزية في إدارة مخاطر الجدول الزمني لمشاريع البنية التحتية.

Ariza Flores & Zavala Ascaño (2025): "Stochastic Cost Estimation in دراسة
Transportation Infrastructure Projects Using Monte Carlo Simulation and
Correlated Risk Variables"

هدفت الدراسة إلى التعرف على فاعلية إطار التقدير العشوائي للتكلفة باستخدام محاكاة مونت كارلو مع مصفوفة الارتباطات بأبعاده (تحديد المتغيرات العشوائية، اختبارات حسن المطابقة، بناء مصفوفة الارتباطات، محاكاة 10,000 تكرار) على تقدير تكاليف مشاريع البنية التحتية للنقل، في مشروع طريق

أويون-أمبو في بيرو. واستخدمت الدراسة المنهج الكمي التجريبي مع تحليل بيانات تاريخية، وتكونت العينة من أكثر من (500) سجل تاريخي لأسعار المدخلات وإنتاجية العمالة وكفاءة المعدات من مشاريع طرق منفذة بين 2019 و2023. وتوصلت نتائج الدراسة إلى أن إدراج الارتباطات بين المتغيرات رفع تقدير المئين 95 من 84.63 مليون دولار إلى 86.26 مليون دولار (زيادة بنسبة 2%)، وأن تجاهل هذه الارتباطات يؤدي إلى تقدير ناقص لمتطلبات احتياطي الطوارئ. وأوصت الدراسة بتبني أساليب الميزانية القائمة على المئينات الاحتمالية بدلاً من التقديرات الحتمية النقطية في مشاريع النقل.

المحور الثاني: الدراسات المتعلقة بالمتغير التابع (تحليل مخاطر مشاريع النقل الحضرية) وعلاقته بمتغيرات أخرى

دراسة الشهري والطلحي وآخرون: (2022) عوامل المخاطر المؤدية إلى تجاوز التكلفة والوقت في مشاريع البناء بالمملكة العربية السعودية

هدفت الدراسة إلى التعرف على عوامل المخاطر الرئيسية بأبعادها (المخاطر المالية، المخاطر التعاقدية، المخاطر الفنية، المخاطر الإدارية، المخاطر البيئية) المؤدية إلى تجاوزات التكلفة والوقت في مشاريع البناء والبنية التحتية للنقل، في المملكة العربية السعودية. واستخدمت الدراسة المنهج الوصفي المسحي التحليلي، وتكونت العينة من (134) من المهندسين ومديري المشاريع والاستشاريين العاملين في مشاريع البناء السعودية بما فيها مشاريع السكك الحديدية والمترو. وتوصلت نتائج الدراسة إلى أن أهم عوامل المخاطر المؤدية إلى تجاوز التكلفة تشمل التغييرات في نطاق العمل وعدم دقة التقديرات الأولية وتأخر اتخاذ القرارات، في حين أن عوامل تجاوز الوقت الأكثر تأثيراً تمثلت في نقص العمالة الماهرة وتأخر توريد المواد والتعديلات التصميمية المتكررة. وأوصت الدراسة بضرورة تطوير أنظمة إنذار مبكر للمخاطر في المشاريع الإنشائية السعودية وتعزيز ممارسات التقدير الاحتمالي للتكاليف.

دراسة الحمراي: (2021) مشكلات النقل الحضري في العراق وآليات معالجتها

هدفت الدراسة إلى التعرف على مشكلات النقل الحضري بأبعادها (الازدحام المروري، تدني مستوى الخدمة، نقص البنية التحتية، التلوث البيئي) وعلاقتها بالتخطيط العمراني، في المدن العراقية الرئيسية. واستخدمت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي مع تحليل اقتصادي لتكاليف النقل البري بالسيارات، وتكونت

العينة من بيانات ميدانية وإحصائية تتعلق بشبكات النقل في عدد من المدن العراقية الكبرى. وتوصلت نتائج الدراسة إلى أن مشكلات النقل الحضري في العراق ترتبط بشكل وثيق بغياب التخطيط المتكامل وضعف البنية التحتية وعدم كفاية الاستثمارات في قطاع النقل العام، كما أن تكاليف النقل البري تستنزف نسبة مرتفعة من دخل الأسر. وأوصت الدراسة بضرورة وضع خطط شاملة للنقل الحضري تتضمن تحليلاً للمخاطر المحتملة وتطوير شبكات النقل العام.

دراسة الزهراني وعبد الله: (2024) أثر تطبيق استراتيجيات إدارة المخاطر على نجاح المشروعات

هدفت الدراسة إلى التعرف على أثر إدارة مخاطر المشروع بأبعادها (تحديد المخاطر، تقييم المخاطر، الاستجابة للمخاطر، مراقبة المخاطر) على نجاح المشروعات في قطاع البنية التحتية والنقل، في المملكة العربية السعودية. واستخدمت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي، وتكونت العينة من (112) من مديري المشاريع والمهندسين العاملين في مشاريع البنية التحتية بالمملكة. وتوصلت نتائج الدراسة إلى وجود أثر إيجابي ذي دلالة إحصائية لجميع أبعاد إدارة المخاطر على نجاح المشروعات، وأن بُعد تقييم المخاطر جاء في المرتبة الأولى من حيث التأثير، يليه بُعد الاستجابة للمخاطر. وأوصت الدراسة بضرورة تبني استراتيجيات متكاملة لإدارة المخاطر في جميع مراحل دورة حياة المشاريع الإنشائية.

دراسة بوديار: (2025) إدارة المخاطر في مؤسسات الأشغال العمومية: دراسة ميدانية

هدفت الدراسة إلى التعرف على واقع ممارسات إدارة المخاطر بأبعادها (التخطيط لإدارة المخاطر، تحديد المخاطر، التحليل النوعي والكمي، تنفيذ الاستجابة) في مؤسسات الأشغال العمومية المتخصصة في مشاريع البنية التحتية والنقل، في الجزائر. واستخدمت الدراسة المنهج الوصفي المسحي مع دراسة حالة ميدانية، وتكونت العينة من (45) من المهندسين والمسؤولين العاملين في مؤسسات الأشغال العمومية. وتوصلت نتائج الدراسة إلى أن ممارسات إدارة المخاطر في مؤسسات الأشغال العمومية الجزائرية لا تزال دون المستوى المطلوب مقارنة بالمعايير الدولية، وأن غياب الأدوات الكمية والاحتمالية لتحليل المخاطر يُعدّ من أبرز نقاط الضعف. وأوصت الدراسة بضرورة تطوير قدرات المؤسسات في استخدام الأدوات الكمية لتحليل المخاطر بما يتوافق مع المعايير الدولية.

دراسة عيسى: (2024) مراجعة منهجية: إدارة المشاريع وإدارة المخاطر

هدفت الدراسة إلى التعرف على الاتجاهات البحثية الحديثة في إدارة المشاريع وإدارة المخاطر بأبعادها (مناهج إدارة المخاطر، أدوات التحليل الكمي، القطاعات التطبيقية، المنهجيات المستخدمة) (من خلال مراجعة الإنتاج العلمي المنشور في قواعد البيانات الدولية .واستخدمت الدراسة منهج المراجعة المنهجية وفق بروتوكول PRISMA ، وتكونت العينة من (87) بحثاً علمياً منشوراً في مجلات محكمة بين عامي 2018 و 2023 .وتوصلت نتائج الدراسة إلى أن هناك اتجاهاً متصاعداً نحو استخدام الأساليب الاحتمالية والتقنيات الحاسوبية في إدارة مخاطر المشاريع، وأن قطاع البنية التحتية والنقل يحظى بالنصيب الأكبر من الدراسات التطبيقية، كما أن محاكاة مونت كارلو والشبكات البيزية هما الأدوات الأكثر استخداماً. وأوصت الدراسة بتوجيه البحوث المستقبلية نحو تطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي في إدارة مخاطر المشاريع.

Liu, Jiao, & Guo (2021): "Risk Assessment of Urban Rail Transit PPP دراسة
Project Construction Based on Bayesian Network"

هدفت الدراسة إلى التعرف على فاعلية نموذج الشبكة البيزية بأبعاده (مخاطر الجودة، مخاطر الجدول الزمني، مخاطر التكلفة، مخاطر السلامة) على تقييم مخاطر إنشاء مشاريع النقل الحضري بالسكك الحديدية وفق نظام الشراكة بين القطاعين العام والخاص (PPP) ، في الصين .واستخدمت الدراسة المنهج الكمي التحليلي مع بناء نموذج شبكة بيزية، وتكونت العينة من بيانات (3) مشاريع مترو صينية كبرى مع مدخلات من (15) خبيراً في مجال النقل الحضري. وتوصلت نتائج الدراسة إلى أن نموذج الشبكة البيزية يوفر إطاراً فعالاً لتقييم المخاطر المترابطة في مشاريع السكك الحديدية الحضرية، وأن مخاطر التكلفة والجدول الزمني هي الأكثر احتمالاً وتأثيراً، كما أن العوامل الخارجية مثل التغيرات في السياسات الحكومية تلعب دوراً محورياً في تقاوم المخاطر. وأوصت الدراسة باعتماد الشبكات البيزية كأداة معيارية لتقييم المخاطر في مشاريع النقل الحضري بنظام الشراكة بين القطاعين.

Fontana, Levino, Leão, Guarnieri, & Sinesio (2023): "Risk Analysis دراسة
of Transport Requalification Projects in the Urban Mobility Problem Caused by
a Mining Disaster"

هدفت الدراسة إلى التعرف على مخاطر مشاريع إعادة تأهيل النقل الحضري بأبعدها (المخاطر الاقتصادية، المخاطر البيئية، المخاطر الاجتماعية) في سياق مشكلة التنقل الحضري الناتجة عن كارثة تعدينية، في مدينة ماسيو بالبرازيل. واستخدمت الدراسة المنهج التحليلي متعدد المعايير باستخدام طريقة المجموعات الضبابية المصورة (Picture Fuzzy Sets) ومنهج دلفي وطريقة كوبلاند، وتكونت العينة من (7) خبراء يشملون أساتذة جامعيين في الهندسة المدنية وقادة مجتمعيين وموظفي بلديات. وتوصلت نتائج الدراسة إلى أن المخاطر الاجتماعية كانت الأكثر حدة في البديل المؤقت (P1) ، بينما المخاطر الاقتصادية كانت الأعلى في بديل الحافلات السريعة (P2) ، وأن مشروع الحفاظ على المسار الأصلي (P3) حصل على أفضل ترتيب في 10 من أصل 12 تقييماً. وأوصت الدراسة بضرورة تبني نماذج منهجية لتحليل المخاطر عند المفاضلة بين مشاريع إعادة تأهيل النقل الحضري.

Wang, Zhang, & Li (2023): "Quality Risk Evaluation of Urban Rail
Transit Construction Based on Extension Cloud Model"

هدفت الدراسة إلى التعرف على فاعلية نموذج السحابة الامتدادي بأبعاده (مخاطر الجودة الهندسية، مخاطر المواد، مخاطر التصميم، مخاطر الإدارة، المخاطر البيئية) على تقييم مخاطر الجودة في إنشاء مشاريع السكك الحديدية الحضرية (المترو)، في مدن صينية رئيسية. واستخدمت الدراسة المنهج الكمي التحليلي مع بناء نموذج سحابة امتدادي، وتكونت العينة من بيانات (5) مشاريع مترو قيد الإنشاء مع استبيانات موجهة لـ (20) خبيراً في هندسة النقل الحضري. وتوصلت نتائج الدراسة إلى أن النموذج المقترح يتفوق على طرق التقييم التقليدية في التعامل مع الغموض وعدم اليقين المرافق لمخاطر مشاريع المترو، وأن مخاطر الإدارة والمخاطر البيئية تحتل المرتبتين الأولى والثانية من حيث التأثير على جودة البناء. وأوصت الدراسة بتطوير أنظمة رقابة استباقية تعتمد على التقييم الاحتمالي المستمر لمخاطر الجودة.

Nguyen, Gajendran, & Teo (2024): "Significant Risks That Trigger Cost
Overruns and Delays in Urban Rail Projects"

هدفت الدراسة إلى التعرف على عوامل المخاطر الجوهرية بأبعدها (المخاطر المالية، مخاطر التصميم، المخاطر التنظيمية، مخاطر البناء، المخاطر الخارجية) المؤدية إلى تجاوزات التكلفة والتأخيرات في

مشاريع السكك الحديدية الحضرية، من خلال مراجعة شاملة لثلاث قواعد بيانات دولية. واستخدمت الدراسة منهج المراجعة المنهجية الشاملة (Systematic Review)، وتكونت العينة من (85) بحثاً علمياً منشوراً في مجالات محكمة تتعلق بمخاطر مشاريع السكك الحديدية الحضرية في دول متعددة. وتوصلت نتائج الدراسة إلى تحديد (48) عامل خطر رئيسي تؤثر على مشاريع السكك الحديدية الحضرية، وأن العوامل الأكثر تكراراً وتأثيراً تشمل عدم دقة التقديرات الأولية والتغيرات التصميمية والتحديات الجيولوجية غير المتوقعة والتأخر في إصدار التصاريح، كما أن مشاريع المترو في الدول النامية تعاني من مخاطر أعلى بكثير مقارنة بالدول المتقدمة. وأوصت الدراسة بتطوير أطر تكاملية لإدارة المخاطر تأخذ في الحسبان السياق المحلي لكل دولة.

دراسة (Senić, Dobrodolac, & Stojadinović (2024): "Development of Risk Quantification Models in Road Infrastructure Projects"

هدفت الدراسة إلى التعرف على فاعلية نماذج التقدير الكمي للمخاطر بأبعادها (نمذجة المخاطر الكمية، اتخاذ القرار متعدد المعايير، التحليل العنقودي، الإحصاء الوصفي) على تقييم مخاطر مشاريع البنية التحتية للنقل البري، في صربيا. واستخدمت الدراسة المنهج الكمي التحليلي مع نمذجة مركبة تجمع بين عدة تقنيات، وتكونت العينة من بيانات (22) مشروع بنية تحتية للطرق في صربيا مع مدخلات من خبراء في القطاع. وتوصلت نتائج الدراسة إلى أن النموذج المركب المطور يوفر تصنيفاً أكثر دقة للمخاطر مقارنة بالنماذج الأحادية، وأن مخاطر التكلفة تتأثر بشكل رئيسي بعوامل التضخم وتقلبات أسعار المواد وتغييرات نطاق العمل، كما أن دمج التحليل العنقودي يُتيح تحديد أنماط متكررة للمخاطر عبر المشاريع المختلفة. وأوصت الدراسة بتبني نماذج التقدير الكمي المتكاملة كمعيار في تقييم مخاطر مشاريع البنية التحتية للنقل.

الفجوة البحثية:

على الرغم من التطور الملحوظ الذي شهدته الأدبيات الأجنبية في توظيف أدوات النمذجة الاحتمالية لتحليل مخاطر المشاريع الإنشائية والبنية التحتية، إلا أن المتابع لهذه الأدبيات يلاحظ أن الغالبية العظمى من الدراسات ركزت على تطبيق كل أداة بمعزل عن غيرها؛ فقد تناولت دراسة (Ariza Flores & Zavala Ascaño, 2025) محاكاة مونت كارلو في مشاريع الطرق بأمريكا اللاتينية، واقتصرت دراسة

(Liu, Jiao & Guo, 2021) على الشبكات البيزية في مشاريع السكك الحديدية الحضرية بالصين، بينما عالجت دراسة (Canesi & Gallo, 2025) تحليل الحساسية الاحتمالي في إطار تجاوزات التكلفة فحسب. ولم تتبنَّ أيُّ من هذه الدراسات نموذجاً تكاملياً يجمع الأبعاد الثلاثة للنمذجة الاحتمالية — محاكاة مونت كارلو، والشبكات البيزية، وتحليل الحساسية الاحتمالي — في إطار واحد لقياس أثرها المشترك على أبعاد المخاطر الثلاثة — التكلفة والجدول الزمني والجودة والسلامة — في مشاريع النقل الحضرية تحديداً. كما أن الدراسات العربية ظلت محدودة في هذا الصدد؛ إذ اكتفت دراسة (بوداود، 2023) بتطبيق مونت كارلو في قطاع التأمين، وتناولت دراسة (راحلة وحوادق، 2023) تقييم مخاطر البنية التحتية دون استخدام أدوات احتمالية متقدمة، في حين لم تتجاوز دراسة (الزهراني وعبد الله، 2024) حدود التحليل الوصفي لإدارة المخاطر في المشاريع السعودية.

وعلى مستوى السياق الجغرافي، يتضح أن المملكة العربية السعودية —التي تُنفذ مشاريع نقل حضرية عملاقة تتجاوز قيمتها مئات المليارات من الريالات ضمن رؤية 2030— تفتقر إلى دراسات تطبيقية تربط بين النمذجة الاحتمالية بأبعادها المتعددة وتحليل مخاطر هذه المشاريع بشكل منهجي ومتكامل. فقد أشارت دراسة (Shaik & Hassan, 2023) في مراجعتها المنهجية للنقل الحضري السعودي إلى غياب واضح في الأبحاث الكمية المتقدمة الخاصة بتقييم المخاطر، وأكدت دراسة (الشهري وآخرون، 2022) أن مشاريع البناء السعودية لا تزال تعتمد أساليب تقليدية في تقدير المخاطر تؤدي إلى تجاوزات كبيرة في التكلفة والوقت. كذلك أوضحت دراسة (عيسى، 2024) في مراجعتها المنهجية أن التوجه العالمي يتزايد نحو الأدوات الاحتمالية، لكنه لم ينعكس بعدُ على الممارسات البحثية والتطبيقية في البيئة العربية والسعودية. وبالتالي، تتبلور فجوة بحثية واضحة تتمثل في غياب نموذج تكاملي يجمع بين أبعاد النمذجة الاحتمالية الثلاثة ويختبر أثرها على أبعاد مخاطر مشاريع النقل الحضرية الثلاثة في السياق السعودي، وهو ما تسعى الدراسة الحالية إلى سدّه من خلال بناء إطار منهجي شامل يُسهّم في تطوير الأدبيات النظرية والممارسات التطبيقية على حدٍّ سواء.

المنطلقات النظرية للدراسة:

أولاً: الإطار المفاهيمي للنمذجة الاحتمالية

تُعرّف النمذجة الاحتمالية (Probabilistic Modeling) بأنها منهجية رياضية وإحصائية تقوم على تمثيل حالات عدم اليقين والتباين في الظواهر والأنظمة المعقدة من خلال توزيعات احتمالية تعكس المدى الكامل للنتائج الممكنة واحتمالات وقوعها، بدلاً من الاعتماد على قيم حتمية ثابتة تُختزل فيها حقيقة التباين الكامن في طبيعة هذه الظواهر. وتستند هذه المنهجية إلى أسس نظرية راسخة في علم الاحتمالات والإحصاء الرياضي، حيث يُنظر إلى المتغيرات المؤثرة في أي نظام بوصفها متغيرات عشوائية تخضع لتوزيعات احتمالية محددة يمكن تقديرها من البيانات التاريخية أو آراء الخبراء أو كليهما معاً. وقد تطور هذا الحقل المعرفي تطوراً ملحوظاً منذ منتصف القرن العشرين، وامتدت تطبيقاته لتشمل حقولاً متنوعة كالهندسة والتمويل والتأمين وإدارة المشاريع، غير أن توظيفه في مجال تحليل مخاطر مشاريع النقل الحضرية لا يزال يُمثّل مساحةً بحثيةً واعدة تتطلب مزيداً من التعمق والاستكشاف (Khodabakhshian et al, 2025).

وتتبع من هذا الإطار المفاهيمي العام ثلاثة أبعاد رئيسة تُشكّل الأدوات التحليلية الجوهرية للنمذجة الاحتمالية في سياق هذه الدراسة. يتمثل البُعد الأول في محاكاة مونت كارلو (Monte Carlo Simulation)، وهي تقنية حاسوبية تقوم على توليد أعداد كبيرة من السيناريوهات العشوائية تتراوح عادةً بين خمسة آلاف وعشرة آلاف تكرار أو أكثر، وذلك من خلال سحب قيم عشوائية من التوزيعات الاحتمالية المُعرّفة لكل متغير مدخل في النموذج، ثم حساب المخرجات المقابلة لكل تكرار للحصول في نهاية المطاف على توزيع احتمالي شامل للنتائج يُبيّن القيم المتوقعة ونطاقات الثقة واحتمالات تجاوز عتبات محددة. وقد أثبتت هذه التقنية فاعليتها في تقدير احتياطات الطوارئ وتحديد احتمالات تجاوز الميزانيات والجداول الزمنية في مشاريع البنية التحتية، لا سيما عند إدراج مصفوفات الارتباط بين المتغيرات المترابطة التي يؤدي تجاهلها إلى تقدير ناقص جوهري لمستوى المخاطر الحقيقي (Moselhi & Roghabadi, 2020).

ويتمثل البُعد الثاني في الشبكات البيزية (Bayesian Networks)، وهي نماذج رسومية احتمالية تُمثّل فيها المتغيرات بعقد والعلاقات السببية أو الارتباطية بينها بأسهم موجهة، مع تحديد جداول احتمالات مشروطة لكل عقدة تصف احتمالية حالاتها المختلفة بناءً على حالات العقد الأم المرتبطة بها. وتتميز هذه الشبكات بقدرتها الفريدة على نمذجة العلاقات السببية المعقدة والمترابطة بين عوامل المخاطر المتعددة في آنٍ واحد، فضلاً عن إمكانية تحديث التقديرات الاحتمالية ديناميكياً وفق نظرية بايز عند

توفر معلومات أو أدلة جديدة خلال مراحل تنفيذ المشروع. وقد وظّفت عدة دراسات هذه الشبكات في تقييم مخاطر مشاريع السكك الحديدية الحضرية والمترو، حيث أتاحت تحليل سلاسل المخاطر المتعاقبة وتحديد العوامل ذات التأثير الأعلى على نتائج المشروع الإجمالية (Liu, Jiao, & Guo, 2021; Chen et al., 2021).

أما البُعد الثالث فيتمثل في تحليل الحساسية الاحتمالي (Probabilistic Sensitivity Analysis) ، وهو أسلوب تحليلي يهدف إلى تحديد المتغيرات المدخلة الأكثر تأثيراً على تباين المخرجات في النموذج الاحتمالي، وذلك من خلال قياس مدى تغيّر التوزيع الاحتمالي للمخرجات استجابةً للتغيرات في كل متغير مدخل على حدة أو في مجموعات من المتغيرات المترابطة. ويُوظّف هذا الأسلوب عادةً بالتزامن مع محاكاة مونت كارلو أو الشبكات البيزية، حيث يُنتج مخططات الإحصار ومعاملات الارتباط الرتبتي التي تُرتّب المتغيرات المدخلة حسب قوة تأثيرها، مما يُمكن صانعي القرار من تركيز جهود الرقابة والتخفيف على العوامل الأكثر حساسية والأعلى تأثيراً. (Canesi & Gallo, 2025).

ثانياً: الإطار المفاهيمي لتحليل مخاطر مشاريع النقل الحضرية

يُعرّف تحليل مخاطر مشاريع النقل الحضرية (Urban Transport Project Risk Analysis) بأنه عملية منهجية ومنظمة تهدف إلى تحديد وتقييم وتصنيف المخاطر المحتملة التي قد تؤثر سلباً على تحقيق أهداف مشاريع النقل الحضري من حيث التكلفة والوقت والجودة والسلامة، وذلك باستخدام أساليب نوعية وكمية تُمكن من تقدير احتمالية وقوع كل خطر وحجم تأثيره المتوقع على مخرجات المشروع. ويُعدّ هذا التحليل مكوناً جوهرياً في منظومة إدارة المخاطر الشاملة التي تحكم دورة حياة المشروع بأكملها، بدءاً من مرحلة دراسات الجدوى والتخطيط وصولاً إلى مرحلة التنفيذ والتشغيل (Fontana et al., 2023).

ويشتمل هذا المتغير في سياق الدراسة الحالية على ثلاثة أبعاد رئيسة مترابطة ومتكاملة. يتمثل البُعد الأول في مخاطر تجاوز التكلفة (Cost Overrun Risks) ، وتُشير إلى احتمالية تجاوز التكلفة الفعلية للمشروع للميزانية المعتمدة نتيجة عوامل متعددة تشمل عدم دقة التقديرات الأولية وتقلبات أسعار المواد والعمالة والتغيرات في نطاق العمل والأوامر التغييرية والظروف الجيولوجية غير المتوقعة والتضخم الاقتصادي. وتُعدّ هذه المخاطر من أكثر المخاطر شيوعاً وتأثيراً في مشاريع النقل الحضرية عالمياً،

حيث أظهرت الدراسات أن مشاريع السكك الحديدية الحضرية تعاني من متوسط تجاوز في التكلفة يفوق نظيره في أنواع المشاريع الأخرى. (Nguyen, Gajendran, & Teo, 2024)

ويتمثل البُعد الثاني في مخاطر التأخر الزمني (Schedule Delay Risks)، وتُعرف بأنها احتمالية تجاوز مدة تنفيذ المشروع للجدول الزمني المعتمد نتيجة عوامل تتصل بالتأخر في إصدار التصاريح والموافقات ونقص العمالة الماهرة وتأخر توريد المواد والمعدات والتعديلات التصميمية المتكررة والظروف المناخية القاسية والتحديات الجيولوجية المفاجئة أثناء أعمال الحفر والتنفيذ. وتتسم هذه المخاطر بطابعها التراكمي، حيث يُمكن لتأخر نشاط واحد أن يُحدث تأثيراً متسلسلاً على الأنشطة اللاحقة المرتبطة به في المسار الحرج للمشروع (الشهري وآخرون، 2022).

ويتمثل البُعد الثالث في مخاطر الجودة والسلامة (Quality and Safety Risks)، وتُشير إلى احتمالية عدم مطابقة مخرجات المشروع لمعايير الجودة المحددة في المواصفات الفنية والعقدية، أو حدوث إصابات أو حوادث تمس سلامة العاملين أو المستخدمين أو المجتمع المحيط بموقع المشروع. وتتأثر هذه المخاطر بعوامل متعددة تشمل كفاءة الإشراف الهندسي وجودة المواد المستخدمة ومدى الالتزام بمعايير السلامة المهنية والظروف البيئية المحيطة بموقع العمل. (Wang, Zhang, & Li, 2023)

المنهجية وطرق البحث:

ستعتمد الدراسة الحالية على المنهج الوصفي التحليلي بوصفه المنهج الأكثر ملاءمة لطبيعة الدراسة وأهدافها، إذ يُتيح هذا المنهج وصف الظاهرة محل الدراسة وصفاً دقيقاً كما هي في الواقع والتعبير عنها تعبيراً كمياً وكيفياً، فضلاً عن تحليل العلاقات الارتباطية والسببية بين متغيراتها. وسيُوظف هذا المنهج في رصد واقع استخدام النمذجة الاحتمالية بأبعادها (محاكاة مونت كارلو، الشبكات البيزية، تحليل الحساسية الاحتمالي) وتحليل أثرها على تحليل مخاطر مشاريع النقل الحضرية بأبعاده (مخاطر تجاوز التكلفة، مخاطر التأخر الزمني، مخاطر الجودة والسلامة) في المملكة العربية السعودية.

كما ستستعين الدراسة بأسلوب المسح الميداني من خلال تصميم استبانة إلكترونية محكمة سُؤرع على أفراد العينة المستهدفة، وذلك بهدف جمع البيانات الأولية اللازمة لاختبار فروض الدراسة والإجابة عن

أسئلتها. وسيتم التحقق من صدق أداة الدراسة وثباتها باستخدام الأساليب الإحصائية المناسبة قبل تطبيقها الميداني، بما يضمن الحصول على نتائج موثوقة وقابلة للتعميم ضمن حدود مجتمع الدراسة.

مجتمع الدراسة وعينتها

سيتكون مجتمع الدراسة من جميع المهندسين ومديري المشاريع والاستشاريين والمتخصصين في إدارة المخاطر العاملين في مشاريع النقل الحضرية الكبرى بالمملكة العربية السعودية، ويشمل ذلك العاملين في مشاريع مترو الرياض ومشروع حافلات الرياض ومشروع حافلات جدة السريعة ومشروع قطار الحرمين السريع والمشاريع المرتبطة بتطوير شبكات النقل الحضري ضمن رؤية 2030. ويُقدَّر حجم مجتمع الدراسة بنحو (2500) متخصص يعملون لدى الجهات الحكومية المشرفة مثل وزارة النقل والخدمات اللوجستية والهيئة الملكية لمدينة الرياض، إضافةً إلى شركات المقاولات الكبرى ومكاتب الاستشارات الهندسية وشركات إدارة المشاريع العاملة في هذا القطاع.

سيتم سحب عينة عشوائية طبقية من مجتمع الدراسة بحيث تُمثَّل فيها الطبقات المختلفة (جهات حكومية مشرفة، شركات مقاولات، مكاتب استشارات هندسية، شركات إدارة مشاريع) تمثيلاً متناسباً مع حجمها في المجتمع الأصلي. وبالاعتماد على معادلة ستيفن ثومبسون لتحديد حجم العينة عند مستوى ثقة (95%) وهامش خطأ (5%)، سيبلغ الحد الأدنى المطلوب لحجم العينة (334) مفردة. وسعيًا لتعويض حالات الفقد والاستبانة غير المكتملة، ستُوزَّع (400) استبانة إلكترونية على أفراد العينة المستهدفة، على أن يُشترط في المستجيب أن يكون حاصلاً على مؤهل جامعي كحد أدنى وأن لا تقل خبرته العملية عن (3) سنوات في مجال مشاريع النقل أو إدارة المخاطر.

مصادر جمع البيانات

ستعتمد الدراسة على نوعين من مصادر جمع البيانات:

المصادر الثانوية: وتشمل الكتب والمراجع العلمية المتخصصة والرسائل الجامعية والأبحاث المنشورة في المجالات العلمية المحكمة العربية والأجنبية والتقارير الرسمية الصادرة عن الجهات الحكومية السعودية ذات العلاقة بمشاريع النقل الحضرية، وذلك لبناء الإطار النظري للدراسة وصياغة أدواتها.

المصادر الأولية: وتتمثل في البيانات الميدانية التي سيتم جمعها من أفراد العينة من خلال استبانة إلكترونية مُصمَّمة خصيصاً لأغراض هذه الدراسة، وستُوزَّع عبر المنصات الإلكترونية المعتمدة مع ضمان سرية الاستجابات.

أداة الدراسة (الاستبانة)

ستُصمَّم استبانة إلكترونية بوصفها الأداة الرئيسة لجمع البيانات الأولية، وستتكون من ثلاثة أقسام رئيسة على النحو التالي:

القسم الأول: البيانات الديموغرافية

سيُتضمن هذا القسم البيانات الشخصية والوظيفية لأفراد العينة، وتشمل (المؤهل العلمي، التخصص الأكاديمي، سنوات الخبرة، المسمى الوظيفي، طبيعة المشروع، الجهة المشرفة).

القسم الثاني: المتغير المستقل (النمذجة الاحتمالية)

سيُتكون هذا القسم من (3) محاور تقيس أبعاد النمذجة الاحتمالية، وذلك على النحو التالي:

المحور	البُعد	عدد الفقرات
المحور الأول	محاكاة مونت كارلو	(4) فقرات
المحور الثاني	الشبكات البيزية	(4) فقرات
المحور الثالث	تحليل الحساسية الاحتمالي	(4) فقرات
الإجمالي	3 أبعاد	(12) فقرة

القسم الثالث: المتغير التابع (تحليل مخاطر مشاريع النقل الحضرية)

سيُتكون هذا القسم من محور واحد يقيس تحليل مخاطر مشاريع النقل الحضرية بشكل شامل ومتكامل، ويتضمن (10) فقرات تغطي الأبعاد الثلاثة للمتغير التابع (مخاطر تجاوز التكلفة، مخاطر التأخر الزمني، مخاطر الجودة والسلامة) ضمن محور أحادي مُوحَّد.

المحور	المتغير	عدد الفقرات
محور واحد	تحليل مخاطر مشاريع النقل الحضرية	(10) فقرات

وسيتم قياس استجابات أفراد العينة باستخدام مقياس ليكرت الخماسي المتدرج من (1) بشدة إلى (5) بشدة، حيث: (1) غير موافق بشدة، (2) غير موافق، (3) محايد، (4) موافق، (5) موافق بشدة.

سأ: الأساليب الإحصائية المستخدمة

سيتم تحليل البيانات المُجمّعة باستخدام برنامج الحزم الإحصائية للعلوم الاجتماعية (SPSS v.26) ، وسيتم توظيف الأساليب الإحصائية التالية:

أساليب التحقق من جودة الأداة: وتشمل معامل ألفا كرونباخ (Cronbach's Alpha) لقياس ثبات أداة الدراسة، ومعاملات الارتباط لقياس الصدق البنائي للاستبانة، والتحليل العاملي التوكيدي (CFA) للتحقق من صلاحية النموذج القياسي.

أساليب الإحصاء الوصفي: وتشمل التكرارات والنسب المئوية لوصف خصائص العينة، والمتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لتحديد اتجاهات استجابات أفراد العينة ومستوى تشتتها.

أساليب الإحصاء الاستدلالي: وتشمل تحليل الانحدار المتعدد (Multiple Regression Analysis) لاختبار أثر أبعاد النمذجة الاحتمالية على تحليل مخاطر مشاريع النقل الحضرية، وتحليل الانحدار البسيط (Simple Regression Analysis) لاختبار أثر كل بُعد على حدة، ومعامل ارتباط بيرسون (Pearson Correlation) لقياس قوة العلاقات واتجاهها بين المتغيرات.

حدود الدراسة

الحدود الموضوعية: ستقتصر الدراسة على دراسة أثر النمذجة الاحتمالية بأبعادها (محاكاة مونت كارلو، الشبكات البيزية، تحليل الحساسية الاحتمالي) على تحليل مخاطر مشاريع النقل الحضرية بأبعاده (مخاطر تجاوز التكلفة، مخاطر التأخر الزمني، مخاطر الجودة والسلامة)

الحدود المكانية: ستُطبَّق الدراسة على مشاريع النقل الحضرية الكبرى في المملكة العربية السعودية، مع التركيز على مشاريع مترو الرياض وحافلات الرياض وحافلات جدة السريعة وقطار الحرمين السريع.

الحدود الزمنية: سيتم جمع البيانات الميدانية خلال الفصل الدراسي الثاني من العام الجامعي 1447/1448 هـ الموافق 2026م.

الحدود البشرية: ستقتصر الدراسة على المهندسين ومديري المشاريع والاستشاريين والمتخصصين في إدارة المخاطر العاملين في مشاريع النقل الحضرية بالمملكة العربية السعودية ممن تتوفر فيهم شروط الخبرة والمؤهل العلمي المحددة.

المراجع:

- ❖ بوداود، خ. (2023). التحليل الكمي للمخاطر باستخدام طريقة محاكاة Monte Carlo: دراسة حالة المديرية الجهوية لشركة التأمين SAA بالبلدية. مجلة معهد العلوم الاقتصادية، 26(2)، 153-174. <https://asjp.cerist.dz/en/article/235412>
- ❖ رحاحلة، آ.، وحوادق، ع. (2023). تقييم المخاطر في مشاريع البنية التحتية. مجلة جامعة الأمير عبد القادر للعلوم الإسلامية، 37(1)، 245-272. <https://www.researchgate.net/publication/373683462>
- ❖ مرزوق، أ. (2024). تأثير إدارة مخاطر سلسلة التوريد على أداء المشروع في قطاع البناء والتشييد في المملكة العربية السعودية. المجلة الدولية لبحوث الزراعة والبيئة، 3(10)، 118-135. <https://vsrp.co.uk/wp-content/uploads/11-IJFAES-Vol.-3-No.10-Oct-2024-paper10-A.Marzouk.pdf>
- ❖ بن عمار، م.، وبوقروشة، ر. (2020). استخدام نموذج مونت كارلو للمحاكاة في تقييم المشاريع الاستثمارية. مجلة الاقتصاد والتنمية البشرية، 11(1)، 230-247. <https://asjp.cerist.dz/en/article/151434>
- ❖ الهادي، م. (2025). مدخل مقترح لتقييم دور المراجعة الداخلية في إدارة المخاطر. المجلة العلمية للدراسات التجارية والبيئية، 16(1)، 1-42. https://journals.ekb.eg/article_434233
- ❖ . الشهري، س.، الطلحي، م.، وآخرون. (2022). عوامل المخاطر المؤدية إلى تجاوز التكلفة والوقت في مشاريع البناء بالمملكة العربية السعودية. مجلة المباني (Buildings)، 12(7)، 902. <https://doi.org/10.3390/buildings12070902>
- ❖ الحمراي، أ. (2021). مشكلات النقل الحضري في العراق وآليات معالجتها. مجلة العلوم الاقتصادية والتسيير والعلوم التجارية، 14(2)، 56-75. <https://asjp.cerist.dz/en/article/201692>

- ❖ الزهراني، م.، وعبد الله، ف. (2024). أثر تطبيق استراتيجيات إدارة المخاطر على نجاح المشروعات. *المجلة العربية للنشر العلمي*، (31)، 12-38.
<https://www.ajsp.net/research>
- ❖ بوديار، ب. (2025). إدارة المخاطر في مؤسسات الأشغال العمومية: دراسة ميدانية. رسالة ماجستير مهني، جامعة قالمة، 1-92. <https://dspace.univ>
- ❖ عيسى، ف. م. (2024). مراجعة منهجية: إدارة المشاريع وإدارة المخاطر. *مجلة الإدارة وريادة الأعمال*، 8(2)، 145-168. <https://core.ac.uk/download/642334934.pdf>
- ❖ 1. Liu, J., Jiao, Y., & Guo, Y. (2021). Risk assessment of urban rail transit PPP project construction based on Bayesian network. *Sustainability*, 13(20), Article 11507. <https://doi.org/10.3390/su132011507>
- ❖ Fontana, M. E., Levino, N. A., Leão, J., Guarnieri, P., & Sinesio, E. P. (2023). Risk analysis of transport requalification projects in the urban mobility problem caused by a mining disaster. *Logistics*, 7(3), Article 58. <https://doi.org/10.3390/logistics7030058>
- ❖ Wang, Q., Zhang, Y., & Li, H. (2023). Quality risk evaluation of urban rail transit construction based on extension cloud model. *Advances in Civil Engineering*, 2023, Article 2187071. <https://doi.org/10.1155/2023/2187071>
- ❖ Nguyen, T., Gajendran, T., & Teo, M. (2024). Significant risks that trigger cost overruns and delays in urban rail projects. *Built Environment Project and Asset Management*, 14(2), 278-296. <https://doi.org/10.1108/BEPAM-01-2023-0027>
- ❖ Senić, A., Dobrodolac, M., & Stojadinović, Z. (2024). Development of risk quantification models in road infrastructure projects. *Sustainability*, 16(17), Article 7694. <https://doi.org/10.3390/su16177694>

- ❖ Khodabakhshian, A., Puolitaival, T., & Kestle, L. (2025). Probabilistic risk identification and assessment model for construction projects using elicitation-based Bayesian network. *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, 30, 158–183.
https://www.itcon.org/papers/2025_09-ITcon-Khodabakhshian.pdf
- ❖ Canesi, R., & Gallo, B. (2025). Probabilistic risk assessment framework for cost overruns in construction projects: PRIMoS. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 40(8), 1125–1142.
<https://doi.org/10.1111/mice.70100>
- ❖ Moselhi, O., & Roghabadi, M. A. (2020). Risk quantification using fuzzy-based Monte Carlo simulation. *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, 25, 87–98.
<https://doi.org/10.36680/j.itcon.2020.006>
- ❖ Chen, L., Lu, Q., Li, S., He, W., & Yang, J. (2021). Bayesian Monte Carlo simulation-driven approach for construction schedule risk inference. *Journal of Management in Engineering*, 37(2), 04020115.
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000887](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000887)
- ❖ Ariza Flores, V. A., & Zavala Ascaño, G. (2025). Stochastic cost estimation in transportation infrastructure projects using Monte Carlo simulation and correlated risk variables. *Future Transportation*, 5(4), 176.
<https://doi.org/10.3390/futuretransp5040176>

Mid Ocean University

College of Management

Department of Risk Management



Using Probabilistic Modeling in Risk Analysis of Urban Transportation

Projects: An Applied Study in the Kingdom of Saudi Arabia

Prepared by:

OMAR MANSOR AL SLAMH

253000219

Supervision:

Dr. Al-Faisal Abdelhamid Mohamed Hassan

Dr. Fayez Jarad

1447-2026