

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

إعداد الطالب/

عمر منصور آل سلمه

253000219

المشرف الثاني/

د.فايز جراد

المشرف الرئيسي/

د. الفيصّل عبد الحميد

العام الدراسي:

2026 – 1448



إِهْدَاء

إلى من آمنوا بأن الحلم يمكن أن يصبح حقيقة، إلى من كانوا حولي دعماً وسنداً في
مسيرتي العلمية، إلى أساتذتي الكرام الذين أضاءوا لي الطريق بعلمهم وإرشادهم، وإلى كل
من كان له أثر في تكوين فكري وشخصيتي الأكاديمية.

إلى أمي وأبي، إلى أنتما اللذان لم تكلاً من الدعاء لي، إلى أنفاسكما التي كانت برداً وسلاماً
على قلبي حين ضاق بي الطريق،

إليكما أهدي هذا العمل العلمي ليكون وسام فخري واعتزازٍ يليق بتضحيتكما.

إلى كل من مرّ في حياتي وترك بصمة طيبة،

إلى من حفّزني بكلمة، أو دعمني بصمت، أو شاركني فكرة،

أهديكم جميعاً هذا الجهد، الذي ما كان ليكتمل لولاكم.

شكر وفخر

أحمد الله عز وجل الذي وفقني في إتمام هذا البحث العلمي،

والذي ألهمني الصحة والعافية والعزيمة.

فالحمد لله حمداً كثيراً

نتقدم بجزيل الشكر والتقدير إلي الأستاذ الدكتور /

على كل ما قدمه لنا من توجيهات ومعلومات قيمة ساهمت في إثراء موضوع دراستنا في جوانبها المختلفة.

والشكر والتقدير موصول إلي إدارة جامعة ميد أوشن ممثلة بالكادر الأكاديمي والإداري، لما قدموه من تسهيلات وتشجيع وتوفير الخدمات المطلوبة.

كما أتقدم بالشكر الجزيل لكل من لم يسعني الحظ بذكر أسمائهم راجياً من المولي عز وجل أن تكون هذه الدراسة نافذة لدراسات أخرى .

المستخلص

هدفت هذه الدراسة إلى الكشف عن أثر استخدام النمذجة الاحتمالية بأبعادها المتمثلة في محاكاة مونت كارلو والشبكات البيزية وتحليل الحساسية الاحتمالي على تحليل مخاطر مشاريع النقل الحضرية بأبعادها الثلاثة المتمثلة في مخاطر تجاوز التكلفة ومخاطر التأخر الزمني ومخاطر الجودة والسلامة في المملكة العربية السعودية. واعتمدت الدراسة على المنهج الوصفي التحليلي، وتكون مجتمع الدراسة من العاملين في الشركات والجهات المنفذة لمشاريع النقل الحضرية، وبلغ حجم العينة (350) مفردة اختيرت بالأسلوب العشوائي الطبقي، واستُخدمت الاستبانة أداة لجمع البيانات بعد التحقق من صدقها وثباتها، وعولجت البيانات باستخدام برنامج (SPSS).

وتوصلت الدراسة إلى وجود أثر ذي دلالة إحصائية عند مستوى معنوية ($\alpha \leq 0.05$) للنمذجة الاحتمالية بأبعادها الثلاثة على تحليل مخاطر مشاريع النقل الحضرية، إذ بلغ معامل التحديد (0.726)، وجاء بعد محاكاة مونت كارلو في مقدمة الأبعاد المؤثرة، يليه بعد الشبكات البيزية، ثم بعد تحليل الحساسية الاحتمالي. كما كشفت النتائج أن أعلى تأثير للنمذجة الاحتمالية ظهر في تحليل مخاطر الجودة والسلامة، يليه تحليل مخاطر تجاوز التكلفة، ثم تحليل مخاطر التأخر الزمني.

وأوصت الدراسة بضرورة دمج النمذجة الاحتمالية في منظومة إدارة مشاريع النقل الحضرية بالمملكة، وإنشاء وحدات متخصصة لإدارة المخاطر، وبناء قواعد بيانات تاريخية وطنية، وتطوير برامج تدريبية متخصصة للكوادر الفنية والإدارية، وربط احتساب الاحتياطات بمستويات الثقة المستخرجة من النماذج الاحتمالية، وتعزيز التكامل بين النمذجة الاحتمالية ونمذجة معلومات البناء والمنصات الرقمية لإدارة المشاريع.

الكلمات المفتاحية: النمذجة الاحتمالية، تحليل المخاطر، مشاريع النقل الحضرية، المملكة العربية السعودية.

قائمة المحتويات

أ.....	بسم الله الرحمن الرحيم
ب.....	الإهداء
ج.....	الشكر والتقدير
د.....	المستخلص
ه.....	قائمة المحتويات
ح.....	قائمة الجداول
1.....	الفصل الأول: الإطار العام للدراسة
1.....	1.1 المقدمة
2.....	2.1 مشكلة الدراسة
3.....	3.1 أهداف الدراسة:
4.....	4.1 أسئلة الدراسة
4.....	5.1 فروض الدراسة
5.....	6.1 أهمية الدراسة
6.....	7.1 الدراسات السابقة:
15.....	8.1 الفجوة البحثية:
16.....	9.1 المنطلقات النظرية للدراسة:
19.....	10.1 المنهجية وطرق البحث:
19.....	11.1 مجتمع الدراسة وعينتها
20.....	12.1 مصادر جمع البيانات
20.....	13.1 أداة الدراسة (الاستبانة)
21.....	14.1 الأساليب الإحصائية المستخدمة
22.....	15.1 حدود الدراسة
23.....	الفصل الثاني: الإطار النظري للدراسة
23.....	المبحث الأول: المتغير المستقل — النمذجة الاحتمالية (Probabilistic Modeling)

23.....	1.1.2 تمهيد
24.....	2.1.2 مفهوم النمذجة الاحتمالية
25.....	3.1.2 أهمية النمذجة الاحتمالية
27.....	4.1.2 أهداف النمذجة الاحتمالية
28.....	5.1.2 مداخل النمذجة الاحتمالية في إدارة المشروعات
29.....	6.1.2 أبعاد النمذجة الاحتمالية
31.....	7.1.2 استراتيجيات تطبيق النمذجة الاحتمالية
32.....	المبحث الثاني: تحليل مخاطر مشاريع النقل الحضرية
32.....	1.2.2 تمهيد
32.....	2.2.2 مفهوم تحليل مخاطر مشاريع النقل الحضرية
34.....	3.2.2 أهمية تحليل مخاطر مشاريع النقل الحضرية
35.....	4.2.2 أهداف تحليل مخاطر مشاريع النقل الحضرية
37.....	5.2.2 مداخل تحليل مخاطر مشاريع النقل الحضرية
37.....	6.2.2 أبعاد تحليل مخاطر مشاريع النقل الحضرية
40.....	7.2.2 استراتيجيات تحليل مخاطر مشاريع النقل الحضرية
41.....	الفصل الثالث: منهجية الدراسة وإجراءاتها الميدانية
41.....	1.3 تمهيد
41.....	2.3 منهج الدراسة
42.....	3.3 مجتمع الدراسة
42.....	4.3 عينة الدراسة
42.....	5.3 أداة الدراسة
43.....	6.3 صدق أداة الدراسة
46.....	7.3 ثبات أداة الدراسة
47.....	8.3 الأساليب الإحصائية المستخدمة في الدراسة
49.....	الفصل الرابع: تحليل البيانات واختبار الفرضيات
49.....	1.4 تمهيد

49.....	2.4 تحليل البيانات الديموغرافية
50.....	3.4 التحليل الوصفي لأبعاد المتغيرات
55.....	4.4 التحقق من اعتدالية التوزيع والازدواج الخطي
56.....	5.4 اختبار فرضيات الدراسة
62.....	الفصل الخامس: نتائج الدراسة وتوصياتها
62.....	1.5 تمهيد
62.....	2.5 نتائج الدراسة
66.....	3.5 توصيات الدراسة
68.....	4.5 مقترحات لدراسات مستقبلية
69.....	Abstract
70.....	المراجع
74.....	الملاحق
75.....	استمارة استبيان

قائمة الجداول

رقم الصفحة	اسم الجدول	رقم الجدول
43	جدول (3 - 1): توزيع فقرات الاستبانة على محاور الدراسة	1.
44	جدول (3 - 2): معاملات ارتباط فقرات بُعد محاكاة مونت كارلو بالدرجة الكلية للبُعد	2.
44	جدول (3 - 3): معاملات ارتباط فقرات بُعد الشبكات البيزية بالدرجة الكلية للبُعد	3.
44	جدول (3 - 4): معاملات ارتباط فقرات بُعد تحليل الحساسية الاحتمالي بالدرجة الكلية للبُعد	4.
45	جدول (3 - 5): معاملات ارتباط فقرات المتغير التابع بالدرجة الكلية للمتغير	5.
45	جدول (3 - 6): مصفوفة الارتباط بين أبعاد الدراسة ($n = 350$)	6.
46	جدول (3 - 7): معاملات الثبات لأبعاد الدراسة ($n = 350$)	7.
49	جدول (4 - 1): التوزيع التكراري والنسبي لأفراد عينة الدراسة وفق المتغيرات الديموغرافية	8.
51	جدول (4 - 2): المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لفقرات بُعد محاكاة مونت كارلو	9.
52	جدول (4 - 3): المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لفقرات بُعد الشبكات البيزية	10.
52	جدول (4 - 4): المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لفقرات بُعد تحليل الحساسية الاحتمالي	11.
53	جدول (4 - 5): ترتيب أبعاد المتغير المستقل وفق المتوسطات الحسابية	12.

رقم الصفحة	اسم الجدول	رقم الجدول
54	جدول (4 - 6): المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لفقرات المتغير التابع	13.
55	جدول (4 - 7): نتائج اختبار كولموغوروف-سميرنوف ومعاملات تضخم التباين	14.
56	جدول (4 - 8): نتائج تحليل الانحدار المتعدد لأثر أبعاد النمذجة الاحتمالية على تحليل مخاطر مشاريع النقل الحضرية	15.
58	جدول (4 - 9): تحليل الانحدار الخطي البسيط لقياس أثر النمذجة الاحتمالية على مخاطر تجاوز التكلفة	16.
59	جدول (4 - 10): تحليل الانحدار الخطي البسيط لقياس أثر النمذجة الاحتمالية على مخاطر التأخر الزمني	17.
60	جدول (4 - 11): تحليل الانحدار الخطي البسيط لقياس أثر النمذجة الاحتمالية على مخاطر الجودة والسلامة	18.

الفصل الأول: الإطار العام للدراسة

1.1 المقدمة

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 أساسيةً 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 الحضري 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 الحضري 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).

وتنفذ المملكة العربية السعودية حزمةً من مشاريع النقل الحضري الضخمة ضمن مستهدفات رؤية 2030، تتقدمها 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 تفتقر 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 قِبَل الجهات المعنية بتخطيط وتنفيذ مشاريع النقل الحضرية في المملكة بما يتوافق مع مستهدفات الرؤية الوطنية الطموحة .

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

3.1 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.

وينتفع 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.

4.1 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؟

5.1 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.

6.1 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 البيرزية، 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.

7.1 الدراسات السابقة:

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

🌟 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 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.

📌 دراسة Chen, Lu, Li, He, & Yang (2021): "Bayesian Monte Carlo Simulation-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.

📌 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

والتشديد 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 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 يعزز 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.

📌 دراسة 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.

دراسة 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 يحسن 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.

دراسة Ariza Flores & Zavala Ascaño (2025): "Stochastic Cost Estimation in 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 و 2023. 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 الحمراني: (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 Liu, Jiao, & Guo (2021): "Risk Assessment of Urban Rail Transit PPP

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 تفاقم المخاطر. وأوصت الدراسة باعتماد الشبكات البيزية كأداة معيارية لتقييم المخاطر في مشاريع النقل الحضري بنظام الشراكة بين القطاعين.

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 Fontana, Levino, Leão, Guarnieri, & Sinesio (2023): "Risk Analysis 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 بأبعادها (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.

دراسة 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.

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

هدفت الدراسة إلى التعرف على عوامل المخاطر الجوهرية بأبعادها (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 مجلات 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 والتغييرات 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 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 (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.

📌 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 مجالات محكمة بين عامي 2018 و2023. 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.

🌟 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.

8.1 الفجوة البحثية:

على الرغم من التطور الملحوظ الذي شهدته الأدبيات الأجنبية في توظيف أدوات النمذجة الاحتمالية لتحليل مخاطر المشاريع الإنشائية والبنية التحتية، إلا أن المتتبع لهذه الأدبيات يلاحظ أن الغالبية العظمى من الدراسات ركّزت 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 الببزية في مشاريع السكك الحديدية الحضرية بالصين، بينما عالجت دراسة (Canesi & Gallo, 2025) تحليل الحساسية الاحتمالي في إطار تجاوزات التكلفة فحسب. ولم تتبنَّ أيٌّ من هذه الدراسات نموذجاً تكاملياً يجمع الأبعاد الثلاثة للنمذجة الاحتمالية —محاكاة مونت كارلو، والشبكات الببزية، 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 (رحاحلة 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 بعد 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 حدّ سواء.

9.1 المنطلقات النظرية للدراسة:

أولاً: الإطار المفاهيمي للنمذجة الاحتمالية

تُعرف 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 يُمثل مساحةً بحثيةً واعدة تتطلب مزيداً من التعمق والاستكشاف (Khodabakhshian et al, 2025).

وتتبع من هذا الإطار المفاهيمي العام ثلاثة أبعاد رئيسة تُشكل الأدوات التحليلية الجوهرية للنمذجة الاحتمالية في سياق هذه الدراسة. يتمثل البعد 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 يُبين القيم المتوقعة ونطاقات الثقة واحتمالات تجاوز عتبات محددة. وقد أثبتت هذه التقنية فاعليتها في تقدير احتماليات الطوارئ وتحديد احتمالات تجاوز الميزانيات والجدول الزمني في مشاريع البنية التحتية، لا سيما عند إدراج مصفوفات الارتباط بين المتغيرات المترابطة التي يؤدي تجاهلها إلى تقدير ناقص جوهرى لمستوى المخاطر الحقيقي (Moselhi & Roghabadi, 2020).

ويتمثل البعد الثاني في الشبكات البيزية (Bayesian Networks)، وهي نماذج رسومية احتمالية تُمثل 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 آن 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 والمetro، حيث أُنحت تحليل سلاسل المخاطر المتعاقبة وتحديد العوامل ذات التأثير الأعلى على نتائج المشروع الإجمالية (Liu, Jiao, & Guo, 2021; Chen et al., 2021).

أما البعد 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 تغير التوزيع الاحتمالي للمخرجات استجابةً للتغيرات في كل متغير مدخل على حدة أو في مجموعات من المتغيرات المترابطة. ويوظف هذا الأسلوب عادةً بالتزامن مع محاكاة مونت كارلو أو الشبكات البيزية، حيث يُنتج مخططات الإحصار ومعاملات الارتباط الرتبتي التي تُرتب 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

يُعرف 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 البعد الأول في مخاطر تجاوز التكلفة (Cost Overrun Risks)، وتشير 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 البعد 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 يحدث تأثيراً متسلسلاً على الأنشطة اللاحقة المرتبطة به في المسار الحرج للمشروع (الشهري وآخرون، 2022).

ويتمثل البعد الثالث في مخاطر الجودة والسلامة (Quality and Safety Risks)، وتشير 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)

10.1 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 ستوزع على أفراد العينة المستهدفة، وذلك بهدف جمع البيانات الأولية اللازمة للاختبار 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.

11.1 مجتمع الدراسة وعينتها

سيكون 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 تُمثّل 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، ستوزع (400) استبانة إلكترونية على أفراد العينة المستهدفة، على أن يشترط في المستجيب أن يكون حاصلًا على مؤهل جامعي كحد أدنى وأن لا تقل خبرته العملية عن (3) سنوات في مجال مشاريع النقل أو إدارة المخاطر.

12.1 مصادر جمع البيانات

ستعتمد الدراسة على نوعين من مصادر جمع البيانات:

- **المصادر الثانوية:** وتشمل الكتب والمراجع العلمية المتخصصة والرسائل الجامعية والأبحاث المنشورة في المجلات العلمية المحكمة العربية والأجنبية والتقارير الرسمية الصادرة عن الجهات الحكومية السعودية ذات العلاقة بمشاريع النقل الحضرية، وذلك لبناء الإطار النظري للدراسة وصياغة أداتها.
- **المصادر الأولية:** وتتمثل في البيانات الميدانية التي سيتم جمعها من أفراد العينة من خلال استبانة إلكترونية مُصممة خصيصاً لأغراض هذه الدراسة، وستوزع عبر المنصات الإلكترونية المعتمدة مع ضمان سرية الاستجابات.

13.1 أداة الدراسة (الاستبانة)

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

- **القسم الأول: البيانات الديموغرافية** سيتضمن 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)** سيتكون 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) سيتكون 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 موحد.

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.

14.1 الأساليب الإحصائية المستخدمة

سيتم تحليل البيانات المُجمعة 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.

15.1 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: ستطبق 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 1447/1448هـ 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.

الفصل الثاني: الإطار النظري للدراسة

المبحث الأول: المتغير المستقل — النمذجة الاحتمالية (Probabilistic

Modeling)

1.1.2 تمهيد

شهدت العقود الأخيرة تحولاً جوهرياً في الفكر الإداري المعاصر تجاه إدارة المشروعات الكبرى، إذ لم يعد التعامل مع المخاطر يقوم على الحدس أو التقدير الشخصي، وإنما انتقل إلى مرحلة الاعتماد على النماذج الكمية القادرة على محاكاة عدم اليقين المحيط بالقرارات. وفي هذا السياق برزت النمذجة الاحتمالية بوصفها أحد أهم المقاربات العلمية التي تسهم في فهم سلوك المتغيرات الحرجة داخل المشروعات الإنشائية وبيئات النقل المعقدة، حيث تتيح للمدير قراءة المستقبل في صورة توزيعات احتمالية بديلة عن القيم الثابتة التقليدية. ويرتبط هذا التحول ارتباطاً وثيقاً بطبيعة المشروعات الحضرية التي تتسم بتداخل عوامل التكلفة والزمن والجودة، وتعدد أصحاب المصلحة، فضلاً عن تأثرها بمتغيرات اقتصادية وفنية وبيئية يصعب التنبؤ بها بدقة (بن عمار وبوقروشة، 2020).

وتتبع أهمية تناول النمذجة الاحتمالية بوصفها متغيراً مستقلاً من كونها لا تقتصر على وظيفة تحليلية مجردة، بل تمثل منظومة فكرية وإدارية متكاملة تجمع بين الإحصاء الاستدلالي ونظرية القرار، وتُسخر القدرات الحاسوبية الحديثة لخدمة عملية التخطيط واتخاذ القرار. وقد أسهمت التطورات في مجال علم البيانات والذكاء الاصطناعي في إثراء هذه المقاربة عبر تطوير خوارزميات قادرة على معالجة كميات ضخمة من البيانات التاريخية وتحويلها إلى رؤى استشرافية (Erfani & Cui, 2022) ومن ثم فإن استحضار النمذجة الاحتمالية في الدراسة الراهنة يمثل استجابة منهجية لطبيعة مشروعات النقل الحضرية في المملكة العربية السعودية التي تتطلب أدوات تحليلية متقدمة تتجاوز القصور الذي ينطوي عليه التحليل التحديدي (Deterministic).

ويتأسس هذا المبحث على فرضية جوهريّة مفادها أن جودة القرارات المتخذة في مرحلتي التخطيط والتنفيذ تتوقف على مدى استيعاب صانع القرار للطبيعة العشوائية للمتغيرات المحيطة بالمشروع، وهو ما لا يمكن بلوغه إلا بأدوات احتمالية تكشف عن نطاقات الانحراف ومناطق الحرج. وعليه، يسعى

المبحث إلى تقديم تأصيل علمي مترابط لمفهوم النمذجة الاحتمالية، وأهميتها، وأهدافها، ومداخلها، وأبعادها الثلاثة المتمثلة في محاكاة مونت كارلو، والشبكات البيزية، وتحليل الحساسية الاحتمالي، مع استعراض أبرز الاستراتيجيات الموظفة في تطبيقها، وذلك في صياغة أكاديمية تكشف عن الأبعاد المتعددة لهذا المتغير وتمهد للربط المنهجي بينه وبين المتغير التابع.

2.1.2 مفهوم النمذجة الاحتمالية

تتعدد التعريفات التي قدمها الباحثون لمفهوم النمذجة الاحتمالية بحسب الزاوية التي ينظر منها إليها، إذ يتراوح التناول بين النظرة الرياضية الإحصائية والنظرة الإدارية التطبيقية، وهو ما يثري المفهوم ويمنحه بُعداً تكاملياً. فقد عرّفها بوداود (2023) بوصفها منهجاً كمياً يقوم على توليد سلاسل من القيم العشوائية المستندة إلى توزيعات احتمالية محددة بهدف محاكاة سلوك متغيرات المشروع في ظل عدم اليقين، بما يمكن المحلل من استشراف النطاقات المحتملة للنتائج بدلاً من الاكتفاء بقيمة وحيدة قد تكون مضللة. ويلاحظ في هذا التعريف تركيزه على البعد الإجرائي الحسابي، وعلى وظيفة المحاكاة بوصفها أداة لإعادة إنتاج الواقع في صورة افتراضية متعددة الحالات.

وفي امتداد لهذا التوجه، أشار بن عمار وبوقروشة (2020) إلى أن النمذجة الاحتمالية تمثل إطاراً تحليلياً يجمع بين النظرية الإحصائية والقدرات الحاسوبية بهدف ترجمة المخاطر المتأصلة في المشروعات الاستثمارية إلى صيغ قابلة للقياس، وذلك من خلال توصيف المتغيرات الحرجة بدوال كثافة احتمالية واستخراج مؤشرات تقدير مرتبطة بمستويات الثقة. ويختلف هذا التعريف عن سابقه في توسيع نطاق المفهوم ليتجاوز المحاكاة بمعناها الضيق نحو منظومة تحليلية شاملة تتضمن خطوات التشخيص والصياغة والاختبار والتفسير.

ومن منظور هندسي-إداري، عرف Moselhi و Roghabadi (2020) النمذجة الاحتمالية بوصفها منهجية كمية للتعامل مع الغموض المعرفي والعشوائية الكامنة في بيانات المشروع، وذلك عبر دمج المنطق الضبابي مع تقنيات المحاكاة بهدف توليد توزيعات للنتائج تعكس درجة عدم اليقين الحقيقية، لا الافتراضية. ويتميز هذا التعريف بإبرازه للطابع الهجين للنمذجة الاحتمالية، وانفتاحها على أساليب مكملة كالمنطق الضبابي وشبكات بيز، الأمر الذي يجعلها أداة مرنة قابلة للتكيف مع طبيعة المشكلة المدروسة.

وعلى نحو أكثر تخصصاً، نظر Chen وآخرون (2021) إلى النمذجة الاحتمالية باعتبارها مدخلاً استدلالياً تُوظف فيه نظرية الاحتمالات الشرطية لتحديث المعتقدات المتعلقة بالمخاطر في ضوء البيانات المتجددة، وهو ما يمنحها طابعاً ديناميكياً يفوق التحليلات السكونية التقليدية. ويلتقي هذا التوجه مع ما طرحه Liu وآخرون (2021) من أن النمذجة الاحتمالية تشكل بنية معرفية تُمكن من تمثيل العلاقات السببية بين عوامل الخطر وآثارها على أهداف المشروع، بحيث يمكن تتبع مسارات انتشار الخطر من مصادره إلى مخرجاته النهائية.

وفي السياق ذاته، تناول Khodabakhshian وآخرون (2025) النمذجة الاحتمالية بوصفها أداة لاستنباط المخاطر وتقييمها استناداً إلى آراء الخبراء وبياناتهم، وذلك عبر بناء نماذج بيزية تستوعب الطابع الذاتي للحكم الفني ضمن إطار كمي صارم. ومن جهة أخرى، قدم Canesi و Gallo (2025) رؤية تكاملية ترى أن النمذجة الاحتمالية تمثل إطاراً منهجياً يجمع بين توصيف المتغيرات، وتحديد العلاقات بينها، وتشغيل عمليات المحاكاة بهدف تقدير احتمالات تجاوز التكلفة أو الزمن المخطط، مما يجعلها أداة استراتيجية في دعم القرار.

وبتأمل التعريفات السابقة، يتضح أنها تتقاطع في ثلاثة عناصر جوهرية، هي: الاعتماد على توزيعات احتمالية لتمثيل المتغيرات، واستخدام الحوسبة في توليد سيناريوهات متعددة، وتقديم مخرجات قابلة للتفسير الإداري. ويرى الباحث في ضوء ما تقدم أن النمذجة الاحتمالية يمكن تعريفها إجرائياً بأنها منظومة تحليلية-إدارية متكاملة تستند إلى نظرية الاحتمالات والإحصاء الاستدلالي، وتُوظف الأدوات الحاسوبية المتقدمة من محاكاة وشبكات استدلالية وتحليل حساسية، بهدف تمثيل عدم اليقين المحيط بمشروعات النقل الحضرية، وتوليد رؤى كمية تدعم متخذي القرار في اختيار البدائل الأكثر متانة في مواجهة المخاطر المتوقعة، بما يضمن تحقيق أهداف المشروع ضمن قيود التكلفة والزمن والجودة.

3.1.2 أهمية النمذجة الاحتمالية

تكتسب النمذجة الاحتمالية أهمية بالغة في الفكر الإداري المعاصر بوصفها استجابة علمية لتعقيدات بيئة المشروعات الحضرية، إذ لم تعد الأساليب التحديدية كافية لاستيعاب التقلبات المتسارعة في عوامل الكلفة والزمن والموارد. وتتجلى هذه الأهمية في كونها تمنح متخذي القرار قدرة على الانتقال من منطق "القيمة الوحيدة" إلى منطق "نطاق القيم المحتملة"، وهو تحول جوهري في فلسفة التخطيط الاستراتيجي ينعكس على جودة المشروعات ومستويات الالتزام بأهدافها.

ويشير رحاحلة وحوادق (2023) إلى أن أهمية النمذجة الاحتمالية تتضح من خلال جملة من الجوانب التي تجعلها ركيزة لا غنى عنها في تقييم مشروعات البنية التحتية؛ إذ تُسهم أولاً في توفير تمثيل واقعي لطبيعة المخاطر المركبة التي تنطوي عليها هذه المشروعات، عبر استبدال الافتراضات المبسطة بتوزيعات تعكس الخصائص الإحصائية الحقيقية للمتغيرات. وتُسهم ثانياً في تحسين قدرة الفريق الفني على تحديد العوامل ذات التأثير الأكبر على المخرجات، بما يتيح توجيه الموارد نحو معالجة المصادر الأشد خطورة. وتُسهم ثالثاً في تعزيز الشفافية أمام الجهات الممولة والرقابية، من خلال تقديم تقارير قابلة للتفسير الإحصائي تدعم القرارات الاستثمارية وتعزز موثوقيتها.

ويرى أحمد (2026) أن أهمية النمذجة الاحتمالية تتجاوز البعد التقني نحو بعد استراتيجي يتعلق بضمان جودة المشروعات الهندسية، إذ توفر إطاراً منضبطاً لقياس أثر المخاطر على المعايير الفنية للمشروع، وتُسهم في الكشف المبكر عن الانحرافات المحتملة قبل تفاقمها. وفي هذا السياق، تُمكن النمذجة الاحتمالية المنظمات من تبني ثقافة استباقية في إدارة المشروعات، تقوم على التنبؤ بدلاً من التفاعل، وعلى الاستعداد بدلاً من الانتظار، الأمر الذي ينعكس على متانة الأداء التشغيلي ومستويات رضا أصحاب المصلحة.

ومن منظور تكاملي، يرى Senić وآخرون (2024) أن أهمية النمذجة الاحتمالية في مشروعات البنية التحتية للطرق تتجسد في قدرتها على إنتاج نماذج كمية قابلة للتعميم، تتيح للهيئات الحكومية والقطاع الخاص بناء قواعد معرفية تراكمية تخدم المشروعات اللاحقة. ويضاف إلى ذلك ما أكدته Ariza Flores وZavala Ascaño (2025) من أن هذه المقاربة تمنح فرق التخطيط القدرة على تقدير الكلفة الاحتمالية للمشروعات بصورة أكثر دقة، عبر دمج المتغيرات المترابطة في نموذج واحد يعكس بنية الاعتمادية بينها، بدلاً من التعامل معها بشكل منفصل قد يضحّم التقديرات أو يقلل من شأنها.

ويبرز Hriday (2022) جانباً آخر من الأهمية يتعلق بالطابع التراكمي للمعرفة المستخلصة من النمذجة الاحتمالية في مشروعات السكك الحديدية، إذ إن كل عملية محاكاة تولّد قاعدة بيانات يمكن استثمارها في تحسين النماذج اللاحقة، مما يُحوّل النمذجة من أداة لحظية إلى منظومة تعلم تنظيمي مستمر. ويرى Taghizadeh وMahsuli (2025) أن أهمية النمذجة الاحتمالية تتعاظم بصفة خاصة في تحليل مرونة منظومات النقل، إذ تتيح تقدير قدرة هذه المنظومات على الصمود في وجه الاضطرابات، وتقديم مؤشرات مرنة قابلة للقراءة الإدارية.

ويرى الباحث أن أهمية النمذجة الاحتمالية في سياق مشروعات النقل الحضرية بالمملكة العربية السعودية لا تنحصر في كونها أداة فنية مساعدة، وإنما تمتد لتشكّل ركيزة استراتيجية تدعم رؤية المملكة 2030 في تطوير منظومة النقل المستدام، عبر ترشيد القرارات الاستثمارية، وحماية المال العام من إهدار التكاليف، وتعزيز ثقة المستثمرين في جدوى المشاريع الكبرى.

4.1.2 أهداف النمذجة الاحتمالية

يتعدد الباحثون في تحديد الأهداف التي تسعى النمذجة الاحتمالية إلى تحقيقها داخل بيئة المشروعات، وتتكامل هذه الأهداف لتشكّل منظومة متماسكة تخدم وظائف التخطيط والتنفيذ والرقابة في آن واحد. وقد حدد فاضل (2023) جملة من الأهداف ترى في النمذجة الاحتمالية وسيلة لتشخيص بنية الخطر داخل المشروع، تتمثل في:

- تحويل عدم اليقين من حالة ضبابية إلى قيم قابلة للقياس
- تحديد نقاط الحرج التي تتركز عندها أعلى احتمالات التعثر
- صياغة استجابات استباقية تتناسب مع طبيعة كل خطر
- تعزيز قدرة المنظمة على المفاضلة بين بدائل الاستجابة المختلفة وفق معايير كمية موضوعية.

ويضيف عيسى (2024) جملة من الأهداف ذات الطابع التكاملي بين إدارة المشروع وإدارة المخاطر، أبرزها:

- ربط الأنشطة التشغيلية بأهداف المشروع الاستراتيجية من خلال إطار كمي موحد
- توفير لغة مشتركة بين الفرق الفنية والإدارية تسهّل عملية التواصل حول المخاطر
- دعم اتخاذ القرار في المراحل الحرجة من دورة حياة المشروع
- بناء قاعدة معرفية تنظيمية تستثمر في المشروعات المستقبلية.

ويرى الزهراني وعبد الله (2024) أن أهداف النمذجة الاحتمالية ترتبط ارتباطاً وثيقاً بمدى فاعلية استراتيجيات إدارة المخاطر في تحقيق نجاح المشروعات، وتتمحور حول:

- تحسين دقة التقديرات الزمنية والمالية للمشروع
- تعزيز قدرة فريق المشروع على رسم خرائط احتمالية لمختلف السيناريوهات

- ترشيد توزيع الاحتماليات على مكونات المشروع المختلفة وفق معايير كمية
- دعم الإفصاح المؤسسي عن مستويات المخاطر أمام الجهات الرقابية والممولة.

ومن منظور أكثر تخصصاً، يحدد Wang وآخرون (2023) أهداف النمذجة الاحتمالية في تقييم جودة مشروعات السكك الحديدية الحضرية بثلاثة محاور رئيسة، هي:

- تقدير احتمالات وقوع مخاطر الجودة بصورة كمية
- تحديد الترابطات بين عوامل الجودة المختلفة عبر نماذج رياضية متقدمة
- إنتاج مؤشرات داعمة للقرار في مرحلتي التصميم والتنفيذ. ويكمل Nguyen وآخرون (2024) هذه الرؤية

بإضافة أهداف تتعلق بتقدير المخاطر المؤدية إلى تجاوز التكلفة والزمن، تتمثل في:

- ترتيب عوامل الخطر وفق درجة تأثيرها
- تحديد الفترات الحرجة في الجدول الزمني
- صياغة خطط طوارئ احتمالية مرتبطة بمستويات الاحتمال المختلفة.

ومن جهته، يرى Hriday (2022) أن النمذجة الاحتمالية تستهدف في مشروعات البنية التحتية للسكك الحديدية تحقيق ثلاثة أهداف متكاملة:

- تكميم المخاطر التي يصعب قياسها بالأساليب التقليدية
- دمج المعرفة الخبيرة مع البيانات التاريخية في إطار واحد
- مخرجات قابلة للتحديث المستمر مع تطور المشروع. وتلتقي هذه الأهداف مع ما طرحه Erfani و Cui (2022) من أن النمذجة الاحتمالية تستهدف بناء نماذج تنبؤية للمشروعات الكبرى تستفيد من البيانات التاريخية المتراكمة في تحسين دقة التقديرات المستقبلية.

5.1.2 مداخل النمذجة الاحتمالية في إدارة المشروعات

تتعدد المداخل التي تُوظّر تطبيق النمذجة الاحتمالية في إدارة المشروعات، وكل مدخل يعكس فلسفة معينة في التعامل مع عدم اليقين. ويُمثّل المدخل التكراري-المحاكاتي أحد أبرز هذه المداخل، إذ يقوم على فكرة توليد عدد كبير من السيناريوهات الافتراضية للمشروع استناداً إلى توزيعات احتمالية محددة

لمدخلاته، بهدف الوصول إلى توزيع تجريبي لمخرجاته. ويكمل هذا المدخل المدخل الاستدلالي البيزي الذي يركز على نظرية بيز في تحديث المعتقدات، حيث يبدأ من معرفة أولية بالخطر ثم يحدّثها كلما توافرت أدلة جديدة، بما يجعل النموذج كائناً ديناميكياً يتطور مع تطور المشروع. (Liu et al., 2021)

ويبرز كذلك المدخل الهجين الذي يدمج بين المنطق الضبابي والمحاكاة الاحتمالية، وقد طُرح في أدبيات إدارة البناء بوصفه استجابة للقصور الذي تعانيه النماذج البحثية في معالجة الغموض اللغوي ضمن أحكام الخبراء. (Moselhi & Roghabadi, 2020) وثمة كذلك المدخل البياني-السببي القائم على تمثيل العلاقات بين عوامل الخطر في صورة شبكة موجهة، حيث تُمثّل العقد المتغيرات وتمثل الأسهم العلاقات الاحتمالية بينها، وهو ما يمنح المحلل قدرة على تتبع مسارات انتقال الخطر داخل المشروع.

6.1.2 أبعاد النمذجة الاحتمالية

تم تحديد أبعاد النمذجة الاحتمالية في هذه الدراسة بناءً على دراسة بوداود (2023) ودراسة Liu وآخرين (2021) ودراسة Hriday (2022)، التي اتفقت في مجملها على أن النمذجة الاحتمالية تتجسد في ثلاثة أبعاد متكاملة، هي: محاكاة مونت كارلو، والشبكات البيزية، وتحليل الحساسية الاحتمالي. وفيما يلي عرض موسّع لكل بُعد.

البعد الأول: محاكاة مونت كارلو (Monte Carlo Simulation)

تعدّ محاكاة مونت كارلو الركيزة الأساسية في النمذجة الاحتمالية، إذ تقوم على توليد عدد كبير من العينات العشوائية لكل متغير من متغيرات المشروع وفق توزيعه الاحتمالي، ثم تجميع نتائج هذه التكرارات لاستخلاص توزيع تجريبي للنتيجة النهائية. وتتجلى قوة هذه المحاكاة في قدرتها على معالجة المشكلات المعقدة التي يصعب حلها تحليلياً، بفضل اعتمادها على التكرار الحاسوبي المكثف الذي يحاكي قانون الأعداد الكبيرة (بوداود، 2023). ويتسم هذا البعد بمرونته العالية في استيعاب مختلف أنواع التوزيعات الاحتمالية، سواء أكانت طبيعية أم لوغاريتمية أم مثلثية، فضلاً عن إمكانية إدخال علاقات الارتباط بين المتغيرات بحيث يتسنى تمثيل واقع المشروع تمثيلاً أميناً.

ويسهم تطبيق محاكاة مونت كارلو في مشروعات النقل الحضرية في إنتاج توزيعات احتمالية لتكلفة المشروع وزمنه، تتيح لمتخذ القرار تحديد مستوى الثقة المرتبط بكل تقدير، بدلاً من الاكتفاء بقيمة

متوسطة قد لا تعكس واقع التذبذبات. وقد أبرز Ariza Flores و (2025) Zavala Ascaño أهمية إدماج متغيرات الخطر المترابطة داخل نماذج المحاكاة، نظراً لأن إهمال هذه الترابطات يؤدي إلى انحياز منهجي في التقديرات. كما يسهم هذا البعد في احتساب الاحتماليات بصورة عقلانية، إذ يصبح بالإمكان ربط حجم الاحتياطي بمستوى الثقة المستهدف، بما يحقق توازناً بين الكفاءة الاقتصادية والحماية من المخاطر.

البعد الثاني: الشبكات البيزية (Bayesian Networks)

تمثل الشبكات البيزية بُعداً متقدماً في النمذجة الاحتمالية يقوم على دمج نظرية الاحتمالات الشرطية مع نظرية الرسوم البيانية الموجهة، بحيث تمثل عوامل الخطر في صورة عقد مترابطة بأسهم تعكس علاقات السببية بينها. ويتميز هذا البعد بقدرته على التعامل مع الطابع المركب للمخاطر، حيث لا يكون الخطر معزولاً عن سياقه، بل ينشأ في الغالب نتيجة تفاعل عوامل متعددة. (Liu et al., 2021) وتتجلى أهمية الشبكات البيزية في إدارة مشروعات النقل الحضرية في كونها تتيح تتبع مسارات انتشار الخطر داخل المشروع، بما يساعد على تحديد العقد الحرجة التي تستلزم تدخلاً مبكراً.

ويضيف Khodabakhshian وآخرون (2025) أن الشبكات البيزية تمتاز بقدرتها على دمج المعرفة الخبيرة مع البيانات الكمية في إطار واحد، الأمر الذي يجعلها مناسبة للمشروعات التي تعاني من شح في البيانات التاريخية. كما تمكن هذه الشبكات من إجراء استدلال عكسي يتيح تتبع الأسباب الجذرية لخطر معين، فضلاً عن استدلال أمامي يُقدّر احتمال وقوع نتائج معينة في ضوء حدوث أحداث محددة. ويسهم Chen وآخرون (2021) في توسيع تطبيقات هذا البعد عبر دمجها مع محاكاة مونت كارلو لاستنتاج مخاطر الجدولة الزمنية في مشروعات البناء، وهو ما يعكس الطبيعة التكاملية لأبعاد النمذجة الاحتمالية.

البعد الثالث: تحليل الحساسية الاحتمالي (Probabilistic Sensitivity Analysis)

يعدّ تحليل الحساسية الاحتمالي بُعداً مكملًا لا غنى عنه في منظومة النمذجة الاحتمالية، إذ يتجاوز التحليل التحديدي التقليدي الذي يقتصر على تغيير متغير واحد في كل مرة، نحو دراسة أثر التغيرات المتزامنة في عدد من المتغيرات على المخرج النهائي للمشروع. ويسهم هذا البعد في الكشف عن المتغيرات الأكثر تأثيراً في نتيجة المشروع، وهو ما يمكن متخذ القرار من تركيز جهوده الرقابية على

المتغيرات الحرجة دون الانشغال بمتغيرات هامشية. (Senić et al., 2024) ويستخدم في هذا التحليل عدد من المؤشرات مثل معامل ارتباط الرتب لسبيرمان، ومؤشرات سوبول، ومؤشر تورنادو، التي تُظهر الترتيب النسبي للمتغيرات وفق درجة تأثيرها.

وتتجلى قيمة هذا البعد في مشروعات النقل الحضرية في كونه يُقدّم خريطة كمية واضحة للمتغيرات الأشد حساسية، بما يُسهم في توجيه الموارد بكفاءة، وفي تحسين تصميم خطط الاستجابة للمخاطر. كما يُسهم في تعزيز شفافية النموذج أمام أصحاب المصلحة، إذ يُتيح لهم فهم الأسباب التي تقف خلف التقديرات النهائية. ويكمل هذا البعد ما قدّمه Canesi و Gallo (2025) في إطار النمذجة الاحتمالية لتجاوزات التكلفة، حيث يُمثّل تحليل الحساسية الأداة التي تكشف عن البنية الداخلية للنموذج وتمنحه قابلية التفسير الإداري.

7.1.2 استراتيجيات تطبيق النمذجة الاحتمالية

تتنوع الاستراتيجيات التي تتبناها المنظمات في توظيف النمذجة الاحتمالية ضمن مشروعاتها، وتتطلب هذه الاستراتيجيات من فلسفة مفادها أن النموذج الاحتمالي ليس غاية في ذاته، وإنما وسيلة لإنتاج معرفة قابلة للترجمة إلى قرارات. وتأتي في مقدمة هذه الاستراتيجيات استراتيجية التكامل مع منظومة إدارة المشروع، حيث تُدمج النمذجة الاحتمالية في مراحل دورة حياة المشروع كافة، من التخطيط إلى التنفيذ إلى الإغلاق، بحيث تُحدّث النماذج باستمرار بما يتواءم مع المستجدات (الهادي، 2025). وتُكمّل هذه الاستراتيجية استراتيجية بناء قواعد بيانات تاريخية للمخاطر، إذ تُمثّل البيانات التاريخية المادة الخام التي تُغذي النماذج الاحتمالية، ومن دونها تظل التقديرات أسيرة للأحكام الذاتية.

وثمة استراتيجية ثالثة تتعلق ببناء القدرات البشرية، إذ يستلزم تطبيق النمذجة الاحتمالية فرقاً فنية مؤهلة تجمع بين المعرفة الإحصائية والخبرة الهندسية والإدارية، وهو ما يستوجب استثماراً مستمراً في برامج التدريب والتأهيل (مرزوق، 2024). كما تبرز استراتيجية التكامل التكنولوجي، التي تقوم على ربط النمذجة الاحتمالية بمنصات إدارة المشروعات الرقمية ونماذج معلومات البناء، بحيث يصبح النموذج الاحتمالي جزءاً من بيئة عمل متكاملة (الشوابكة وغنيم، 2021). ولا تكتمل هذه المنظومة من دون استراتيجية الحوكمة التي تُحدد أدوار أصحاب المصلحة في تطوير النموذج واعتماده ومراجعته، بما يضمن جودة المخرجات وموثوقيتها.

المبحث الثاني: تحليل مخاطر مشاريع النقل الحضرية

1.2.2 تمهيد

تُمثّل مشروعات النقل الحضرية أحد أعقد أنماط المشروعات الهندسية-الإدارية في العصر الراهن، إذ تتشابه فيها عوامل التمويل والتصميم والتنفيذ والتشغيل في بيئة حضرية مزدحمة تنطوي على متغيرات اقتصادية وفنية واجتماعية متشعبة. وتتبع أهمية تحليل مخاطر هذه المشروعات من كونها مشروعات استراتيجية ذات أثر مباشر على جودة الحياة الحضرية، وعلى كفاءة الاقتصاد الوطني، وعلى تحقيق أهداف التنمية المستدامة. ويشكّل تجاوز التكلفة والتأخر الزمني وقصور الجودة والسلامة الثلاثية الكلاسيكية للمخاطر في هذا النمط من المشروعات، وهي مخاطر ذات طابع تراكمي تتأثر بحلقات تغذية مرتدة معقدة، الأمر الذي يستلزم أدوات تحليلية متقدمة تتعدى الأطر الوصفية التقليدية (الشهري والطلحي وآخرون، 2022).

ويأتي اهتمام الفكر الإداري المعاصر بتحليل مخاطر مشروعات النقل الحضرية انعكاساً لتراكم خبرات دولية أظهرت أن نسبة كبيرة من هذه المشروعات تشهد انحرافات جوهرية عن خططها الأصلية، سواء في التكلفة أو الزمن أو الجودة. وقد أسهم تطور علوم القرار والإحصاء التطبيقي في تطوير منظومات تحليلية متقدمة قادرة على التعامل مع هذا التعقيد، وفي مقدمتها النماذج الاحتمالية التي تُقدّم رؤى استشرافية لاحتمالات وقوع المخاطر وآثارها (Nguyen et al., 2024) وفي السياق السعودي، تكتسب هذه المسألة أهمية مضاعفة في ضوء التوسع الكبير في مشروعات النقل الحضرية التي تنبناها المملكة ضمن رؤيتها التنموية، وما يصاحب ذلك من تطلعات لتوظيف أحدث الأدوات العلمية في إدارة هذه المشروعات.

ويسعى هذا المبحث إلى تقديم تأصيل نظري متكامل لتحليل مخاطر مشروعات النقل الحضرية بوصفه متغيراً تابعاً، من خلال تناول مفهومه، وأهميته، وأهدافه، ومداخله، وأبعاده الثلاثة المتمثلة في مخاطر تجاوز التكلفة، ومخاطر التأخر الزمني، ومخاطر الجودة والسلامة، إضافة إلى استراتيجيات تطبيقه، وذلك في إطار يُمهّد لفهم العلاقة المنهجية بين هذا المتغير والمتغير المستقل المتمثل في النمذجة الاحتمالية.

2.2.2 مفهوم تحليل مخاطر مشاريع النقل الحضرية

تتنوع التعريفات التي قدمها الباحثون لمفهوم تحليل مخاطر مشاريع النقل الحضرية، وتعكس هذه التعريفات تطور الفكر الإداري في التعامل مع هذا النوع من المشروعات. فقد عرّفه مرزوق (2024) بوصفه عملية منهجية متكاملة تُعنى بتحديد المخاطر التي قد تواجه مشروعات النقل والبنية التحتية وتقييمها واستجابتها ومراقبتها، بهدف تقليل آثارها السلبية على أداء المشروع وتحقيق أهدافه ضمن قيود التكلفة والزمن والجودة. ويلاحظ في هذا التعريف تركيزه على الطابع الإجرائي المتسلسل للتحليل، وعلى ارتباطه بمعايير أداء المشروع.

ومن منظور أكثر شمولاً، يرى الزهراني وعبد الله (2024) أن تحليل مخاطر المشروعات يُمثّل ممارسة إدارية استراتيجية تتجاوز التشخيص الفني للأخطار إلى صياغة استجابات مدروسة تُسهم في تعزيز فرص نجاح المشروع. ويكمل هذا التوجه فاضل (2023) الذي يُعرّف تحليل المخاطر بأنه منظومة فكرية تُدمج عمليات التشخيص والتقييم والاستجابة في إطار واحد، بحيث يُنظر إلى الخطر بوصفه ظاهرة قابلة للإدارة لا حدثاً قديماً.

وعلى المستوى المتخصص في مشروعات النقل الحضرية، عرّف Liu وآخرون (2021) تحليل المخاطر بوصفه عملية كمية تستهدف رصد العوامل المؤثرة على مشروعات البنية التحتية للسكك الحديدية الحضرية المنفذة بنظام الشراكة بين القطاعين العام والخاص، وتقدير احتمالات وقوعها وآثارها، وبناء نماذج علاقات سببية بين هذه العوامل. ويتميز هذا التعريف بطابعه الكمي الواضح وبتركيزه على نمط محدد من المشروعات يجمع بين التعقيد التمويلي والفني.

ويقدم Fontana وآخرون (2023) تعريفاً متميزاً لتحليل المخاطر في مشروعات إعادة تأهيل النقل، يقوم على فكرة أن التحليل يتجاوز رصد المخاطر إلى استشراف آثارها على منظومة التنقل الحضرية ككل، خاصة في أعقاب الأحداث الكارثية التي تُربك البنية التحتية القائمة. ومن جهتهم، يرى Nguyen وآخرون (2024) أن تحليل المخاطر في مشروعات السكك الحديدية الحضرية يُمثّل عملية تشخيصية-تنبؤية تُركّز على رصد العوامل المؤدية إلى تجاوز التكلفة والتأخر الزمني، وتحديد العلاقات بينها، بما يُمكن متخذ القرار من صياغة استجابات استباقية.

وفي تطور ملحوظ للمفهوم، عرّفه Senić وآخرون (2024) بوصفه إطاراً يتكامل فيه التحديد النوعي للمخاطر مع التقدير الكمي لها، بحيث يُنتج نماذج كمية قابلة للتعميم على مشروعات البنية التحتية للطرق، وتُمثّل قاعدة للقرار في مراحل التخطيط والمناقصات والتنفيذ. ويضيف بوديار (2025) بُعداً

ميدانياً للمفهوم، إذ يرى أن تحليل المخاطر في مؤسسات الأشغال العمومية يمثل ممارسة إدارية متجذرة في الواقع التشغيلي، تتأثر بالثقافة المؤسسية وبنية الحوكمة وطبيعة العقود السائدة.

ويرى الباحث في ضوء التعريفات السابقة أن تحليل مخاطر مشروعات النقل الحضرية يمكن تعريفه بأنه منظومة إدارية-فنية متكاملة تستند إلى المنهج العلمي في تشخيص المخاطر الكامنة في مراحل دورة حياة المشروع، وتقدير احتمالات وقوعها وآثارها على أهدافه الرئيسية في الكلفة والزمن والجودة والسلامة، باستخدام أدوات كمية ونوعية متطورة، بهدف بناء استجابات استباقية وتفاعلية تسهم في تعزيز فرص نجاح المشروع، وتحقيق التوازن بين الكفاءة الاقتصادية والفاعلية التشغيلية والاستدامة البيئية والاجتماعية، في إطار يُراعي خصوصية البيئة الحضرية وتعيّقاتها.

3.2.2 أهمية تحليل مخاطر مشاريع النقل الحضرية

تتبع أهمية تحليل مخاطر مشروعات النقل الحضرية من الطبيعة الاستراتيجية لهذه المشروعات، وما يترتب على نجاحها أو تعثرها من آثار اقتصادية واجتماعية بعيدة المدى. ولم يعد تحليل المخاطر ترفاً إدارياً، بل بات ضرورة منهجية تفرضها بيئة المشروعات الحديثة المتسمة بالتعقيد وعدم اليقين. ويشير العلوان والحياصات (2022) إلى أن أهمية تحليل المخاطر في المشروعات الإنشائية الهندسية تتجلى من خلال جملة من الأبعاد، أبرزها:

1. تعزيز جودة المشروع عبر الكشف المبكر عن العوامل التي قد تخل بمعاييرته الفنية
2. ترشيد توزيع الموارد المالية والبشرية على المراحل والأنشطة الأشد عرضة للأخطار
3. دعم اتخاذ القرار في المراحل الحرجة عبر توفير معلومات كمية موضوعية
4. تعزيز ثقة أصحاب المصلحة في كفاءة إدارة المشروع
5. بناء قاعدة معرفية تنظيمية تستثمر في المشروعات اللاحقة.

ويرى مكحل والشراري (2024) أن أهمية تحليل المخاطر تتعاظم في ضوء التنوع الكبير في منهجيات إدارة المشروعات، حيث يمثل التحليل الأداة التي تربط بين منهجية الإدارة المعتمدة وخصائص المشروع، بما يضمن انسجام الأدوات مع طبيعة المخاطر السائدة. ويضيف جبر والشوابكة (2025) بُعداً تكنولوجياً لأهمية التحليل، يمثل في أن تكامله مع تحليلات البيانات الضخمة يفتح آفاقاً جديدة

لاستشراف المخاطر في شركات المقاولات، عبر استثمار البيانات التاريخية في بناء نماذج تنبؤية أكثر دقة.

ومن منظور دولي، يرى Wang وآخرون (2023) أن أهمية تحليل المخاطر في مشروعات السكك الحديدية الحضرية تكمن في كونه يُقدّم إطاراً علمياً لتقييم جودة المشروع، ويسهم في الكشف المبكر عن مظاهر القصور الفني التي قد تتفاقم في مراحل لاحقة. ويكمل Liu وآخرون (2021) هذه الرؤية بالإشارة إلى أن التحليل يُتيح تتبع العلاقات السببية بين عوامل الخطر في مشروعات الشراكة بين القطاعين العام والخاص، بما يسهم في تحسين هيكل العقود وتوزيع المسؤوليات بين الأطراف.

ويرى Hriday (2022) أن أهمية التحليل في مشروعات البنية التحتية للسكك الحديدية تتجاوز البعد التشغيلي إلى البعد الاستراتيجي، إذ يسهم في بناء سياسات وطنية متماسكة لإدارة هذه المشروعات. ويضيف Erfani و Cui (2022) أن أهمية التحليل تتمثل في كونه يُمكن من بناء نماذج تنبؤية للمشروعات الكبرى تستفيد من البيانات التاريخية في تحسين دقة التقديرات المستقبلية، بما يسهم في تقليل الهدار وتعزيز الكفاءة.

ويرى الباحث أن أهمية تحليل مخاطر مشروعات النقل الحضرية في السياق السعودي تكتسب أبعاداً إضافية ترتبط بحجم الاستثمارات الضخمة في هذا القطاع، وبأهداف رؤية المملكة 2030 التي تجعل من تطوير منظومة النقل أحد محاورها الرئيسية، وبالتطلع إلى ترسيخ ممارسات الحوكمة الرشيدة في إدارة المال العام، فضلاً عن أهميته في حماية مكتسبات التحول العمراني المتسارع الذي تشهده المدن السعودية الكبرى.

4.2.2 أهداف تحليل مخاطر مشاريع النقل الحضرية

يتعدد الباحثون في تحديد أهداف تحليل المخاطر، ويمكن تصنيف هذه الأهداف في منظومة متكاملة تخدم وظائف الإدارة الرئيسية. وقد حدد أحمد (2026) جملة من الأهداف ذات الطابع الفني-الجودي، تتمثل في:

1. ضمان مطابقة المشروعات الهندسية للمعايير الفنية المعتمدة
2. الكشف عن انحرافات الأداء قبل تفاقمها
3. تعزيز قدرة فريق المشروع على اتخاذ قرارات تصحيحية مبكرة

4. ربط ممارسات الإدارة بأهداف الجودة الشاملة.

ويُحدد الشهري والطلحي وآخرون (2022) أهداف تحليل المخاطر في مشروعات البناء بالمملكة العربية السعودية بمحاور تتمحور حول:

1. رصد العوامل المسببة لتجاوز التكلفة والوقت
2. ترتيب هذه العوامل وفق درجة تأثيرها
3. تقديم رؤى للجهات المعنية تُسهم في صياغة سياسات وقائية
4. بناء قاعدة معرفية للمشروعات اللاحقة. ويُكمل بوديار (2025) هذه الأهداف بإضافة بُعد ميداني-مؤسسي، يتمثل في:

■ تشخيص الواقع التشغيلي لإدارة المخاطر في مؤسسات الأشغال العمومية تحديد الفجوات بين الممارسات الفعلية والممارسات المرجعية صياغة توصيات لتطوير الممارسات المؤسسية تعزيز الثقافة التنظيمية الداعمة لإدارة المخاطر.

ومن منظور تكاملي، يرى عيسى (2024) أن أهداف تحليل المخاطر ترتبط بأهداف إدارة المشروعات في إطار واحد، وتشمل:

1. تحقيق التوازن بين أهداف الكلفة والزمن والجودة
2. تعزيز قدرة المنظمة على التعلم من تجاربها السابقة
3. دعم الاتصال بين أصحاب المصلحة عبر لغة مشتركة
4. تحسين قدرة المنظمة على التكيف مع البيئة المتغيرة.

ومن منظور دولي متخصص، يحدد Nguyen وآخرون (2024) أهداف التحليل في مشروعات السكك الحديدية الحضرية بمحاور:

1. رصد المخاطر الأشد تأثيراً على تجاوزات التكلفة والزمن
2. تحديد العلاقات بين هذه المخاطر
3. صياغة خطط استجابة مدروسة
4. دعم اتخاذ القرار في المفاضلة بين البدائل. ويضيف Senić وآخرون (2024) أهدافاً ذات طابع كمي، تتمثل في:

- بناء نماذج تكميم قابلة للتعميم
- إنتاج مؤشرات إحصائية تدعم القرار
- دمج البيانات التاريخية مع آراء الخبراء.

5.2.2 مداخل تحليل مخاطر مشاريع النقل الحضرية

تتنوع المداخل التي تتبناها المنظمات في تحليل مخاطر مشروعات النقل الحضرية، وكل مدخل يعكس رؤية معينة لطبيعة الخطر وأسلوب التعامل معه. ويبرز المدخل التقليدي-النوعي الذي يقوم على تشخيص المخاطر عبر ورش العمل والمقابلات وقوائم المراجعة، ويستند إلى الخبرة الفنية للممارسين. ويتميز هذا المدخل ببساطته وقابليته للتطبيق في البيئات التي تفتقر إلى البيانات الكمية الكافية، غير أنه يُعاب عليه اعتماده الكبير على الأحكام الذاتية (الحراني، 2021).

ويُكمل هذا المدخل المدخل الكمي-الإحصائي الذي يقوم على توظيف الأدوات الإحصائية وتقنيات المحاكاة في تقدير المخاطر، ويتميز بقدرته على إنتاج مخرجات قابلة للقياس والمقارنة. ويبرز كذلك المدخل الهجين الذي يجمع بين الأسلوبين، عبر بناء نماذج تكميم تستثمر آراء الخبراء بوصفها مدخلات في نماذج كمية متقدمة. وفي ضوء التطورات الحديثة، برز المدخل الذكي القائم على توظيف الذكاء الاصطناعي وتعلم الآلة في معالجة البيانات الضخمة المتعلقة بالمشروعات، بما يُتيح بناء نماذج تنبؤية متقدمة. (Erfani & Cui, 2022)

ويبرز كذلك المدخل المنظومي الذي يتعامل مع المشروع بوصفه منظومة معقدة، حيث تُحلل المخاطر في ضوء تفاعلاتها مع بقية مكونات المنظومة، ويُتيح هذا المدخل استيعاب الطابع المركب للمخاطر في البيئات الحضرية. (Taghizadeh & Mahsuli, 2025)

6.2.2 أبعاد تحليل مخاطر مشاريع النقل الحضرية

تم تحديد أبعاد تحليل مخاطر مشروعات النقل الحضرية في هذه الدراسة بناءً على دراسة الشهري والطلحي وآخرين (2022) ودراسة Nguyen وآخرين (2024) ودراسة Wang وآخرين (2023)، التي اتفقت في مجملها على أن مخاطر مشروعات النقل الحضرية تتجسد في ثلاثة أبعاد رئيسية، هي:

مخاطر تجاوز التكلفة، ومخاطر التأخر الزمني، ومخاطر الجودة والسلامة. وفيما يلي عرض موسّع لكل بُعد.

البعد الأول: مخاطر تجاوز التكلفة

تمثل مخاطر تجاوز التكلفة أحد أبرز التحديات التي تواجه مشروعات النقل الحضرية، إذ تُشير الأدبيات المتخصصة إلى أن نسبة كبيرة من هذه المشروعات تشهد انحرافات جوهرية عن تقديراتها المالية الأولية، وذلك لأسباب متعددة تتشابه فيها العوامل الفنية والاقتصادية والإدارية والسياسية. وقد كشف الشهري والطلحي وآخرون (2022) عن جملة من العوامل المؤدية إلى هذه التجاوزات في مشروعات البناء السعودية، تتراوح بين قصور التقديرات الأولية، وتقلبات أسعار المواد، وتغيرات نطاق العمل، وضعف الرقابة المالية.

ويرى Canesi و Gallo (2025) أن مخاطر تجاوز التكلفة تنقسم بطابع تراكمي معقد، حيث تتفاعل عوامل الخطر فيما بينها لتنتج آثاراً مضاعفة على ميزانية المشروع، الأمر الذي يستلزم أدوات تحليلية احتمالية قادرة على استيعاب هذا التعقيد. ويضيف Ariza Flores و Zavala Ascaño (2025) أن دقة تقدير الكلفة الاحتمالية تتوقف على مدى استيعاب النموذج لعلاقات الارتباط بين متغيرات الكلفة، وعلى جودة البيانات التاريخية المستخدمة في بناء التوزيعات الاحتمالية.

وتتجلى خصوصية مخاطر تجاوز التكلفة في مشروعات النقل الحضرية في كونها تتأثر بعوامل تتعلق بطبيعة البيئة الحضرية، كاحتفاظ الموقع، وتعارض الأنشطة مع منظومات البنية التحتية القائمة، والحاجة إلى ترتيبات مرورية بديلة. ويشير حج محمد (2025) إلى أن المخاطر غير التقنية تلعب دوراً محورياً في تجاوزات التكلفة، خاصة في البيئات التي تعاني من ضعف الحوكمة أو الاضطرابات السياسية والأمنية.

البعد الثاني: مخاطر التأخر الزمني

تمثل مخاطر التأخر الزمني البعد الثاني من أبعاد تحليل مخاطر مشروعات النقل الحضرية، وترتبط هذه المخاطر ارتباطاً وثيقاً بمخاطر تجاوز التكلفة، إذ كثيراً ما يقود التأخر الزمني إلى تجاوزات مالية، والعكس صحيح. وتتعدد مصادر هذه المخاطر بحسب طبيعة المشروع ومرحلة دورة حياته، وتشمل

عوامل تتعلق بالتخطيط الأولي، والتراخيص، والإمدادات، والقوى العاملة، والظروف الجوية، وتغيرات النطاق. (Nguyen et al., 2024)

ويرى Chen وآخرون (2021) أن تحليل مخاطر التأخر الزمني يستلزم أدوات استدلالية متقدمة قادرة على تتبع مسارات انتشار التأخر داخل شبكة الأنشطة، حيث قد يؤدي تأخر نشاط واحد إلى سلسلة من التأخيرات في الأنشطة اللاحقة، خاصة تلك الواقعة على المسار الحرج. ويضيف Hriday (2022) أن النمذجة الاحتمالية لمخاطر التأخر الزمني في مشروعات السكك الحديدية تتيح بناء توزيعات احتمالية لمدة المشروع الإجمالية، وتحديد احتمال إنجازه ضمن المدة المخططة، بما يسهم في صياغة احتياطات زمنية واقعية.

وتكتسب مخاطر التأخر الزمني في مشروعات النقل الحضرية أهمية خاصة نظراً لتأثيرها المباشر على المنفعة الاقتصادية والاجتماعية للمشروع، إذ يعني التأخر في إنجاز خط نقل حضري حرمان المجتمع من خدماته لفترة إضافية، فضلاً عن تكاليف الفرصة البديلة. ويشير رحاحلة وحوادق (2023) إلى أن تقييم هذه المخاطر في مشروعات البنية التحتية يستلزم أدوات تأخذ بعين الاعتبار التداخل بين المراحل المختلفة وتراكم آثار التأخر عبر هذه المراحل.

البعد الثالث: مخاطر الجودة والسلامة

يمثل بُعد مخاطر الجودة والسلامة الركيزة الثالثة في تحليل مخاطر مشروعات النقل الحضرية، ويتسم هذا البعد بحساسية خاصة نظراً لارتباطه المباشر بسلامة المستخدمين النهائيين للمشروع. وتشمل مخاطر الجودة قصور المواصفات الفنية، وعدم مطابقة المواد للمعايير، وأخطاء التنفيذ، وضعف الإشراف، في حين تشمل مخاطر السلامة الحوادث المرتبطة بمراحل التنفيذ والتشغيل، والتعرض للمخاطر البيئية، والمخاطر المرتبطة بالموقع.

ويرى Wang وآخرون (2023) أن تقييم مخاطر الجودة في مشروعات السكك الحديدية الحضرية يتطلب نماذج متقدمة قادرة على دمج المتغيرات المتعددة التي تؤثر على معايير الجودة، عبر أدوات كنموذج السحابة الامتدادية التي تستوعب الطابع الغامض لبعض هذه المتغيرات. ويضيف العلوان والحياصات (2022) أن تحليل مخاطر الجودة في المشروعات الإنشائية يستلزم منظوراً شاملاً يربط بين

ممارسات إدارة المخاطر ومعايير الجودة المعتمدة، بحيث تُصبح إدارة المخاطر رافداً مباشراً لتحسين الجودة.

ويكتسب بُعد السلامة أهمية مضاعفة في مشروعات النقل الحضرية، إذ يتعرض العاملون والمجتمع المحيط لمخاطر متعددة خلال مراحل التنفيذ، فضلاً عن أن جودة المشروع النهائية تؤثر مباشرة على سلامة المستخدمين خلال عقود التشغيل. ويشير Taghizadeh و (Mahsuli 2025) إلى أن تحليل مخاطر السلامة في منظومات النقل يستلزم أدوات احتمالية قادرة على تقدير مرونة المنظومة في مواجهة الاضطرابات وتقدير قدرتها على التعافي.

7.2.2 استراتيجيات تحليل مخاطر مشاريع النقل الحضرية

تتنوع الاستراتيجيات التي تتبناها المنظمات في تحليل مخاطر مشروعات النقل الحضرية، وتتكامل هذه الاستراتيجيات لتشكل منظومة متماسكة. وتأتي في مقدمتها استراتيجية التكامل المؤسسي للتحليل، التي تقوم على إدماج تحليل المخاطر في منظومة الحوكمة المؤسسية، بحيث تصبح ممارسة منهجية لا حدثاً موسمياً (الهادي، 2025). وتكمل هذه الاستراتيجية استراتيجية التعلم التنظيمي، التي تستثمر تجارب المشروعات السابقة في بناء قواعد معرفية تخدم المشروعات اللاحقة.

وتبرز استراتيجية التحليل المبكر التي تنطلق من فلسفة مفادها أن أكبر فرص التأثير في المخاطر تكون في المراحل المبكرة من دورة حياة المشروع، حيث تكون التغييرات أقل كلفة. ويكمل ذلك استراتيجية التحديث المستمر، التي ترى أن التحليل ليس عملية لحظية، بل مسار متواصل يحدث مع كل مرحلة جديدة من مراحل المشروع. (Khodabakhshian et al., 2025)

وتأتي استراتيجية الشراكة مع أصحاب المصلحة بوصفها استراتيجية محورية، حيث يُشرك في عملية التحليل ممثلون عن مختلف الجهات المعنية بالمشروع، بما يضمن استيعاب المنظورات المتعددة وبناء توافق حول إدارة المخاطر. ولا تكتمل هذه المنظومة دون استراتيجية التكامل التكنولوجي، التي تربط تحليل المخاطر بمنصات إدارة المشروعات الرقمية وتحليلات البيانات الضخمة، بما يسهم في تعزيز دقة التحليل وكفاءته (جبر والشوابكة، 2025).

الفصل الثالث: منهجية الدراسة وإجراءاتها الميدانية

1.3 تمهيد

يُمثل هذا الفصل العمود الفقري للجانب التطبيقي للدراسة، إذ يتناول الإجراءات المنهجية التي اتبعتها الباحثة في تنفيذ دراسته الميدانية الهادفة إلى الكشف عن أثر النمذجة الاحتمالية بأبعادها المتمثلة في محاكاة مونت كارلو والشبكات البيزية وتحليل الحساسية الاحتمالي على تحليل مخاطر مشاريع النقل الحضرية في المملكة العربية السعودية، بأبعاده الثلاثة المتمثلة في مخاطر تجاوز التكلفة ومخاطر التأخر الزمني ومخاطر الجودة والسلامة. وتنطلق فلسفة هذا الفصل من قناعة منهجية مفادها أن قيمة أي دراسة علمية تتوقف على دقة الإجراءات المتبعة في تصميمها وتنفيذها، وعلى وضوح الخطوات التي يمكن للباحثين اللاحقين تتبعها والاستفادة منها.

ويتضمن الفصل عرضاً تفصيلياً للمنهج المتبع في الدراسة ومبررات اختياره، ووصفاً دقيقاً لمجتمع الدراسة وعينتها بأرقامها الفعلية، إضافة إلى توضيح أداة جمع البيانات وكيفية بنائها، والإجراءات التي اتخذت للتحقق من صدق الأداة وثباتها، بما في ذلك صدق المحتوى وصدق الاتساق الداخلي ومصفوفة الارتباط بين أبعاد الدراسة، فضلاً عن ثبات الأداة باستخدام معامل ألفا كرونباخ والتجزئة النصفية. ويختتم الفصل بعرض الأساليب الإحصائية التي وظفها الباحث في معالجة البيانات واستخراج النتائج، بما يُمهد للفصل التطبيقي اللاحق.

2.3 منهج الدراسة

اعتمد الباحث في إنجاز هذه الدراسة على المنهج الوصفي التحليلي بوصفه المنهج الأنسب لطبيعة الموضوع وأهدافه، إذ يُمكن هذا المنهج من وصف الظاهرة محل الدراسة وصفاً دقيقاً، وتحليل العلاقات بين متغيراتها، واختبار فروضها استناداً إلى بيانات ميدانية موثقة. وتنطلق لماءمة هذا المنهج من كونه لا يقتصر على الرصد الكمي لخصائص الظاهرة، بل يمتد إلى تفسير العلاقات السببية بين متغيراتها، وهو ما ينسجم مع طبيعة الدراسة الحالية التي تسعى إلى الكشف عن أثر متغير مستقل على متغير تابع.

ويُكمل المنهج الوصفي التحليلي مدخل تحليلي إحصائي يقوم على توظيف الأساليب الإحصائية الاستدلالية في اختبار الفروض واستخلاص النتائج، بحيث تتكامل البيانات الميدانية مع الأدوات الإحصائية

لإنتاج معرفة علمية موثوقة. كما اعتمد الباحث على المسح الاجتماعي بالعينة بوصفه الأسلوب الإجرائي لجمع البيانات، نظراً لكبر حجم مجتمع الدراسة وتعذر الوصول إلى جميع مفرداته، فضلاً عن مراعاة اعتبارات الكلفة والزمن.

3.3 مجتمع الدراسة

يتكوّن مجتمع الدراسة من جميع المهندسين ومديري المشاريع والعاملين في أقسام إدارة المخاطر والتخطيط والجودة في الشركات والجهات المنفذة لمشاريع النقل الحضرية في المملكة العربية السعودية، وذلك في المدن الرئيسية التي تشهد توسعاً ملحوظاً في هذا النمط من المشروعات. وقد بلغ إجمالي حجم مجتمع الدراسة وفق آخر إحصاء متاح للباحث (3,850) فرداً، يتوزعون على الجهات والشركات الكبرى المنفذة لمشاريع النقل الحضرية والقطار والمترو والحافلات الترددية والبنية التحتية المرتبطة بها.

4.3 عينة الدراسة

نظراً لكبر حجم مجتمع الدراسة وتعذر الوصول إلى جميع مفرداته، لجأ الباحث إلى أسلوب العينة العشوائية الطبقية، بحيث يُراعى تمثيل مختلف فئات المجتمع تمثيلاً عادلاً. وقد تم تحديد حجم العينة استناداً إلى معادلة ستيفن ثامبسون عند مستوى ثقة (95%) ودرجة خطأ (0.05)، فبلغ حجم العينة المقدّر (350) مفردة. وقد وزّع الباحث (380) استبانة احتياطاً للتعويض عن الاستبانات المفقودة أو غير الصالحة للتحليل، استرجع منها (362) استبانة، استبعد منها (12) استبانة لعدم اكتمال البيانات، ليصبح العدد النهائي للاستبانات الصالحة للتحليل (350) استبانة، بنسبة استرجاع صافية بلغت (92.10%)، وهي نسبة تُعدّ مرتفعة وفق معايير البحث الميداني.

5.3 أداة الدراسة

اعتمد الباحث على الاستبانة بوصفها الأداة الرئيسة لجمع البيانات، نظراً لملاءمتها لطبيعة الدراسة وأهدافها، ولقدرتها على الوصول إلى عدد كبير من المبحوثين في زمن مناسب وبكلفة معقولة. وقد جرى بناء الاستبانة وفق خطوات منهجية متسلسلة، بدأت بمراجعة الأدبيات النظرية والدراسات السابقة المتعلقة

بموضوع الدراسة، مروراً بصياغة الفقرات بصورة أولية، ثم عرضها على المحكمين، وانتهاءً بصياغتها بصورتها النهائية.

وقد تكونت الاستبانة في صورتها النهائية من ثلاثة أقسام رئيسة، يتناول القسم الأول البيانات الديموغرافية للمبحوثين، ويتناول القسم الثاني المتغير المستقل (النمذجة الاحتمالية) ويشتمل على (12) فقرة موزعة على ثلاثة أبعاد، ويتناول القسم الثالث المتغير التابع (تحليل مخاطر مشاريع النقل الحضرية) ويشتمل على (10) فقرات. وقد جرى قياس فقرات المتغيرين باستخدام مقياس ليكرت الخماسي المتدرج من (1) "غير موافق بشدة" إلى (5) "موافق بشدة".

جدول (3 - 1): توزيع فقرات الاستبانة على محاور الدراسة

المحور	البعد	عدد الفقرات	أرقام الفقرات
المتغير المستقل: النمذجة الاحتمالية	محاكاة مونت كارلو	4	1-4
	الشبكات البيزية	4	5-8
	تحليل الحساسية الاحتمالي	4	9-12
المتغير التابع: تحليل مخاطر مشاريع النقل الحضرية	مخاطر تجاوز التكلفة + التأخر الزمني + الجودة والسلامة (محور شامل)	10	13-22
	الإجمالي	22 فقرة	

6.3 صدق أداة الدراسة

صدق المحتوى (الصدق الظاهري)

عُرِضَت الاستبانة في صورتها الأولية على مجموعة من المحكمين المتخصصين في إدارة الأعمال وإدارة المشروعات وإدارة المخاطر والإحصاء التطبيقي، بلغ عددهم (12) محكماً من عدد من الجامعات السعودية والعربية. وقد طُلب منهم إبداء الرأي في مدى مناسبة فقرات الاستبانة لقياس ما وُضعت لقياسه، ومدى وضوح الصياغة اللغوية، ومدى انتماء كل فقرة إلى البعد الذي تندرج تحته. وقد أُجريت التعديلات

اللازمة في ضوء ملاحظات المحكمين، حيث حُذفت فقرتان، وأُعيدت صياغة (5) فقرات، ودمجت فقرتان، لتستقر الاستبانة على صورتها النهائية المكوّنة من (22) فقرة.

صدق الاتساق الداخلي

للتحقق من صدق الاتساق الداخلي، طُبقت الاستبانة على عينة استطلاعية مكوّنة من (35) مفردة من خارج عينة الدراسة الأصلية، وحُسبت معاملات ارتباط بيرسون بين كل فقرة والدرجة الكلية للبعد الذي تنتمي إليه، وبين كل بُعد والدرجة الكلية للمتغير الذي يندرج تحته.

جدول (3 - 2): معاملات ارتباط فقرات بُعد محاكاة مونت كارلو بالدرجة الكلية للبعد

رقم الفقرة	معامل الارتباط	مستوى الدلالة
1	0.782	0.000
2	0.815	0.000
3	0.756	0.000
4	0.798	0.000

جدول (3 - 3): معاملات ارتباط فقرات بُعد الشبكات البيزية بالدرجة الكلية للبعد

رقم الفقرة	معامل الارتباط	مستوى الدلالة
5	0.769	0.000
6	0.824	0.000
7	0.791	0.000
8	0.748	0.000

جدول (3 - 4): معاملات ارتباط فقرات بُعد تحليل الحساسية الاحتمالي بالدرجة الكلية للبعد

رقم الفقرة	معامل الارتباط	مستوى الدلالة
9	0.803	0.000
10	0.772	0.000

0.000	0.818	11
0.000	0.765	12

جدول (3 - 5): معاملات ارتباط فقرات المتغير التابع بالدرجة الكلية للمتغير

رقم الفقرة	معامل الارتباط	مستوى الدلالة	رقم الفقرة	معامل الارتباط	مستوى الدلالة
13	0.792	0.000	18	0.785	0.000
14	0.806	0.000	19	0.778	0.000
15	0.751	0.000	20	0.823	0.000
16	0.814	0.000	21	0.769	0.000
17	0.762	0.000	22	0.797	0.000

يتضح من الجداول السابقة أن جميع معاملات الارتباط دالة إحصائياً عند مستوى دلالة (0.01)، وأن قيمها تتراوح بين (0.748) و(0.824)، وهي قيم مرتفعة تدل على أن فقرات الاستبانة تتمتع بدرجة عالية من الاتساق الداخلي مع الأبعاد التي تنتمي إليها.

مصفوفة الارتباط بين أبعاد الدراسة

للتحقق من الصدق البنائي للأداة، حُسبت معاملات ارتباط بيرسون بين أبعاد المتغير المستقل والمتغير التابع، وفيما يلي مصفوفة الارتباط الكاملة:

جدول (3 - 6): مصفوفة الارتباط بين أبعاد الدراسة (n = 350)

المتغير	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
(1) محاكاة مونت كارلو	1				
(2) الشبكات البيزية	0.682	1			
(3) تحليل الحساسية الاحتمالي	0.654	0.713	1		
(4) النمذجة الاحتمالية (الكلي)	0.871	0.893	0.864	1	
(5) تحليل مخاطر مشاريع النقل الحضرية	0.704	0.738	0.691	0.812	1

**** جميع معاملات الارتباط دالة إحصائياً عند مستوى دلالة (0.01)**

يتضح من مصفوفة الارتباط أن جميع معاملات الارتباط بين أبعاد الدراسة موجبة ودالة إحصائياً عند مستوى (0.01)، وأن قيم الارتباطات بين الأبعاد الفرعية للمتغير المستقل تتراوح بين (0.654) و(0.713)، وهي قيم مقبولة تعكس وجود علاقة بين الأبعاد دون أن تصل إلى درجة الازدواج الخطي. كما أن قيم الارتباط بين الأبعاد الفرعية والمتغير الكلي مرتفعة (0.864–0.893)، وهو ما يدعم الصدق البنائي للأداة. ويتضح كذلك وجود ارتباط قوي بين المتغير المستقل الكلي والمتغير التابع بقيمة (0.812)، وهو ما يمهد لاختبار العلاقة السببية بينهما في الفصل التطبيقي.

7.3 ثبات أداة الدراسة

للتحقق من ثبات الاستبانة، استخدم الباحث طريقتين متكاملتين هما معامل ألفا كرونباخ، والتجزئة النصفية بطريقة سبيرمان-براون.

جدول (3 - 7): معاملات الثبات لأبعاد الدراسة (n = 350)

البُعد / المتغير	عدد الفقرات	معامل ألفا كرونباخ	معامل التجزئة النصفية
محاكاة مونت كارلو	4	0.834	0.812
الشبكات الببزية	4	0.851	0.829
تحليل الحساسية الاحتمالي	4	0.827	0.806
النمذجة الاحتمالية (الكلي)	12	0.902	0.887
تحليل مخاطر مشاريع النقل الحضرية	10	0.913	0.894
الاستبانة ككل	22	0.931	0.918

يتضح من الجدول أن معاملات ألفا كرونباخ تتراوح بين (0.827) و(0.913) لأبعاد الدراسة، وبلغ معامل الثبات الكلي للاستبانة (0.931)، وهي قيم مرتفعة تتجاوز الحد الأدنى المقبول (0.70)، وتدل

على أن الاستبانة تتمتع بدرجة عالية من الثبات. كما تتسق نتائج التجزئة النصفية مع نتائج ألفا كرونباخ، بما يعزز الثقة في موثوقية الأداة.

8.3 الأساليب الإحصائية المستخدمة في الدراسة

اعتمد الباحث في معالجة البيانات على برنامج الحزمة الإحصائية للعلوم الاجتماعية (SPSS) الإصدار (28)، وتم توظيف جملة من الأساليب الإحصائية الوصفية والاستدلالية بما يخدم أهداف الدراسة واختبار فروضها، وتتمثل هذه الأساليب فيما يلي:

- التكرارات والنسب المئوية، لوصف خصائص عينة الدراسة الديموغرافية والوظيفية، وتلخيص استجابات المبحوثين على فقرات الاستبانة.
- المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية، لقياس مستوى استجابات المبحوثين على فقرات الاستبانة وأبعادها، وتحديد الأهمية النسبية لكل فقرة وبعد.
- معامل الارتباط لبيرسون (Pearson Correlation Coefficient)، لقياس قوة العلاقة واتجاهها بين أبعاد الدراسة، والتحقق من صدق الاتساق الداخلي للأداة، وبناء مصفوفة الارتباط بين المتغيرات.
- معامل ألفا كرونباخ (Cronbach's Alpha)، لقياس ثبات أداة الدراسة والتحقق من اتساقها الداخلي.
- معامل التجزئة النصفية بطريقة سبيرمان-براون، لتعزيز نتائج اختبار الثبات والتحقق من استقرار الأداة.
- اختبار كولموجوروف-سميرنوف (Kolmogorov-Smirnov Test)، للتحقق من اعتدالية توزيع البيانات وملاءمتها لاستخدام الأساليب الإحصائية المعلمية.
- اختبار تضخم التباين (VIF) ومعامل التسامح (Tolerance)، للتحقق من عدم وجود ازدواج خطي بين المتغيرات المستقلة.
- تحليل الانحدار الخطي البسيط (Simple Linear Regression)، لاختبار أثر كل بُعد من أبعاد المتغير المستقل على المتغير التابع كل على حدة.
- تحليل الانحدار الخطي المتعدد (Multiple Linear Regression)، لاختبار الأثر المشترك لأبعاد المتغير المستقل مجتمعة على المتغير التابع، واختبار الفرضية الرئيسة للدراسة.

- اختبار تحليل التباين الأحادي (One-Way ANOVA) واختبار (t) للعينات المستقلة، للكشف عن الفروق في استجابات المبحوثين تبعاً للمتغيرات الديموغرافية والوظيفية.
- معامل التحديد (R^2) ، لقياس مدى تفسير المتغير المستقل للتباين في المتغير التابع.
- اختبار (F) واختبار (t) ، للكشف عن مستوى الدلالة الإحصائية لنماذج الانحدار ومعاملاتها.

الفصل الرابع: تحليل البيانات واختبار الفرضيات

1.4 تمهيد

يتناول هذا الفصل عرضاً تحليلياً للبيانات الميدانية التي جُمعت من عينة الدراسة البالغ حجمها (350) مفردة من العاملين في مشاريع النقل الحضرية بالمملكة العربية السعودية، وذلك بهدف اختبار فرضيات الدراسة والإجابة عن تساؤلاتها. ويستهل الفصل بعرض الخصائص الديموغرافية لأفراد العينة، ثم ينتقل إلى التحليل الوصفي لاستجابات المبحوثين على فقرات أبعاد المتغيرين المستقل والتابع، ويُختتم باختبار الفرضيات باستخدام تحليل الانحدار الخطي البسيط والمتعدد.

2.4 تحليل البيانات الديموغرافية

جدول (4 - 1): التوزيع التكراري والنسبي لأفراد عينة الدراسة وفق المتغيرات الديموغرافية

المتغير	الفئة	التكرار	النسبة المئوية
النوع	ذكر	298	85.14%
	أنثى	52	14.86%
	الإجمالي	350	100%
العمر	أقل من 30 سنة	58	16.57%
	من 30 إلى أقل من 40 سنة	142	40.57%
	من 40 إلى أقل من 50 سنة	110	31.43%
	50 سنة فأكثر	40	11.43%
	الإجمالي	350	100%
المؤهل العلمي	بكالوريوس	198	56.57%
	ماجستير	116	33.14%
	دكتوراه	36	10.29%
	الإجمالي	350	100%
سنوات الخبرة	أقل من 5 سنوات	46	13.14%

36.57%	128	من 5 إلى أقل من 10 سنوات	
32.00%	112	من 10 إلى أقل من 15 سنة	
18.29%	64	15 سنة فأكثر	
100%	350	الإجمالي	
17.14%	60	مدير مشروع	المسمى الوظيفي
24.29%	85	مهندس تخطيط	
20.57%	72	مهندس جودة وسلامة	
13.71%	48	عامل في إدارة المخاطر	
18.86%	66	مهندس تنفيذي	
5.43%	19	استشاري/محلل	
100%	350	الإجمالي	

يُبيّن من الجدول (4 - 1) أن غالبية أفراد عينة الدراسة من الذكور بنسبة (85.14%)، وهو ما يعكس طبيعة قطاع مشاريع النقل والبنشاءات الذي يغلب عليه الطابع الذكوري في البيئة السعودية. كما يتضح أن الفئة العمرية الأكبر تتراوح بين (30 و 40) سنة بنسبة (40.57%)، وهي فئة تجمع بين الخبرة العملية المتراكمة والقدرة على استيعاب الأدوات التحليلية الحديثة. وفيما يتعلق بالمؤهل العلمي، فإن أكثر من (43%) من أفراد العينة يحملون مؤهلات دراسات عليا (ماجستير ودكتوراه)، وهو ما يُعزّز من موثوقية استجاباتهم على فقرات الاستبانة المتعلقة بالنمذجة الاحتمالية وتحليل المخاطر. أما من حيث سنوات الخبرة، فإن (86.86%) من أفراد العينة يمتلكون خبرة تتجاوز خمس سنوات، بما يُتيح لهم تقديم استجابات مبنية على ممارسة فعلية.

3.4 التحليل الوصفي لأبعاد المتغيرات

اعتمد الباحث في تفسير المتوسطات الحسابية على المعيار الإحصائي للمقياس الخماسي، وفق المدى التالي: (1.00-1.79) منخفض جداً، (1.80-2.59) منخفض، (2.60-3.39) متوسط، (3.40-4.19) مرتفع، (4.20-5.00) مرتفع جداً.

(1) التحليل الوصفي لبُعد محاكاة مونت كارلو

جدول (4 - 2): المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لفقرات بُعد محاكاة مونت كارلو

م	الفقرة	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	الأهمية النسبية	الترتيب	درجة الموافقة
1	تُستخدم محاكاة مونت كارلو في توليد سيناريوهات احتمالية متعددة لتقدير تكلفة مشاريع النقل الحضرية.	4.12	0.683	82.40%	2	مرتفعة
2	تُسهّم محاكاة مونت كارلو في تمثيل عدم اليقين المحيط بمتغيرات المشروع عبر توزيعات احتمالية ملائمة.	4.18	0.642	83.60%	1	مرتفعة
3	تُتيح محاكاة مونت كارلو احتساب الاحتياجات المالية والزامية بصورة عقلانية مرتبطة بمستويات الثقة.	3.96	0.724	79.20%	4	مرتفعة
4	تُسهّم نتائج محاكاة مونت كارلو في تحديد احتمال إنجاز المشروع ضمن الكلفة والمدة المخططة.	4.05	0.701	81.00%	3	مرتفعة
	المتوسط العام للبُعد	4.08	0.612	81.60%	—	مرتفعة

يتضح من الجدول (4 - 2) أن المتوسط العام لبُعد محاكاة مونت كارلو بلغ (4.08) بانحراف معياري (0.612)، وهو ما يعكس درجة موافقة مرتفعة من أفراد العينة على أهمية توظيف هذه التقنية في مشاريع النقل الحضرية، وقد جاءت الفقرة الثانية المتعلقة بتمثيل عدم اليقين في المرتبة الأولى بمتوسط (4.18).

(2) التحليل الوصفي لبُعد الشبكات البيزية

جدول (4 - 3): المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لفقرات بُعد الشبكات البيزية

م	الفقرة	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	الأهمية النسبية	الترتيب	درجة الموافقة
5	تُسهّم الشبكات البيزية في تمثيل العلاقات السببية بين عوامل الخطر في مشاريع النقل الحضرية.	4.02	0.715	80.40%	2	مرتفعة
6	تُتيح الشبكات البيزية تحديث تقديرات المخاطر كلما توفرت بيانات جديدة عن المشروع.	4.09	0.687	81.80%	1	مرتفعة
7	تُساعد الشبكات البيزية في تتبع مسارات انتشار الخطر داخل أنشطة المشروع.	3.91	0.742	78.20%	3	مرتفعة
8	تُمكن الشبكات البيزية من دمج المعرفة الخبيرة مع البيانات الكمية في إطار تحليلي موحد.	3.86	0.768	77.20%	4	مرتفعة
	المتوسط العام للبُعد	3.97	0.638	79.40%	—	مرتفعة

يتبين من الجدول (4 - 3) أن المتوسط العام لبُعد الشبكات البيزية بلغ (3.97) بانحراف معياري (0.638)، وهو ما يعكس درجة موافقة مرتفعة على دور الشبكات البيزية في تحليل المخاطر، وقد احتلت فقرة تحديث تقديرات المخاطر المرتبة الأولى بمتوسط (4.09).

(3) التحليل الوصفي لبُعد تحليل الحساسية الاحتمالي

جدول (4 - 4): المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لفقرات بُعد تحليل الحساسية الاحتمالي

م	الفقرة	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	الأهمية النسبية	الترتيب	درجة الموافقة
---	--------	-----------------	-------------------	-----------------	---------	---------------

مرتفعة جداً	1	84.20%	0.628	4.21	يسهم تحليل الحساسية الاحتمالي في تحديد المتغيرات الأكثر تأثيراً على مخرجات المشروع.	9
مرتفعة	2	81.40%	0.696	4.07	يُتيح تحليل الحساسية الاحتمالي مقارنة التأثير النسبي لعدد من عوامل الخطر في وقت واحد.	10
مرتفعة	3	79.60%	0.731	3.98	يسهم تحليل الحساسية الاحتمالي في توجيه الموارد الرقابية نحو المتغيرات الحرجة.	11
مرتفعة	4	77.80%	0.758	3.89	يُعزّز تحليل الحساسية الاحتمالي شفافية النموذج أمام أصحاب المصلحة في المشروع.	12
مرتفعة	—	80.80%	0.621	4.04	المتوسط العام للبعد	

يتضح من الجدول (4 - 4) أن المتوسط العام لُبعد تحليل الحساسية الاحتمالي بلغ (4.04) بانحراف معياري (0.621)، وقد احتلت فقرة تحديد المتغيرات الأكثر تأثيراً المرتبة الأولى بمتوسط (4.21) وبدرجة موافقة مرتفعة جداً.

(4) ترتيب أبعاد المتغير المستقل (النمذجة الاحتمالية)

جدول (4 - 5): ترتيب أبعاد المتغير المستقل وفق المتوسطات الحسابية

م	الْبُعد	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	الأهمية النسبية	الترتيب	درجة الموافقة
1	محاكاة مونت كارلو	4.08	0.612	81.60%	1	مرتفعة
2	تحليل الحساسية الاحتمالي	4.04	0.621	80.80%	2	مرتفعة
3	الشبكات البيزية	3.97	0.638	79.40%	3	مرتفعة

مرتفعة	—	80.60%	0.586	4.03	المتوسط الكلي للمتغير المستقل
--------	---	--------	-------	------	----------------------------------

(5) التحليل الوصفي للمتغير التابع (تحليل مخاطر مشاريع النقل الحضرية)

جدول (4 - 6): المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لفقرات المتغير التابع

م	الفقرة	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	الأهمية النسبية	الترتيب	درجة الموافقة
13	يسهم تحليل المخاطر في الكشف المبكر عن عوامل تجاوز التكلفة في مشاريع النقل الحضرية.	4.16	0.654	83.20%	2	مرتفعة
14	تُمكن أدوات تحليل المخاطر من تقدير الكلفة الاحتمالية للمشروع بصورة أكثر دقة.	4.09	0.681	81.80%	5	مرتفعة
15	يسهم تحليل المخاطر في تحديد العوامل المؤدية إلى تجاوز الميزانية المعتمدة للمشروع.	4.02	0.708	80.40%	7	مرتفعة
16	يُتيح تحليل المخاطر بناء توزيعات احتمالية للمدة الزمنية الإجمالية للمشروع.	3.94	0.731	78.80%	9	مرتفعة
17	يسهم تحليل المخاطر في تتبع مسارات التأخر الزمني داخل شبكة أنشطة المشروع.	4.07	0.692	81.40%	6	مرتفعة
18	تُساعد أدوات تحليل المخاطر في تحديد احتياطات زمنية واقعية للمشروع.	3.98	0.715	79.60%	8	مرتفعة

19	يُسهم تحليل المخاطر في الكشف عن انحرافات الأداء الفني قبل تفاقمها.	4.19	0.637	83.80%	1	مرتفعة
20	تُتيح أدوات تحليل المخاطر تقييم مدى مطابقة المشروع للمعايير الفنية المعتمدة.	4.11	0.672	82.20%	3	مرتفعة
21	يُسهم تحليل المخاطر في تقدير احتمالات وقوع مخاطر السلامة خلال مراحل التنفيذ.	4.10	0.689	82.00%	4	مرتفعة
22	يُعزّز تحليل المخاطر قدرة المشروع على الصمود في وجه الاضطرابات التشغيلية.	3.91	0.742	78.20%	10	مرتفعة
	المتوسط العام للمتغير التابع	4.06	0.598	81.20%	—	مرتفعة

يتضح من الجدول (4 - 6) أن المتوسط العام للمتغير التابع بلغ (4.06) بانحراف معياري (0.598)، وقد احتلت الفقرة (19) المتعلقة بالكشف عن انحرافات الأداء الفني المرتبة الأولى بمتوسط (4.19)، وهو ما يعكس وعي أفراد العينة بأهمية تحليل المخاطر في حماية جودة المشاريع.

4.4 التحقق من اعتدالية التوزيع والازدواج الخطي

قبل إجراء اختبارات الانحدار، تحقق الباحث من شروط استخدام الأساليب الإحصائية المعلمية، وذلك باختبار اعتدالية توزيع البيانات وغياب الازدواج الخطي بين المتغيرات المستقلة.

جدول (4 - 7): نتائج اختبار كولموجوروف-سميرنوف ومعاملات تضخم التباين

البُعد	قيمة Z	مستوى الدلالة	معامل التسامح (Tolerance)	معامل تضخم التباين (VIF)
محاكاة مونت كارلو	1.124	0.160	0.512	1.953
الشبكات البيرزية	1.087	0.188	0.476	2.101

1.873	0.534	0.138	1.156	تحليل الحساسية الاحتمالي
-------	-------	-------	-------	-----------------------------

تشير النتائج إلى أن مستويات الدلالة لاختبار كولموجوروف-سميرنوف جميعها أكبر من (0.05)، مما يعني أن البيانات تتبع التوزيع الطبيعي. كما أن قيم معامل تضخم التباين (VIF) لجميع الأبعاد أقل من (5)، وقيم التسامح أكبر من (0.20)، وهو ما يدل على عدم وجود ازدواج خطي بين المتغيرات المستقلة.

5.4 اختبار فرضيات الدراسة

التحقق من الفرضية الرئيسية

الفرضية الرئيسية: يوجد أثر ذو دلالة إحصائية عند مستوى معنوية ($\alpha \leq 0.05$) لاستخدام النمذجة الاحتمالية بأبعادها (محاكاة مونت كارلو، الشبكات البيزية، تحليل الحساسية الاحتمالي) على تحليل مخاطر مشاريع النقل الحضرية في المملكة العربية السعودية.

للتحقق من هذه الفرضية، تم استخدام تحليل الانحدار الخطي المتعدد (Multiple Regression) بهدف قياس تأثير أبعاد النمذجة الاحتمالية (كعوامل مستقلة) على تحليل مخاطر مشاريع النقل الحضرية (كعامل تابع). وقد جاءت نتائج التحليل كما يلي:

جدول (4 - 8): نتائج تحليل الانحدار المتعدد لأثر أبعاد النمذجة الاحتمالية على تحليل مخاطر مشاريع النقل الحضرية

المتغيرات المستقلة	معاملات الانحدار (B)	قيمة اختبار T	مستوى الدلالة
(Constant) المقدار الثابت	0.486	3.247	0.001 **
محاكاة مونت كارلو	0.412	8.193	0.000 **
الشبكات البيزية	0.358	6.842	0.000 **
تحليل الحساسية الاحتمالي	0.274	5.116	0.000 **
معامل الارتباط = 0.852	معامل التحديد = 0.726		
قيمة الاختبار F = 305.617	القيمة الاحتمالية = 0.000		

المصدر: من إعداد الباحث بالاعتماد على مخرجات SPSS

تشير نتائج تحليل الانحدار المتعدد الموضحة في الجدول (4 - 8) إلى وجود علاقة تأثيرية دالة إحصائياً بين أبعاد النمذجة الاحتمالية كمتغيرات مستقلة، وتحليل مخاطر مشاريع النقل الحضرية كمتغير تابع. فقد بلغ معامل التحديد (R^2) قيمة قدرها (0.726)، وهي نسبة مرتفعة تدل على أن (72.6%) من التباين في كفاءة تحليل مخاطر مشاريع النقل الحضرية يمكن تفسيره من خلال المتغيرات الثلاثة المتعلقة بالنمذجة الاحتمالية، كما تشير قيمة معامل الارتباط ($R = 0.852$) إلى وجود ارتباط قوي بين المتغيرات المدروسة. وتُعزَز قيمة ($F = 305.617$) عند مستوى دلالة (0.000) من معنوية النموذج ككل في تفسير الفرضية.

أما على مستوى الأبعاد الفردية، فقد تبين أن بُعد "محاكاة مونت كارلو" هو الأكثر تأثيراً على تحليل مخاطر مشاريع النقل الحضرية، حيث بلغ معامل الانحدار له ($B = 0.412$)، وبلغت قيمة ($T = 8.193$) بدلالة معنوية عالية. ($\text{Sig.} = 0.000$) ويؤكد ذلك الدور الحاسم الذي تلعبه المحاكاة في توليد سيناريوهات احتمالية متعددة وتمثيل عدم اليقين المحيط بمتغيرات المشروع.

كما أظهرت النتائج أن بُعد "الشبكات البيزية" يساهم بصورة دالة في تفسير التباين في تحليل المخاطر بمعامل انحدار ($B = 0.358$) وقيمة ($T = 6.842$)، مما يعكس أهمية تمثيل العلاقات السببية بين عوامل الخطر وتحديث المعتقدات في ضوء البيانات المتجددة. وأظهر بُعد "تحليل الحساسية الاحتمالي" أثراً دالاً كذلك ($B = 0.274$) بقيمة ($T = 5.116$)، ما يشير إلى أن الكشف عن المتغيرات الأشد تأثيراً يمثل رافداً مهماً في منظومة تحليل المخاطر داخل مشاريع النقل الحضرية. وبناءً على ذلك، تؤكد هذه النتائج صحة الفرضية الرئيسية للدراسة. ويتفرع منها الفروض التالية:

الفرضية الفرعية الأولى

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

للتحقق من صحة هذا الفرض تم استخدام تحليل الانحدار الخطي البسيط (Linear Regression Test)، وجاءت النتائج كما هو موضح في الجدول التالي:

جدول (4 - 9): تحليل الانحدار الخطي البسيط لقياس أثر النمذجة الاحتمالية على مخاطر تجاوز التكلفة

المتغير التابع	ملخص النموذج	تحليل التباين ANOVA	المتغير المستقل	المعاملات Coefficient
مخاطر تجاوز التكلفة	معامل الارتباط r	درجة الحرية / df	النمذجة الاحتمالية	B / الخطأ المعياري /
	معامل التحديد r^2	F المحسوبة / Sig. F		Beta / T / Sig. t
	0.738 / 0.545	1 / 416.872 / 0.000		0.682 / 0.033 / 0.738 / 20.418 / 0.000

وللتحقق من هذه الفرضية، تم استخدام تحليل الانحدار الخطي البسيط (Simple Linear Regression) لقياس تأثير "النمذجة الاحتمالية" على "مخاطر تجاوز التكلفة" في مشاريع النقل الحضرية. وقد جاءت النتائج الإحصائية كما هو موضح في الجدول (4 - 9)، حيث بلغ معامل الارتباط ($r = 0.738$)، وهو ما يعكس وجود علاقة ارتباط موجبة قوية بين المتغيرين، كما بلغت قيمة معامل التحديد ($R^2 = 0.545$)، مما يشير إلى أن (54.5%) من التباين في تحليل مخاطر تجاوز التكلفة يمكن تفسيره من خلال متغير النمذجة الاحتمالية.

وبالاطلاع على نتائج تحليل التباين (ANOVA)، نجد أن قيمة F المحسوبة بلغت (416.872) بمستوى دلالة (Sig. = 0.000)، وهي قيمة دالة إحصائياً عند مستوى (0.01)، مما يعزز من دلالة النموذج ككل في تفسير الفرضية.

أما على مستوى معاملات الانحدار، فقد بلغ معامل التأثير ($B = 0.682$) بقيمة (20.418) T، وهي أيضاً دالة عند مستوى (Sig. = 0.000)، ما يدل على أن أي زيادة بمقدار وحدة واحدة في توظيف النمذجة الاحتمالية تؤدي إلى زيادة بمقدار (0.682) في كفاءة تحليل مخاطر تجاوز التكلفة، ضمن شروط النموذج. وبناءً على ما تقدم، تُقبل الفرضية الفرعية الأولى.

الفرضية الفرعية الثانية

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

للتحقق من صحة هذا الفرض تم استخدام تحليل الانحدار الخطي البسيط (Linear Regression Test)، وجاءت النتائج كما هو موضح في الجدول التالي:

جدول (4 - 10): تحليل الانحدار الخطي البسيط لقياس أثر النمذجة الاحتمالية على مخاطر التأخر الزمني

المتغير التابع	ملخص النموذج	تحليل التباين ANOVA	المتغير المستقل	المعاملات Coefficient
مخاطر التأخر الزمني	معامل الارتباط r	درجة الحرية / df	النمذجة الاحتمالية	B / الخطأ المعياري /
	معامل التحديد r^2	F المحسوبة / Sig. F		Beta / T / Sig. t
	0.706 / 0.498	1 / 345.213 / 0.000		0.647 / 0.035 / 0.706 / 18.580 / 0.000

وللتحقق من هذه الفرضية، تم استخدام تحليل الانحدار الخطي البسيط (Simple Linear Regression) لقياس تأثير "النمذجة الاحتمالية" على "مخاطر التأخر الزمني" في مشاريع النقل الحضرية. وقد جاءت النتائج الإحصائية كما هو موضح في الجدول (4 - 10)، حيث بلغ معامل الارتباط ($r = 0.706$)، وهو ما يعكس وجود علاقة ارتباط موجبة قوية بين المتغيرين، كما بلغت قيمة معامل التحديد ($R^2 = 0.498$)، مما يشير إلى أن (49.8%) من التباين في تحليل مخاطر التأخر الزمني يمكن تفسيره من خلال متغير النمذجة الاحتمالية.

وبالاطلاع على نتائج تحليل التباين (ANOVA)، نجد أن قيمة F المحسوبة بلغت (345.213) بمستوى دلالة (Sig. = 0.000)، وهي قيمة دالة إحصائياً عند مستوى (0.01)، مما يعزز من دلالة النموذج ككل في تفسير الفرضية.

أما على مستوى معاملات الانحدار، فقد بلغ معامل التأثير ($B = 0.647$) بقيمة ($T = 18.580$) ، وهي أيضاً دالة عند مستوى ($\text{Sig.} = 0.000$) ، ما يدل على أن أي زيادة بمقدار وحدة واحدة في توظيف النمذجة الاحتمالية تؤدي إلى زيادة بمقدار (0.647) في كفاءة تحليل مخاطر التأخر الزمني، ضمن شروط النموذج. وبناءً على ما تقدم، تُقبل الفرضية الفرعية الثانية.

الفرضية الفرعية الثالثة

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

للتحقق من صحة هذا الفرض تم استخدام تحليل الانحدار الخطي البسيط (Linear Regression Test)، وجاءت النتائج كما هو موضح في الجدول التالي:

جدول (4 - 11): تحليل الانحدار الخطي البسيط لقياس أثر النمذجة الاحتمالية على مخاطر الجودة والسلامة

المتغير التابع	ملخص النموذج	تحليل التباين ANOVA	المتغير المستقل	المعاملات Coefficient
مخاطر الجودة والسلامة	معامل الارتباط r	درجة الحرية / df	النمذجة الاحتمالية	B / الخطأ المعياري /
	معامل التحديد r^2	F المحسوبة / $\text{Sig. } F$		$Beta$ / T / $\text{Sig. } t$
	0.762 / 0.581	1 / 482.394 / 0.000		0.715 / 0.033 / 0.762 / 21.963 / 0.000

وللتحقق من هذه الفرضية، تم استخدام تحليل الانحدار الخطي البسيط (Simple Linear Regression) لقياس تأثير "النمذجة الاحتمالية" على "مخاطر الجودة والسلامة" في مشاريع النقل الحضرية. وقد جاءت النتائج الإحصائية كما هو موضح في الجدول (4 - 11)، حيث بلغ معامل الارتباط ($r = 0.762$) ، وهو ما يعكس وجود علاقة ارتباط موجبة قوية بين المتغيرين، كما بلغت قيمة

معامل التحديد ($R^2 = 0.581$) ، مما يشير إلى أن (58.1%) من التباين في تحليل مخاطر الجودة والسلامة يُمكن تفسيره من خلال متغير النمذجة الاحتمالية.

وبالاطلاع على نتائج تحليل التباين (ANOVA) ، نجد أن قيمة F المحسوبة بلغت (482.394) بمستوى دلالة (Sig. = 0.000) ، وهي قيمة دالة إحصائياً عند مستوى (0.01)، مما يعزز من دلالة النموذج ككل في تفسير الفرضية.

أما على مستوى معاملات الانحدار، فقد بلغ معامل التأثير ($B = 0.715$) بقيمة (21.963) T ، وهي أيضاً دالة عند مستوى (Sig. = 0.000) ، ما يدل على أن أي زيادة بمقدار وحدة واحدة في توظيف النمذجة الاحتمالية تؤدي إلى زيادة بمقدار (0.715) في كفاءة تحليل مخاطر الجودة والسلامة، ضمن شروط النموذج. وبناءً على ما تقدم، تُقبل الفرضية الفرعية الثالثة.

الفصل الخامس: نتائج الدراسة وتوصياتها

1.5 تمهيد

يُمثل هذا الفصل خلاصة الجهد البحثي الذي بُذل في الفصول السابقة، إذ يستعرض أبرز النتائج التي توصلت إليها الدراسة في ضوء التحليل الإحصائي للبيانات الميدانية، ويُقدّم تفسيراً علمياً لهذه النتائج مع ربطها بالإطار النظري والدراسات السابقة، ثم ينتقل إلى صياغة جملة من التوصيات العملية الموجهة للجهات المعنية بمشاريع النقل الحضرية في المملكة العربية السعودية، فضلاً عن طرح مقترحات لدراسات لاحقة تستكمل ما لم تتمكن الدراسة الحالية من تناوله.

2.5 نتائج الدراسة

كشفت نتائج التحليل الإحصائي عن وجود أثر ذي دلالة إحصائية عند مستوى معنوية ($\alpha \leq 0.05$) لاستخدام النمذجة الاحتمالية بأبعادها الثلاثة على تحليل مخاطر مشاريع النقل الحضرية في المملكة العربية السعودية، إذ بلغ معامل التحديد (0.726)، مما يعني أن النمذجة الاحتمالية تُفسّر ما نسبته (72.6%) من التباين في كفاءة تحليل المخاطر. ويُعزى ذلك إلى أن النمذجة الاحتمالية تُمثّل منظومة تحليلية متكاملة تستوعب الطابع غير المؤكد للمتغيرات المحيطة بالمشروع، وتُتيح لمتخذ القرار رؤية متعددة الأبعاد لاحتمالات المخاطر وآثارها، بدلاً من الاكتفاء بقيمة وحيدة قد تُخفي تذبذبات جوهرية. وتتسجم هذه النتيجة مع التوجه العام الذي طرحه بن عمار وبوقروشة (2020) في تأكيد دور المحاكاة الاحتمالية في تقييم المشاريع الاستثمارية، وتلتقي كذلك مع رؤية Canesi و Gallo (2025) في أن الأطر الاحتمالية تُقدّم تمثيلاً واقعياً لبنية المخاطر المركبة في مشاريع البناء.

وأظهرت نتائج التحليل أن بُعد محاكاة مونت كارلو جاء في مقدمة الأبعاد المؤثرة على تحليل المخاطر، إذ بلغ معامل الانحدار له (0.412)، وهو ما يُفسّر بأن محاكاة مونت كارلو تتميز بقدرتها الفائقة على توليد عدد كبير من السيناريوهات الافتراضية للمشروع في زمن وجيز، وعلى استيعاب مختلف أنواع التوزيعات الاحتمالية بما يعكس البنية الإحصائية الفعلية للمتغيرات. كما أن هذه التقنية باتت مألوفة لدى الكوادر الفنية في قطاع المشاريع السعودي بفضل سهولة دمجها في برمجيات إدارة المشروعات الرقمية، الأمر الذي يُعزّز من فاعليتها التطبيقية. وتتفق هذه النتيجة مع التوجه الذي عرضه

بوداود (2023) في تحليل المخاطر الكمي عبر محاكاة مونت كارلو، وتتسجم كذلك مع ما طرحه Ariza Flores و Zavala Ascaño (2025) من أن المحاكاة مع متغيرات الخطر المترابطة تحسّن دقة التقديرات في مشاريع البنية التحتية للنقل.

وفيما يخص بُعد الشبكات البيزية، فقد جاء في المرتبة الثانية بمعامل انحدار قدره (0.358)، وهو أثر دال إحصائياً يعكس قيمة هذه التقنية في تمثيل العلاقات السببية بين عوامل الخطر داخل مشاريع النقل الحضرية. ويرجع ذلك إلى أن الشبكات البيزية تتفرد بقدرتها على تحديث المعتقدات الاحتمالية كلما توافرت بيانات جديدة، وعلى دمج المعرفة الخبيرة بالبيانات الكمية في إطار تحليلي واحد، وهو ما يلئم البيئة السعودية التي تشهد تراكماً متسارعاً للخبرات الفنية في مشاريع النقل. وتتسق هذه النتيجة مع ما طرحه Liu وآخرون (2021) في تقييم مخاطر مشاريع السكك الحديدية الحضرية عبر الشبكات البيزية، وتلتقي مع ما توصل إليه Khodabakhshian وآخرون (2025) من أن الشبكات البيزية المعتمدة على آراء الخبراء تمثل أداة فعّالة لتحديد المخاطر وتقييمها.

وجاء بُعد تحليل الحساسية الاحتمالي في المرتبة الثالثة بمعامل انحدار (0.274)، وهو أثر دال إحصائياً وإن جاء أقل نسبياً من البُعدين السابقين. ويمكن تفسير ذلك بأن تحليل الحساسية الاحتمالي يمثل في الغالب بُعداً مكملًا للبُعدين الآخرين، إذ يُستخدم بعد بناء النموذج الأساسي لاستكشاف المتغيرات الأشد تأثيراً، لا بوصفه أداة تشخيصية أولية مستقلة. كما أن إدراك أهميته يستلزم نصجاً فنياً في فرق المشاريع لاستيعاب مفاهيم مؤشرات الحساسية والتوزيعات الشرطية، وهو نصج لا يزال في طور التكون في بعض الشركات. وتتقاطع هذه النتيجة مع ما عرضه Senić وآخرون (2024) في تطوير نماذج تكيم المخاطر لمشاريع البنية التحتية للطرق، التي أبرزت دور تحليل الحساسية في الكشف عن المتغيرات الحرجة.

وعلى مستوى الفرضيات الفرعية، كشفت النتائج عن وجود أثر دال إحصائياً للنمذجة الاحتمالية على تحليل مخاطر تجاوز التكلفة بمعامل تحديد بلغ (0.545)، وهو ما يُفسّر بأن مخاطر التكلفة تتطوي في طبيعتها على عدد كبير من المتغيرات القابلة للقياس الكمي مثل أسعار المواد وأجور العمالة وتكاليف المعدات، وهي متغيرات تتلاءم مع منطق التوزيعات الاحتمالية والمحاكاة. وتلتقي هذه النتيجة مع التوجه الذي طرحه الشهري والطلحي وآخرون (2022) في رصد العوامل المؤدية إلى تجاوز التكلفة في مشاريع البناء السعودية، وتتسجم مع ما عرضه Canesi و Gallo (2025) في إطار النمذجة الاحتمالية لتجاوزات التكلفة.

كما أظهرت النتائج وجود أثر دال إحصائياً للنموذج الاحتمالية على تحليل مخاطر التأخر الزمني بمعامل تحديد (0.498)، وهو ما يُعزى إلى قدرة النماذج الاحتمالية على تمثيل التداخل بين أنشطة المشروع عبر شبكات الجدولة، وعلى تتبع مسارات انتشار التأخر داخل المسار الحرج. غير أن النسبة جاءت أقل من بُعد التكلفة، وقد يُفسر ذلك بأن مخاطر التأخر تتأثر بعوامل خارجية يصعب تكميمها مثل التراخيص الحكومية والظروف الجوية والاضطرابات اللوجستية. وتتفق هذه النتيجة مع التوجه الذي قدّمه Chen وآخرون (2021) في الاستدلال البيزي لمخاطر جدولة مشاريع البناء، وتتقاطع مع رؤية Nguyen وآخرون (2024) في تشخيص المخاطر المؤدية إلى تجاوزات الكلفة والزمن في مشاريع السكك الحديدية الحضرية.

وفي السياق ذاته، كشفت النتائج عن وجود أثر دال إحصائياً للنموذج الاحتمالية على تحليل مخاطر الجودة والسلامة بمعامل تحديد بلغ (0.581)، وهو الأعلى بين الفرضيات الفرعية الثلاث. ويمكن تفسير ذلك بأن مخاطر الجودة والسلامة تنسم بالحساسية الفنية الفائقة، ومن ثم تحتاج إلى أدوات تحليلية متقدمة تستوعب الطابع الغامض لبعض متغيراتها، خاصة المرتبطة بتقدير احتمالات الحوادث ومستويات المطابقة للمعايير. كما أن قطاع النقل الحضري السعودي يولي اهتماماً متزايداً بمعايير الجودة والسلامة في ضوء التزامات رؤية المملكة 2030 والمعايير الدولية المعتمدة. وتلتقي هذه النتيجة مع ما طرحه Wang وآخرون (2023) في تقييم مخاطر الجودة لمشاريع السكك الحديدية الحضرية عبر نماذج السحابة الامتدادية، وتتسجم مع التوجه الذي عرضه Taghizadeh و Mahsuli (2025) في النمذجة الاحتمالية لمرونة منظومات النقل.

وقد أبرز التحليل الوصفي أن متوسط استجابات أفراد العينة على المتغير المستقل بأبعاده الثلاثة جاء مرتفعاً (4.03)، وأن متوسط استجاباتهم على المتغير التابع جاء مرتفعاً كذلك (4.06)، وهو ما يكشف عن وعي متقدم لدى الكوادر الفنية والإدارية بأهمية النمذجة الاحتمالية وبدورها المحوري في تحليل المخاطر. ويعزى هذا الوعي إلى التحولات التي يشهدها قطاع المشاريع السعودي نحو تبني الأدوات التحليلية المتقدمة، وإلى الاستثمار المتنامي في تأهيل الكوادر البشرية. وتتسق هذه القراءة مع ما طرحه أحمد (2026) في دراسته لأثر إدارة المخاطر على جودة المشاريع الهندسية السعودية، وتلتقي مع ما عرضه الزهراني وعبد الله (2024) في أثر استراتيجيات إدارة المخاطر على نجاح المشروعات.

ومن النتائج اللافتة كذلك أن المتوسطات الحسابية لفقرات الاستبانة لم تنزل عن مستوى الموافقة المرتفعة في أي فقرة، وهو ما يدل على انساق التوجه الإيجابي لدى أفراد العينة تجاه قيمة النمذجة الاحتمالية. ويُفسر ذلك بأن طبيعة العمل في مشاريع النقل الحضرية تفرض على الكوادر التعامل اليومي مع مستويات مرتفعة من عدم اليقين، الأمر الذي يجعلها أكثر استعداداً لتقدير الأدوات التحليلية القادرة على معالجة هذا الواقع. وتتسجم هذه القراءة مع ما طرحه فاضل (2023) في تأكيد أهمية استراتيجيات الاستجابة للمخاطر، وتلتقي مع ما عرضه عيسى (2024) في المراجعة المنهجية لتكامل إدارة المشاريع وإدارة المخاطر.

وتشير النتائج كذلك إلى أن العلاقة بين المتغيرين تتسم بالقوة والاتجاه الإيجابي، إذ بلغ معامل الارتباط بين المتغير المستقل والتابع (0.852)، وهي قيمة تعكس ترابطاً وثيقاً يستحق التوظيف المؤسسي. ويُعزى ذلك إلى أن النمذجة الاحتمالية لا تكتفي بتقديم معلومة فنية، بل تمثل لغة قرار تربط بين الجوانب التحليلية والإدارية والاستراتيجية. وتتسجم هذه القراءة مع التوجه الذي قدمه مرزوق (2024) في أثر إدارة مخاطر سلسلة التوريد على أداء مشاريع البناء السعودية، وتلتقي مع ما طرحه Hriday (2022) في التقييم الكمي لمخاطر مشاريع البنية التحتية للسكك الحديدية عبر دمج المحاكاة والمنطق الضبابي.

ومن النتائج التي تستحق التأمل كذلك أن بُعد الشبكات البيزية، رغم احتلاله المرتبة الثانية في الترتيب الإحصائي، يحمل في طياته فرصاً تطويرية كبرى للقطاع، إذ لا يزال هذا البعد في طور الانتشار المؤسسي مقارنة بمحاكاة مونت كارلو. ويُعزى ذلك إلى أن الشبكات البيزية تتطلب كوادر متخصصة في الإحصاء البيزي وفي بناء الرسوم البيانية السببية، فضلاً عن استثمار في بناء قواعد بيانات تاريخية تخدم تقدير الاحتمالات الشرطية. وتلتقي هذه القراءة مع ما طرحه جبر والشوابكة (2025) في الدور المعدل لتحليلات البيانات الضخمة في علاقة إدارة المخاطر بنجاح المشاريع، وتتسجم مع ما عرضه Erfani و Cui (2022) في النمذجة التنبؤية لمشاريع النقل الكبرى استناداً إلى البيانات التاريخية.

وكشفت النتائج كذلك أن التأثير الأعلى للنمذجة الاحتمالية ظهر في بُعد مخاطر الجودة والسلامة، وهو ما يحمل دلالة استراتيجية، إذ يعكس أن أكثر المجالات استفادة من الأدوات الاحتمالية في القطاع السعودي هي تلك المتصلة بحماية حياة المستخدمين والعاملين وبضمان المطابقة الفنية. ويُفسر ذلك بأن مشاريع النقل الحضرية تمثل بنية تحتية ذات أثر اجتماعي مباشر، وأن الجهات الرقابية باتت تطالب بأدلة كمية على مستويات الجودة والسلامة. وتتسجم هذه القراءة مع ما طرحه العلوان والحياصات

(2022) في أثر إدارة المخاطر على جودة المشاريع الإنشائية الهندسية، وتلتقي مع ما عرضه رحاحلة وحوادق (2023) في تقييم مخاطر مشاريع البنية التحتية.

وأخيراً، تجدر الإشارة إلى أن النتائج التي توصلت إليها الدراسة لا تنفصل عن السياق المؤسسي الذي تعمل فيه شركات النقل الحضري بالمملكة، إذ يلعب توفر البنية التحتية الرقمية ووجود فرق متعددة التخصصات وثقافة تنظيمية داعمة لإدارة المخاطر دوراً محورياً في تعظيم العائد من توظيف النمذجة الاحتمالية. ويمكن تفسير الفروق في معاملات التأثير بين الأبعاد الفرعية في ضوء هذا السياق، إذ تتفاوت قدرات الشركات في تبني التقنيات الأكثر تقدماً. وتلتقي هذه القراءة مع ما طرحه بوديار (2025) في دراسته الميدانية لإدارة المخاطر في مؤسسات الأشغال العمومية، وتنسجم مع ما عرضه حج محمد (2025) في تحليل المخاطر غير التقنية في مشاريع إعادة الإعمار.

3.5 توصيات الدراسة

في ضوء ما تقدم، تُقدّم الدراسة جملة من التوصيات الموجهة للجهات الحكومية والشركات والكوادر الفنية والإدارية في قطاع مشاريع النقل الحضرية بالمملكة العربية السعودية، وفيما يلي عرض لهذه التوصيات:

- العمل على دمج النمذجة الاحتمالية في منظومة إدارة المشاريع داخل الشركات والجهات المنفذة لمشاريع النقل الحضرية، عبر إصدار سياسات داخلية تلزم فرق التخطيط باستخدام أدوات المحاكاة الاحتمالية في تقدير الكلفة والمدد الزمنية لأي مشروع تتجاوز ميزانيته حداً معيناً.
- إنشاء وحدات متخصصة في إدارة المخاطر داخل الشركات الكبرى المنفذة لمشاريع النقل، تجمع بين الكفاءات الإحصائية والهندسية والإدارية، وتتولى مهام بناء النماذج الاحتمالية ومراجعتها وتحديثها بصورة مستمرة.
- الاستثمار في بناء قواعد بيانات تاريخية وطنية لمشاريع النقل الحضرية، تتضمن بيانات الكلفة والزمن والجودة والحوادث، بحيث تُمثّل المرجع الذي يُغذي النماذج الاحتمالية بمعلومات إحصائية موثوقة تحسّن دقة التقديرات.
- تطوير برامج تدريبية متخصصة في النمذجة الاحتمالية للكوادر الفنية والإدارية العاملة في مشاريع النقل، بالتعاون مع الجامعات السعودية ومراكز التدريب المتخصصة، بحيث تشمل البرامج محاكاة مونت كارلو والشبكات البيزية وتحليل الحساسية الاحتمالي.

- توسيع توظيف الشبكات البيزية في تحليل المخاطر المركبة لمشاريع النقل الحضرية، باعتبارها أداة قادرة على استيعاب العلاقات السببية بين عوامل الخطر، مع تخصيص استثمارات لبناء برمجيات وطنية متخصصة في هذا المجال.
- إدماج تحليل الحساسية الاحتمالي في تقارير المشاريع الدورية المرفوعة إلى الجهات الرقابية والممولة، بحيث يكشف عن المتغيرات الأشد تأثيراً في كل مرحلة من مراحل المشروع، ويوجه القرارات الرقابية نحو هذه المتغيرات.
- ربط احتساب الاحتياطات المالية والزمنية في مشاريع النقل الحضرية بمستويات الثقة المستخرجة من النماذج الاحتمالية، بدلاً من اعتماد نسب ثابتة قد لا تعكس واقع المخاطر، بما يحقق توازناً بين الكفاءة الاقتصادية والحماية من المخاطر.
- تعزيز التكامل بين النمذجة الاحتمالية ونمذجة معلومات البناء (BIM) والمنصات الرقمية لإدارة المشاريع، بحيث تصبح النماذج الاحتمالية جزءاً من بيئة عمل متكاملة تتيح التحديث الفوري والمحاكاة المستمرة طوال دورة حياة المشروع.
- توجيه اهتمام خاص نحو توظيف النمذجة الاحتمالية في تحليل مخاطر الجودة والسلامة بمشاريع النقل الحضرية، عبر بناء نماذج متخصصة لتقييم احتمالات الحوادث ومستويات المطابقة الفنية، انسجاماً مع المعايير الدولية وأهداف رؤية المملكة 2030.
- إصدار دليل وطني استرشادي لإدارة مخاطر مشاريع النقل الحضرية، يوحد المصطلحات والمنهجيات والممارسات بين الجهات المختلفة، ويحدد متطلبات الإفصاح الاحتمالي عن المخاطر في وثائق المناقصات والعقود.
- تطوير منظومة الحوكمة المؤسسية لإدارة المخاطر في الشركات المنفذة لمشاريع النقل، بحيث تشمل أدواراً واضحة للمراجعة الداخلية في التحقق من سلامة النماذج الاحتمالية وكفاءتها، وفي إعداد تقارير دورية للإدارة العليا.
- تشجيع البحث العلمي التطبيقي المشترك بين الجامعات السعودية وشركات النقل الحضري في مجال النمذجة الاحتمالية، عبر منح بحثية مخصصة لتطوير نماذج محلية تستجيب لخصوصية البيئة السعودية وتعكس واقع مشاريعها.
- تبني مقاربات هجينة في تحليل المخاطر تجمع بين النمذجة الاحتمالية والمنطق الضبابي والذكاء الاصطناعي، للاستفادة من نقاط القوة في كل مقاربة ومعالجة محدوديات النماذج البحثية في التعامل مع الغموض اللغوي والمعرفي.

- مراعاة الطابع المنظومي لمشاريع النقل الحضرية عند بناء النماذج الاحتمالية، عبر استيعاب التفاعلات بين المشروع وبقية مكونات منظومة النقل والبيئة الحضرية، بما يُسهم في بناء مشاريع أكثر مرونة وأكثر انسجاماً مع متطلبات الاستدامة.
- نشر ثقافة التحليل الاحتمالي للمخاطر بين أصحاب المصلحة في مشاريع النقل الحضرية، عبر برامج توعوية موجهة للجهات الحكومية والموولين والمقاولين والاستشاريين، بما يُعزّز التفاهم المشترك حول مخرجات النماذج الاحتمالية ودلالاتها الإدارية.

4.5 مقترحات لدراسات مستقبلية

- في ضوء ما تناولته الدراسة الحالية وما لم تتمكن من معالجته بحكم حدودها، تُقترح جملة من المسارات البحثية اللاحقة التي يمكن أن تكمل المشهد المعرفي في هذا الميدان:
- إجراء دراسة مقارنة بين فاعلية النمذجة الاحتمالية في مشاريع النقل الحضرية وفعاليتها في أنماط أخرى من مشاريع البنية التحتية، كمشاريع الطاقة والمياه والاتصالات، للكشف عن مدى تأثير النتائج بطبيعة القطاع.
 - بحث الدور المعدل لتحليلات البيانات الضخمة والذكاء الاصطناعي في تعزيز أثر النمذجة الاحتمالية على تحليل مخاطر مشاريع النقل الحضرية.
 - بحث دور الثقافة التنظيمية والحوكمة المؤسسية في تعزيز فاعلية النمذجة الاحتمالية، عبر دراسة الفروق بين الشركات ذات الثقافات التنظيمية المختلفة.
 - دراسة العلاقة بين النمذجة الاحتمالية ومرونة منظومات النقل الحضرية في مواجهة الأزمات والاضطرابات، بما يخدم بناء بنية تحتية أكثر استدامة.
 - إجراء دراسات تطبيقية متعمقة على مشاريع نقل حضرية بعينها بالمملكة، باعتماد منهجية دراسة الحالة، للكشف عن العوامل التفصيلية المؤثرة في توظيف النمذجة الاحتمالية وفي مخرجاتها.

Abstract

This study aimed to investigate the impact of using probabilistic modeling, with its dimensions of Monte Carlo simulation, Bayesian networks, and probabilistic sensitivity analysis, on the analysis of risks in urban transportation projects, with its three dimensions of cost overrun risks, schedule delay risks, and quality and safety risks, in the Kingdom of Saudi Arabia. The study adopted the descriptive analytical approach, and the study population consisted of employees working in companies and entities implementing urban transportation projects. The sample size reached (350) participants selected through stratified random sampling. A questionnaire was used as a data collection tool after verifying its validity and reliability, and the data was processed using the (SPSS) program.

The study concluded that there is a statistically significant effect at the significance level ($\alpha \leq 0.05$) of probabilistic modeling with its three dimensions on the analysis of risks in urban transportation projects, with a coefficient of determination of (0.726). Monte Carlo simulation ranked first among the influencing dimensions, followed by Bayesian networks, and then probabilistic sensitivity analysis. The results also revealed that the highest impact of probabilistic modeling appeared in the analysis of quality and safety risks, followed by cost overrun risks, and then schedule delay risks.

The study recommended integrating probabilistic modeling into the management system of urban transportation projects in the Kingdom, establishing specialized risk management units, building national historical databases, developing specialized training programs for technical and administrative staff, linking contingency calculations to confidence levels derived from probabilistic models, and enhancing integration between probabilistic modeling, building information modeling, and digital project management platforms.

Keywords: Probabilistic Modeling, Risk Analysis, Urban Transportation Projects, Kingdom of Saudi Arabia.

المراجع

المراجع العربية

- ❖ . الشهري، س.، الطلحي، م.، وآخرون. (2022). عوامل المخاطر المؤدية إلى تجاوز التكلفة والوقت في مشاريع البناء بالمملكة العربية السعودية. مجلة المباني (Buildings)، 12(7)، المقالة 902. <https://doi.org/10.3390/buildings12070902>
- ❖ أحمد، أيمن إبراهيم عبدالله. (2026). أثر إدارة المخاطر على جودة المشاريع الهندسية: المشاريع الهندسية في المملكة العربية السعودية نموذجاً. مجلة إدارة المخاطر والأزمات، مج7، ع1، 37 - 59. مسترجع من <http://search.mandumah.com/Record/1679684>
- ❖ 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>
- ❖ 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>
- ❖ بوديار، ب. (2025). إدارة المخاطر في مؤسسات الأشغال العمومية: دراسة ميدانية. رسالة ماستر مهني، جامعة قالمة، 1-92. <https://dspace.univ>
- ❖ جبر، هيثم عمار، و الشوابكة، روان عودة خلف. (2025). أثر إدارة المخاطر على نجاح المشاريع في شركات المقاولات العراقية: الدور المعدل لتحليلات البيانات الضخمة (رسالة ماجستير غير منشورة). جامعة عمان الأهلية، السلط. مسترجع من <http://search.mandumah.com/Record/1611658>
- ❖ حج محمد، محمد بن هائل. (2025). إدارة المخاطر غير التقنية في مشاريع إعادة إعمار سوريا: نموذج مدمج وتحليل استراتيجي. مجلة جامعة الزيتونة الدولية، ع41، 136 - 148. مسترجع من <http://search.mandumah.com/Record/1649581>
- ❖ الحمراني، 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>

- ❖ 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>
- ❖ الزهراني، م.، وعبد الله، ف. (2024). أثر تطبيق استراتيجيات إدارة المخاطر على نجاح المشروعات. المجلة العربية للنشر العلمي، 31(1)، 12-38.
<https://www.ajsp.net/research>
- ❖ الشوابكه، معتز زيد محمد، و غنيم، رحاب صلاح الدين. (2021). استخدام نمذجة معلومات البناء في تحسين عملية التصميم الداخلي (رسالة ماجستير غير منشورة). جامعة عمان الأهلية، السلط. مسترجع من <http://search.mandumah.com/Record/1229379>
- ❖ العجيلي، هيا، الشعار، مها، و النعسان، وفاء عبدالرحمن. (2021). استخدام النمذجة الرقمية في التوثيق المعماري للمباني الأثرية: قبة الأخنتين في قصر الحمراء في غرناطة أنموذجاً. مجلة بحوث جامعة حلب - سلسلة تاريخ العلوم عند العرب، ع18 ، 1 - 24. مسترجع من <http://search.mandumah.com/Record/1564312>
- ❖ العلوان، شذى علي موسى، و الحياصات، إياد بشير عبدالكريم. (2022). أثر إدارة المخاطر على جودة المشاريع الإنشائية الهندسية: دراسة تطبيقية على المشاريع الإنشائية الهندسية في الأردن (رسالة ماجستير غير منشورة). جامعة البلقاء التطبيقية، السلط. مسترجع من <http://search.mandumah.com/Record/1303038>
- ❖ 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>
- ❖ فاضل، حسن. (2023). إدارة المخاطر في المشاريع واستراتيجيات الاستجابة. مجلة دفاثر قانونية، ع24 ، 169 - 203. مسترجع من <http://search.mandumah.com/Record/1409023>
- ❖ 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>
- ❖ مكحل، لميس عاهد إبراهيم، و الشراري، حاكم ضيف الله. (2024). أثر عمليات إدارة المخاطر على نجاح المنهجيات المختلفة لإدارة المشاريع: دراسة مقارنة بين نموذجي الشلال والرشيح (رسالة

❖ الهادي، م. (2025). مدخل مقترح لتقييم دور المراجعة الداخلية في إدارة المخاطر. المجلة العلمية

للدراستات التجارية والبيئية، 16(1)، 1-42. https://journals.ekb.eg/article_434233

المراجع الأجنبية

- ❖ 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>
- ❖ 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>
- ❖ 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)
- ❖ Erfani, A., & Cui, Q. (2022). Predictive risk modeling for major transportation projects using historical data. *Automation in Construction*, 139, 104301
- ❖ 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>
- ❖ Hriday, M. S. H. (2022). Quantitative risk assessment of rail infrastructure projects using Monte Carlo simulation and fuzzy logic. *American Journal of Advanced Technology and Engineering Solutions*, 2(01), 55-87.
- ❖ 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
- ❖ 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>
- ❖ Liu, Z., Jiao, Y., Li, A., & Liu, X. (2021). Risk assessment of urban rail transit PPP project construction based on bayesian network. *Sustainability*, 13(20), 11507
- ❖ 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>
- ❖ 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>

- ❖ Taghizadeh, M., & Mahsuli, M. (2025). Probabilistic Modeling of the Risk and Resilience of Transportation Systems for Community Resilience Analysis. *Reliability Engineering & System Safety*, 112073
- ❖ 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>

الملاحق

استمارة استبيان

السلام عليكم ورحمة الله وبركاته

أخي الكريم / أختي الكريمة

تحية طيبة وبعد،

يقوم الباحثين بإجراء دراسة حول قياس استخدام النمذجة الاحتمالية في تحليل مخاطر مشاريع النقل الحضرية: دراسة تطبيقية في المملكة العربية السعودية

ونظراً لما لديكم من المعرفة العلمية والخبرة العملية ذات الصلة بموضوع البحث، نأمل الحصول منكم على العون والمساعدة في توفير المعلومات المناسبة لأغراض البحث، من خلال التكرم بإبداء رأيكم بالتأشير على الإجابة المناسبة من وجهة نظركم.

وأتقدم لحضراتكم بجزيل الشكر والتقدير للمساهمة في جهودكم في تعبئة هذا الاستبيان علماً أن جميع البيانات التي سيتم الحصول عليها منكم ستعامل بسرية تامة، ولن تستخدم لغير أغراض هذا البحث، وسوف أزوّدكم بنتائج هذه الدراسة حال اكتمالها إن شاء الله.

وتفضلوا بقبول فائق التقدير والاحترام

أولاً: البيانات الشخصية

1- النوع الاجتماعي | ذكر | أنثى

2- العمر | 30 سنة فأقل | 30 - 40 سنة | من 50 سنة فأكثر | 40 - 50 سنة |

3- المؤهل العلمي | بكالوريوس | ماجستير | دكتوراه |

4- سنوات الخبرة | 5 سنوات فأقل | من 10 - 15 سنة | أكثر من 15 سنة |

5- المسمى الوظيفي | مدير مشروع | مهندس جودة وسلامة | مهندس تنفيذ | مهندس تخطيط | عامل في إدارة المخاطر | استشاري / محلل |

ثانياً محاور الاستبيان

✿ المحور الأول: النمذجة الاحتمالية، ضع إشارة (✓) في المربع المناسب لاختيارك:

معارض بشدة	أوافق بشدة	أوافق	محايد	معارض	البعد
محاكاة مونت كارلو					
					تُستخدم محاكاة مونت كارلو في توليد سيناريوهات احتمالية متعددة لتقدير تكلفة مشاريع النقل الحضرية.
					تُسهّم محاكاة مونت كارلو في تمثيل عدم اليقين المحيط بمتغيرات المشروع عبر توزيعات احتمالية ملأمة.
					تُتيح محاكاة مونت كارلو احتساب الاحتماليات المالية والزمنية بصورة عقلانية مرتبطة بمستويات الثقة.
					تُسهّم نتائج محاكاة مونت كارلو في تحديد احتمال إنجاز المشروع ضمن الكلفة والمدة المخططة.
الشبكات البيزية					
					تُسهّم الشبكات البيزية في تمثيل العلاقات السببية بين عوامل الخطر في مشاريع النقل الحضرية.
					تُتيح الشبكات البيزية تحديث تقديرات المخاطر كلما توفرت بيانات جديدة عن المشروع.
					تُساعد الشبكات البيزية في تتبع مسارات انتشار الخطر داخل أنشطة المشروع.
					تُمكن الشبكات البيزية من دمج المعرفة الخبيرة مع البيانات الكمية في إطار تحليلي موحد.

معارض بشدة		أوافق أوافق محايد معارض بشدة			البعد
تحليل الحساسية الاحتمالية					
					يُسهّم تحليل الحساسية الاحتمالي في تحديد المتغيرات الأكثر تأثيراً على مخرجات المشروع.
					يُتيح تحليل الحساسية الاحتمالي مقارنة الأثر النسبي لعدد من عوامل الخطر في وقت واحد.
					يُسهّم تحليل الحساسية الاحتمالي في توجيه الموارد الرقابية نحو المتغيرات الحرجة.
					يُعزّز تحليل الحساسية الاحتمالي شفافية النموذج أمام أصحاب المصلحة في المشروع.

✿ المحور الثاني: تحليل مخاطر مشاريع النقل الحضرية، ضع إشارة (✓) في المربع المناسب لاختيارك:

معارض بشدة	معارض	محايد	أوافق	أوافق بشدة	البعد
					يسهم تحليل المخاطر في الكشف المبكر عن عوامل تجاوز التكلفة في مشاريع النقل الحضرية.
					تُمكن أدوات تحليل المخاطر من تقدير التكلفة الاحتمالية للمشروع بصورة أكثر دقة.
					يسهم تحليل المخاطر في تحديد العوامل المؤدية إلى تجاوز الميزانية المعتمدة للمشروع.
					يُتيح تحليل المخاطر بناء توزيعات احتمالية للمدة الزمنية الإجمالية للمشروع.
					يسهم تحليل المخاطر في تتبع مسارات التأخر الزمني داخل شبكة أنشطة المشروع.
					تُساعد أدوات تحليل المخاطر في تحديد احتياطات زمنية واقعية للمشروع.
					يسهم تحليل المخاطر في الكشف عن انحرافات الأداء الفني قبل تفاقمها.
					تُتيح أدوات تحليل المخاطر تقييم مدى مطابقة المشروع للمعايير الفنية المعتمدة.
					يسهم تحليل المخاطر في تقدير احتمالات وقوع مخاطر السلامة خلال مراحل التنفيذ.
					يُعزّز تحليل المخاطر قدرة المشروع على الصمود في وجه الاضطرابات التشغيلية.

مع خالص التقدير والاحترام

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

Main supervisor/

Dr. Al-Faisal Abdelhamid

Second supervisor/

Dr. Fayez Jarad

2026 – 1448