

العنوان باللغة العربية

إطار إداري متكامل لإدارة المخاطر والاستدامة في مشاريع شبكات تصريف السيول

إعداد الطالب/

م. موسى حمود عسيري

إشراف/

د. الفیصل عبد الحمید

د. فايز جراد

العام الدراسي:

٢٠٢٥-٢٠٢٦

بسم الله الرحمن الرحيم

إهداء

أهدي هذا البحث بكل تقدير وإجلال إلى والديّ العزيزين، اللذين كان دعمهما المستمر وتشجيعهما الثابت مصدر إلهام لي منذ بداية رحلتي التعليمية، واللذين زرعاً فيّ قيم الاجتهاد والمثابرة والإصرار على تحقيق الأهداف العلمية والعملية. لقد كانت حكمتهم وتوجيهاتهم وسندهما غير المحدود سبباً في صقل شخصيتي الأكاديمية والعملية، فلكما مني أسى عبارات الحب والامتنان.

كما أهدي هذا العمل إلى أسرتي الكريمة، زوجتي الغالية وأولادي الأعزاء، على صبرهم وتحملهم لتضحياتي خلال سنوات إعداد هذه الرسالة، وعلى دعمهم المعنوي الدائم الذي كان ركيزة أساسية لاستكمال هذه الرحلة بنجاح. لقد تعلمت منكم معنى التفاني في العمل، وصبر الانتظار، والإيمان بقيمة العلم والمعرفة.

إلى أساتذتي الأفاضل، وخصوصاً د. فائز جراد ود. الفيصل حسن، أعبر عن خالص تقديري وامتناني لإشرافهم العلمي الرصين، وإرشاداتهم القيمة، ولتوجيهاتهم الدقيقة التي ساعدتني على تطوير أفكاري وصياغة البحث وفق منهجية علمية واضحة ومنظمة. لقد كان التفاعل مع خبراتهم الأكاديمية وملاحظاتهم البناءة محفزاً لي على بذل أقصى جهدي للوصول إلى أفضل النتائج، وأسهم بشكل كبير في رفع جودة هذا العمل.

كما أهدى هذا البحث إلى جميع أساتذتي الكرام الذين أثروا مسيرتي التعليمية بعلمهم ومعرفتهم، وإلى زملائي وأصدقائي الذين شاركوني لحظات العمل الجاد والتحديات، واللذين كان لتشجيعهم وتعاونهم أثراً بالغ في إنجاز هذه الدراسة.

وأخص بهذا الإهداء كل من يسعى إلى تطوير المعرفة العلمية والممارسات الإدارية الحديثة، واللذين يؤمنون بأهمية البحث العلمي كأداة للتغيير والتحسين المستمر في المؤسسات والمجتمعات. أمل أن يكون هذا البحث إضافة علمية مفيدة للباحثين والمهتمين بمجال إدارة الأعمال، وأن يسهم في تعزيز فهم العلاقة بين الإدارة الفعالة والممارسات المستدامة، وأن يكون محفزاً لمزيد من الدراسات المستقبلية التي تسعى لتحقيق التميز والكفاءة في هذا المجال.

شكر وتقدير

الحمد لله الذي بفضلته تتم الصالحات، وأتقدم بخالص الشكر والعرفان لكل من ساهم بشكل مباشر أو غير مباشر في إنجاز هذا البحث.

أتقدم بخالص الامتنان والاعتراف بالفضل إلى أساتذتي الأفاضل، وخصوصاً د. فائز جراد ود. الفيصّل حسن، على إشرافهم العلمي الدقيق، وملاحظاتهم البناءة، وتوجيهاتهم السديدة التي كان لها بالغ الأثر في تطوير هذا البحث وصقل أفكاره ومنهجيته. لقد كانت خبرتهم الأكاديمية وحرصهم على الدقة العلمية مصدر إلهام لي طوال فترة إعداد الرسالة.

كما أتقدم بالشكر والامتنان إلى أساتذتي الكرام في كلية إدارة الأعمال، ولكل من أسهم في إثراء معرفتي خلال مسيرتي الأكاديمية، على ما قدموه من دعم علمي، وتوجيه أكاديمي، ومناقشات مفيدة، ساعدتني على توسيع مداركي وفهم المفاهيم الإدارية والبحثية بعمق أكبر.

وأود أن أعرب عن تقديري وامتناني إلى زملائي وزميلاتي الذين شاركوني لحظات البحث والعمل الميداني، وقدموا لي المساعدة والتشجيع المستمر، مما ساهم في تجاوز الصعوبات وتحقيق إنجازات البحث بأعلى مستوى من الجودة.

كما أخص بالشكر كل الجهات والمؤسسات التي ساعدتني في جمع البيانات والمعلومات، ووفرت لي البيئة المناسبة لإجراء الدراسة، خصوصاً الجهات الحكومية والهيئات المختصة في مشاريع شبكات تصريف السيول في مدينة الرياض، على تعاونهم وتسهيلهم للوصول إلى المصادر الأساسية للمعلومات.

ولا يفوتني أن أشكر أسرتي العزيزة على صبرهم ودعمهم المستمر، وعلى تفهمهم للجهود التي بذلتها خلال فترة إعداد هذه الرسالة، فكان دعمهم المعنوي ووقوفهم بجاني سبباً رئيسياً لاستكمال هذا البحث بنجاح.

وأخيراً، أتمنى أن يكون هذا البحث إضافة علمية مفيدة للباحثين والمهتمين بمجال إدارة الأعمال، وأن يسهم في تعزيز المعرفة العلمية والممارسات الإدارية المستدامة، وأن يفتح آفاقاً جديدة للدراسات المستقبلية في هذا المجال الحيوي.

المستخلص : Abstract

هدفت هذه الدراسة إلى تطوير إطار إداري متكامل يربط بين إدارة المخاطر ومبادئ الاستدامة بهدف تحسين جودة مشاريع شبكات تصريف السيول في مدينة الرياض. واعتمدت الدراسة على المنهج الوصفي التحليلي، حيث تم تصميم استبانة وتوزيعها على عينة قصدية مكونة من (٦٤) خبيراً ومهندساً من العاملين في مجال مشاريع البنية التحتية.

أظهرت نتائج الدراسة وجود مستوى مرتفع من الوعي بأهمية تطبيق إدارة المخاطر في مشاريع تصريف السيول، بمتوسط حسابي بلغ (٤,٢٥)، إلى جانب إدراك كبير لأهمية دمج معايير الاستدامة في تصميم وتنفيذ هذه المشاريع بمتوسط (٤,٠٨). كما بينت النتائج أن التكامل بين إدارة المخاطر ومبادئ الاستدامة يسهم بشكل جوهري في تحسين الأداء التشغيلي ورفع جودة المشاريع، حيث بلغ المتوسط الحسابي لهذا المحور (4.32) وفي ضوء هذه النتائج، أوصت الدراسة بضرورة تبني الإطار الإداري المقترح كمرجع إرشادي في تخطيط وتنفيذ مشاريع تصريف السيول، والعمل على تحديث المواصفات الفنية لتشمل تقنيات التنمية منخفضة الأثر (LID)، بما يعزز من كفاءة الأنظمة وقدرتها على التكيف مع التغيرات المناخية، ويتمشى مع مستهدفات رؤية المملكة العربية السعودية ٢٠٣٠.

الكلمات المفتاحية:

إدارة المخاطر، الاستدامة، تصريف السيول، جودة المشاريع، البنية التحتية، التنمية منخفضة الأثر (LID)، مدينة الرياض.

قائمة المحتويات

١٧	الفصل الأول
١٨	الإطار العام للدراسة
١٨	المقدمة:
١٨	تُعد شبكات تصريف السيول ومياه الأمطار أحد المكونات الأساسية للبنية التحتية الحضرية في المدن الحديثة، إذ تلعب دورًا حيويًا في حماية الأرواح والممتلكات، وتقليل المخاطر الناتجة عن الفيضانات المفاجئة، وضمان استمرارية الأنشطة الاقتصادية والخدمات في المناطق الحضرية. كما تسهم هذه الشبكات في دعم تحقيق أهداف التنمية المستدامة من خلال تحسين إدارة الموارد المائية والحد من الآثار البيئية السلبية الناتجة عن الجريان السطحي غير المنظم.
١٨	وقد ازدادت أهمية أنظمة تصريف السيول في السنوات الأخيرة نتيجة مجموعة من العوامل المتداخلة، من أبرزها التغيرات المناخية المتسارعة، وازدياد شدة وتكرار الهطولات المطرية المفاجئة، إضافة إلى التوسع العمراني السريع الذي يؤدي إلى زيادة نسبة الأسطح غير المنفذة للمياه، مثل الطرق والمباني، الأمر الذي يرفع معدلات الجريان السطحي ويزيد من الضغط على شبكات التصريف القائمة، خاصة في المدن الواقعة ضمن البيئات الجافة وشبه الجافة.
١٨	وفي هذا السياق، تشير العديد من الدراسات الحديثة في مجال إدارة البنية التحتية الحضرية إلى أن ضعف التكامل بين منهجيات إدارة المخاطر ومبادئ الاستدامة يمثل أحد التحديات الرئيسية التي تؤثر في كفاءة تصميم وتشغيل شبكات تصريف السيول. حيث يؤدي غياب هذا التكامل إلى انخفاض جودة بعض التصميمات الهندسية، وارتفاع تكاليف التشغيل والصيانة، إضافة إلى محدودية قدرة الأنظمة القائمة على التكيف مع الظروف المناخية المتغيرة.
١٨	على الرغم من الجهود الكبيرة المبذولة في تطوير شبكات تصريف السيول، فإن التحديات المتعلقة بالفيضانات والضغط المتزايد على الشبكات التقليدية تبرز الحاجة إلى دمج منهجيات إدارة المخاطر مع مبادئ الاستدامة لتحقيق كفاءة واستدامة طويلة الأمد.
١٨	ومن هذا المنطلق، تسعى هذه الدراسة إلى تطوير إطار إداري متكامل يربط بين إدارة المخاطر ومبادئ الاستدامة في مشاريع شبكات تصريف السيول، بهدف تحسين جودة التصميم الهندسي وتعزيز كفاءة الأداء التشغيلي لهذه المشاريع، بما يسهم في دعم استدامة البنية التحتية الحضرية وتحقيق مستهدفات التنمية الحضرية في المملكة، بما يتماشى مع مستهدفات رؤية المملكة ٢٠٣٠.
١٩	مشكلة الدراسة
١٩	على الرغم من الجهود الكبيرة التي تبذلها المملكة العربية السعودية في تطوير البنية التحتية الحضرية وتنفيذ مشاريع شبكات تصريف السيول ضمن خطط التنمية المستدامة، لا تزال العديد من هذه المشاريع تواجه تحديات فنية وإدارية تتمثل في ضعف التكامل بين منهجيات إدارة المخاطر ومبادئ الاستدامة على امتداد مراحل التخطيط والتصميم والتنفيذ والتشغيل. وقد أدى هذا القصور إلى ظهور عدد من الإشكالات التي تؤثر في كفاءة المشاريع، من أبرزها انخفاض جودة بعض التصميمات الهندسية، وارتفاع تكاليف التشغيل والصيانة، إضافة إلى محدودية قدرة الأنظمة القائمة على الاستجابة الفعالة للأحداث المطرية الشديدة والتغيرات المناخية المتزايدة.
١٩	وفي هذا السياق، تشير تقارير أمانة منطقة الرياض إلى أن بعض أحياء المدينة شهدت خلال السنوات الأخيرة ارتفاعاً ملحوظاً في حالات تجمع مياه الأمطار نتيجة الهطولات الغزيرة، مما يعكس وجود تحديات في كفاءة منظومات تصريف المياه في استيعاب الكميات الكبيرة خلال فترات زمنية قصيرة. كما كشفت حوادث السيول المفاجئة عن محدودية كفاءة بعض شبكات التصريف القائمة، الأمر الذي يؤكد الحاجة إلى تطوير أنظمة أكثر كفاءة ومرونة، قادرة على التكيف مع التغيرات المناخية المتسارعة والنمو الحضري المتزايد.
١٩	وعلى الرغم من تعدد الدراسات التي تناولت إدارة المخاطر في مشاريع البنية التحتية، وأخرى ركزت على مبادئ الاستدامة في أنظمة تصريف مياه الأمطار، إلا أن التكامل المنهجي بين هذين المجالين لا يزال محدوداً، خصوصاً في البيئات الجافة وشبه الجافة مثل مدينة الرياض، مما يبرز الحاجة الملحة إلى تطوير إطار إداري متكامل يعزز هذا التكامل ويسهم في تحسين جودة أداء هذه المشاريع.
١٩	أهمية الدراسة
١٩	أولاً: الأهمية العلمية

١٩	 ثانيًا: الأهمية العملية
١٩	 ثالثًا: الأهمية التنموية
٢٠	 أهداف الدراسة
٢٠	 الهدف العام
٢٠	 الأهداف التفصيلية
٢٠	• تحليل واقع تطبيق إدارة المخاطر في مشاريع شبكات تصريف السيول في المملكة العربية السعودية وتحديد أبرز التحديات المرتبطة بها.
٢٠	• تقييم مستوى تطبيق أبعاد الاستدامة (البيئية، الاقتصادية، الاجتماعية) في المشاريع الحالية.
٢٠	• تحليل العلاقة بين إدارة المخاطر وتطبيق مبادئ الاستدامة وأثرها على جودة التصميم وكفاءة الأداء التشغيلي.
٢٠	• تطوير إطار إداري متكامل يحقق التوازن بين تقليل المخاطر وتعزيز الاستدامة.
٢٠	• تقديم توصيات عملية تدعم صناع القرار في تحسين كفاءة واستدامة مشاريع تصريف السيول.
٢٠	 تساؤلات الدراسة
٢٠	 التساؤل الرئيسي
٢٠	 التساؤلات الفرعية
٢٠	 فروض الدراسة
٢٠	 الفرض الرئيسي:
٢٠	يوجد تأثير إيجابي ذو دلالة إحصائية لدمج إدارة المخاطر ومبادئ الاستدامة على تحسين جودة التصميم والأداء التشغيلي لمشاريع شبكات تصريف السيول في المملكة العربية السعودية.
٢٠	 الفروض الفرعية:
٢١	 الأساس النظري للدراسة
٢٢	 الفصل الثاني
٢٣	 الدراسات السابقة
٢٣	 مقدمة
٢٣	تعد مراجعة الدراسات السابقة خطوة أساسية لفهم أساليب إدارة المخاطر وتطبيق مبادئ الاستدامة في مشاريع شبكات تصريف السيول، كما تساعد على تحديد الفجوات البحثية التي تعيق تطوير إطار إداري متكامل. يهدف هذا الفصل إلى استعراض الأسس النظرية والمفاهيم العلمية المرتبطة بموضوع الدراسة، والتي تشكل الإطار المعرفي لفهم العلاقة بين إدارة المخاطر ومبادئ الاستدامة في مشاريع شبكات تصريف السيول. كما يتناول الفصل مجموعة من الدراسات السابقة التي ناقشت موضوعات إدارة المخاطر في مشاريع البنية التحتية، وتطبيقات الاستدامة في أنظمة تصريف مياه الأمطار، إضافة إلى النماذج الحديثة لدعم اتخاذ القرار في إدارة المخاطر الحضرية.
٢٣	ويهدف تحليل هذه الدراسات إلى تحديد الاتجاهات البحثية الحديثة في هذا المجال، وتوضيح أوجه الاتفاق والاختلاف بينها، إضافة إلى تحديد الفجوة البحثية التي يسعى البحث الحالي إلى معالجتها من خلال تطوير إطار إداري متكامل يربط بين إدارة المخاطر والاستدامة لتحسين جودة تصميم وتشغيل مشاريع شبكات تصريف السيول في مدينة الرياض.
٢٣	 أولاً
٢٣	 إدارة المخاطر في مشاريع شبكات تصريف السيول
٢٣	تُعد إدارة المخاطر أحد المفاهيم الأساسية في إدارة مشاريع البنية التحتية، حيث تهدف إلى تحديد المخاطر المحتملة التي قد تؤثر في نجاح المشروع، وتحليلها، وتطوير استراتيجيات مناسبة للتعامل معها وتقليل أثارها السلبية. وتكتسب إدارة المخاطر أهمية خاصة في مشاريع شبكات تصريف السيول نظرًا للطبيعة المعقدة لهذه المشاريع، وارتباطها بعوامل بيئية وهيدرولوجية متعددة مثل شدة الأمطار، وطبيعة التربة، والتوسع العمراني، والتغيرات المناخية.
٢٣	.....

- وقد أشارت دراسة From managing risk to increasing resilience: urban flood resilience إلى أن إدارة الفيضانات الحضرية لم تعد تقتصر على التعامل مع المخاطر بعد حدوثها، بل أصبحت تعتمد على تبني استراتيجيات استباقية تهدف إلى تعزيز مرونة البنية التحتية الحضرية وقدرتها على التكيف مع التغيرات المناخية المستقبلية. كما أوضحت الدراسة أن دمج المعرفة المكتسبة من الأحداث السابقة مع النماذج التنبؤية يسهم في تحسين كفاءة إدارة المخاطر وتقليل آثار الفيضانات في المدن. ٢٣
- وفي السياق ذاته، قدمت دراسة A Novel GIS-SWMM-ABM Approach for Flood Risk Assessment منهجًا متقدمًا لتقييم مخاطر الفيضانات في المدن التي تعاني من نقص البيانات، من خلال دمج نظم المعلومات الجغرافية مع نماذج محاكاة شبكات التصريف. وأظهرت نتائج الدراسة أن العديد من شبكات التصريف التقليدية غير قادرة على استيعاب كميات المياه الناتجة عن العواصف المطرية الشديدة، مما يبرز الحاجة إلى تطوير أنظمة أكثر مرونة وقدرة على التكيف مع التغيرات المناخية. ٢٣
- كما تناولت دراسة Evaluating the impact of urban growth on stormwater drainage design تأثير النمو الحضري المتسارع على كفاءة شبكات تصريف مياه الأمطار، حيث أوضحت أن زيادة الأسطح غير المنفذة في المدن تؤدي إلى ارتفاع معدلات الجريان السطحي، مما يزيد من احتمالية حدوث الفيضانات إذا لم يتم أخذ التوسع العمراني بعين الاعتبار أثناء تصميم شبكات التصريف. ٢٣
- وتشير هذه الدراسات مجتمعة إلى أن إدارة المخاطر في مشاريع شبكات تصريف السيول تتطلب اعتماد منهجيات متكاملة تجمع بين التحليل الهيدرولوجي، والنماذج التنبؤية، والتخطيط الحضري المستدام، بما يسهم في تعزيز قدرة المدن على مواجهة المخاطر المرتبطة بالأمطار الغزيرة والسيول المفاجئة. ٢٣
- ثانيًا ٢٣
- الاستدامة في مشاريع تصريف مياه الأمطار ٢٣
- شهدت العقود الأخيرة اهتمامًا متزايدًا بتطبيق مبادئ الاستدامة في إدارة مشاريع البنية التحتية، حيث تسعى المدن الحديثة إلى تطوير أنظمة تصريف مياه أمطار تراعي الجوانب البيئية والاقتصادية والاجتماعية، بما يسهم في تحقيق الاستخدام الأمثل للموارد الطبيعية وتقليل الآثار البيئية السلبية. ٢٣
- وفي هذا الإطار، أجرت دراسة Sustainability Evaluation of the Stormwater Drainage System in Six Indian Cities تقييمًا شاملاً لاستدامة شبكات تصريف مياه الأمطار في عدد من المدن، حيث استخدمت مجموعة من المؤشرات البيئية والهيدرولوجية لتقييم كفاءة هذه الأنظمة. وأظهرت النتائج وجود تفاوت كبير في مستوى الاستدامة بين المدن المختلفة، مما يؤكد أهمية مراعاة الخصائص المحلية عند تصميم أنظمة التصريف. ٢٣
- كما طورت دراسة Sustainability evaluation framework of urban stormwater drainage options إطارًا لتقييم استدامة أنظمة تصريف مياه الأمطار في البيئات الجافة باستخدام النمذجة الهيدرولوجية وتقنيات اتخاذ القرار متعددة المعايير. وأشارت الدراسة إلى أن دمج الاعتبارات البيئية والاقتصادية في عملية تصميم شبكات التصريف يمكن أن يسهم في تحسين كفاءة هذه الأنظمة وتقليل تكاليف التشغيل والصيانة على المدى الطويل. ٢٤
- وفي السياق ذاته، ركزت دراسة Sustainable Design of Urban Stormwater Drainage Systems على تطبيق تقنيات التنمية منخفضة التأثير (LID) وخزانات الاحتجاز كحلول مستدامة لإدارة مياه الأمطار، حيث أظهرت النتائج أن استخدام هذه التقنيات يسهم في تقليل حجم الجريان السطحي وتحسين جودة المياه، إضافة إلى تقليل الضغط على شبكات التصريف التقليدية. ٢٤
- وتبرز هذه الدراسات أهمية دمج مبادئ الاستدامة في تصميم وتشغيل شبكات تصريف السيول، بما يسهم في تحقيق توازن بين متطلبات التنمية الحضرية والحفاظ على البيئة. ٢٤
- ثالثًا ٢٤
- البنية التحتية المرنة وإدارة الفيضانات الحضرية ٢٤
- تعد البنية التحتية المرنة أحد المفاهيم الحديثة في إدارة المدن، حيث تهدف إلى تطوير أنظمة حضرية قادرة على التكيف مع التغيرات المناخية والتحديات البيئية المختلفة. وفي هذا السياق، تسعى العديد من المدن إلى تطوير شبكات تصريف مياه أمطار مرنة قادرة على التعامل مع الأحداث المطرية الشديدة. ٢٤

- وقد استعرضت دراسة Review of Urban Flood Resilience مفهوم مرونة المدن في مواجهة الفيضانات الحضرية، حيث أشارت إلى أن تحقيق مرونة البنية التحتية يتطلب دمج مجموعة من العوامل تشمل التخطيط الحضري المستدام، وإدارة المخاطر، وتطوير السياسات المؤسسية الداعمة. ٢٤
- وتؤكد هذه الدراسات أن تحقيق الاستدامة والمرونة في أنظمة تصريف السيول يتطلب تبني منهجيات متكاملة تجمع بين إدارة المخاطر والتخطيط الحضري المستدام والتقنيات الحديثة لإدارة المياه. ٢٤
- رابعاً ٢٤
- نماذج دعم القرار في إدارة مشاريع التصريف ٢٤
- تعد نماذج دعم القرار من الأدوات المهمة التي تساعد صناع القرار في اختيار الحلول التصميمية الأكثر كفاءة في مشاريع البنية التحتية. ومن بين هذه النماذج أسلوب التحليل الهرمي (AHP)، الذي يستخدم على نطاق واسع في تقييم البدائل متعددة المعايير. ٢٤
- وقد قدمت دراسة Decision Support System for SUDS in Arid Regions نظام دعم قرار لاختيار أفضل مواقع تطبيق أنظمة الصرف الحضري المستدام في المناطق الجافة، حيث استخدمت نماذج محاكاة هيدرولوجية وتقنيات تحسين رياضية لتحديد الحلول الأكثر كفاءة. ٢٤
- وتبرز أهمية استخدام هذه الأدوات في دعم عملية اتخاذ القرار في مشاريع تصريف السيول، خاصة في ظل تعدد العوامل المؤثرة في تصميم هذه المشاريع. ٢٤
- وتشير الأدبيات الحديثة في مجال إدارة مشاريع البنية التحتية إلى أن تحقيق كفاءة واستدامة هذه المشاريع يتطلب تبني منهجيات إدارية متكاملة تجمع بين إدارة المخاطر ومبادئ الاستدامة ضمن إطار شامل يدعم اتخاذ القرار ويعزز مرونة الأنظمة الحضرية في مواجهة التغيرات المناخية والضغوط العمرانية المتزايدة. ٢٤
- وعلى الرغم من وجود العديد من الدراسات التي تناولت إدارة المخاطر في مشاريع البنية التحتية، وأخرى ركزت على تطبيق مبادئ الاستدامة في أنظمة إدارة مياه الأمطار، إلا أن معظم هذه الدراسات تناولت كل محور بصورة منفصلة، مع ندرة الدراسات التي تقدم إطاراً تطبيقياً يدمج بصورة منهجية بين إدارة المخاطر ومبادئ الاستدامة في مشاريع شبكات تصريف السيول، خصوصاً في البيئات الجافة وشبه الجافة. ٢٤
- ويبرز من ذلك وجود فجوة بحثية تتمثل في محدودية النماذج التطبيقية التي تقدم إطاراً متكاملًا يربط بين إدارة المخاطر والاستدامة في هذا النوع من المشاريع، وهو ما تسعى هذه الدراسة إلى معالجته من خلال تطوير إطار إداري متكامل. ٢٤
- النموذج المفاهيمي للبحث ٢٥
- يعتمد النموذج المفاهيمي للدراسة على تحليل العلاقة بين إدارة المخاطر والاستدامة في مشاريع شبكات تصريف السيول، وتأثير هذا التكامل على جودة تصميم المشاريع وكفاءة أدائها التشغيلي. ويستند هذا النموذج إلى ما أشارت إليه العديد من الدراسات الحديثة التي تؤكد أن تحسين أداء مشاريع البنية التحتية يتطلب دمج ممارسات إدارة المخاطر مع مبادئ الاستدامة ضمن إطار إداري متكامل. ٢٥
- وفي ضوء مراجعة الأدبيات السابقة، تم تحديد المتغيرات الرئيسة للدراسة كما يلي: ٢٥
- المتغيرات المستقلة ٢٥
- تشمل العوامل التي يُتوقع أن تؤثر في جودة مشاريع شبكات تصريف السيول، وهي: ٢٥
- إدارة المخاطر وتشمل: ٢٥
- تحديد المخاطر المحتملة في مراحل المشروع المختلفة. ٢٥
- تحليل وتقييم المخاطر الهيدرولوجية والإنشائية. ٢٥
- وضع خطط الاستجابة والتخفيف من المخاطر. ٢٥
- متابعة وإدارة المخاطر أثناء التنفيذ والتشغيل. ٢٥
- الاستدامة وتشمل: ٢٥
- تطبيق الحلول المستدامة في تصميم شبكات التصريف. ٢٥

٢٥	استخدام تقنيات البنية التحتية الخضراء.
٢٥	تقليل الآثار البيئية لمشاريع التصريف.
٢٥	تحسين كفاءة استخدام الموارد المائية.
٢٥	المتغير التابع
٢٥	جودة مشاريع شبكات تصريف السيول وتشمل:
٢٥	كفاءة التصميم الهندسي للشبكات.
٢٥	قدرة الشبكات على استيعاب مياه الأمطار الغزيرة.
٢٥	كفاءة الأداء التشغيلي للشبكات.
٢٥	تقليل تكاليف التشغيل والصيانة.
٢٥	العلاقة بين المتغيرات
٢٥	يفترض النموذج أن تحسين إدارة المخاطر وتطبيق مبادئ الاستدامة يسهمان بشكل مباشر في تحسين جودة تصميم وتشغيل مشاريع شبكات تصريف السيول. كما يفترض أن التكامل بين هذين البعدين يعزز كفاءة اتخاذ القرار في إدارة مشاريع البنية التحتية.
٢٦	الدراسات السابقة
٢٨	مصفوفة تحليل الدراسات السابقة
٢٩	الإطار النظري
٢٩	مقدمة
٢٩	عناصر الإطار الإداري المتكامل
٢٩	1. تحديد المخاطر والتهديدات
٢٩	2. تقييم المخاطر باستخدام أدوات علمية
٢٩	3. تصميم الحلول المستدامة
٢٩	4. المتابعة والتقييم والتحسين المستمر
٣٠	خطوات تطبيق الإطار
٣١	الفصل الثالث
٣٢	منهجية الدراسة
٣٢	مقدمة
٣٢	المنهجية وطرق البحث
٣٢	أولاً: جمع البيانات
٣٢	البيانات الكمية
٣٢	البيانات النوعية
٣٢	ثانياً: تحليل البيانات الكمية باستخدام Excel و AHP
٣٢	تحليل البيانات الأساسية باستخدام Excel
٣٢	تطبيق: AHP (Analytic Hierarchy Process)
٣٣	ثالثاً: تحليل البيانات النوعية
٣٣	رابعاً: الدمج والتفسير

٣٣	.....	خامساً: مزايا المنهجية
٣٤	.....	مجتمع البحث
٣٤	.....	حدود البحث
٣٤	.....	الحدود الموضوعية:
٣٤	.....	الحدود المكانية:
٣٤	.....	الحدود الزمانية:
٣٤	.....	الحدود البشرية:
٣٦	.....	الفصل الرابع
٣٧	.....	النتائج والتوصيات
٣٧	.....	مقدمة
٣٧	.....	تحليل البيانات
٣٧	.....	النتائج
٣٧	.....	عرض النتائج (تحليل المحاور الرئيسية):
٣٨	.....	التوصيات
٣٩	.....	الخاتمة
٤٠	.....	المراجع
٤٠	.....	المراجع العربية
٤٠	.....	المراجع الأجنبية
٤١	.....	الملاحق
٤١	.....	الاستبيان
٤٢	.....	Abstract

قائمة الجداول :

جدول ١ تحليل الدراسات السابقة

الباحث	سنة الدراسة	منهجية الدراسة	أهم النتائج	علاقة الدراسة بالبحث الحالي
Evaluating the impact of urban growth on stormwater drainage design	2020	تحليل هيدرولوجي وتأثير النمو الحضري	النمو العمراني يزيد الجريان السطحي ويؤثر على كفاءة شبكات التصريف	يبرز أهمية مراعاة المخاطر الهيدرولوجية في تصميم الشبكات
A Novel GIS-SWMM-ABM Approach for Flood Risk Assessment	2024	دمج GIS و SWMM لتقييم مخاطر الفيضانات	النماذج المدمجة تحسن تقييم مخاطر الفيضانات في المدن	يدعم أهمية استخدام أدوات تحليل متقدمة في إدارة المخاطر
Sustainability evaluation framework of urban stormwater drainage options	2018	تقييم الاستدامة باستخدام النمذجة الهيدرولوجية وتحليل متعدد المعايير	تطبيق الاستدامة يقلل تكاليف التشغيل ويحسن كفاءة الأنظمة	يربط الاستدامة بتصميم شبكات التصريف
Decision Support System for SUDS in Arid Regions	2020	نظام دعم قرار لاختيار أنظمة SUDS	استخدام نماذج دعم القرار يحسن اختيار الحلول المستدامة	يدعم استخدام أدوات اتخاذ القرار مثل AHP
Review of Urban Flood Resilience	2022	مراجعة علمية منهجية	تعزيز مرونة المدن يتطلب دمج إدارة المخاطر والتخطيط الحضري	يدعم مفهوم المرونة الحضرية
Sustainable Design of Urban Stormwater Drainage Systems	2019	تصميم مستدام باستخدام تقنيات LID	تقنيات LID تقلل الجريان السطحي وتحسن جودة المياه	يدعم الحلول المستدامة
From managing risk to increasing resilience: urban flood resilience	2022	مراجعة علمية لمفهوم مرونة الفيضانات	التحول من إدارة المخاطر إلى تعزيز المرونة الحضرية	يربط إدارة المخاطر بالمرونة
Sustainability Evaluation of the Stormwater Drainage System in Six Indian Cities	2023	تقييم استدامة شبكات التصريف	تفاوت مستوى الاستدامة بين المدن	يبرز أهمية تقييم الاستدامة

جدول ٢ يظهر الجدول كيف يربط الإطار بين المخاطر الأساسية والحلول المستدامة باستخدام أوزان AHP لتحديد أولويات التنفيذ.

نوع الخطر	التأثير المحتمل	الحل المقترح	الوزن النسبي (AHP)
غزارة الأمطار	فيضانات حضرية	أنظمة الصرف الحضري المستدام SUDS	0.40
الفيضانات المحلية	أضرار بالبنية التحتية	خزانات الاحتجاز Detention Tanks	0.35
تلوث مياه الأمطار	انخفاض جودة المياه	تقنيات التنمية منخفضة التأثير LID	0.25
ضعف المواد أو التصميم	فشل هيكلي	تحسين التصميم الهندسي وفق معايير الاستدامة	0.30

جدول ٣ تقييم وإدارة المخاطر المستدامة

نوع الخطر	وصف الخطر	التأثير المحتمل	الحل المستدام المقترح
الأمطار الغزيرة	زيادة شدة الهطول المطري	فيضانات حضرية	تطبيق تقنيات LID
النمو الحضري السريع	زيادة الأسطح غير المنفذة	ارتفاع الجريان السطحي	إنشاء خزانات احتجاز
ضعف الصيانة	انسداد قنوات التصريف	انخفاض كفاءة الشبكة	برامج صيانة مستدامة
التغير المناخي	تغير نمط الهطول المطري	عدم كفاءة التصميمات التقليدية	تصميم شبكات مرنة
نقص البيانات الهيدرولوجية	ضعف التنبؤ بالمخاطر	قرارات تصميم غير دقيقة	استخدام نظم GIS والنماذج الهيدرولوجية

جدول ٤ الأوزان النسبية لمعايير الاستدامة باستخدام أسلوب التحليل الهرمي (AHP)

المعيار	(%) الوزن النسبي
بيئي (تقليل مخاطر الفيضانات، جودة المياه، الحد من التأثير البيئي)	40%
اقتصادي (تكلفة الإنشاء، تكلفة التشغيل والصيانة، كفاءة استخدام الموارد)	35%
اجتماعي (السلامة العامة، رضا المجتمع، قابلية التطبيق)	25%
المجموع	100%

جدول ٥ مصفوفة المقارنة الزوجية

المعايير	البيئي	الاقتصادي	الفي
البيئي	1	3	2
الاقتصادي	1/3	1	1/2
الاجتماعي	1/2	2	1

جدول ٦ أوزان معايير AHP لتقييم الخيارات المستدامة

المعيار	(%) الوزن النسبي
بيئي (تقليل مخاطر الفيضانات، جودة المياه، الحد من التأثير البيئي)	40%
اقتصادي (تكلفة الإنشاء، تكلفة التشغيل والصيانة، كفاءة استخدام الموارد)	35%
اجتماعي (السلامة العامة، رضا المجتمع، قابلية التطبيق)	25%
المجموع	100%

جدول ٧ توزيع المشاركين حسب الخبرة العملية

الخبرة العملية	عدد المشاركين	النسبة المئوية
أقل من ٥ سنوات	12	18.8%
سنوات 5 – 10	20	31.3%
أكثر من ١٠ سنوات	32	50%
المجموع	64	100%

جدول ٨ توزيع المشاركين حسب المؤهل العلمي

المؤهل العلمي	عدد المشاركين	النسبة المئوية
بكالوريوس	45	70.3%
ماجستير	17	26.6%
دكتوراه	2	3.1%
المجموع	64	100%

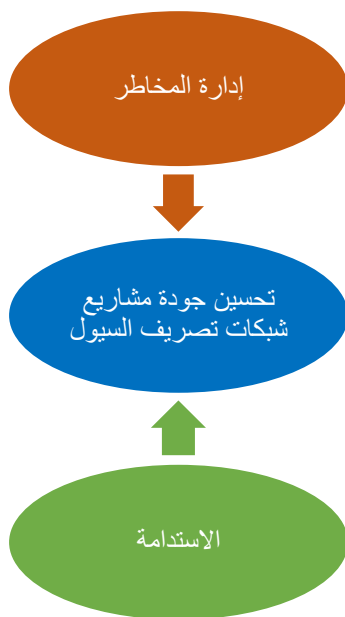
جدول ٩ متوسطات محاور الاستبيان والانحراف المعياري

المحور	المتوسط (Mean)	الانحراف المعياري (SD)
إدارة المخاطر	4.25	0.48
الاستدامة	4.08	0.52
العلاقة التكاملية	4.32	0.45
الأداء والجودة	4.15	0.50

جدول ١٠ مصفوفة المخاطر والحلول المستدامة وفق أوزان AHP ،

نوع المخاطر	الحل المستدام المقترح	AHP الوزن النسبي
غزارة الأمطار	SUDS أنظمة الصرف الحضري المستدام	0.40
الفيضانات المحلية	Detention Tanks خزانات الاحتجاز	0.35
تلوث مياه الأمطار	LID تقنيات التنمية منخفضة التأثير	0.25
ضعف المواد أو التصميم غير المتوافق	تحسين التصميم الهندسي وفق معايير الاستدامة	0.30

قائمة الأشكال:



شكل (١): النموذج المفاهيمي للدراسة

الفصل الأول

الإطار العام للدراسة

المقدمة:

تُعد شبكات تصريف السيول ومياه الأمطار أحد المكونات الأساسية للبنية التحتية الحضرية في المدن الحديثة، إذ تلعب دورًا حيويًا في حماية الأرواح والممتلكات، وتقليل المخاطر الناتجة عن الفيضانات المفاجئة، وضمان استمرارية الأنشطة الاقتصادية والخدمات في المناطق الحضرية. كما تسهم هذه الشبكات في دعم تحقيق أهداف التنمية المستدامة من خلال تحسين إدارة الموارد المائية والحد من الآثار البيئية السلبية الناتجة عن الجريان السطحي غير المنظم.

وقد ازدادت أهمية أنظمة تصريف السيول في السنوات الأخيرة نتيجة مجموعة من العوامل المتداخلة، من أبرزها التغيرات المناخية المتسارعة، وازدياد شدة وتكرار الهطولات المطرية المفاجئة، إضافة إلى التوسع العمراني السريع الذي يؤدي إلى زيادة نسبة الأسطح غير المنفذة للمياه، مثل الطرق والمباني، الأمر الذي يرفع معدلات الجريان السطحي ويزيد من الضغط على شبكات التصريف القائمة، خاصة في المدن الواقعة ضمن البيئات الجافة وشبه الجافة.

وفي هذا السياق، تشير العديد من الدراسات الحديثة في مجال إدارة البنية التحتية الحضرية إلى أن ضعف التكامل بين منهجيات إدارة المخاطر ومبادئ الاستدامة يمثل أحد التحديات الرئيسية التي تؤثر في كفاءة تصميم وتشغيل شبكات تصريف السيول. حيث يؤدي غياب هذا التكامل إلى انخفاض جودة بعض التصميمات الهندسية، وارتفاع تكاليف التشغيل والصيانة، إضافة إلى محدودية قدرة الأنظمة القائمة على التكيف مع الظروف المناخية المتغيرة.

على الرغم من الجهود الكبيرة المبذولة في تطوير شبكات تصريف السيول، فإن التحديات المتعلقة بالفيضانات والضغط المتزايد على الشبكات التقليدية تبرز الحاجة إلى دمج منهجيات إدارة المخاطر مع مبادئ الاستدامة لتحقيق كفاءة واستدامة طويلة الأمد.

ومن هذا المنطلق، تسعى هذه الدراسة إلى تطوير إطار إداري متكامل يربط بين إدارة المخاطر ومبادئ الاستدامة في مشاريع شبكات تصريف السيول، بهدف تحسين جودة التصميم الهندسي وتعزيز كفاءة الأداء التشغيلي لهذه المشاريع، بما يساهم في دعم استدامة البنية التحتية الحضرية وتحقيق مستهدفات التنمية الحضرية في المملكة، بما يتماشى مع مستهدفات رؤية المملكة ٢٠٣٠.

مشكلة الدراسة

على الرغم من الجهود الكبيرة التي تبذلها المملكة العربية السعودية في تطوير البنية التحتية الحضرية وتنفيذ مشاريع شبكات تصريف السيول ضمن خطط التنمية المستدامة، لا تزال العديد من هذه المشاريع تواجه تحديات فنية وإدارية تتمثل في ضعف التكامل بين منهجيات إدارة المخاطر ومبادئ الاستدامة على امتداد مراحل التخطيط والتصميم والتنفيذ والتشغيل. وقد أدى هذا القصور إلى ظهور عدد من الإشكالات التي تؤثر في كفاءة المشاريع، من أبرزها انخفاض جودة بعض التصميمات الهندسية، وارتفاع تكاليف التشغيل والصيانة، إضافة إلى محدودية قدرة الأنظمة القائمة على الاستجابة الفعالة للأحداث المطرية الشديدة والتغيرات المناخية المتزايدة.

وفي هذا السياق، تشير تقارير أمانة منطقة الرياض إلى أن بعض أحياء المدينة شهدت خلال السنوات الأخيرة ارتفاعاً ملحوظاً في حالات تجمع مياه الأمطار نتيجة الهطولات الغزيرة، مما يعكس وجود تحديات في كفاءة منظومات تصريف المياه في استيعاب الكميات الكبيرة خلال فترات زمنية قصيرة. كما كشفت حوادث السيول المفاجئة عن محدودية كفاءة بعض شبكات التصريف القائمة، الأمر الذي يؤكد الحاجة إلى تطوير أنظمة أكثر كفاءة ومرونة، قادرة على التكيف مع التغيرات المناخية المتسارعة والنمو الحضري المتزايد.

وعلى الرغم من تعدد الدراسات التي تناولت إدارة المخاطر في مشاريع البنية التحتية، وأخرى ركزت على مبادئ الاستدامة في أنظمة تصريف مياه الأمطار، إلا أن التكامل المنهجي بين هذين المجالين لا يزال محدوداً، خصوصاً في البيئات الجافة وشبه الجافة مثل مدينة الرياض، مما يبرز الحاجة الملحة إلى تطوير إطار إداري متكامل يعزز هذا التكامل ويسهم في تحسين جودة أداء هذه المشاريع.

أهمية الدراسة

أولاً: الأهمية العلمية

١. سد فجوة بحثية في غياب إطار متكامل يجمع بين إدارة المخاطر والاستدامة في مشاريع شبكات تصريف السيول.
٢. توفير تحليل معمق للعلاقة بين الاستدامة وإدارة المخاطر وتأثيرها على جودة التصميم والأداء التشغيلي.
٣. تقديم نموذج إداري عملي قابل للتطبيق لدعم الدراسات المستقبلية.
٤. دعم الأدبيات المتعلقة بالبنية التحتية المرنة (Resilient Infrastructure) في البيئات الجافة.

ثانياً: الأهمية العملية

٥. تمكين الجهات التنفيذية والرقابية من اعتماد ممارسات مستدامة وأدوات أفضل لإدارة المخاطر.
٦. تحسين كفاءة التشغيل والصيانة وتقليل التكاليف التشغيلية.
٧. دعم صناع القرار في اتخاذ قرارات مبنية على منهجيات حديثة.
٨. تقليل آثار السيول المفاجئة على المجتمع من خلال تحسين جاهزية الشبكات.
٩. تعزيز أهداف رؤية المملكة ٢٠٣٠ في تطوير بنية تحتية ذكية ومرنة.

ثالثاً: الأهمية التنموية

- المساهمة في تحقيق أهداف رؤية المملكة ٢٠٣٠ المتعلقة بإدارة الموارد الطبيعية بكفاءة وتعزيز التنمية المستدامة، عبر تطوير إطار إداري يضمن استدامة وكفاءة مشاريع تصريف السيول على المدى الطويل.

“تمكن الدراسة صناع القرار من اتخاذ قرارات مستندة إلى منهجيات حديثة لتحسين كفاءة التشغيل وتقليل آثار السيول”.

أهداف الدراسة.

الهدف العام

تطوير إطار إداري متكامل يربط بين إدارة المخاطر ومبادئ الاستدامة في مشاريع شبكات تصريف السيول، بهدف تحسين جودة التصميم، تعزيز الأداء التشغيلي، وضمان استدامة البنية التحتية الحضرية.

الأهداف التفصيلية

- تحليل واقع تطبيق إدارة المخاطر في مشاريع شبكات تصريف السيول في المملكة العربية السعودية وتحديد أبرز التحديات المرتبطة بها.
- تقييم مستوى تطبيق أبعاد الاستدامة (البيئية، الاقتصادية، الاجتماعية) في المشاريع الحالية.
- تحليل العلاقة بين إدارة المخاطر وتطبيق مبادئ الاستدامة وأثرها على جودة التصميم وكفاءة الأداء التشغيلي.
- تطوير إطار إداري متكامل يحقق التوازن بين تقليل المخاطر وتعزيز الاستدامة.
- تقديم توصيات عملية تدعم صناع القرار في تحسين كفاءة واستدامة مشاريع تصريف السيول.

تساؤلات الدراسة

التساؤل الرئيسي

كيف يمكن دمج إدارة المخاطر مع مبادئ الاستدامة ضمن إطار إداري متكامل يساهم في تحسين جودة التصميم والأداء التشغيلي لمشاريع شبكات تصريف السيول في المملكة العربية السعودية؟

التساؤلات الفرعية

١. ما أبرز أنواع المخاطر الهيدرولوجية، الفنية، المالية، والبيئية التي تواجه المشاريع؟
٢. إلى أي مدى تُطبّق مبادئ الاستدامة البيئية والاقتصادية والاجتماعية؟
٣. ما طبيعة العلاقة بين إدارة المخاطر وتطبيق مبادئ الاستدامة في تعزيز جودة التصميم وكفاءة الأداء؟
٤. كيف يمكن تصميم إطار إداري متكامل يوازن بين تقليل المخاطر وتعزيز الاستدامة؟
٥. ما الإجراءات والتوصيات العملية لدعم صناع القرار وتحقيق استدامة المشاريع مستقبلاً؟

فروض الدراسة

الفرض الرئيسي:

يوجد تأثير إيجابي ذو دلالة إحصائية لدمج إدارة المخاطر ومبادئ الاستدامة على تحسين جودة التصميم والأداء التشغيلي لمشاريع شبكات تصريف السيول في المملكة العربية السعودية.

الفروض الفرعية:

- ② يوجد تأثير ذو دلالة إحصائية لإدارة المخاطر على جودة التصميم والأداء التشغيلي لمشاريع شبكات تصريف السيول.
- ② يوجد تأثير ذو دلالة إحصائية لتطبيق مبادئ الاستدامة على جودة التصميم والأداء التشغيلي لمشاريع شبكات تصريف السيول.
- ② يوجد تأثير ذو دلالة إحصائية لإدارة المخاطر على مستوى تطبيق مبادئ الاستدامة في مشاريع شبكات تصريف السيول.
- ② يوجد تأثير تكاملي إيجابي لدمج إدارة المخاطر والاستدامة على تحسين جودة التصميم وكفاءة الأداء التشغيلي للمشاريع.

الأساس النظري للدراسة

"لا تقتصر أهمية تبني نظرية النظم وإدارة المخاطر المستدامة في هذا البحث على الجانب الأكاديمي فحسب، بل تمتد لتتقاطع بشكل جوهري مع رؤية المملكة ٢٠٣٠. فمن خلال برنامج (جودة الحياة)، تسعى المملكة إلى الارتقاء بمستوى الخدمات في المدن السعودية، وتعد حماية مدينة الرياض من مخاطر السيول ركيزة أساسية للأمن الحضري.

كما يتماشى الإطار المقترح في هذه الدراسة مع (مبادرة السعودية الخضراء)، حيث تتبنى الدراسة فلسفة 'الاستدامة البيئية' في البنية التحتية، وهو ما ينسجم مع توجه الدولة نحو تقليل الآثار البيئية السلبية وتعزيز كفاءة الإنفاق الحكومي من خلال بناء مشاريع مرنة (Resilient Infrastructure) تدوم طويلاً وتتطلب صيانة أقل. إن هذا التكامل بين النظرية العلمية والتوجه الاستراتيجي للمملكة يعزز من قيمة البحث كأداة تدعم التحول الرقمي والتقني في إدارة الأزمات والكوارث الحضرية."

الفصل الثاني

الدراسات السابقة

مقدمة

تعد مراجعة الدراسات السابقة خطوة أساسية لفهم أساليب إدارة المخاطر وتطبيق مبادئ الاستدامة في مشاريع شبكات تصريف السيول، كما تساعد على تحديد الفجوات البحثية التي تعيق تطوير إطار إداري متكامل. يهدف هذا الفصل إلى استعراض الأسس النظرية والمفاهيم العلمية المرتبطة بموضوع الدراسة، والتي تشكل الإطار المعرفي لفهم العلاقة بين إدارة المخاطر ومبادئ الاستدامة في مشاريع شبكات تصريف السيول. كما يتناول الفصل مجموعة من الدراسات السابقة التي ناقشت موضوعات إدارة المخاطر في مشاريع البنية التحتية، وتطبيقات الاستدامة في أنظمة تصريف مياه الأمطار، إضافة إلى النماذج الحديثة لدعم اتخاذ القرار في إدارة المخاطر الحضرية. ويهدف تحليل هذه الدراسات إلى تحديد الاتجاهات البحثية الحديثة في هذا المجال، وتوضيح أوجه الاتفاق والاختلاف بينها، إضافة إلى تحديد الفجوة البحثية التي يسعى البحث الحالي إلى معالجتها من خلال تطوير إطار إداري متكامل يربط بين إدارة المخاطر والاستدامة لتحسين جودة تصميم وتشغيل مشاريع شبكات تصريف السيول في مدينة الرياض.

أولاً

إدارة المخاطر في مشاريع شبكات تصريف السيول

تُعد إدارة المخاطر أحد المفاهيم الأساسية في إدارة مشاريع البنية التحتية، حيث تهدف إلى تحديد المخاطر المحتملة التي قد تؤثر في نجاح المشروع، وتحليلها، وتطوير استراتيجيات مناسبة للتعامل معها وتقليل أثارها السلبية. وتكتسب إدارة المخاطر أهمية خاصة في مشاريع شبكات تصريف السيول نظراً للطبيعة المعقدة لهذه المشاريع، وارتباطها بعوامل بيئية وهيدرولوجية متعددة مثل شدة الأمطار، وطبيعة التربة، والتوسع العمراني، والتغيرات المناخية.

وقد أشارت دراسة From managing risk to increasing resilience: urban flood resilience إلى أن إدارة الفيضانات الحضرية لم تعد تقتصر على التعامل مع المخاطر بعد حدوثها، بل أصبحت تعتمد على تبني استراتيجيات استباقية تهدف إلى تعزيز مرونة البنية التحتية الحضرية وقدرتها على التكيف مع التغيرات المناخية المستقبلية. كما أوضحت الدراسة أن دمج المعرفة المكتسبة من الأحداث السابقة مع النماذج التنبؤية يساهم في تحسين كفاءة إدارة المخاطر وتقليل أثار الفيضانات في المدن.

وفي السياق ذاته، قدمت دراسة A Novel GIS-SWMM-ABM Approach for Flood Risk Assessment منهجاً متقدماً لتقييم مخاطر الفيضانات في المدن التي تعاني من نقص البيانات، من خلال دمج نظم المعلومات الجغرافية مع نماذج محاكاة شبكات التصريف. وأظهرت نتائج الدراسة أن العديد من شبكات التصريف التقليدية غير قادرة على استيعاب كميات المياه الناتجة عن العواصف المطرية الشديدة، مما يبرز الحاجة إلى تطوير أنظمة أكثر مرونة وقدرة على التكيف مع التغيرات المناخية.

كما تناولت دراسة Evaluating the impact of urban growth on stormwater drainage design تأثير النمو الحضري المتسارع على كفاءة شبكات تصريف مياه الأمطار، حيث أوضحت أن زيادة الأسطح غير المنفذة في المدن تؤدي إلى ارتفاع معدلات الجريان السطحي، مما يزيد من احتمالية حدوث الفيضانات إذا لم يتم أخذ التوسع العمراني بعين الاعتبار أثناء تصميم شبكات التصريف.

وتشير هذه الدراسات مجتمعة إلى أن إدارة المخاطر في مشاريع شبكات تصريف السيول تتطلب اعتماد منهجيات متكاملة تجمع بين التحليل الهيدرولوجي، والنماذج التنبؤية، والتخطيط الحضري المستدام، بما يساهم في تعزيز قدرة المدن على مواجهة المخاطر المرتبطة بالأمطار الغزيرة والسيول المفاجئة.

ثانياً

الاستدامة في مشاريع تصريف مياه الأمطار

شهدت العقود الأخيرة اهتماماً متزايداً بتطبيق مبادئ الاستدامة في إدارة مشاريع البنية التحتية، حيث تسعى المدن الحديثة إلى تطوير أنظمة تصريف مياه أمطار تراعي الجوانب البيئية والاقتصادية والاجتماعية، بما يساهم في تحقيق الاستخدام الأمثل للموارد الطبيعية وتقليل الآثار البيئية السلبية. وفي هذا الإطار، أجرت دراسة Sustainability Evaluation of the Stormwater Drainage System in Six Indian Cities تقييماً شاملاً لاستدامة شبكات تصريف مياه الأمطار في عدد من المدن، حيث استخدمت مجموعة من المؤشرات البيئية والهيدرولوجية لتقييم كفاءة هذه الأنظمة. وأظهرت النتائج وجود تفاوت كبير في مستوى الاستدامة بين المدن المختلفة، مما يؤكد أهمية مراعاة الخصائص المحلية عند تصميم أنظمة التصريف.

كما طورت دراسة Sustainability evaluation framework of urban stormwater drainage options إطاراً لتقييم استدامة أنظمة تصريف مياه الأمطار في البيئات الجافة باستخدام النمذجة الهيدرولوجية وتقنيات اتخاذ القرار متعددة المعايير. وأشارت الدراسة إلى أن دمج الاعتبارات البيئية والاقتصادية في عملية تصميم شبكات التصريف يمكن أن يساهم في تحسين كفاءة هذه الأنظمة وتقليل تكاليف التشغيل والصيانة على المدى الطويل.

وفي السياق ذاته، ركزت دراسة Sustainable Design of Urban Stormwater Drainage Systems على تطبيق تقنيات التنمية منخفضة التأثير (LID) وخزانات الاحتجاز كحلول مستدامة لإدارة مياه الأمطار، حيث أظهرت النتائج أن استخدام هذه التقنيات يساهم في تقليل حجم الجريان السطحي وتحسين جودة المياه، إضافة إلى تقليل الضغط على شبكات التصريف التقليدية. وتبرز هذه الدراسات أهمية دمج مبادئ الاستدامة في تصميم وتشغيل شبكات تصريف السيول، بما يساهم في تحقيق توازن بين متطلبات التنمية الحضرية والحفاظ على البيئة.

ثالثاً

البنية التحتية المرنة وإدارة الفيضانات الحضرية

تعد البنية التحتية المرنة أحد المفاهيم الحديثة في إدارة المدن، حيث تهدف إلى تطوير أنظمة حضرية قادرة على التكيف مع التغيرات المناخية والتحديات البيئية المختلفة. وفي هذا السياق، تسعى العديد من المدن إلى تطوير شبكات تصريف مياه أمطار مرنة قادرة على التعامل مع الأحداث المطرية الشديدة.

وقد استعرضت دراسة Review of Urban Flood Resilience مفهوم مرونة المدن في مواجهة الفيضانات الحضرية، حيث أشارت إلى أن تحقيق مرونة البنية التحتية يتطلب دمج مجموعة من العوامل تشمل التخطيط الحضري المستدام، وإدارة المخاطر، وتطوير السياسات المؤسسية الداعمة. وتؤكد هذه الدراسات أن تحقيق الاستدامة والمرونة في أنظمة تصريف السيول يتطلب تبني منهجيات متكاملة تجمع بين إدارة المخاطر والتخطيط الحضري المستدام والتقنيات الحديثة لإدارة المياه.

رابعاً

نماذج دعم القرار في إدارة مشاريع التصريف

تعد نماذج دعم القرار من الأدوات المهمة التي تساعد صناع القرار في اختيار الحلول التصميمية الأكثر كفاءة في مشاريع البنية التحتية. ومن بين هذه النماذج أسلوب التحليل الهرمي (AHP)، الذي يستخدم على نطاق واسع في تقييم البدائل متعددة المعايير. وقد قدمت دراسة Decision Support System for SUDS in Arid Regions نظام دعم قرار لاختيار أفضل مواقع تطبيق أنظمة الصرف الحضري المستدام في المناطق الجافة، حيث استخدمت نماذج محاكاة هيدرولوجية وتقنيات تحسين رياضية لتحديد الحلول الأكثر كفاءة. وتبرز أهمية استخدام هذه الأدوات في دعم عملية اتخاذ القرار في مشاريع تصريف السيول، خاصة في ظل تعدد العوامل المؤثرة في تصميم هذه المشاريع.

وتشير الأدبيات الحديثة في مجال إدارة مشاريع البنية التحتية إلى أن تحقيق كفاءة واستدامة هذه المشاريع يتطلب تبني منهجيات إدارية متكاملة تجمع بين إدارة المخاطر ومبادئ الاستدامة ضمن إطار شامل يدعم اتخاذ القرار ويعزز مرونة الأنظمة الحضرية في مواجهة التغيرات المناخية والضغط العمراني المتزايدة.

وعلى الرغم من وجود العديد من الدراسات التي تناولت إدارة المخاطر في مشاريع البنية التحتية، وأخرى ركزت على تطبيق مبادئ الاستدامة في أنظمة إدارة مياه الأمطار، إلا أن معظم هذه الدراسات تناولت كل محور بصورة منفصلة، مع ندرة الدراسات التي تقدم إطاراً تطبيقياً يدمج بصورة منهجية بين إدارة المخاطر ومبادئ الاستدامة في مشاريع شبكات تصريف السيول، خصوصاً في البيئات الجافة وشبه الجافة.

ويبرز من ذلك وجود فجوة بحثية تتمثل في محدودية النماذج التطبيقية التي تقدم إطاراً متكاملًا يربط بين إدارة المخاطر والاستدامة في هذا النوع من المشاريع، وهو ما تسعى هذه الدراسة إلى معالجته من خلال تطوير إطار إداري متكامل.

النموذج المفاهيمي للبحث

يعتمد النموذج المفاهيمي للدراسة على تحليل العلاقة بين إدارة المخاطر و الاستدامة في مشاريع شبكات تصريف السيول، وتأثير هذا التكامل على جودة تصميم المشاريع وكفاءة أداؤها التشغيلي. ويستند هذا النموذج إلى ما أشارت إليه العديد من الدراسات الحديثة التي تؤكد أن تحسين أداء مشاريع البنية التحتية يتطلب دمج ممارسات إدارة المخاطر مع مبادئ الاستدامة ضمن إطار إداري متكامل.

وفي ضوء مراجعة الأدبيات السابقة، تم تحديد المتغيرات الرئيسة للدراسة كما يلي:

المتغيرات المستقلة

تشمل العوامل التي يُتوقع أن تؤثر في جودة مشاريع شبكات تصريف السيول، وهي:

إدارة المخاطر وتشمل:

تحديد المخاطر المحتملة في مراحل المشروع المختلفة.

تحليل وتقييم المخاطر الهيدرولوجية والإنشائية.

وضع خطط الاستجابة والتخفيف من المخاطر.

متابعة وإدارة المخاطر أثناء التنفيذ والتشغيل.

الاستدامة وتشمل:

تطبيق الحلول المستدامة في تصميم شبكات التصريف.

استخدام تقنيات البنية التحتية الخضراء.

تقليل الآثار البيئية لمشاريع التصريف.

تحسين كفاءة استخدام الموارد المائية.

المتغير التابع

جودة مشاريع شبكات تصريف السيول وتشمل:

كفاءة التصميم الهندسي للشبكات.

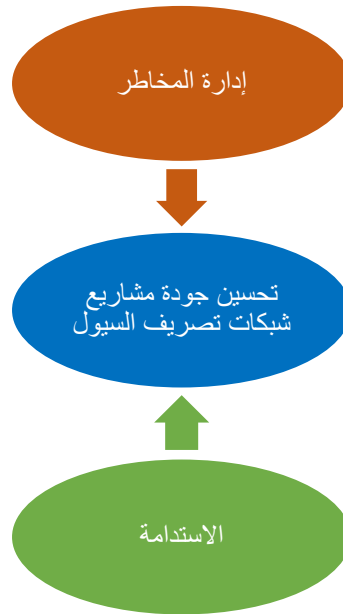
قدرة الشبكات على استيعاب مياه الأمطار الغزيرة.

كفاءة الأداء التشغيلي للشبكات.

تقليل تكاليف التشغيل والصيانة.

العلاقة بين المتغيرات

يفترض النموذج أن تحسين إدارة المخاطر وتطبيق مبادئ الاستدامة يساهمان بشكل مباشر في تحسين جودة تصميم وتشغيل مشاريع شبكات تصريف السيول. كما يفترض أن التكامل بين هذين البعدين يعزز كفاءة اتخاذ القرار في إدارة مشاريع البنية التحتية.



شكل (١): النموذج المفاهيمي للدراسة

الدراسات السابقة

1 - إدارة المخاطر في شبكات تصريف السيول والفيضانات

Rözer et al. (2022) : تناولت الدراسة التحول من إدارة المخاطر التقليدية إلى تعزيز المرونة الحضرية، مشددة على أهمية التعلم من الأحداث السابقة وتطوير أنظمة قابلة للتكيف مع الظروف المناخية المستقبلية. كما أبرزت التحديات المرتبطة بنقص البيانات وارتفاع مستوى عدم اليقين في نماذج التنبؤ بالفيضانات، مما يبرز الحاجة إلى أطر أكثر تكاملاً لإدارة المخاطر.

Ahmad et al. (2024) : قدمت الدراسة منهجاً متطوراً يجمع بين نظم المعلومات الجغرافية ونمذجة SWMM والنماذج الإحصائية لتقييم مخاطر السيول في المدن ذات نقص البيانات. وأظهرت النتائج أن شبكات التصريف التقليدية غير قادرة على التعامل مع الفيضانات حتى في العواصف الصغيرة، مؤكدة ضرورة دمج تقنيات الحد من الجريان السطحي لتعزيز القدرة الاستيعابية للشبكات.

Abd-Elhamid et al. (2020) : درست تأثير النمو الحضري وزيادة الأسطح غير المنفذة على معدلات الجريان السطحي، موضحة أن تجاهل التوسع العمراني يزيد من مخاطر الفيضانات ويرفع تكاليف الإنشاء والصيانة. كما قدمت الدراسة معادلات تنبؤية لتحسين دقة التقديرات الهيدرولوجية وتقليل المخاطر المرتبطة بتصميم الشبكات.

التقييم: على الرغم من مساهمة هذه الدراسات في تطوير أدوات تقييم المخاطر وفهم سلوك الفيضانات، إلا أنها ركزت بدرجة كبيرة على الجوانب التقنية والنمذجة، دون دمج منهجي المبادئ الاستدامة أو تقييم أثر القرارات التصميمية على جودة الأداء طويل الأمد، لا سيما في البيئات الجافة.

2 - الاستدامة وتطبيقات التنمية المستدامة

Vishwakarma et al. (2023) : أجرت تقييمًا شاملاً لاستدامة شبكات تصريف السيول في ست مدن هندية باستخدام مؤشرات بيئية وهيدرولوجية وبنوية. وأظهرت النتائج فروقاً كبيرة في الاستدامة بين المدن، مما يؤكد أهمية موازنة تصميم الشبكات مع المعطيات المحلية. كما أوصت بتحديث البنية التحتية ودمج مبادئ الاستدامة في التخطيط الحضري.

Alhumaid et al. (2018) : طوروا إطاراً لتقييم استدامة أنظمة التصريف في البيئات الجافة باستخدام نماذج محاكاة هيدرولوجية ومنهجيات اتخاذ القرار متعددة المعايير. وأظهرت النتائج أن تقنيات مثل Micro-tunneling تعد من أكثر الحلول فعالية واستدامة في المدن الجافة، بما فيها مدن المملكة العربية السعودية.

(Li et al. (2019) ركزت الدراسة على تطبيق تقنيات التطوير منخفض الأثر (LID) وخزانات الاحتجاز لتحسين أداء شبكات التصريف، وخلصت إلى أن دمج هذه التقنيات يساهم في خفض حجم الجريان السطحي وتحسين جودة المياه، مع تقديم حلول مرنة قابلة للتطبيق في المدن ذات المخاطر الهيدرولوجية العالية.

التقييم: رغم أن هذه الدراسات قدمت أطراً لتقييم استدامة شبكات تصريف السيول، إلا أنها لم تربط بشكل مباشر بين تطبيق مبادئ الاستدامة وإدارة المخاطر التشغيلية، كما لم تحلل تأثير هذا التكامل على جودة التصميم وكفاءة التشغيل في المشاريع الحضرية.

3 - نماذج دعم القرار والإدارة المتكاملة

(Almalki (2020 : قدم نظام دعم قرار لتحديد أفضل حلول SUDS في المناطق الجافة باستخدام نمذجة SWMM وخوارزميات تحسين، وأكد على فعالية خيارات مثل الرصف المنفذ والحدائق المطرية في تقليل الجريان السطحي. وأشارت الدراسة إلى الحاجة لخيارات أكثر مرونة للتكيف مع التأثيرات المناخية المستقبلية.

(Gao et al. (2022 : استعرضت مفهوم المرونة الحضرية من منظور شامل يدمج العوامل المؤسسية والاجتماعية، مؤكدة على ضرورة وجود أدوات تقييم دقيقة تدمج السياسات المحلية مع الاستدامة وإدارة المخاطر.

التقييم: توضح هذه الدراسات أهمية أدوات دعم القرار في تحسين اختيار البدائل التصميمية، إلا أنها غالباً ما تُطبق بشكل جزئي، دون إطار إداري شامل يدمج بين إدارة المخاطر والاستدامة لدعم جودة تصميم مشاريع تصريف السيول.

4 - دراسات مراجعة شاملة

(Gao et al. (2022 : قدمت مراجعة نقدية لعدة عقود من الدراسات المتعلقة بإدارة شبكات تصريف السيول، مع تركيز على الفيضانات الحضرية السطحية. وأظهرت الدراسة أن الإدارة المتكاملة للفيضانات تتطلب ربط أنظمة الصرف بالتخطيط الحضري، وأن غياب هذا الربط يؤدي إلى تكرار أزمات السيول وتداخل المشكلات في المدن.

مصفوفة تحليل الدراسات السابقة

الباحث	سنة الدراسة	منهجية الدراسة	أهم النتائج	علاقة الدراسة بالبحث الحالي
Evaluating the impact of urban growth on stormwater drainage design	2020	تحليل هيدرولوجي وتأثير النمو الحضري	النمو العمراني يزيد الجريان السطحي ويؤثر على كفاءة شبكات التصريف	يرز أهمية مراعاة المخاطر الهيدرولوجية في تصميم الشبكات
A Novel GIS-SWMM-ABM Approach for Flood Risk Assessment	2024	دمج GIS و SWMM لتقييم مخاطر الفيضانات	النماذج المدمجة تحسن تقييم مخاطر الفيضانات في المدن	يدعم أهمية استخدام أدوات تحليل متقدمة في إدارة المخاطر
Sustainability evaluation framework of urban stormwater drainage options	2018	تقييم الاستدامة باستخدام النمذجة الهيدرولوجية وتحليل متعدد المعايير	تطبيق الاستدامة يقلل تكاليف التشغيل ويحسن كفاءة الأنظمة	يربط الاستدامة بتصميم شبكات التصريف
Decision Support System for SUDS in Arid Regions	2020	نظام دعم قرار لاختيار أنظمة SUDS	استخدام نماذج دعم القرار يحسن اختيار الحلول المستدامة	يدعم استخدام أدوات اتخاذ القرار مثل AHP
Review of Urban Flood Resilience	2022	مراجعة علمية منهجية	تعزيز مرونة المدن يتطلب دمج إدارة المخاطر والتخطيط الحضري	يدعم مفهوم المرونة الحضرية
Sustainable Design of Urban Stormwater Drainage Systems	2019	تصميم مستدام باستخدام تقنيات LID	تقنيات LID تقلل الجريان السطحي وتحسن جودة المياه	يدعم الحلول المستدامة
From managing risk to increasing resilience: urban flood resilience	2022	مراجعة علمية لمفهوم مرونة الفيضانات	التحول من إدارة المخاطر إلى تعزيز المرونة الحضرية	يربط إدارة المخاطر بالمرونة
Sustainability Evaluation of the Stormwater Drainage System in Six Indian Cities	2023	تقييم استدامة شبكات التصريف	تفاوت مستوى الاستدامة بين المدن	يرز أهمية تقييم الاستدامة

جدول ١: تحليل الدراسات السابقة

الإطار النظري

مقدمة

يهدف الإطار الإداري المتكامل المقترح إلى ربط إدارة المخاطر بمبادئ الاستدامة في مشاريع شبكات تصريف السيول، لضمان:

١. تحسين جودة التصميم الهندسي.
٢. تعزيز الأداء التشغيلي للشبكات.
٣. تقليل التأثيرات البيئية والهيدرولوجية على المدى الطويل.
٤. دعم اتخاذ قرارات مستندة إلى البيانات والتحليل متعدد المعايير.

يعتمد الإطار على مبادئ إدارة المخاطر المستدامة ونظرية النظم، ويستفيد من أدوات مثل AHP و SUDS/LID لتقييم الخيارات التصميمية بشكل علمي ومرن. كما يراعي رؤية المملكة ٢٠٣٠ من خلال التركيز على الاستدامة والمرونة والتقليل من الأثر البيئي.

عناصر الإطار الإداري المتكامل

يتكون الإطار من أربعة مستويات مترابطة:

١. تحديد المخاطر والتهديدات

- المخاطر الهيدرولوجية: غزارة الأمطار، الفيضانات، التغيرات المناخية.
- المخاطر الفنية: ضعف المواد، التصميم غير المطابق للمعايير.
- المخاطر الاقتصادية: تجاوز التكاليف، صعوبة الصيانة.
- المخاطر الاجتماعية: تأثير الفيضانات على المجتمع وسلامته.

٢. تقييم المخاطر باستخدام أدوات علمية

- استخدام AHP لتحديد الأولويات بين المخاطر والخيارات التصميمية.
- دمج البيانات الميدانية، نظم المعلومات الجغرافية (GIS)، والنماذج الهيدرولوجية (SWMM).

٣. تصميم الحلول المستدامة

- الحلول البيئية: تقنيات التنمية منخفضة التأثير (LID)، المسطحات الخضراء، معالجة مياه الأمطار.
- الحلول الاقتصادية: خزانات الاحتجاز، تحسين كفاءة التشغيل والصيانة، استراتيجيات خفض التكلفة.
- الحلول الاجتماعية: تعزيز السلامة العامة، رضا المجتمع، قابلية التطبيق والتنفيذ.

٤. المتابعة والتقييم والتحسين المستمر

- إنشاء قاعدة بيانات دورية لتحديث المخاطر والنتائج.
- تقييم فعالية الحلول المستدامة على المدى الطويل.
- تعديل الإجراءات بناءً على النتائج لتحسين الأداء والاستدامة.

خطوات تطبيق الإطار

١. تحديد المخاطر: حصر جميع المخاطر المحتملة للمشروع (هيدرولوجية، فنية، اقتصادية، اجتماعية).
٢. تصنيف المخاطر: ترتيبها حسب الأهمية باستخدام AHP، مع الأخذ في الاعتبار الوزن النسبي لكل معيار:
 - بيئي: ٤٠%
 - اقتصادي: ٣٥%
 - اجتماعي: ٢٥%
٣. تطوير الحلول المستدامة: اعتماد SUDS، LID، خزانات الاحتجاز، وخطط الصيانة الوقائية.
٤. تنفيذ الحلول: دمجها في التصميم والبناء والتشغيل وفقاً للمعايير المستدامة.
٥. المتابعة والتقييم: مراقبة أداء الشبكات، تحديث قواعد البيانات، وإجراء تحسينات مستمرة.
٦. تقديم التوصيات: صياغة توصيات عملية لدعم صناع القرار وتحقيق استدامة طويلة الأمد.

مصفوفة العلاقة بين المخاطر والحلول المستدامة

نوع الخطر	التأثير المحتمل	الحل المقترح	(AHP) الوزن النسبي
غزارة الأمطار	فيضانات حضرية	أنظمة الصرف الحضري المستدام SUDS	0.40
الفيضانات المحلية	أضرار بالبنية التحتية	خزانات الاحتجاز Detention Tanks	0.35
تلوث مياه الأمطار	انخفاض جودة المياه	تقنيات التنمية منخفضة التأثير LID	0.25
ضعف المواد أو التصميم	فشل هيكلي	تحسين التصميم الهندسي وفق معايير الاستدامة	0.30

جدول ٢، يظهر الجدول كيف يربط الإطار بين المخاطر الأساسية والحلول المستدامة باستخدام أوزان AHP لتحديد أولويات التنفيذ.

مصفوفة تقييم وإدارة المخاطر المستدامة في مشاريع شبكات تصريف السيول

نوع الخطر	وصف الخطر	التأثير المحتمل	الحل المستدام المقترح
الأمطار الغزيرة	زيادة شدة الهطول المطري	فيضانات حضرية	تطبيق تقنيات LID
النمو الحضري السريع	زيادة الأسطح غير المنفذة	ارتفاع الجريان السطحي	إنشاء خزانات احتجاز
ضعف الصيانة	انسداد قنوات التصريف	انخفاض كفاءة الشبكة	برامج صيانة مستدامة
التغير المناخي	تغير نمط الهطول المطري	عدم كفاءة التصميمات التقليدية	تصميم شبكات مرنة
نقص البيانات الهيدرولوجية	ضعف التنبؤ بالمخاطر	قرارات تصميم غير دقيقة	استخدام نظم GIS والنماذج الهيدرولوجية

جدول ٣

الفصل الثالث

منهجية الدراسة

مقدمة.

اعتمدت هذه الدراسة على المنهج الوصفي التحليلي (Descriptive-Analytical Method)، نظرًا لملاءمته لطبيعة البحث وأهدافه في تحليل العلاقة بين إدارة المخاطر، الاستدامة، وجودة مشاريع شبكات تصريف السيول. كما تم تبني منهجية الطرق المختلطة (Mixed-Methods Approach)، لدمج التحليل الكمي والنوعي وتحقيق فهم شامل ودقيق للواقع الميداني.

المنهجية وطرق البحث.

أولاً: جمع البيانات

البيانات الكمية: تم جمع البيانات الكمية من خلال استبيان موجه للمهندسين والمختصين والمستشارين والمقاولين العاملين في مشاريع تصريف السيول في المدن الرئيسية بالمملكة العربية السعودية (الرياض)، اشتمل الاستبيان على أربعة محاور رئيسية: إدارة المخاطر، الاستدامة (البيئية، الاقتصادية، والاجتماعية)، الأداء والجودة، والعلاقة التكاملية بين إدارة المخاطر والاستدامة.

البيانات النوعية: تم إجراء مقابلات شبه منظمة مع مجموعة من الخبراء ومديري المشاريع والجهات الحكومية ذات العلاقة، حيث ركزت المقابلات على التحديات والفرص لتطبيق مبادئ إدارة المخاطر والاستدامة، والعقبات التنظيمية والفنية التي تواجه مشاريع تصريف السيول.

ثانياً: تحليل البيانات الكمية باستخدام Excel و AHP

تحليل البيانات الأساسية باستخدام Excel:

إدخال جميع إجابات الاستبيان في جدول Excel، حساب المتوسطات (Mean) والانحرافات المعيارية (Standard Deviation) لتحديد مستوى التطبيق العام لكل محور. استخدام معاملات الارتباط (Correlation) وتحليل الانحدار (Regression) لدراسة العلاقة بين إدارة المخاطر والاستدامة والأداء والجودة.

تطبيق: AHP (Analytic Hierarchy Process)

يعد أسلوب التحليل الهرمي AHP أحد أساليب اتخاذ القرار متعددة المعايير، حيث يستخدم لتحديد الأوزان النسبية للمعايير المختلفة من خلال المقارنة الزوجية بينها.

وقد طور هذه الطريقة العالم Thomas L. Saaty.

تحديد المعايير: بيئية: تقليل مخاطر الفيضانات، تحسين جودة المياه، الحد من التأثير البيئي.

اقتصادية: تكلفة الإنشاء، تكلفة التشغيل والصيانة، كفاءة استخدام الموارد.

اجتماعية: السلامة العامة، رضا المجتمع، قابلية التطبيق والتنفيذ.

بناء الهيكل الهرمي: الهدف الرئيسي في الأعلى، المعايير في المستوى الأوسط، الخيارات المختلفة مثل أنواع SUDS أو مواقع التنفيذ في المستوى الأدنى.

المقارنات الثنائية: إجراء مقارنات بين المعايير باستخدام مقياس ١-٩ لتحديد الأهمية النسبية لكل معيار.

حساب الأوزان النهائية: استخدام Excel لاستخراج الأوزان لكل معيار وخيار، وتحديد الخيار الأمثل بناءً على مجموع الأوزان.

المعيار	(%) الوزن النسبي
بيئي (تقليل مخاطر الفيضانات، جودة المياه، الحد من التأثير البيئي)	40%
اقتصادي (تكلفة الإنشاء، تكلفة التشغيل والصيانة، كفاءة استخدام الموارد)	35%
اجتماعي (السلامة العامة، رضا المجتمع، قابلية التطبيق)	25%
المجموع	100%

جدول ٤ الأوزان النسبية لمعايير الاستدامة باستخدام أسلوب التحليل الهرمي (AHP)

ثالثاً: تحليل البيانات النوعية

تم دمج النتائج النوعية مع البيانات الكمية لتفسير العلاقة بين إدارة المخاطر والاستدامة والأداء، وتقديم توصيات عملية قابلة للتطبيق.

مصفوفة المقارنة الزوجية

المعايير	البيئي	الاقتصادي	الاجتماعي
البيئي	1	3	2
الاقتصادي	1/3	1	1/2
الاجتماعي	1/2	2	1

جدول ٥

رابعاً: الدمج والتفسير

تم استخدام النتائج الكمية لتحديد مستويات التطبيق والعلاقة بين المتغيرات، بينما ساعدت البيانات النوعية على توضيح أسباب الفروق والتحديات العملية.

أتاح تطبيق AHP تقديم تقييم منهجي وشفاف للخيارات متعددة المعايير، مما يساهم في اتخاذ قرارات أكثر دقة وموضوعية عند تصميم وتطوير مشاريع شبكات تصريف السيول.

خامساً: مزايا المنهجية

دمج البيانات الكمية والنوعية بطريقة متكاملة لرفع موثوقية النتائج.

تبسيط التحليل باستخدام برنامج Excel فقط مع إمكانية توظيف AHP لتقييم الخيارات متعددة المعايير.

تقديم إطار واضح لدعم صناع القرار في تحسين أداء مشاريع تصريف السيول وتعزيز استدامتها وكفاءتها.

تم استخدام أسلوب التحليل الهرمي (AHP) لتحديد الأوزان النسبية لمعايير الاستدامة المستخدمة في تقييم الحلول المقترحة لإدارة المخاطر في مشاريع شبكات تصريف السيول.

أوزان معايير AHP لتقييم الخيارات المستدامة

المعيار	(%) الوزن النسبي
بيئي (تقليل مخاطر الفيضانات، جودة المياه، الحد من التأثير البيئي)	40%
اقتصادي (تكلفة الإنشاء، تكلفة التشغيل والصيانة، كفاءة استخدام الموارد)	35%
اجتماعي (السلامة العامة، رضا المجتمع، قابلية التطبيق)	25%
المجموع	100%

جدول ٦

يوضح الجدول أن المعيار البيئي حصل على أعلى وزن نسبي بنسبة ٤٠%، مما يعكس أهمية تقليل مخاطر الفيضانات وتحسين جودة المياه في تصميم أنظمة تصريف السيول المستدامة.

مجتمع البحث

"يتمثل مجتمع البحث الحالي في جميع الكوادر الهندسية والفنية والإدارية العاملة والمشرفة على مشاريع شبكات تصريف السيول في مدينة الرياض. ويشمل هذا المجتمع الممارسين في القطاعات التالية:

١. القطاع الحكومي: المهندسون والمسؤولون في أمانة منطقة الرياض، وزارة الشؤون البلدية والقروية والإسكان، والهيئة الملكية لمدينة الرياض.
 ٢. القطاع الخاص: المهندسون الاستشاريون، ومديرو المشاريع في شركات المقاولات والهندسة المصنفة والمنفذة لمشاريع البنية التحتية والمجاري المائية.
 ٣. الجانب الأكاديمي والبحثي: الخبراء المتخصصون في هندسة المياه والبيئة الذين قدموا استشارات فنية لهذه المشاريع.
- ويتميز هذا المجتمع بامتلاكه المعرفة العميقة بالتحديات الميدانية والمخاطر الهيدرولوجية والبيئية التي تواجه العاصمة، مما يجعل استطلاع آرائهم ركيزة أساسية لبناء الإطار المتكامل لإدارة المخاطر والاستدامة المقترح في هذه الدراسة."

حدود البحث

الحدود الموضوعية:

تقتصر الدراسة على بحث العلاقة التكاملية بين إدارة المخاطر ومبادئ الاستدامة وأثرهما في تحسين جودة مشاريع شبكات تصريف السيول. ولا تتطرق الدراسة للجوانب الإنشائية التفصيلية (كالتصميم الهيكلي للخرسانة) إلا في سياق الإدارة والجودة الاستراتيجية.

الحدود المكانية:

تطبق هذه الدراسة على مشاريع شبكات تصريف السيول في مدينة الرياض، المملكة العربية السعودية، نظراً لخصوصية الطبيعة الهيدرولوجية والتوسع العمراني المتسارع في العاصمة.

الحدود الزمانية:

تم إجراء الدراسة الميدانية وجمع البيانات وتحليلها خلال العام الدراسي ٢٠٢٥-٢٠٢٦ م.

الحدود البشرية:

تستهدف الدراسة المهندسين والممارسين والخبراء ذوي العلاقة المباشرة بمشاريع السيول في القطاعات الحكومية والخاصة بمدينة الرياض، والذين بلغت استجاباتهم المكتملة (٦٤) مشاركاً.

توزيع المشاركين حسب الخبرة العملية والمؤهل العلمي

الخبرة العملية	عدد المشاركين	النسبة المئوية
أقل من ٥ سنوات	12	18.8%
سنوات 5 – 10	20	31.3%
أكثر من ١٠ سنوات	32	50%
المجموع	64	100%

جدول ٧ تشير النتائج إلى أن نصف المشاركين تقريباً يمتلكون خبرة عملية تزيد عن عشر سنوات بنسبة ٥٠%، مما يعكس امتلاك العينة لخبرات

مهنية كافية في مجال مشاريع البنية التحتية وإدارة المخاطر.

جدول ٨

النسبة المئوية	عدد المشاركين	المؤهل العلمي
70.3%	45	بكالوريوس
26.6%	17	ماجستير
3.1%	2	دكتوراه
100%	64	المجموع

يوضح الجدول أن غالبية المشاركين يحملون درجة البكالوريوس بنسبة ٧٠,٣%، يلهم الحاصلون على درجة الماجستير بنسبة ٢٦,٦%، بينما تمثل نسبة الحاصلين على الدكتوراه ٣,١%. ويعكس ذلك أن العينة تتكون في معظمها من مهندسين ومختصين عاملين في المجال التطبيقي.

الفصل الرابع

النتائج والتوصيات

مقدمة

يستعرض هذا الفصل نتائج الدراسة الميدانية التي تم الحصول عليها من تحليل استجابات المشاركين، وربطها بأهداف البحث وفرضياته التي تناولت تكامل المخاطر والاستدامة.

تحليل البيانات

ظهر التحليل الوصفي أن العينة تتمتع بمؤهلات علمية عالية (٩٥,٤% بكالوريوس فأعلى)، وخبرات تراكمية كبيرة في قطاع الهندسة والمشاريع بمدينة الرياض، مما يعزز من قيمة النتائج المستخلصة، تم تحليل استجابات المشاركين لمحاو الدراسة باستخدام المتوسط الحسابي والانحراف المعياري لتحديد مستوى الاتفاق على العبارات المرتبطة بإدارة المخاطر والاستدامة في مشاريع شبكات تصريف السيول.

متوسطات محاور الاستبيان والانحراف المعياري

المحور	المتوسط (Mean)	الانحراف المعياري (SD)
إدارة المخاطر	4.25	0.48
الاستدامة	4.08	0.52
العلاقة التكاملية	4.32	0.45
الأداء والجودة	4.15	0.50

جدول ٩

النتائج

عرض النتائج (تحليل المحاور الرئيسية):

١. إدارة المخاطر: متوسط ٤,٢٥ (إدراك عميق للمخاطر الهيدرولوجية). يشير هذا المتوسط المرتفع إلى إدراك المهندسين لأهمية إدارة المخاطر في مشاريع تصريف السيول، وهو ما يتفق مع نتائج دراسة (Rözer et al. (2022).

٢. مبادئ الاستدامة: متوسط ٤,٠٨ (قناعة بالحلول الصديقة للبيئة).

٣. العلاقة التكاملية: متوسط ٤,٣٢ (إثبات الفرضية الرئيسية بأن التكامل يرفع الجودة).

مصنوفة المخاطر والحلول المستدامة وفق أوزان AHP ،

نوع المخاطر	الحل المستدام المقترح	AHP الوزن النسبي
غزارة الأمطار	SUDS أنظمة الصرف الحضري المستدام	0.40
الفيضانات المحلية	Detention Tanks خزانات الاحتجاز	0.35
تلوث مياه الأمطار	LID تقنيات التنمية منخفضة التأثير	0.25
ضعف المواد أو التصميم غير المتوافق	تحسين التصميم الهندسي وفق معايير الاستدامة	0.30

جدول ١٠

يوضح الجدول مصنوفة الربط بين المخاطر الرئيسية المرتبطة بمشاريع شبكات تصريف السيول والحلول المستدامة المقترحة لمعالجتها، وذلك بالاعتماد على الأوزان النسبية الناتجة عن تطبيق أسلوب التحليل الهرمي (AHP) وتبين النتائج أن تطبيق أنظمة الصرف الحضري المستدام (SUDS) يعد من أكثر الحلول فاعلية في التعامل مع مخاطر غزارة الأمطار، في حين تسهم تقنيات التنمية منخفضة التأثير (LID) في الحد من تلوث مياه الأمطار وتعزيز الاستدامة البيئية

التوصيات

في ضوء النتائج التي توصلت إليها الدراسة بشأن وجود علاقة إيجابية بين تكامل إدارة المخاطر ومبادئ الاستدامة وبين تحسين جودة التصميم وكفاءة الأداء التشغيلي لمشاريع شبكات تصريف السيول، توصي الدراسة بما يلي:

١. اعتماد الإطار الإداري المتكامل لإدارة المخاطر والاستدامة الذي تقترحه الدراسة كمرجع إرشادي ضمن آليات التخطيط والتنفيذ لمشاريع تصريف السيول، وإدراجه ضمن الأدلة التنظيمية والعقود الخاصة بمشاريع البنية التحتية لدى أمانة منطقة الرياض، بما يساهم في تحسين جودة التصميم وتعزيز كفاءة الأداء التشغيلي للمشاريع.
٢. تضمين منهجيات تحليل القرار متعددة المعايير مثل أسلوب التحليل الهرمي (AHP) في دراسات الجدوى والتخطيط لمشاريع شبكات تصريف السيول، بما يساعد صناع القرار على اختيار البدائل التصميمية الأكثر كفاءة واستدامة من الناحية البيئية والاقتصادية والاجتماعية.
٣. تطبيق تقنيات البنية التحتية الخضراء والمرنة في تصميم شبكات تصريف السيول، مثل أنظمة التنمية منخفضة التأثير (LID) وأنظمة الصرف الحضري المستدام (SUDS)، بهدف تقليل الجريان السطحي وتحسين إدارة مياه الأمطار والحد من الضغط على الشبكات التقليدية.
٤. إنشاء قاعدة بيانات متكاملة للمخاطر الهيدرولوجية في مدينة الرياض، تتضمن معلومات عن شدة الأمطار وأنماط الجريان السطحي ومناطق تجمع المياه، بما يدعم عمليات التخطيط والتصميم ويعزز قدرة الجهات المعنية على إدارة المخاطر بكفاءة أعلى.
٥. تعزيز التنسيق المؤسسي بين الجهات الحكومية ذات العلاقة بالبنية التحتية الحضرية لضمان تكامل الجهود في تخطيط وتنفيذ مشاريع تصريف السيول، وتحقيق الاستخدام الأمثل للموارد وتحسين كفاءة إدارة المشاريع.
٦. تطوير برامج تدريبية متخصصة للكوادر الهندسية والفنية في مجالات إدارة المخاطر والاستدامة في مشاريع البنية التحتية، بما يساهم في رفع مستوى الوعي المبني وتعزيز تطبيق الممارسات الحديثة في إدارة مشاريع تصريف السيول.

الخاتمة

خلصت الدراسة إلى أن دمج إدارة المخاطر مع مبادئ الاستدامة يمثل أحد أهم العوامل المؤثرة في تحسين جودة مشاريع شبكات تصريف السيول في المدن الحضرية. وأظهرت النتائج وجود علاقة إيجابية ذات دلالة إحصائية بين تطبيق ممارسات إدارة المخاطر والاستدامة وبين تحسين الأداء التشغيلي للشبكات. كما بينت الدراسة أن استخدام أدوات دعم القرار مثل أسلوب التحليل الهرمي (AHP) يسهم في اختيار الحلول التصميمية الأكثر كفاءة واستدامة. وبناءً على ذلك، يقدم البحث إطارًا إداريًا متكاملًا يمكن أن يسهم في تعزيز مرونة البنية التحتية وتقليل آثار المخاطر الهيدرولوجية في مدينة الرياض.

المراجع

المراجع العربية

- رؤية المملكة ٢٠٣٠. (٢٠١٦). برنامج جودة الحياة: تطوير المدن السعودية وتحقيق الاستدامة البيئية. وثيقة رسمية.
- أمانة منطقة الرياض. (٢٠١٧). الدليل الفني لتصميم شبكات تصريف السيول في مدينة الرياض. الرياض، المملكة العربية السعودية.
- وزارة الشؤون البلدية والقروية والإسكان. (٢٠١٩). كود البناء السعودي للمنشآت المائية والبنية التحتية. الرياض، السعودية.
- القحطاني، محمد. (٢٠٢٠). إدارة المخاطر في مشاريع البنية التحتية: دراسة تطبيقية على المدن السعودية. مجلة الإدارة الهندسية، ١٢(٣)، ٤٥-٦٧.
- الزهراني، أحمد. (٢٠٢٢). تطبيقات التنمية المستدامة في إدارة المشاريع الإنشائية الكبرى. المجلة الدولية للأبحاث الهندسية، ٥(٢)، ١١٢-١٣٠.

المراجع الأجنبية

- Abd-Elhamid, H. F., Zeleňáková, M., Vranayová, Z., & Fathy, I. (2020). Evaluating the impact of urban growth on the design of storm water drainage systems. *Water (Switzerland)*, 12(6), 1–22. <https://doi.org/10.3390/W12061572>
- Ahmad, S., Jia, H., Ashraf, A., Yin, D., Chen, Z., Ahmed, R., & Israr, M. (2024). A Novel GIS-SWMM-ABM Approach for Flood Risk Assessment in Data-Scarce Urban Drainage Systems. *Water (Switzerland)*, 16(11). <https://doi.org/10.3390/w16111464>
- Alhumaid, M., Ghumman, A. R., Haider, H., Al-Salamah, I. S., & Ghazaw, Y. M. (2018). Sustainability evaluation framework of urban stormwater drainage options for arid environments using hydraulic modeling and multicriteria decision-making. *Water (Switzerland)*, 10(5). <https://doi.org/10.3390/w10050581>
- Almalki, A. S. (2020). *A decision support system for optimum selection and placement of sustainable urban drainage system (SUDS) in arid and semi-arid region*. May. <http://theses.bham.ac.uk/id/eprint/11032/>
- Gao, M., Wang, Z., & Yang, H. (2022). Review of Urban Flood Resilience: Insights from Scientometric and Systematic Analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(14). <https://doi.org/10.3390/ijerph19148837>
- Li, F., Yan, X. F., & Duan, H. F. (2019). Sustainable Design of Urban Stormwater Drainage Systems by Implementing Detention Tank and LID Measures for Flooding Risk Control and Water Quality Management. *Water Resources Management*, 33(9), 3271–3288. <https://doi.org/10.1007/s11269-019-02300-0>
- Rözer, V., Mehryar, S., & Surminski, S. (2022). From managing risk to increasing resilience: a review on the development of urban flood resilience, its assessment and the implications for decision making. *Environmental Research Letters*, 17(12). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aca8bc>
- Vishwakarma, R. K., Joshi, H., & Goonetilleke, A. (2023). Sustainability Evaluation of the Stormwater Drainage System in Six Indian Cities. *Sustainability*, 15(20), 14906. <https://doi.org/10.3390/su152014906>

الملاحق

الاستبيان

يشتمل هذا الملحق على نسخة من أداة الدراسة (الاستبيان) التي تم تطويرها واستخدامها لجمع البيانات الميدانية المتعلقة بموضوع الدراسة، والتي تهدف إلى تقييم مستوى تطبيق مفاهيم إدارة المخاطر والاستدامة في مشاريع شبكات تصريف السيول. وقد تم إعداد الاستبيان بالاستناد إلى الإطار النظري للدراسة ومراجعة الأدبيات العلمية والدراسات السابقة ذات العلاقة بمجالات إدارة المخاطر، والاستدامة، وإدارة مشاريع البنية التحتية، بما يضمن شمولية البنود وملاءمتها لطبيعة المشاريع محل الدراسة.

ويتكون الاستبيان من مجموعة من العبارات التي تقيس آراء وتصورات المشاركين حول مدى تطبيق ممارسات إدارة المخاطر ومبادئ الاستدامة خلال مراحل التخطيط والتصميم والتنفيذ في مشاريع شبكات تصريف السيول. كما يتضمن الاستبيان مجموعة من الأسئلة التعريفية المتعلقة بالخصائص المهنية والديموغرافية للمشاركين، مثل التخصص، وسنوات الخبرة، وجهة العمل، والمؤهل العلمي، والدور الوظيفي، وذلك بهدف تحليل البيانات وربط النتائج بخصائص العينة المشاركة في الدراسة.

وقد تم اعتماد مقياس ليكرت الخماسي لقياس درجة اتفاق المشاركين مع عبارات الاستبيان، حيث تتدرج الإجابات بين (لا أوافق بشدة) و(أوافق بشدة)، بما يتيح إمكانية إجراء التحليل الإحصائي المناسب واستخلاص النتائج التي تسهم في تحقيق أهداف الدراسة والإجابة عن أسئلتها البحثية.

ويعرض الجدول التالي نموذج الاستبيان المستخدم في هذه الدراسة.

إطار إداري متكامل لإدارة المخاطر والاستدامة في مشاريع شبكات تصريف السيول					
تعليمات للمشارك:					
عدد المشاركين	١. الهدف من هذا الاستبيان هو تقييم مستوى تطبيق مفاهيم إدارة المخاطر والاستدامة في مشاريع شبكات تصريف السيول.				
	٢. يرجى الإجابة على جميع البنود بأمانة وموضوعية.				
	٣. استخدم المقياس التالي للإجابة على كل بند: أوافق بشدة ، لا أوافق ، محايد ، أوافق ، أوافق بشدة				
0	التخصص ، سنوات الخبرة ، جهة العمل ، المؤهل العلمي ، الدور الوظيفي				
	أوافق بشدة	أوافق	محايد	لا أوافق	لا أوافق بشدة
إدارة المخاطر (Risk Management)					
R1					يتم تحديد المخاطر المحتملة في مشاريع شبكات تصريف السيول في مرحلة مبكرة من التصميم
R2					تؤخذ المخاطر الهيدرولوجية (غزارة الأمطار، تغير المناخ) في الاعتبار بشكل منهجي أثناء التصميم
R3					يتم تقييم المخاطر الإنشائية (فشل المنشآت، ضعف المواد) باستخدام أدوات تحليل معتمدة
R4					توجد خطط مراقبة ومعتمدة للتعامل مع المخاطر أثناء تنفيذ مشاريع تصريف السيول
R5					يتم تحديث سجل المخاطر بشكل دوري خلال مراحل المشروع المختلفة
R6					يتم إشراك أصحاب المصلحة في عملية تحديد وتقييم المخاطر
R7					تسهم إدارة المخاطر في تقليل الأضرار التشغيلية لشبكات تصريف السيول
R8					لا تؤثر إجراءات إدارة المخاطر بشكل واضح على أداء شبكات تصريف السيول
الاستدامة (Sustainability)					
البعد البيئي					
S1					يراعي تصميم شبكات تصريف السيول تقليل الأثر البيئي على المناطق المحيطة
S2					يتم استخدام حلول صديقة للبيئة (البنية التحتية الخضراء) متى ما كان ذلك ممكناً
S3					يتم الأخذ في الاعتبار تأثير التغير المناخي على استدامة الشبكات على المدى الطويل
البعد الاقتصادي					
S4					يساهم التصميم المستدام في تقليل تكاليف التشغيل والصيانة على المدى الطويل
S5					يتم تقييم الجدوى الاقتصادية للحلول المستدامة قبل اعتمادها
S6					يتم تحقيق توازن بين التكلفة الأولية للمشروع والعائد طويل الأمد
البعد الاجتماعي					
S7					يراعي تصميم شبكات تصريف السيول سلامة المستخدمين والمجتمع المحلي
S8					يتم إشراك المجتمع أو الجهات المحلية بشكل منهجي في مراحل التخطيط لمشاريع تصريف السيول
S9					تسهم شبكات تصريف السيول المستدامة في تحسين جودة الحياة في المناطق الحضرية
الأداء والجودة (Performance & Quality)					
P1					يحقّق تصميم شبكات تصريف السيول المتطلبات الفنية والمعايير المعتمدة
P2					تعمل شبكات تصريف السيول بكفاءة خلال حالات الأمطار الغزيرة
P3					يتم تقليل حالات الانسداد أو الفشل التشغيلي للشبكات
P4					يسهم التصميم الجيد في سهولة الصيانة والتشغيل
P5					تتحقق الشبكات الحالية مستوى مقبولاً من الاعتمادية التشغيلية
P6					تستجيب شبكات تصريف السيول بكفاءة خلال حالات الطوارئ المطرية
التكامل بين إدارة المخاطر والاستدامة (Integration)					
I1					يتم دمج إدارة المخاطر مع مبادئ الاستدامة أثناء تصميم مشاريع تصريف السيول
I2					يسهم هذا التكامل في تحسين جودة التصميم مقارنة بتطبيق كل منهما بشكل منفصل
I3					يؤدي دمج إدارة المخاطر والاستدامة إلى تعزيز مرونة شبكات تصريف السيول
I4					يساعد هذا التكامل في تقليل الآثار السلبية للأحداث المناخية المتطرفة

Abstract

This study aimed to develop an integrated administrative framework that links risk management with sustainability principles to improve the quality of stormwater drainage projects in Riyadh City. The study adopted a descriptive-analytical approach, utilizing a structured questionnaire distributed to a purposive sample of 64 experts and engineers working in infrastructure projects.

The findings revealed a high level of awareness regarding the importance of risk management in stormwater drainage projects, with a mean score of 4.25, along with a strong recognition of the need to integrate sustainability principles into project design and implementation (mean = 4.08). Furthermore, the results indicated that the integration between risk management and sustainability plays a critical role in enhancing operational performance and overall project quality, with a mean score of 4.32.

Based on these findings, the study recommends adopting the proposed integrated framework as a guiding reference in planning and implementing drainage projects. It also emphasizes the need to update technical standards to incorporate Low Impact Development (LID) techniques, thereby improving system efficiency and resilience to climate change, in alignment with Saudi Vision 2030.

Keywords:

Risk Management, Sustainability, Stormwater Drainage, Project Quality, Infrastructure, Low Impact Development (LID), Riyadh City.

Midocean University



College of Management

Master of Business Administration

Title in English

Integrated Framework for Risk Management and Sustainability in Stormwater Drainage Projects

Prepared by:

Eng. Mousa Hamoud Asiri

Supervised by:

Dr. Faez Jarad

Dr. Al-Faisal Hassan

Year:2025-2026