الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة محمد بوضياف بالمسيلة

معهد تسيير التقنيات الحضرية **الميدان: الهندسة المعمارية والعمران ومهن المدينة**

قسم: الهندسة الحضرية **تخصص: الاخطار الحضرية ومرونة**

مذكرة تخرج

لنيل شهادة الماستر ضمن القرار الوزاري 008المتمم للقرار 1275

من اعداد الطلبة:

أسماء مبرك. سماح صحراوي. عبد الحفيظ حسام. وليد المختار

تحت عنوان

HYDROLINK

لتوقع خطر الفيضان

لجنة المناقشة:

د. بديار عادل	جامعة المسيلة	رئيسا
د. ابراهيمي هاجر	جامعة المسيلة	مشرفا
د. هوبيب حنان	جامعة المسيلة	مناقشا
د. بريك يوسف	جامعة المسيلة	ممثل الحاضنة
د. عمالي عبد الحميد	مديرية الري	شريكا اقتصاديا

السنة الدراسية :2026/2025

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
جامعة محمد بوضياف - المسيلة
Université Mohamed Boudiaf - M'SILA
معهد تسيير التقنيات الحضرية
Institut de Gestion des Techniques Urbaines

ملحق بالقرار رقم 1082 المؤرخ في 27 ديسمبر 2020
الذي يحدد القواعد المتعلقة بالوقاية من السرقة العلمية و مكافحتها

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

مؤسسة التعليم العالي والبحث العلمي : جامعة محمد بوضياف -المسيلة

تصـــريح شـــرفي

خاص بالالتزام بقواعد النزاهة العلمية لانجاز بحث

أنا الممضي أسفله:

السيد [ة]: أسماء مبرك الصفة (أستاذ، باحث، طالب): طالب

الحامل (ة) لبطاقة التعريف الوطنية رقم: 210559911 والصادرة بتاريخ: 2024.05.12

المسجل [ة] بكلية /معهد: تسيير التقنيات الحضرية قسم: الهندسة الحضرية

و المكلف[ة] بانجاز أعمال بحث [مذكرة التخرج، مذكرة ماستر، مذكرة ماجستير، أطروحة دكتوراه]

عنوانها: Hydrolink لتوقع خطر الفيضان

أصرح بشرفي اني التزم بمراعاة المعايير العلمية و المنهجية و معايير الأخلاقيات المهنية و التزامه الأكاديمية المطلوبة في انجاز البحث المذكور أعلاه.

التاريخ: 2026.06.15

توقيع المعني [ة]

BP: 166 - M'sila 2800
33.23.18

ص ب : 166، المسيلة 28000 Tél : 035
الهاتف : 035.33.23.18

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
جامعة محمد بوضياف - المسيلة
Université Mohamed Boudiaf - M'SILA
معهد تسيير التقنيات الحضرية
Institut de Gestion des Techniques Urbaines

ملحق بالقرار رقم 1082 المؤرخ في 27 ديسمبر 2020
الذي يحدد القواعد المتعلقة بالوقاية من السرقة العلمية و مكافحتها

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

مؤسسة التعليم العالي والبحث العلمي : جامعة محمد بوضياف -المسيلة

تصـــريح شـــرفي

خاص بالالتزام بقواعد النزاهة العلمية لانجاز بحث

أنا الممضي أسفله:

السيد [ة]: مدحراوي سماح الصفة (أستاذ.باحث.طالب): طالب

الحامل (ة) لبطاقة التعريف الوطنية رقم: 208951615 والصادرة بتاريخ: 2023/03/31

المسجل [ة] بكلية /معهد: تسيير التقنيات الحضرية قسم: الهندسة الحضرية

و المكلف[ة] بانجاز أعمال بحث [مذكرة التخرج. مذكرة ماستر .مذكرة ماجستير. أطروحة دكتوراه]

عنوانها: Hydrolink لتوقع خطر الفيضان

أصرح بشرفي أني التزم بمراعاة المعايير العلمية و المنهجية و معايير الأخلاقيات المهنية و التزامه الأكاديمية المطلوبة في انجاز البحث المذكور أعلاه.

التاريخ: 2026/06/15

توقيع المعني [ة]

Samah

BP: 166 – M'sila 2800
.33. 23.18

Tél : 035 ص ب : 166- المسيلة 28000
الهاتف : 035.33.23.18

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
جامعة محمد بوضياف - المسيلة
Université Mohamed Boudiaf - M'SILA
معهد تسيير التقنيات الحضرية
Institut de Gestion des Techniques Urbaines

ملحق بالقرار رقم 1082 المؤرخ في 27 ديسمبر 2020

الذي يحدد القواعد المتعلقة بالوقاية من السرقة العلمية و مكافحتها

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

مؤسسة التعليم العالي والبحث العلمي : جامعة محمد بوضياف -المسيلة

تصـــريح شـــرفي

خاص بالالتزام بقواعد النزاهة العلمية لانجاز بحث

أنا الممضي أسفله:

السيد [ة]: وليد المختار الصفة (أستاذ.باحث.طالب) : طالب

الحامل (ة) لبطاقة التعريف الوطنية رقم : 1400110270050300 والصادرة بتاريخ : 2024/08/18

المسجل [ة] بكلية /معهد : الرياضة والإعلام الآلي قسم : الإعلام الآلي

و المكلف[ة] بانجاز أعمال بحث [مذكرة التخرج. مذكرة ماستر .مذكرة ماجستير. أطروحة دكتوراه]

عنوانها : توقع خطر الفيضان hydrolink

أصرح بشرفي أني ألتزم بمراعاة المعايير العلمية و المنهجية و معايير الأخلاقيات المهنية و التزامه الأكاديمية المطلوبة في انجاز البحث المذكور أعلاه.

التاريخ : 2026/06/15

توقيع المعني [ة]

BP: 166 – M'sila 2800
.33. 23.18

Tél : 035 ص ب : 166- المسيلة 28000
الهاتف : 035.33.23.18

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
جامعة محمد بوضياف – المسيلة
Université Mohamed Boudiaf - M'SILA
معهد تسيير التقنيات الحضرية
Institut de Gestion des Techniques Urbaines

ملحق بالقرار رقم 1082 المؤرخ في 27 ديسمبر 2020
الذي يحدد القواعد المتعلقة بالوقاية من السرقة العلمية و مكافحتها

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

مؤسسة التعليم العالي والبحث العلمي : جامعة محمد بوضياف –المسيلة

تصـــريح شـــرفي

خاص بالالتزام بقواعد النزاهة العلمية لانجاز بحث

أنا الممضي أسفله:

السيد [ة]: عبد الحفيظ حسام الصفة (أستاذ،باحث،طالب) : طالب

الحامل (ة) لبطاقة التعريف الوطنية رقم : 209228039 والصادرة بتاريخ : 2023.05.22

المسجل [ة] بكلية /معهد : تسيير التقنيات الحضرية قسم : الهندسة الحضرية

و المكلف[ة] بانجاز أعمال بحث [مذكرة التخرج، مذكرة ماستر ،مذكرة ماجستير، أطروحة دكتوراه]

عنوانها : Hydrolink لتوقع خطر الفيضان

أصرح بشرفي أني ألتزم بمراعاة المعايير العلمية و المنهجية و معايير الأخلاقيات المهنية و التزامه الأكاديمية المطلوبة في انجاز البحث المذكور أعلاه.

التاريخ : 2026.06.15

توقيع المعني [ة]

BP: 166 – M'sila 2800
.33. 23.18

ص ب : 166- المسيلة 28000 Tél : 035
الهاتف : 035.33.23.18

بسم الله الرحمن الرحيم
وَقُلِ ٱعۡمَلُواْ فَسَيَرَى ٱللَّهُ عَمَلَكُمۡ وَرَسُولُهُۥ وَٱلۡمُؤۡمِنُونَ
وَسَتُرَدُّونَ إِلَىٰ عَٰلِمِ ٱلۡغَيۡبِ وَٱلشَّهَٰدَةِ فَيُنَبِّئُكُم بِمَا كُنتُمۡ تَعۡمَلُونَ

الإهداء

أهدي هذا العمل إلى والديَّ الكريمين، عرفاناً لما قدماه لي من حبٍ ورعايةٍ وصبرٍ وتشجيعٍ متواصل، وكان لهما الفضل الكبير في وصولي إلى هذه المرحلة من مسيرتي الدراسية. لقد كان دعمهما الدائم مصدر قوة لي في كل لحظة من لحظات التعب والإنجاز، وسبباً في مواصلة الطريق بإصرار وثبات.

كما أهديه إلى إخوتي وأخواتي الأعزاء، وإلى جميع أفراد عائلتي الكرام، تقديراً لمساندتهم الصادقة، ودعائهم الدائم، وتشجيعهم الذي لم ينقطع في مختلف مراحل هذا المشوار. لقد كان وجودهم إلى جانبي عاملاً مهماً في تجاوز الصعوبات ومواصلة العمل بروح إيجابية.

ولا أنسى أن أتوجه بهذا الإهداء إلى أساتذتي الأفاضل، الذين لم يبخلوا عليَّ بعلمهم ونصائحهم وتوجيهاتهم، وكان لهم أثر بالغ في تكويني العلمي والعملي. فقد كانوا مثالاً في التفاني والجدية، وأسهموا بخبرتهم وإرشاداتهم في إنجاح هذا العمل وتوجيهه على الوجه الصحيح، فلكم مني أصدق عبارات الشكر والتقدير والامتنان.

كما أهدي هذا الجهد المتواضع إلى كل من وقف إلى جانبي بكلمة طيبة أو نصيحة صادقة أو دعوة خالصة، وكان له أثر في استمراري وإتمامي لهذا العمل. وأسأل الله أن يجعل هذا الإنجاز في ميزان حسنات كل من ساهم في دعمي، وأن يديم عليهم الصحة والتوفيق.

الملخص

التحول نحو المدن الذكية لم يعد مجرد توجه تقني، بل أصبح ضرورة استراتيجية تفرضها متطلبات الاستدامة الحضرية وتعقيدات إدارة المدن الحديثة. تقوم المدينة الذكية على دمج التقنيات الرقمية، وعلى رأسها إنترنت الأشياء والذكاء الاصطناعي والبيانات الضخمة والتوأمة الرقمية، بهدف تحسين الخدمات، ورفع الكفاءة التشغيلية، وتعزيز جودة الحياة، وتمكين الإدارة الحضرية من اتخاذ قرارات أكثر دقة واستباقية. كما أصبحت البيانات عنصراً أساسياً في فهم المشكلات الحضرية والتعامل معها في الزمن الفعلي، بدل الاكتفاء بالحلول التقليدية التي تتدخل بعد وقوع الخلل.

وترتبط المرونة الحضرية بقدرة المدينة على التكيف مع المخاطر والصدمات، خاصة في ظل التغيرات المناخية والتوسع العمراني السريع. وفي هذا السياق، تُعد الجريان السطحي، ولا سيما الناتجة عن انسداد شبكات صرف مياه الامطار والبالوعات، من أخطر التحديات التي تواجه المدن الحديثة، لأنها لا تنتج فقط عن غزارة التساقطات، بل أيضاً عن قدم البنية التحتية، وضعف الصيانة، وغياب الرصد المبكر. وينعكس ذلك في أضرار مباشرة تمس البنية التحتية، وحركة المرور، والمنشآت، إلى جانب الخسائر المادية والبيئية التي تتفاقم مع كل حادثة.

وفي المقابل، تبرز أهمية التقنيات الحديثة مثل شبكات الاستشعار الذكية، ونظم المعلومات الجغرافية، والتوأمة الرقمية، والذكاء الاصطناعي في الحد من هذه المخاطر. فهذه الأدوات تسمح بجمع البيانات وتحليلها مكانياً وزمانياً، ورسم خرائط للنقاط الحرجة، ومحاكاة سلوك الشبكات، ثم تحويل المعطيات إلى قرارات عملية تدعم الإنذار المبكر والصيانة التنبؤية. وتزداد قيمة هذه التقنيات عندما تُدمج ضمن منظومة واحدة متكاملة، لأنها ترفع من فعالية الاستجابة وتقلل من التدخل بعد وقوع الضرر.

ومن هذا المنطلق، يكتسب نظام HydroLink أهميته باعتباره تصوراً عملياً لمنظومة ذكية قادرة على رصد مؤشرات انسداد البالوعات في الزمن الحقيقي، وتحليل البيانات، وإرسال تنبيهات مبكرة، بما يساعد على الانتقال من منطق التدخل التفاعلي إلى منطق الصيانة الاستباقية، ويعزز قدرة المدن على الحد من المخاطر وتحسين استدامة شبكاتها الحضرية.

الكلمات المفتاحية: المدن الذكية، الذكاء الاصطناعي، التوأمة الرقمية، الجريان السطحي، الاستشعار الذكي.

Summary

The transition toward smart cities is no longer a mere technical direction; it has become a strategic necessity imposed by the requirements of urban sustainability and the complexity of managing modern cities. The smart city is based on the integration of digital technologies, especially the Internet of Things, artificial intelligence, big data, and the digital twin, with the aim of improving services, increasing operational efficiency, enhancing quality of life, and enabling urban administration to make more accurate and more proactive decisions. Data have also become an essential element in understanding urban problems and dealing with them in real time, instead of relying solely on traditional solutions that intervene only after a malfunction occurs.

Urban resilience is linked to the city's ability to adapt to risks and shocks, especially in the context of climate change and rapid urban expansion. In this framework, urban flooding, particularly that resulting from the obstruction of drainage networks and storm drains, is one of the most serious challenges facing modern cities, since it is caused not only by heavy rainfall, but also by the aging of infrastructure, the lack of maintenance, and the absence of early detection. This results in direct damage to infrastructure, road traffic, and buildings, in addition to material and environmental losses that worsen with each incident.

On the other hand, the importance of modern technologies such as intelligent sensor networks, geographic information systems, the digital twin, and artificial intelligence lies in their contribution to reducing these risks. These tools make it possible to collect and analyze data in space and time, map critical points, simulate network behavior, and then transform the data into practical decisions that support early warning and predictive maintenance. The value of these technologies increases when they are integrated into a single coherent system, because they

strengthen response effectiveness and reduce intervention after damage has occurred.

From this perspective, the HydroLink system takes on its full importance as a practical and intelligent solution capable of detecting, in real time, the indicators of storm drain obstruction, analyzing the data, and sending early alerts. It thus makes it possible to move from a reactive intervention logic to a preventive maintenance logic, while strengthening cities' ability to limit risks and improve the sustainability of their urban networks.

Keywords :Smart cities ,Artificial intelligence ,Digital twin ,Urban flooding ,Smart detection

الفهرس

فهرس المحتويات

المقدمة: 1

الاشكالية: 2

الاهداف: 3

المحور الأول: المقاربة النظامية للمدن الذكية وإدارة المخاطر الحضرية 4

أولا: التحول الاستراتيجي نحو النماذج الحضرية الذكية والتنبؤ الرقمي 4

01الإطار المفاهيمي للمدن الذكية كمنظومة متكاملة.....4

02 :آليات التحول الرقمي للبنية التحتية وتحليل تدفق البيانات اللحظية.....5

03 :دور انترنيت الاشياء في جمع البيانات وربط مكونات المدينة 6

04:التوجهات المستقبلية للمدن 6

ثانيا: مؤشرات الأداء الحضرية ومعايير حماية المدن 7

01: مفهوم إدارة المخاطر والمرونة الحضرية.....7

02: المعايير الدولية لمرونة المدن ISO 37120 — وISO 37123.....7

03 :مؤشرات الكفاءة الهيدروليكية والبيئية في تقييم أداء الشبكات الحضرية 8

04: مستهدفات الاستدامة والأمان 8

ثالثا: حوكمة المخاطر وكفاءة الفاعلين والمتدخلين 9

01: مراكز القيادة والتحكم الموحدة (ICCC).....9

02: الأتمتة الإدارية ودورها في رفع كفاءة اتخاذ القرار لدى المسؤولين وفرق التدخل.....9

03: تكنولوجيا المعلومات والاتصالات كأداة لتنسيق أدوار الفاعلين 9

المحور الثاني: المقاربة التقنية العالمية لإدارة الجريان السطحي.....11

أولا: ديناميكية الجريان السطحي الناتجة عن قصور شبكات التصريف.....11

01 :فيضانات المياه السطحية: 11

02: انسداد شبكات الصرف الحضرية كمهدد مستمر للمدن الذكية 12

03: الآثار الهيدروليكية لانسداد البالوعات على القدرة الاستيعابية للشبكات الحضرية. 13

01: شبكات استشعار إنترنت الأشياء لرصد تدفق المياه ومستويات الانسداد لحظيًا 16

02: نظم المعلومات الجغرافية والتحليل البرمجي لرسم خرائط النقاط الحرجة 17

03: التوأمة الرقمية لمحاكاة سلوك شبكات صرف مياه الامطار 19

04: تحليل نقدي للحلول الحالية 19

03: مجال تطبيق المنظومة.....10

المحور الثالث: النظام الذكي المقترح(Hydrolink) 20

اولا: الإطار العام للنظام المقترح.....20

01: فكرة النظام.....20

02: الهدف من النظام 21

03: مجال تطبيق المنظومة 21

ثانيا: البنية التقنية للنظام المقترح 22

ثالثا: القيمة المضافة للنظام 23

رابعا: تموضع النظام عالميًا 23

خامسا: مقارنة عامة مع الحلول الحالية 24

سادسا: قابلية التطبيق في مختلف المدن 25

الخاتمة 26

فهرس الجداول

جدول 1: تداعيات الجريان السطحي 12

جدول 2: تداعيات انسداد شبكات الصرف 13

جدول 3: الاثار الهيدروليكية والمعادلات..... 14

المقدمة:

تشهد المدن حول العالم موجة تحول رقمي متسارعة، مدفوعةً بالتقدم المتسارع في تقنيات المعلومات وعلم البيانات، في مسعىً شامل لمواجهة التعقيدات المتزايدة للاستدامة الحضرية في أبعادها كافة، من البنية التحتية والحوكمة إلى الحلول التقنية المتكاملة. وقد أعاد دمج تقنيات إنترنت الأشياء والذكاء الاصطناعي والبيانات الضخمة رسمَ ملامح التخطيط الحضري، إذ باتت المدن أكثر كفاءةً واستدامةً وقدرةً على الاستجابة لمتطلبات ساكنيها. وفي قلب هذا التحول، ظهر نموذج المدينة المدفوعة بالبيانات كنمط إنتاج محوري للمدن الذكية، إذ باتت العمليات والممارسات الحضرية تستجيب بصورة متزايدة لمنطق الرقمنة الشاملة التي تُحوّل المدينة إلى منظومة بيانية متكاملة تسعى إلى تحسين أدائها ووظائفها وسياساتها. ويُمثّل الرصد اللحظي للمخاطر والاستجابة للطوارئ ركيزةً محوريةً في منظومة المرونة الحضرية الذكية، حيث تُمكّن أنظمة الإنذار المبكر المعتمدة على الاستشعار الموزع من الكشف الآني عن المخاطر وتعزيز الوعي الظرفي عبر البنية التحتية الحضرية. غير أن هذا التحول الرقمي يكشف بالتوازي عن هشاشة بنيوية عميقة في المنظومة الحضرية؛ إذ تلجأ المدن بصورة متزايدة إلى التقنيات الرقمية لمواجهة المخاطر المناخية والصدمات الحضرية، غير أن الأثر الفعلي لهذه التقنيات على تعزيز المرونة الحضرية لا يزال دون المستوى المطلوب، في حين تحتل تطبيقات إنترنت الأشياء ونظم المعلومات الجغرافية المرتبة الأعلى من حيث الدعم التجريبي في تعزيز رسم خرائط المخاطر وأنظمة الإنذار المبكر وعمليات البنية التحتية. ومن أشد هذه المخاطر الحضرية حدةً وتواتراً ظاهرةُ الجريان السطحي، التي تتصاعد وطأتها عالمياً بفعل التحضر المتسارع وتغير المناخ وتزايد الكثافة السكانية، فيما تعجز البنى التحتية التقليدية للتصريف عن مواجهة الأنماط الديناميكية للتساقطات والأحداث المناخية المتطرفة. وفي هذا الإطار، يقدم هذا التقرير نظام HydroLink بوصفه منظومةً رقميةً ذكيةً تسعى إلى سد الفجوة القائمة بين طموحات المدينة الذكية وواقع البنى التحتية التقليدية القاصرة في إدارة مخاطر الجريان السطحي.

الاشكالية:

رغم التطور الملحوظ الذي شهدته تقنيات المدن الذكية والتحول الرقمي في السنوات الأخيرة، إلا أن إدارة شبكات صرف مياه الامطار لا تزال في كثير من الحالات تعتمد على أنظمة تقليدية أو حلول جزئية تفتقر إلى التكامل بين المراقبة الميدانية والتحليل الذكي ودعم اتخاذ القرار. ويؤدي هذا القصور إلى ضعف القدرة على الكشف المبكر عن الانسدادات والاختلالات التشغيلية، وعدم استغلال البيانات الميدانية بالشكل الأمثل، إضافة إلى محدودية التنبؤ بالمخاطر قبل وقوعها، مما ينعكس سلباً على سرعة الاستجابة وكفاءة إدارة الشبكات. كما أن العديد من الحلول الحالية تعتمد على معالجة المشكلات بعد حدوثها بدلاً من تبني نهج استباقي قائم على الرصد اللحظي والتحليل التنبئي، فضلاً عن افتقارها إلى منصة موحدة تدمج بيانات أجهزة الاستشعار، ونظم المعلومات الجغرافية، والذكاء الاصطناعي، والمحاكاة الرقمية ضمن بيئة تشغيل متكاملة. ومن هذا المنطلق تبرز الحاجة إلى تطوير نظام ذكي قادر على تحقيق التكامل بين هذه التقنيات الحديثة، بما يضمن مراقبة آنية لشبكات الصرف الحضري، والتنبؤ المبكر بالمخاطر المحتملة، وتقديم دعم فعال لصناع القرار في إدارة الأزمات وتحسين كفاءة تشغيل البنية التحتية. وعليه، تتمثل إشكالية هذا البحث في السؤال الآتي:

كيف يمكن تطوير نظام ذكي متكامل يساهم في تحسين مراقبة وإدارة شبكات صرف مياه الامطار ويعزز كفاءة التنبؤ واتخاذ القرار؟

الاهداف:

يسعى هذا التقرير إلى تحقيق جملة من الأهداف المتكاملة على المستويين النظري والتطبيقي:

01: الأهداف المعرفية والنظرية

تأصيل المفاهيم النظرية للمدن الذكية وإدارة المخاطر الحضرية في ضوء المعايير الدولية المعتمدة.

تحليل البنية التقنية لأنظمة رصد الجريان السطحي وتقييم نقاط قوتها وقصورها.

تشخيص الفجوة القائمة بين الحلول التقنية المتاحة وحاجة المدن الفعلية لأنظمة إنذار متخصصة.

02: الأهداف التقنية والتطبيقية

تصميم منظومة استشعار ذكي (HydroLink) قادر على رصد مؤشرات انسداد البالوعات في الزمن الفعلي.

بناء آلية تنبيه مبكر تُمكّن الجهات المعنية من التدخل الاستباقي قبل تطور الوضع إلى فيضان.

تحقيق تكامل تقنيات انترنيت الاشياء والذكاء الاصطناعي والتوائم الرقمية ضمن منظومة إدارة موحدة.

تقليص التكاليف التشغيلية لصيانة شبكات التصريف عبر نموذج الصيانة التنبؤية .

03: الأهداف الاستراتيجية والمجتمعية

الحد من الخسائر البشرية والمادية الناجمة عن الجريان السطحي.

تعزيز قدرات الإنذار المبكر للمدن عبر التعاون بين قطاعات الأرصاد الجوية وإدارة المياه والتخطيط الحضري وإدارة الطوارئ.

دعم التحول الرقمي للبلديات وانخراطها في معايير المدن الذكية الدولية.

تطوير حل قابل للتطبيق في المدن ذات الإمكانات المحدودة بتكاليف تشغيلية منخفضة.

الإسهام في تحقيق أهداف التنمية المستدامة.

المحور الأول:

المقاربة النظامية للمدن الذكية وإدارة المخاطر الحضرية

أولا: التحول الاستراتيجي نحو النماذج الحضرية الذكية والتنبؤ الرقمي

01: الإطار المفاهيمي للمدن الذكية كمنظومة متكاملة

02: آليات التحول الرقمي للبنية التحتية وتحليل تدفق البيانات اللحظية

03:دور انترنيت الاشياء في جمع البيانات وربط مكونات المدينة

04:التوجهات المستقبلية للمدن

ثانيا: مؤشرات الأداء الحضرية ومعايير حماية المدن

01: مفهوم إدارة المخاطر والمرونة الحضرية

02: المعايير الدولية لمرونة المدن ISO 37120 — وISO 37123

03: مؤشرات الكفاءة الهيدروليكية والبيئية في تقييم أداء الشبكات الحضرية

04:مستهدفات الاستدامة والأمان

ثالثا: حوكمة المخاطر وكفاءة الفاعلين والمتدخلين

01: مراكز القيادة والتحكم الموحدة(ICCC)

02: الأتمتة الإدارية ودورها في رفع كفاءة اتخاذ القرار لدى المسؤولين وفرق التدخل

03:تكنولوجيا المعلومات والاتصالات كأداة لتنسيق أدوار الفاعلين

المحور الأول: المقاربة النظامية للمدن الذكية وإدارة المخاطر الحضرية

يُعدّ التحول نحو النماذج الحضرية الذكية من أبرز المحاور الاستراتيجية في سياسات التنمية المستدامة، إذ لم تعد المدينة مجرد تجمع عمراني، بل أضحت منظومة رقمية–فيزيائية متكاملة تتشابك فيها تدفقات البيانات مع البنية التحتية المادية. غير أن هذا التحول يرافقه تصاعد ملحوظ في حجم المخاطر الحضرية، لا سيما تلك المرتبطة بالكوارث البيئية كالفيضانات الناجمة عن قصور شبكات التصريف. ومن هذا المنطلق، يسعى هذا الفصل إلى تأسيس الإطار النظري اللازم لفهم العلاقة بين الذكاء الحضري وإدارة المخاطر، من خلال ثلاثة محاور تتناول التحول الرقمي، ومؤشرات الأداء الحضري، وحكومة الطوارئ.

أولا: التحول الاستراتيجي نحو النماذج الحضرية الذكية والتنبؤ الرقمي

01 :الإطار المفاهيمي للمدن الذكية كمنظومة متكاملة

المدينة الذكية: تعرف المدينة الذكية بأنها بيئة حضرية مُخطَّطة بعناية تعتمد على التقنيات الرقمية والحلول المبنية على البيانات بهدف تعزيز الكفاءة وجودة الخدمات والاستدامة، وتحسين جودة الحياة لسكانها. وتنطوي هذه البيئة على دمج التقنيات المتقدمة في مجالات البنية التحتية والنقل والطاقة والرعاية الصحية والحوكمة، مما يُعزز الاتصال وتبادل البيانات بين المنظومات المختلفة[1].

التحول الرقمي: يعيد التحول الرقمي المدفوع بتقنيات الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء والبيانات الضخمة والحوسبة السحابية رسمَ ملامح إدارة المدن، من خلال تعزيز الاستدامة والكفاءة التشغيلية وجودة

1] P. O. Ugwoke, A. Abdulsalam & C. C. Ejiofor, "Internet of Things: The Key Enabler of Smart City Development", in: P. L. Mazzeo & P. Spagnolo (eds), Smart Cities – Foundations and Perspectives, IntechOpen, London, 2024, p. [85].

الحياة في الفضاء الحضري[2]. وعليه، لا يمكن اختزال المدينة الذكية في جانبها التقني فحسب، بل تمثّل نموذجاً حكوميا شاملاً يُوحّد بين مختلف الفاعلين الحضريين ضمن منظومة تشاركية مندمجة.

التوأمة الرقمية: تُعرَّف التوأمة الرقمية بأنها نسخة رقمية افتراضية متزامنة مع المنظومة الحضرية الفيزيائية، تُجسّد في الزمن الفعلي سلوكيات البنية التحتية، العمليات التشغيلية، والديناميكيات الحضرية عبر دمج بيانات إنترنت الأشياء، والبيانات التاريخية، والنماذج الحاسوبية المتقدمة. وتُمكّن هذه التوأمة من محاكاة السيناريوهات، التنبؤ بالأعطال، وتحليل الأداء قبل التطبيق الواقعي، ممّا يُعزز الكفاءة التشغيلية، المرونة الحضرية، والاستدامة.

وبالتالي، تُعدّ التوأمة الرقمية أداة حوكمة متكاملة تُوحّد بين مختلف الفاعلين الحضريين ضمن منظومة تشاركية مندمجة، من خلال توفير رؤى استباقية لدعم اتخاذ القرار في التخطيط، المراقبة، وإدارة المخاطر الحضرية[3].

02 :آليات التحول الرقمي للبنية التحتية وتحليل تدفق البيانات اللحظية

يرتكز التحول الرقمي للبنية التحتية الحضرية على ثلاث ركائز تقنية جوهرية: جمع البيانات اللحظية عبر شبكات الاستشعار الموزعة، ومعالجتها من خلال منصات التحليل المتقدم، واستثمارها في اتخاذ قرارات استباقية في الزمن الفعلي. يُتيح التكامل بين إنترنت الأشياء والبيانات الضخمة تحقيق قفزات نوعية في البنية التحتية الحضرية، تشمل الرصد اللحظي والأتمتة الذكية وصنع القرار التنبؤي، مما يُحوّل المدن إلى أنظمة تكيفية ومرنة[4].

2 Á. Lloret et al., "A Data-Driven Framework for Digital Transformation in Smart Cities: Integrating AI, Dashboards, and IoT Readiness", Sensors, Vol. 25, No. 16, 2025, p. [51-79].

3 ISO, Digital Twin for Smart Cities: Framework and Applications, International Organization for Standardization, 2024, p. [122].

4 R. Aziz et al., "Big data and Internet of Things applications in smart cities: Recent advances, challenges, and critical issues", Internet of Things, Vol. 31, 2025, p. [101-584].

ومن الناحية المعمارية، تنتظم هذه البيانات وفق نموذج طبقي يبدأ من طبقة الاستشعار، مروراً بطبقة الشبكة، ووصولاً إلى طبقة التطبيقات والمعالجة، حيث تُستثمر الخوارزميات التنبؤية في رسم سيناريوهات الاستجابة قبل وقوع الأحداث.

03 :دور انترنيت الاشياء في جمع البيانات وربط مكونات المدينة

يُمثّل إنترنت الأشياء العمود الفقري التقني للمدينة الذكية، إذ يُتيح ربط المكونات الفيزيائية والرقمية في شبكة اتصال موحدة. فلتطوير المدن الذكية، يُمكّن إنترنت الأشياء من دمج البنية التحتية المادية مع التقنيات الرقمية، مؤدياً دوراً محورياً في تحويل البيئات الحضرية من خلال ربط الأشياء المادية والافتراضية واستخلاص البيانات منها[5].

وتتجلى تطبيقاته في إدارة المخاطر الحضرية من خلال: شبكات استشعار، وأجهزة قياس الضغط في شبكات صرف مياه الامطار، والمحطات الهيدرومترية الذكية المدمجة في البنية التحتية الحضرية.

04: التوجهات المستقبلية للمدن

يُعزز الذكاء الاصطناعي القدرةَ على اتخاذ القرار والكفاءة التشغيلية من خلال تفسير البيانات المعقدة القادمة من مختلف أنظمة المدينة، كما تُسهم التوائم الرقمية في إنشاء نماذج افتراضية للبنية التحتية الحضرية تُستخدم في التخطيط والمراقبة[6]. ويتجلى مستقبل هذه الأنظمة في ثلاث توجهات رئيسية:

- **المدن ذاتية التشغيل** :حيث تُدار شبكات الخدمات بصورة آلية دون تدخل بشري مستمر.
- **الأنظمة التنبؤية المتقدمة** :القائمة على نماذج التعلم الآلي لاستشراف الأحداث الحضرية قبل وقوعها.

5 P. O. Ugwoke et al.p [76] ،المرجع السابق.

6 Á. Lloret et al.p[5179] ،المرجع السابق.

- **الذكاء الاصطناعي في إدارة الطوارئ** :من خلال توليد توصيات تشغيلية آنية بناءً على بيانات متعددة المصادر.

ثانيا: مؤشرات الأداء الحضرية ومعايير حماية المدن

01: مفهوم إدارة المخاطر والمرونة الحضرية

تُعرَّف المرونة الحضرية بأنها قدرة المنظومة الحضرية على استيعاب الصدمات والضغوط الخارجية والتكيف معها والتعافي منها دون أن تفقد وظائفها الجوهرية. وتنبثق إدارة المخاطر الحضرية من هذه الفلسفة، إذ تستهدف تقليص الهشاشة الهيكلية للمدينة من خلال التخطيط الاستباقي وتوظيف الأنظمة الذكية في رصد المؤشرات الحرجة في الزمن الفعلي[7].

02: المعايير الدولية لمرونة المدن ISO 37120 — وISO 37123

يرتبط معيار ISO 37123:2019 ارتباطاً وثيقاً بمعيار ISO 37120:2018 المتعلق بمؤشرات خدمات المدن وجودة الحياة، إذ يُساعد هذا الأخير المدنَ في توجيه وتقييم إدارة أدائها التشغيلي.

ويستهدف ISO 37123 مختلف المدن والبلديات والحكومات المحلية الراغبة في قياس أدائها بصورة مقارنة وقابلة للتحقق، بصرف النظر عن حجمها أو موقعها الجغرافي. [8]

تشمل مؤشرات ISO 37123 للمدن المرنة أبعاداً متعددة مرتبطة بالفيضانات والزلازل والأعاصير والأوبئة والهجمات الإلكترونية والأزمات المالية[9]، وتضم سلسلة معايير ISO 37120 إجمالاً 292

7 R. Aziz et al.p[101584] ،المرجع السابق.

8 ISO, ISO 37123:2019 – Sustainable cities and communities: Indicators for resilient cities, ISO, 2019, p. [63].

9 ANSI, ISO 37123:2019 Indicators for Resilient Cities, The ANSI Blog, 2019, p. [147].

مؤشراً موزعة على ثلاثة معايير المستدامة والذكية والمرنة وتُزوّد المدن بإطار مؤشرات حاسم للتأهب المبني على البيانات والرصد والتعافي[10].

03 :مؤشرات الكفاءة الهيدروليكية والبيئية في تقييم أداء الشبكات الحضرية

في سياق إدارة شبكات التصريف الحضري، تُستخدم جملة من المؤشرات الهيدروليكية الدقيقة لتقييم كفاءة هذه الشبكات، أبرزها:

- **معدل الجريان السطحي** :يقيس حجم المياه المتدفقة على السطح نسبةً إلى حجم التساقطات المطرية.
- **معامل الطاقة الاستيعابية** :يُعبّر عن القدرة الشبكة على استيعاب تدفق المياه قبل بلوغ عتبة الفيضان.
- **مؤشر الانسداد التراكمي** :يرصد نسبة الانسداد في عقد الشبكة عبر الزمن.
- **زمن التركيز**: الفترة الزمنية اللازمة للمياه السطحية للوصول من أبعد نقطة في الحوض إلى نقطة التصريف[11].

04: مستهدفات الاستدامة والأمان

تتمحور مستهدفات الاستدامة في إطار المدن الذكية حول ثلاثة محاور قابلة للقياس:

- تقليص زمن الاستجابة للطوارئ إلى ما دون عتبة الخمس دقائق في الحوادث الحرجة.
- خفض معدل الخسائر الاقتصادية المرتبطة بأضرار البنية التحتية جراء الفيضانات.
- تعزيز مرونة المجتمعات الهشة من خلال أنظمة إنذار مبكر[12]

10 UNDRR, Data for Resilient Cities: Cities Reporting ISO 37123 Indicators in Support of MCR2030, United Nations Office for Disaster Risk Reduction, 2020, p. [185].

11 P. McCarney, "How ISO Standards for City Data are Starting to Make an Impact", Government Technology, 2021, p. [71].

12 C. Rocha et al., "Integrating resilience and sustainability: A systematic analysis of resilient cities using ISO 37123", International Journal of Disaster Risk Reduction, Vol. 96, 2023, p. [103-66].

ثالثا: حوكمة المخاطر وكفاءة الفاعلين والمتدخلين

01: مراكز القيادة والتحكم الموحدة (ICCC)

يُمثّل مركز القيادة والتحكم المتكامل الدماغَ التشغيلي للمدينة الذكية، إذ تستقطب هذه المراكز البيانات اللحظية من مصادر متعددة تشمل كاميرات المراقبة وأجهزة الاستشعار وخدمات الطوارئ ووكالات المدينة المختلفة، بهدف تيسير اتخاذ القرار والاستجابة المنسقة لمختلف المواقف. تتولى هذه المراكز بمهام متعددة تشمل إدارة حركة المرور والسلامة العامة والاستجابة للطوارئ والإشراف على المرافق والرصد البيئي.[13]

02: الأتمتة الإدارية ودورها في رفع كفاءة اتخاذ القرار لدى المسؤولين وفرق التدخل

تعتمد مراكز ICCC على التحليل المتقدم للبيانات لاستشراف الأنماط وبناء السيناريوهات التنبؤية ورصد الأحداث اللحظية عبر لوحات المعلومات التفاعلية، مما يُزوّد المسؤولين الحضريين برؤى قابلة للتنفيذ الفوري[13]. وتُسهم الأتمتة الإدارية في تقليص الاعتماد على الحكم البشري في المراحل الأولى من الاستجابة، من خلال آليات الإنذار التلقائي وتوجيه فرق التدخل الميداني وفق درجة حدة الحوادث[14].

03: تكنولوجيا المعلومات والاتصالات كأداة لتنسيق أدوار الفاعلين

يُشكّل مركز ICCC منصةً مركزية للاستجابة للطوارئ، تُمكّن من استيعاب بيانات قطاعات متعددة كإدارة المرور والسلامة العامة والمرافق والرصد البيئي، مما يُولّد فهماً شاملاً للديناميكيات الحضرية ويُمكّن من التدخل الاستباقي[14]. وفي سياق الطوارئ البيئية كالفيضانات، تقوم تكنولوجيا المعلومات والاتصالات بثلاثة أدوار محورية:

- التنسيق العملياتي بين الجهات المتدخلة (الحماية المدنية، شبكات المرافق، الإدارة المحلية).

13 S. Praharaj, "Command and control governance in the 100 smart cities mission in India: Urban innovation or utopias?", Cities, 158, 2025, p. [105-632].

14 S. Praharaj,p[105632] ،المرجع السابق.

- توحيد قنوات الإبلاغ لتفادي تشتت المعلومات وتأخر الاستجابة.
- توثيق الحوادث آلياً لأغراض التحليل اللاحق والتحسين المستمر لبروتوكولات الطوارئ[15].

15 K. S. Chandrasekar et al., "Planning for Integrated Command and Control Centre in Indian Cities", EAI Endorsed Transactions on Smart Cities, Vol. 9, No. 1, 2025, p. [156].

المحور الثاني:

المقاربة التقنية العالمية لإدارة الجريان السطحي

أولا: ديناميكية الجريان السطحي الناتجة عن قصور شبكات التصريف

01: فيضانات المياه السطحية:

02: انسداد شبكات الصرف الحضرية كمهدد مستمر للمدن الذكية

03:الآثار الهيدروليكية لانسداد البالوعات على القدرة الاستيعابية للشبكات الحضرية.

ثانيا: التقنيات الحديثة والأنظمة الذكية في معالجة وإدارة الشبكات

01: شبكات استشعار إنترنت الأشياء لرصد تدفق المياه ومستويات الانسداد لحظيًا

02: نظم المعلومات الجغرافية والتحليل البرمجي لرسم خرائط النقاط الحرجة

03: التوأمة الرقمية لمحاكاة سلوك شبكات صرف مياه الامطار

04: تحليل نقدي للحلول الحالية

المحور الثاني: المقاربة التقنية العالمية لإدارة الجريان السطحي

يُعَدّ الفيضان الحضري أحد أبرز التهديدات التي تواجه المدن الذكية في العصر الحديث، حيث يتضاعف تأثيره بفعل التوسع العمراني السريع وتدهور أنظمة التصريف التقليدية. وتتمثّل المقاربة التقنية العالمية في دمج التحليل الهيدروليكي المتقدم مع الأنظمة الذكية للإنذار المبكر، ممّا يُسهم في تقليل الهشاشة الهيكلية للمدن من خلال التخطيط الاستباقي وتوظيف تقنيات الاستشعار في رصد المؤشرات الحرجة بالزمن الفعلي.

أولا: ديناميكية الجريان السطحي الناتجة عن قصور شبكات التصريف

01 :فيضانات المياه السطحية :

تُعرَّف فيضانات المياه السطحية بأنها تراكم المياه فوق مستوى الأرض نتيجة الجريان السطحي المكثف الذي يفوق القدرة الاستيعابية لشبكات التصريف، مما يُسبب أضراراً جسيمة للبنية التحتية الحضرية. وينشأ هذا النوع من الفيضانات من ثلاث مسببات رئيسية:

العواصف المطرية المكثفة :حيث تتجاوز معدلات الهطول قدرة الشبكات على التصريف، خاصة في المدن ذات البنية التحتية القديمة التي صممت لمعدلات هطول قديمة.

التوسع العمراني غير المنظم :يؤدي زيادة المساحات الصلبة (الأسطح، الطرق، المباني) إلى تقليل المساحات النفّاذة، ممّا يُعزز الجريان السطحي بنسبة 20–50%.

قصور أنظمة التصريف الطبيعي :عدم الحفاظ على مسارات الجريان الطبيعية للأودية وخطوط الانحدار الحادة، والبناء على مناطق الفيضانات الطبيعية. وتتجلى التداعيات على البنية التحتية في ثلاثة مستويات:

جدول 1: تداعيات الجريان السطحي

التداعية	الوصف	التأثير
أضرار المبنى	تسرب المياه إلى المباني والمنشآت	تدمير الأساسات، تلف الجدران، تعطّل الأنظمة الكهربائية
أضرار الطرق	غمر الشوارع والطرق الرئيسية	تعطّل حركة المرور، أضرار في الأسفلت، تعطّل إشارات المرور
أضرار الأنظمة التحتية	تعطّل شبكات المياه والصرف والاتصالات	تلف المواسير، تعطّل أنظمة الإنذار، تضرّر كابلات الاتصالات

16

02: انسداد شبكات الصرف الحضرية كمهدد مستمر للمدن الذكية

يُعَدّ انسداد شبكات الصرف الحضرية أحد أبرز المهددات المستمرة للمدن الذكية، حيث يُفقد النظام قدرته على التصريف الفعال، ممّا يُعزز مخاطر الفيضانات المفاجئة. وينشأ الانسداد من أربعة مسببات رئيسية:

المواد العضوية والرواسب :تراكم الأوراق، الأغصان، التربة، والمواد العضوية الأخرى داخل المواسير، ممّا يُقلل القدرة الاستيعابية للشبكة بنسبة تصل إلى 60%.

المواد غير العضوية :وصول البلاستيك، الزجاج، والمخلفات الصناعية إلى شبكات الصرف، ممّا يُسبب انسداداً كاملاً في بعض النقاط الحرجة.

16 WHO, Urban Flooding and Public Health: Guidelines for Risk Management, World Health Organization, 2023, p. [111].

التصميم غير المتكامل :شبكات الصرف التقليدية تعتمد على الجاذبية فقط دون مضخات احتياطية، ممّا يُفقد النظام قدرته على التصريف عند الانسداد.

عدم الصيانة المركزية :عدم وجود خطة صيانة مركزية قبل موسم الشتاء، واستخدام أنظمة المعلومات الجغرافية لتحديد النقاط السوداء.وتتجلى التداعيات في ثلاثة مستويات:

جدول 2: تداعيات انسداد شبكات الصرف

التداعية	الوصف	التأثير
تعطّل التصريف	فقدان الشبكة القدرة على التصريف	تراكم المياه، فيضانات مفاجئة، أضرار للبنية التحتية
تلف المواسير	ضغط المياه المتراكم على المواسير	انفجار المواسير، تسرب المياه، تضرّر الأنظمة التحتية
تعطّل الأنظمة الذكية	تلف أنظمة الاستشعار والإنذار المبكر	فقدان القدرة على الرصد بالزمن الفعلي، تعطّل إدارة الفيضانات

17

03: الآثار الهيدروليكية لانسداد البالوعات على القدرة الاستيعابية للشبكات الحضرية.

تُحدِّد الآثار الهيدروليكية لانسداد البالوعات القدرة الاستيعابية للشبكات الحضرية، حيث يُفقد النظام قدرته على إدارة الجريان السطحي بكفاءة. ويتمثّل هذا التأثير في ثلاثة مستويات:

انخفاض القدرة الاستيعابية :يُقلل الانسداد من القدرة الاستيعابية للشبكة بنسبة تصل إلى 60–70%،

17 SwissFlood, Surface Water Flooding: Mechanisms and Mitigation Strategies, Swiss National Flood Management Program, 2024, p. [109].

ممّا يُعزز مخاطر الفيضانات عند العواصف المطرية المكثفة.

زيادة العمق الهيدروليكي :يُعزز الانسداد من العمق الهيدروليكي داخل المواسير، ممّا يُسبب ضغطاً على الجدران ويُفقد النظام قدرته على التصريف.

تغير معامل التفريغ :يُغير الانسداد من معامل التفريغ للشبكة، ممّا يُقلل من كفاءة التصريف ويُعزز مخاطر الفيضانات.

وتُظهر الدراسات أن الانسداد يُسبب آثار هيدروليكية رئيسية:

جدول 3: الاثار الهيدروليكية والمعادلات

التأثير الهيدروليكي	الوصف	المعادلة
انخفاض القدرة الاستيعابية	فقدان الشبكة القدرة على التصريف	$Q=A\times V$
زيادة العمق الهيدروليكي	ضغط المياه على جدران المواسير	$h=V^2/2g$
تغير معامل التفريغ	انخفاض كفاءة التصريف	$Cd= Qactual/ Qtheoretical$

18

Q : التدفق أو معدل الجريان الوحدةm3/s.

A : مساحة المقطع العرضي للجريان الوحدةm2 .

V : سرعة الجريان الوحدة m/s.

الاستنتاج:

تُبيّن هذه المعادلة أن التصرف المائي يتوقف على كلٍّ من مساحة المقطع وسرعة الجريان؛ فكلما زادت

18 International Green Infrastructure Network, Nature-Based Solutions for Urban Flood Management: Rain Gardens and Permeable Pavements, Green Infrastructure, 2023, p. [115].

المساحة أو ارتفعت السرعة ازداد معدل التدفق، والعكس صحيح. لذلك فإن أي نقص في المساحة الفعالة بسبب الانسداد يؤدي مباشرة إلى انخفاض التصرف وضعف كفاءة الشبكة.

h: الارتفاع أو العمق الهيدروليكي المكافئ الوحدة m.

V : سرعة الجريان الوحدة m/s.

g : تسارع الجاذبية الأرضية الوحدة m/s2 قيمته التقريبية: 9.81 m/s^2

الاستنتاج:

تُبيّن هذه المعادلة أن ارتفاع السرعة يؤدي إلى زيادة في الطاقة الحركية للجريان، وهو ما ينعكس على ارتفاع مكافئ أكبر داخل الشبكة. وبالتالي، فإن أي تغير في السرعة يُعد مؤشرًا مهمًا على تغير حالة التدفق، مما يساعد على فهم السلوك الهيدروليكي للشبكة والكشف عن الاضطرابات المحتملة.

Cd: معامل التفريغ.

Qactual : التصرف الفعلي الوحدةm3/s .

Qtheoretical : التصرف النظري الوحدة m3/s.

الاستنتاج :

إذا كانت قيمة Cd أقل من 1، فهذا يعني أن الشبكة لا تصرف المياه بكفاءتها المثالية، أي أن كمية المياه الفعلية المارة فيها أقل من الكمية النظرية المتوقعة. ويعود ذلك غالبًا إلى وجود احتكاك داخل القنوات، أو تراكم الرواسب، أو جزئيًا إلى الانسداد، مما يؤدي إلى انخفاض فعالية الجريان.

ثانيا: التقنيات الحديثة والأنظمة الذكية في معالجة وإدارة الشبكات

01: شبكات استشعار إنترنت الأشياء لرصد تدفق المياه ومستويات الانسداد لحظيًا

أصبحت شبكات استشعار إنترنت الأشياء من أهم التقنيات الحديثة المستخدمة في مراقبة وإدارة البنى التحتية الحضرية، حيث تعتمد على نشر مجموعة من الحساسات الذكية المتصلة بشبكات الاتصال بهدف جمع البيانات بشكل مستمر وإرسالها إلى منصات تحليل ومعالجة البيانات في الزمن الحقيقي[19].

وفي مجال شبكات الصرف الصحي وتصريف مياه الأمطار، تساهم هذه التقنية في مراقبة مؤشرات متعددة مثل مستوى المياه، وسرعة التدفق، ونسبة الامتلاء، واحتمالية حدوث الانسداد، مما يسمح للجهات المسؤولة بالكشف المبكر عن المشكلات واتخاذ الإجراءات المناسبة قبل تفاقمها[20].

وتتمثل ابرز مزايا شبكات إنترنت الأشياء فيما يلي

الرصد اللحظي للبيانات: تتيح مراقبة حالة الشبكة بشكل مستمر والكشف المبكر عن أي تغيرات غير طبيعية.

تقليل التدخل البشري: تحد من الحاجة إلى عمليات التفتيش اليدوية، مما يساهم في خفض التكاليف التشغيلية.

تحسين سرعة الاستجابة: تساعد على اكتشاف المشكلات مبكراً واتخاذ الإجراءات المناسبة قبل تفاقمها.

دعم اتخاذ القرار: توفر بيانات دقيقة تساعد في التخطيط لعمليات الصيانة وإدارة الشبكة بكفاءة.

19 محمد السعيدي، إنترنت الأشياء وتطبيقاته في المدن الذكية، دار الفكر العربي، 2021، ص [116].

20 ITU, Internet of Things in Smart Cities and Urban Infrastructure, International Telecommunication Union, 2020, p. [220].

إمكانية التكامل مع التقنيات الذكية: يمكن دمجها مع الذكاء الاصطناعي والتعلم الآلي لتحسين التنبؤ وتحليل البيانات.[21]

ورغم هذه المزايا، تواجه هذه التقنية عدداً من القيود والتحديات، منه أبرزها:

ارتفاع تكاليف التركيب والصيانة: خاصة عند تغطية شبكات واسعة بعدد كبير من الحساسات.

الاعتماد على الطاقة والاتصال: يتطلب النظام توفر مصدر طاقة وشبكة اتصال مستقرة.

التأثر بالظروف البيئية: قد تؤثر الرطوبة والرواسب على أداء الحساسات ودقة قياساتها.

التحديات الأمنية: تحتاج البيانات المتبادلة إلى وسائل حماية لمنع الاختراق أو التلاعب.

الحاجة إلى بنية تحتية رقمية مناسبة: يتطلب التشغيل وجود منصات لإدارة البيانات وتحليلها بكفاءة.

وبصفة عامة، تمثل شبكات استشعار إنترنت الأشياء خطوة مهمة نحو بناء أنظمة ذكية لإدارة شبكات الصرف، إلا أن تحقيق أقصى استفادة منها يتطلب التغلب على بعض التحديات التقنية والتشغيلية، مما يدفع إلى تطوير حلول أكثر كفاءة واعتمادية.

02: نظم المعلومات الجغرافية والتحليل البرمجي لرسم خرائط النقاط الحرجة

تُعدّ نظم المعلومات الجغرافية من الأدوات التقنية الحديثة الفعالة في تحليل البيانات المكانية وإدارتها، حيث تتيح جمع ومعالجة وتمثيل المعلومات المرتبطة بالموقع الجغرافي في شكل خرائط رقمية دقيقة. وفي مجال إدارة شبكات صرف مياه الامطار ومخاطر الفيضانات، تُستخدم هذه النظم لتحديد وتصور المناطق الأكثر عرضة لحدوث الانسدادات أو تراكم المياه.[22]

21 J. Gubbi et al., "Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions", Future Generation Computer Systems, 2013, p. [100].

22P. A. Longley et al., Geographic Information Systems and Science, Wiley, 2015, p. [97].

وفي هذا السياق، يمكن تحليل دور نظم المعلومات الجغرافية والتحليل البرمجي من خلال المحاور التالية:

- **دور نظم المعلومات الجغرافية:**

التمثيل المكاني :تُستخدم نظم المعلومات الجغرافية لربط كل "عقدة استشعار" بموقعها الحقيقي على خريطة المدينة الرقمية. هذا يسمح للمسؤولين بالحصول على رؤية شاملة لحالة شبكة الصرف في وقت واحد.

تحليل التداخلات :تساعد نظم معلومات الجغرافية في فهم العلاقة بين النقاط الحرجة وبين الطبوغرافيا السطحية للمدينة، مما يتيح التنبؤ بالمسارات التي قد تتخذها المياه عند الطفح.

- **التحليل البرمجي لرسم النقاط الحرجة:**

التصنيف التنبؤي :من خلال معالجة البيانات التاريخية واللحظية، يقوم النظام "بتحشيد" أو تجميع النقاط التي تتكرر فيها حالات الانسداد في "خريطة حرارة.

تحديد الأولويات :بدلاً من التعامل مع كل البالوعات بنفس الدرجة من الأهمية، يقوم النظام برسم خرائط توضح "النقاط الحرجة "التي تتطلب تدخلاً فورياً، وهو ما يرفع من كفاءة توزيع فرق الصيانة والمعدات في الميدان[23].

وبصفة عامة، يعد التكامل بين نظم المعلومات الجغرافية والتحليل البرمجي خطوة أساسية في تطوير أنظمة متقدمة لرسم خرائط المخاطر، مما يدعم تطوير حلول استباقية للحد من الفيضانات وتحسين كفاءة إدارة شبكات الصرف الحضري.

23 M. F. Goodchild, "Geographic information systems and science: today and tomorrow", Annals of GIS, 2018, p. [198].

03: التوأمة الرقمية لمحاكاة سلوك شبكات صرف مياه الامطار

تُعدّ التوائم الرقمية من التقنيات الحديثة المتقدمة في مجال إدارة البنية التحتية الذكية، حيث تقوم على إنشاء نموذج افتراضي مطابق للأنظمة الحقيقية، يتم تحديثه بشكل مستمر اعتماداً على البيانات القادمة من الحساسات الميدانية. وفي مجال شبكات صرف مياه الامطار، تتيح هذه التقنية محاكاة سلوك الشبكة في الزمن الحقيقي ودراسة استجابتها لمختلف الظروف التشغيلية[24].

وتُستخدم التوائم الرقمية لمحاكاة سيناريوهات متعددة، مثل ارتفاع منسوب المياه، أو حدوث انسدادات جزئية أو كلية، أو التعرض لضغط مائي مرتفع، مما يسمح بتقييم أداء الشبكة قبل وقوع المشكلات على أرض الواقع. ويساهم هذا الأسلوب في تحسين فهم ديناميكية تدفق المياه داخل الشبكة وتحديد نقاط الضعف المحتملة. كما تُعزز هذه التقنية القدرة على اتخاذ القرار الاستباقي من خلال اختبار مختلف الحلول والتدخلات افتراضياً، واختيار الأنسب منها قبل تطبيقه ميدانياً، مما يقلل من المخاطر ويزيد من كفاءة الصيانة والتسيير. [25]

تُعتبر التوائم الرقمية أداة قوية في تطوير أنظمة ذكية لإدارة شبكات صرف مياه الامطار، حيث تجمع بين المحاكاة الدقيقة والبيانات اللحظية لدعم التخطيط الوقائي وتقليل مخاطر الفيضانات.

04: تحليل نقدي للحلول الحالية

رغم التطور التقني في أنظمة المدن الذكية، إلا أن مراجعة الحلول الحالية لإدارة فيضانات صرف مياه الامطار تظهر فجوات جوهرية تستدعي تطوير حلول أكثر تخصصاً واستدامة.

- **قصور الاعتماد على الأنظمة التقليدية:**

24 W. Kritzinger et al., "Digital Twin in manufacturing: A categorical literature review and classification", IFAC-PapersOnLine, 2018, p. [245].

25 F. Tao & M. Zhang, "Digital Twin Shop-Floor: A new shop-floor paradigm towards smart manufacturing", IEEE Access, 2019, p. [127].

تفتقر الأنظمة الحالية في البلديات إلى مفهوم الذكاء الاستباقي، حيث تعتمد كلياً على التدخل اليدوي أو البلاغات الواردة من المواطنين بعد حدوث الضرر. غياب التغطية الشاملة؛ حيث يتم رصد الأودية والمجاري المفتوحة غالباً، مع إهمال "الخطر الخفي" المتمثل في شبكات صرف مياه الامطار تحت مراكز المدن.

- **التحديات في التقنيات الذكية المطبقة حالياً:**

تعقيد التكلفة :الكثير من الأنظمة العالمية المتاحة تجارياً تتطلب بنية تحتية معقدة وتكاليف صيانة باهظة، مما يجعلها غير قابلة للتطبيق في المدن ذات الميزانيات المحدودة.

فجوة معالجة البيانات وتحويلها الى قرارات :تركز الحلول الحالية على جمع البيانات بكثافة، لكنها تفشل في "تحويلها إلى قرارات"، مما يؤدي إلى تكدس المعلومات دون أثر ميداني ملموس.

ضعف الملاءمة البيئية :معظم الحساسات المستوردة لا تصمد طويلاً أمام البيئة الكيميائية والفيزيائية القاسية داخل قنوات صرف مياه الامطار في المناطق الحضرية.

- **الحاجة إلى نموذج ابتكاري:**

هناك حاجة ملحة لنظام يجمع بين "الدقة الاستشعارية" و"سهولة التطبيق"، وهو ما يفتقر إليه المشهد التقني الحالي.

يظهر التحليل النقدي أن الحلول الموجودة تركز على معالجة مشكلة الجريان السطحي بدل من معالجة جذورها المتمثلة في انسداد الشبكة، وهو التوجه الذي يصححه نظام Hydrolinkعبر التركيز على الصيانة الاستباقية للبالوعات.

المحور الثالث:

النظام الذكي المقترح(Hydrolink)

اولا: الإطار العام للنظام المقترح

01 : فكرة النظام

02 : الهدف من النظام

03: مجال تطبيق المنظومة

ثانيا: البنية التقنية للنظام المقترح

ثالثا: القيمة المضافة للنظام

رابعا: تموضع النظام عالميًا

خامسا: مقارنة عامة مع الحلول الحالية

سادسا: قابلية التطبيق في مختلف المدن

المحور الثالث: النظام الذكي المقترح(Hydrolink)

بعد استعراض الإطار النظري المتعلق بالمدن الذكية وإدارة المخاطر الحضرية، وتحليل أبرز المقاربات التقنية العالمية المستخدمة في رصد وإدارة شبكات صرف مياه الامطار، يتناول هذا الفصل تقديم النظام الذكي المقترح Hydrolink بوصفه حلاً ابتكارياً يهدف إلى تعزيز كفاءة إدارة شبكات صرف مياه الامطار من خلال الانتقال من أساليب المراقبة التقليدية إلى منهجية استباقية قائمة على الرصد الذكي والتحليل التنبئي.

يرتكز النظام على دمج تقنيات الاستشعار، والمعالجة المحلية للبيانات، والاتصال اللاسلكي، والتوأمة الرقمية داخل منظومة واحدة متكاملة، بما يسمح بالكشف المبكر عن مؤشرات الانسداد، ودعم متخذي القرار ببيانات آنية تساهم في تقليل مخاطر الفيضانات وتحسين عمليات الصيانة والتدخل.

اولا: الإطار العام للنظام المقترح

01: فكرة النظام

يقوم نظام HydroLink على تطوير منظومة رقمية ذكية مخصصة لمراقبة شبكات صرف مياه الامطار الحضرية، تعتمد على عقد استشعار مستقلة يتم تثبيتها داخل البالوعات لقياس المعطيات الميدانية بشكل مستمر، ثم إرسالها عن طريق الاتصال اللاسلكي إلى منصة مركزية للتتبع والتحليل.

ويهدف هذا التصور إلى تحويل البالوعات التقليدية إلى نقاط رقمية متصلة قادرة على توفير معلومات آنية حول حالة الشبكة، بما يدعم التنبؤ المبكر بمؤشرات الانسداد ويساعد في اتخاذ إجراءات استباقية قبل تطور الوضع إلى فيضانات أو أعطال تشغيلية.

02: الهدف من النظام

يهدف النظام المقترح إلى بناء منظومة ذكية متكاملة تساهم في تحسين إدارة شبكات صرف مياه الامطار من خلال الرصد المستمر وتحليل البيانات بشكل لحظي، بما يسمح برفع كفاءة عمليات الصيانة وتقليل الخسائر الناتجة عن الانسدادات المفاجئة. كما يسعى النظام إلى دعم التحول الرقمي للمدن وتعزيز مفهوم الصيانة التنبؤية، عبر توفير معلومات دقيقة تساعد الجهات المختصة على اتخاذ قرارات مبنية على البيانات بدلاً من التدخل بعد وقوع المشكلة. وتتلخص الأهداف الاستراتيجية للنظام في النقاط التالية:

رفع كفاءة الشبكة :ضمان استمرارية تدفق المياه داخل الشبكة ومنع تراكم الرواسب التي تتسبب في انبعاث الروائح الكريهة وتؤدي إلى انسداد البالوعات.

الحد من مخاطر الجريان السطحي :تقليل احتمالية طفح المياه السطحية في شوارع المدينة من خلال الكشف الاستباقي عن بؤر الانسداد.

تحسين إدارة موارد الصيانة :توجيه فرق الصيانة بدقة مباشرة نحو البالوعات التي تستدعي تدخلاً فعلياً، مما يغني عن الصيانة الدورية العشوائية ويوفر الوقت والجهد والتكاليف.

دعم اتخاذ القرار :تزويد المسؤولين ببيانات رقمية لحظية لتقييم أداء الشبكة، بما يتماشى مع المعايير الدولية لأمان المدن الذكية.

03: مجال تطبيق المنظومة

يمكن تطبيق منظومة Hydrolink في مختلف البيئات الحضرية التي تعتمد على شبكات صرف مياه الامطار تقليدية أو حديثة، بما في ذلك المدن الذكية، والتجمعات السكنية، والمناطق الصناعية، والمرافق العامة.

كما يتميز النظام بقابليته للتكامل مع منصات إدارة البنية التحتية والأنظمة الرقمية المستخدمة من قبل

البلديات وهيئات تسيير الشبكات، مما يجعله حلاً مرناً قابلاً للتوسع والتكيف مع مختلف البيئات التشغيلية ومتطلبات الإدارة الذكية للمرافق الحضرية.

ثانيا: البنية التقنية للنظام المقترح

تعتمد فعالية نظام Hydrolink على بنية تقنية متكاملة تجمع بين تقنيات الاستشعار، والاتصال الذكي، ومعالجة البيانات، بهدف الكشف المبكر عن انسداد البالوعات وإرسال التنبيهات في الوقت المناسب للجهات المختصة. وتعمل هذه المكونات بشكل مترابط لضمان سرعة الاستجابة والحد من المخاطر الناتجة عن الانسدادات.

الاستشعار

تمثل مرحلة الاستشعار الخطوة الأولى في عمل النظام، حيث يتم تثبيت مجموعة من الحساسات الذكية داخل البالوعات لقياس مجموعة من المؤشرات المهمة، التي قد تؤدي إلى الانسداد. وتُرسل هذه البيانات بشكل مستمر إلى وحدة المعالجة لمتابعة حالة شبكة صرف مياه الامطار في الزمن الحقيقي.

المعالجة

بعد جمع البيانات، تنتقل إلى وحدة المعالجة التي تعتمد على خوارزميات ذكية لتحليل القراءات الواردة. وفي حالة اكتشاف مؤشرات غير اعتيادية تدل على احتمال حدوث انسداد، يقوم النظام بتحديد مستوى الخطورة واتخاذ القرار المناسب بناءً على النتائج المستخلصة، مما يسمح بالتنبؤ بالمشكلة قبل تفاقمها.

الاتصال والتنبيه

عند رصد حالة تستدعي التدخل، يقوم النظام تلقائيًا بإرسال إشعار أو إنذار إلى الجهات المسؤولة عبر شبكة الاتصال المعتمدة. ويحتوي التنبيه على معلومات دقيقة حول موقع البالوعة ونوع الخلل ومستوى الخطورة، مما يساعد فرق الصيانة على التدخل السريع وتقليل احتمالية حدوث فيضانات أو أضرار بيئية.

ثالثا: القيمة المضافة للنظام

يمثل نظام Hydrolink حلًا مبتكرًا يهدف إلى تطوير آليات إدارة شبكات صرف مياه الامطار من خلال الاعتماد على التقنيات الذكية، حيث يقدم مجموعة من المزايا التي تساهم في رفع كفاءة المراقبة وتحسين سرعة التدخل والحد من المخاطر المحتملة.

تحسين التنبؤ

يعتمد النظام على جمع البيانات وتحليلها بشكل مستمر، مما يتيح الكشف المبكر عن المؤشرات التي قد تدل على حدوث انسداد قبل وقوعه فعليًا. ويساعد هذا النهج الاستباقي في التخطيط المسبق لأعمال الصيانة واتخاذ الإجراءات الوقائية في الوقت المناسب.

سرعة الاستجابة

يوفر النظام آلية تنبيه فورية عند اكتشاف أي خلل أو احتمال لحدوث انسداد، حيث يتم إرسال إشعارات مباشرة إلى الجهات المختصة مرفقة بالمعلومات اللازمة عن موقع المشكلة ومستوى خطورتها. ويساهم ذلك في تقليص زمن التدخل وتحسين كفاءة عمليات الصيانة.

تقليل المخاطر

يساعد الاستخدام المستمر للنظام في الحد من المخاطر الناتجة عن انسداد البالوعات، مثل الجريان السطحي، وتعطل حركة المرور، والأضرار البيئية والمادية. كما يساهم في تعزيز سلامة البنية التحتية وتحسين جودة الخدمات المقدمة للمواطنين من خلال تقليل الأعطال والمشكلات المفاجئة.

رابعا: تموضع النظام عالميًا

في ظل التوجه العالمي نحو تطوير المدن الذكية واعتماد الحلول الرقمية لإدارة البنية التحتية، يندرج

نظام Hydrolink ضمن الابتكارات التي تسعى إلى تحسين مراقبة شبكات صرف مياه الامطار والانتقال من الصيانة التقليدية إلى الصيانة الاستباقية المعتمدة على البيانات والتنبؤ.

خامسا: مقارنة عامة مع الحلول الحالية

تعتمد العديد من الأنظمة المستخدمة حاليًا على المراقبة الدورية أو التدخل بعد وقوع الانسداد، وهو ما قد يؤدي إلى تأخر الاستجابة وارتفاع تكاليف الصيانة. أما نظام HydroLink فيتميز بتكامله بين تقنيات الاستشعار والتحليل الذكي وإرسال التنبيهات الفورية، مما يتيح الكشف المبكر عن المشكلات المحتملة ودعم اتخاذ القرار في الوقت المناسب.

وجه المقارنة	الحلول التقليدية	الأنظمة الدولية الحالية	نظام Hydrolink المقترح
طريقة الرصد	جولات تفتيش دورية يدوية	استشعار يعتمد غالباً على مستوى المياه أو الحساسات السطحية	استشعار باطن أرضي مع مراقبة لحظية
سرعة الاستجابة	بعد اكتشاف المشكلة ميدانياً	عند بلوغ مؤشرات أو مستويات محددة	تنبؤ استباقي وتنبيه مبكر قبل الانسداد الكامل
التكلفة التشغيلية	مرتفعة بسبب العمالة والصيانة الدورية	متوسطة إلى مرتفعة حسب نوع النظام	منخفضة نسبياً بفضل تحسين استهلاك الطاقة وتقليل التدخلات البشرية
التحليل الرقمي	محدود أو غير متوفر	معالجة بيانات أساسية وإرسالها إلى المنصة	معالجة ذكية محلياً مع تصفية البيانات

الاندماج مع البنية التحتية	قد يتطلب تدخلات ميدانية متكررة	قد يحتاج إلى تعديلات في بعض التصاميم	قابل للدمج دون تغييرات إنشائية
استخدام الذكاء الاصطناعي	غير موجود	محدود أو غير متوفر في العديد من الحلول	مدمج للتنبؤ وتحليل المخاطر ودعم التوأمة الرقمية

سادسا: قابلية التطبيق في مختلف المدن

صُمم النظام ليكون مرنًا وقابلًا للتكيف مع مختلف البيئات الحضرية، سواء في المدن الكبرى أو المتوسطة أو الناشئة، مع إمكانية دمجه ضمن البنى التحتية القائمة أو مشاريع المدن الذكية المستقبلية. كما يمكن تخصيص إعداداته وفقًا لاحتياجات كل مدينة وطبيعة شبكة صرف مياه الامطار لديها، مما يجعله حلًا عمليًا قابلًا للتوسع والتطوير على نطاق واسع.

الخاتمة

وفي الختام، يتضح أن التحول نحو المدن الذكية لم يعد مجرد خيار تقني، بل أصبح مساراً استراتيجياً يعكس إعادة صياغة العلاقة بين التكنولوجيا والمجال الحضري، من خلال توظيف التقنيات الرقمية الحديثة في تحسين الأداء، ورفع جودة الخدمات، وتعزيز كفاءة التدخل في مواجهة المخاطر المتنامية. وقد أظهر هذا الطرح أن المدينة الذكية تُبنى على التكامل بين البنية التحتية المادية والأنظمة الرقمية، بحيث تصبح البيانات في حد ذاتها أداة أساسية في التوجيه، والتنبؤ، واتخاذ القرار، وهو ما يمنح الإدارة الحضرية طابعاً أكثر مرونة واستباقية. وفي هذا الإطار، برزت الجريان السطحي، ولا سيما تلك المرتبطة بانسداد شبكات تصريف مياه الامطار، باعتبارها من أكثر التحديات إلحاحاً وتعقيداً، لما تسببه من أضرار مباشرة على البنية التحتية، وتعطيل لحركة المدينة، وتهديد لسلامة السكان واستمرارية الخدمات الأساسية. كما أن الطابع المتكرر وغير المتوقع لهذه الظاهرة يجعل الاعتماد على الأساليب التقليدية في المتابعة والصيانة غير كافٍ، خاصة في ظل التحولات المناخية، والتوسع العمراني المتسارع، وتزايد الضغط على الشبكات الحضرية القديمة. ومن جهة أخرى، أبرزت المعالجة أن تكامل إنترنت الأشياء، ونظم المعلومات الجغرافية، والتوأمة الرقمية، والذكاء الاصطناعي يفتح المجال أمام مقاربات أكثر تطوراً في مراقبة البنية التحتية وإدارة المخاطر، حيث تسمح هذه التقنيات بجمع البيانات في الزمن الفعلي، وتحليلها مكانياً وزمانياً، واستثمارها في بناء إنذارات مبكرة وقرارات تشغيلية أكثر دقة. كما أن القيمة الحقيقية لهذه الأدوات لا تكمن فقط في قدرتها على الرصد، بل في قدرتها على تحويل البيانات إلى استجابة عملية تقلل من احتمالية وقوع الخلل أو تحد من آثاره في حال حدوثه. ومن هذا المنطلق، يطرح نظام HydroLink نفسه بوصفه تصوراً عملياً يجسد هذا التوجه، من خلال توفير منظومة ذكية للكشف المبكر عن مؤشرات انسداد البالوعات، ومتابعة حالتها في الزمن الحقيقي، وتوجيه التنبيه المناسب قبل تطور الوضع إلى فيضان فعلي. وبذلك، لا يقتصر دوره على المراقبة التقنية، بل يمتد إلى دعم الصيانة الاستباقية، وتقليص الخسائر المادية والبشرية، وتعزيز مرونة شبكات التصريف في مواجهة التحديات الحضرية والمناخية المعاصرة.

المراجع

الكتب

محمد السعيدي، إنترنت الأشياء وتطبيقاته في المدن الذكية، دار الفكر العربي، القاهرة، 2021، ص (19).

P. A. Longley et al., Geographic Information Systems and Science, Wiley, 2015, p(97)

المقالات في كتب

P. O. Ugwoke, A. Abdulsalam & C. C. Ejiofor, "Internet of Things: The Key Enabler of Smart City Development", in: P. L. Mazzeo & P. Spagnolo (eds), Smart Cities – Foundations and Perspectives, IntechOpen, London, 2024, p(85)

المقالات العلمية

Á. Lloret et al., "A Data-Driven Framework for Digital Transformation in Smart Cities", Sensors, Vol. 25, No. 16, 2025, p. (51-79)

R. Aziz et al., "Big data and Internet of Things applications in smart cities", Internet of Things, Vol. 31, 2025, p. (101-584)

S. Praharaj, "Command and control governance in the 100 smart cities mission in India", Cities, Vol. 158, 2025, p. (105-632)

C. Rocha et al., "Integrating resilience and sustainability", International Journal of Disaster Risk Reduction, Vol. 96, 2023, p. (103-66)

K. S. Chandrasekar et al., "Planning for Integrated Command and Control Centre in Indian Cities", EAI Endorsed Transactions on Smart Cities, Vol. 9, No. 1, 2025, p. (156)

J. Gubbi et al., "Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions", Future Generation Computer Systems, 2013, p. (100)

Kritzinger et al., "Digital Twin in manufacturing: A categorical literature review", IFAC-PapersOnLine, 2018, p. (245)

F. Tao & M. Zhang, "Digital Twin Shop-Floor", IEEE Access, 2019, p. (127)

التقارير والمنظمات

ISO, Digital Twin for Smart Cities: Framework and Applications, International Organization for Standardization, 2024, p. (122)

ISO, ISO 37123:2019 – Sustainable cities and communities: Indicators for resilient cities, 2019, p. (63)

UNDRR, Data for Resilient Cities: Cities Reporting ISO 37123 Indicators, United Nations, 2020, p. (185)

WHO, Urban Flooding and Public Health: Guidelines for Risk Management, World Health Organization, 2023, p. (111)

ITU, Internet of Things in Smart Cities and Urban Infrastructure, 2020, p. (22)

المواقع

Anthropic (2026). Claude: Large Language Model.

Perplexity AI (2026). Perplexity: AI-powered search and research engine.

دليل المشروع

للحصول على شهادة براءة اختراع في إطار

القرار الوزاري 1275

21جوان 2026

بطاقة معلومات

حول المشرف وفريق العمل

1- المشرف:

المشرف الرئيسي:	التخصص
ابراهيمي هاجر	تسيير المدن و التنمية المستدامة

2- فريق العمل:

فريق المشروع	التخصص	الكلية
مبرك اسماء	اخطار طبيعية	تسيير تقنيات الحضرية
صحراوي سماح	اخطار طبيعية	تسيير تقنيات الحضرية
عبد الحفيظ حسام	اخطار طبيعية	تسيير تقنيات الحضرية
وليد مختار	ذكاء اصطناعي	الاعلام الالي

فهرس المحتويات

المحور الأول: تقديم براءة الاختراع..... 1
1. فكرة المشروع..... 1
2. القيم المقترحة..... 1
3. فريق العمل..... 3
4. أهداف المشروع..... 4
5. جدول زمني لإنجاز براءة الاختراع..... 5
المحور الثاني: الجوانب الابتكارية..... 8
1. طبيعة الابتكارات..... 8
2. مجلات الابتكار..... 9
المحور الثالث: وصف براءة الاختراع..... 11
1. عنوان براءة الاختراع..... 11
2. ملخص براءة الاختراع..... 11
3. الميدان التقني الذي ينتمي إليه الاختراع..... 12
4. الحالة التقنية السابقة..... 12
5. الغرض من الاختراع..... 13
6. تقديم جوهر الاختراع: 14
1.6 النموذج الاولي: 16
7. شرح الأشكال والرسومات: 17
8. طريقة والية عمل الجهاز المخترع..... 20
المحور الثالث: المطالب 22
1. المطلب الرئيسي..... 22
2. المطالب المستنبطة من المطلب الرئيسي 23
المحور الرابع: الملاحق..... 25
1. الأشكال والرسومات 25

المحور الأول

تقديم المشروع

المحور الأول

تقديم المشروع

01: فكرة المشروع

تنشط المنظومة الابتكارية في قطاع التكنولوجيات الحديثة، وتحديداً في تطوير حلول المدن الذكية والأنظمة السيبرانية-الفيزيائية المخصصة لإدارة البنى التحتية الحيوية .يرتكز النشاط على دمج حلول إنترنت الأشياء والذكاء الاصطناعي لتطوير بنية تحتية رقمية قادرة على الرصد والتنبؤ.

بدأت الفكرة كاستجابة تقنية لمعالجة العجز في أنظمة الإنذار المبكر المتعلقة بالمخاطر الحضرية، خاصة في المناطق التي تعاني من انسدادات متكررة في شبكات صرف مياه الأمطار .وتطورت المنهجية من مجرد رصد تقليدي إلى بناء إطار عمل يتبنى معايير المدن الذكية العالمية، بهدف تحويل البنية التحتية الجوفية غير المراقبة إلى نقاط معطيات رقمية تفاعلية تخدم التسيير التنبؤي الاستباقي.

تمثل جوهر العمل في بناء منظومة رقمية متكاملة لرصد وإدارة شبكات التصريف الحضرية. يعتمد ذلك على زراعة عقد استشعار ذاتية التشغيل مخصصة لجمع البيانات الفيزيائية الخام ونقلها إلى منصة المعالجة المركزية، لضمان استمرارية الرصد اللحظي لمستويات التدفق وتراكم الرواسب دون الاعتماد على التدخل البشري المستمر. يتم تنفيذ ذلك من خلال منظومة تقنية تعتمد على نقل البيانات الخام عبر بروتوكولات لاسلكية بعيدة المدى إلى منصة مركزية ذكية تتولى كامل المعالجة والتحليل الخوارزمي، مما يتيح لصناع القرار الانتقال من الصيانة الدورية إلى الصيانة التنبؤية.

قام بتطوير هذا الابتكار فريق بحثي تقني متخصص، يضم ثلاثة خبراء في المخاطر الطبيعية لضبط النمذجة الهيدروليكية، وخبير في الاعلام الالي والذكاء الاصطناعي لبناء الخوارزميات والمنصة الرقمية. ويتم تنفيذ كافة مراحل البحث والتطوير ضمن مخبر الابتكار بحاضنة أعمال جامعة المسيلة، مع استهداف الإسقاط الميداني الأولي في الأحياء الحضرية الأكثر عرضة لمخاطر الفيضانات.

02: القيم المقترحة

تتكامل القيم المقترحة التي تقدمها المنظومة الابتكارية لزبائنها من المؤسسات والهيئات المسؤولة عن تسيير المدن من خلال العناصر التالية:

- **الحداثة والتفرد :**يقدم النظام حلاً غير مسبوق في إدارة البنية التحتية التحت-أرضية من خلال تحويل البالوعات وغرف المعاينة الصامتة إلى نقاط رقمية مترابطة، ملبياً بذلك حاجة تكنولوجية غائبة في السوق تتعلق بالرصد اللحظي الاستباقي لباطن الأرض.

- **الأداء العالي :**يتميز النظام بأداء فني متقدم يتجاوز آليات الرصد التقليدية، حيث يضمن تدفقاً مستمراً ومعالجة دقيقة للمؤشرات الفيزيائية والهيدروليكية، مما يحقق كفاءة رصد وتنبؤ تطابق رغبات وتوقعات مسيري المدن الذكية.
- **التكييف والمرونة :**يوفر النظام مرونة هندسية كاملة تتيح تعديل وتكييف البرمجيات، وواجهات العرض، ومستويات الإنذار لتتوافق مع الخصائص الهيدروليكية والهندسية الفريدة لشبكة كل مدينة أو وسط حضري مستهدف.
- **إنجاز المهمة :**يتحمل النظام بدلاً من العميل مهمة المراقبة الدورية الميدانية الشاقة والمستمرة للبنية التحتية؛ حيث يقوم بعمليات المسح التلقائي، وتحديد مواقع الخلل، وإرسال التقارير التنبؤية ذاتياً دون الحاجة لتدخل بشري دائم.
- **التصميم والملائمة الهيكلية :**تم تصميم المنظومة بهندسة صناعية تراعي رغبات وظروف الزبائن التشغيلية؛ فالجزء المادي مصمم هندسياً ليندمج داخل البالوعات الحالية دون الحاجة لإعادة تهيئة أو تدمير للبنية التحتية القائمة.
- **خفض التكاليف :**يساعد النظام الهيئات البلدية ومؤسسات التطهير على خفض نفقات التشغيل والصيانة بشكل حاد، عبر استبدال خطط الصيانة الدورية الشاملة بصيانة تنبؤية موجهة فقط نحو النقاط الحرجة التي يحددها النظام، مما يوفر الجهد والميزانيات.
- **الحد من المخاطر :**يقلص النظام من احتمالية تعرض المدن للكوارث الهيدروليكية الفجائية عبر تقديم ضمانات تقنية تتمثل في الإنذارات المبكرة واللحظية قبل تفاقم الانسدادات، مما يحمي الأرواح، الممتلكات، والأصول الحضرية العامة.
- **سهولة الوصول والإتاحة :**يجعل النظام بيانات باطن الأرض -التي كان من المستحيل تقنياً أو عملياً الوصول إليها في الوقت الفعلي سابقاً- متاحة بالكامل ومباشرة على شاشات التحكم وعبر الهواتف الذكية للمسؤولين وفرق التدخل الميداني من أي مكان.
- **الملاءمة وسهولة الاستخدام :**يتميز النظام بواجهة مستخدم تفاعلية بسيطة وغير معقدة، تترجم البيانات الهندسية الجافة إلى تنبيهات مرئية واضحة وخرائط تفاعلية يسهل على مسيري المدن قراءتها والتعامل معها فوراً.

03: فريق العمل:

يتكون الفريق البحثي والتطويري لبراءة الاختراع من أربعة أعضاء يتوزعون على تخصصين تكامليين لضمان المطابقة بين النمذجة الهيدروليكية والمنظومة البرمجية. يتمثل توزيع الأدوار والمؤهلات وفق الآتي:

أ. المؤهلات العلمية وتوزيع الأدوار التقنية:

فريق الأخطار الحضرية ومرونة (ثلاثة طلبة - تخصص تسيير التقنيات الحضرية):

الأدوار في براءة الاختراع :يتولى هذا الشق إدارة المشروع، البحث عن الأسواق المستهدفة (البلديات ومؤسسات التطهير)، والتسويق التكنولوجي للابتكار. ومن الناحية الفنية، يتولى الفريق إعداد النمذجة الرياضية لتدفقات شبكات صرف مياه الامطار، وتحديد مناسيب وعتبات الإنذار الهيدروليكي بناءً على المعطيات المناخية، بالإضافة إلى التحليل الجيومكاني ورسم الخرائط الرقمية للنقاط السوداء الحضرية. كما يتولى الفريق وضع التصاميم والمواصفات الهيكلية والميكانيكية لعقد الاستشعار، وإعداد ملفات النمذجة المصورة والمجسمات ثلاثية الأبعاد الخاصة بالعتاد المادي.

مطور برمجيات الذكاء الاصطناعي (طالب واحد - تخصص إعلام آلي وذكاء اصطناعي):

الأدوار في براءة الاختراع :يتولى الهندسة الفنية الكاملة والتطوير الفعلي للبيئة البرمجية للمشروع؛ ويشمل ذلك بناء خوارزميات المعالجة المركزية لتصفية الإشارات والتحليل التنبؤي، وإعداد بروتوكولات تدفق البيانات اللاسلكية طويلة المدى باطن-الأرضية نظرياً.، كما يتولى البرمجة الكاملة والنشر الفعلي لواجهة الإشراف والتحكم الرقمية التفاعلية، وبناء قواعد البيانات السحابية القادرة على استقبال الإشارات وترجمتها إلى تنبيهات خرائطية حية.

ب. آليات التفاعل والتواصل التقني:

تتم إدارة التدفق المعرفي والبرمجي بين أعضاء الفريق عبر قنوات تضمن التنسيق اللحظي وإلغاء الأخطاء الهندسية أثناء مرحلة التصميم والمحاكاة:

- **التنسيق البرمجي والفيزيائي الفرضي :**عقد جلسات مراجعة هندسية دورية لمطابقة المخرجات الهيدروليكية مع الخوارزميات المدمجة، للتأكد من دقة المنصة في رصد الانسدادات قبل إعداد وسائط العرض البصرية للعتاد.

- **إدارة الوثائق والمخططات الهندسية :**الاعتماد على بيئات عمل سحابية مشتركة لتبادل المخططات التنفيذية، وقواعد البيانات الجغرافية الخاصة بالشبكات الحضرية المستهدفة بمخرجات حاضنة أعمال جامعة المسيلة، مما يضمن تعديل وتجميع بيانات الدليل التقني بشكل جماعي ومنظم.
- **المحاكاة الهجينة المشتركة :**التكامل بين خبراء الأخطار الحضرية وخبير الحاسوب لدمج خوارزميات التعلم الآلي مع نماذج المحاكاة الهيدروليكية، للتأكد من استجابة المنصة الرقمية وسرعتها الفائقة في معالجة البيانات البيئية وإصدار الإنذارات فورياً.

04: أهداف المشروع

تتحدد الأهداف الابتكارية والاستراتيجية لبراءة المنظومة الابتكارية ضمن أبعاد ومحاور تقنية واضحة، تنقسم إلى شقين فني وتجاري وفق الآتي:

أ. الأهداف التقنية والابتكارية:

لريادة التكنولوجية العالمية :الانفراد بالصدارة كمنظومة سيبرانية-فيزيائية متكاملة ومستقلة شبكياً وطاقوياً، وتقديم معيار هندسي جديد يثبت كفاءة المعالجة المركزية الذكية في إدارة البنى التحتية الجوفية وشبكات التطهير دون الاعتماد على البنى التقليدية.

رفع كفاءة الاستجابة الفنية عالمياً :تعميم معيار الإنذار الفوري فائق السرعة عبر تقليص الفجوة الزمنية وزمن الاستجابة الرقمية في رصد المخاطر الحضرية إلى أجزاء من الثانية، والوصول بمعدل الدقة في تصفية الضجيج الإشاري والتنبؤ بالانسدادات مستهدفة إلى نسبة عالية بفضل خوارزميات التعلم الآلي المستعملة.

تحقيق الموثوقية والمطابقة الفنية :تصميم البنية الهيكلية لعقد الاستشعار لتقاوم البيئات الكيميائية والفيزيائية القاسية وفق معايير الصلابة العالمية، وضمان قدرة منظومة الاستشعار والنقل على العمل التشغيلي المستدام دون انقطاع.

ب. الأهداف الاقتصادية والتجارية في السوق:

بناء نموذج تقني قابل للتوسع والاستثمار: تطوير منظومة مبتكرة قابلة للتعميم والتكيف مع مختلف البيئات الحضرية، بما يتيح فرصاً للترخيص التجاري والشراكات الاستراتيجية، وتحويل براءة الاختراع إلى منتج قابل للتسويق عالمياً، مع تحقيق قيمة اقتصادية مضافة عبر تقليل تكاليف الصيانة التشغيلية، وترشيد الإنفاق على التدخلات الميدانية، وتحسين كفاءة استغلال الموارد المالية والبشرية.

الاستدامة وعقلنة الإنفاق العام :تمكين الهيئات والبلديات ومؤسسات التطهير الدولية من خفض تكاليف التشغيل والصيانة بنسبة عالية، من خلال إحلال نموذج الصيانة التنبؤية المؤتمت كبديل دولي معتمد عن الصيانة الوقائية والمسح البشري التقليدي.

رفع القيمة الاستثمارية لبراءة الاختراع :تثبيت النظام كأصل تكنولوجي ذي قيمة تجارية قابلة للتوسع السريع والنشر المكثف عالمياً، مما يتيح عقد شراكات استراتيجية عابرة للحدود مع قطاعات تسيير المياه وإدارة الحواضر الذكية.

05: جدول زمني لإنجاز براءة الاختراع

تم تقسيم الهدف النهائي لبراءة الاختراع إلى ثمن مهام رئيسية موزعة على خطة زمنية مدتها 7أشهر، تحدد المسؤوليات والنتائج المتوقعة لكل مرحلة وفق الآتي:

أولاً: تفصيل المهام والنتائج الرئيسية

المهمة الأولى: البحث في قواعد البيانات الخاصة ببراءات الاختراع وجمع المعلومات

النتائج الرئيسية :إعداد تقرير البحث في الأسبقية التكنولوجية لضمان تفرد الابتكار، وتحديد المتطلبات البرمجية الأساسية للمنصة الرقمية.

المهمة الثانية: النمذجة الهندسية للعتاد والتطوير البرمجي الأولي

النتائج الرئيسية :إنجاز التصاميم والمخططات الهيكلية والميكانيكية لعقد الاستشعار، إنتاج الصور والمجسمات ثلاثية الأبعاد للعتاد، وبناء القواعد البرمجية الأساسية لواجهة الإشراف والتحكم الرقمية.

المهمة الثالثة: التطوير الكامل والربط البرمجي للمنصة الرقمية

النتائج الرئيسية :الجاهزية الكاملة للمنصة البرمجية التفاعلية، بناء قواعد البيانات السحابية، ودمج خوارزميات المعالجة المركزية والتعلم الآلي لمعالجة التدفقات البيانية.

المهمة الرابعة: المحاكاة الرقمية واختبار المنصة بيئياً

النتائج الرئيسية :إجراء عمليات محاكاة هيدروليكية هجينة للنقاط السوداء الحرجية، والتحقق من دقة الخوارزميات وسرعة المنصة الفائقة في معالجة البيانات وإصدار الإنذارات التنبؤية.

المهمة الخامسة: إعداد الدليل التقني وحقيبة الوسائط البصرية ثلاثية الأبعاد

النتائج الرئيسية :تجميع المخططات التنفيذية وهندسة النظام في دليل تشغيلي متكامل، وإنتاج مقاطع الفيديو المتحركة والمجسمات البصرية التي تشرح بدقة آلية عمل العتاد باطن-الأرضي

المهمة السادسة: صياغة وثيقة عناصر الحماية الفنية والمطالب القانونية

النتائج الرئيسية :الصياغة الدقيقة لـ "عناصر الحماية" الخاصة بالخوارزميات المبتكرة، هندسة تدفق البيانات، والواجهة التفاعلية لضمان تأمين النطاق القانوني للاختراع ومنع القرصنة البرمجية.

المهمة السابعة: إيداع وتسجيل براءة الاختراع للحصول على رقم الإيداع والحماية الصناعية

النتائج الرئيسية :صياغة ومراجعة ملف براءة الاختراع التقني والقانوني بالكامل بالتعاون مع حاضنة الأعمال، وإيداعه رسمياً لدى المعهد الوطني الجزائري للملكية الصناعية للحصول على رقم الحماية الشاملة.

المهمة الثامنة: متابعة عملية الحصول على براءة الاختراع وتصحيح الملاحظات

النتائج الرئيسية :الاستجابة لتقارير الفحص الفني، وتعديل أو صياغة الردود على ملاحظات الممتحنين، وضمان الاستقرار القانوني والتجاري للعلامة والابتكار.

ثانياً: المخطط الزمني لإنجاز الأعمال

الرقم	طبيعة الأعمال والمهام	الشهر 1	الشهر 2	الشهر 3	الشهر 4	الشهر 5	الشهر 6	الشهر 7
1	البحث في قواعد البيانات الخاصة ببراءات الاختراع وجمع المعلومات	✓	✓					
2	النمذجة الهندسية للعتاد والتطوير البرمجي الأولي		✓	✓				
3	التطوير الكامل والربط البرمجي للمنصة الرقمية التفاعلية		✓	✓	✓			
4	المحاكاة الرقمية واختبار استجابة المنصة على النظم			✓	✓	✓		

5	إعداد الدليل التقني وحقيبة الوسائط والبصريات ثلاثية الأبعاد					✓	✓	
6	صياغة وثيقة عناصر الحماية الفنية والمطالب القانونية					✓		
7	تسجيل براءة الاختراع للحصول على رقم الإيداع والحماية الصناعية						✓	
8	متابعة عملية الحصول على براءة الاختراع وتصحيح ملاحظات الممتحنين							✓

المحور الثاني

الجوانب الابتكارية

المحور الثاني

الجوانب الابتكارية

01: طبيعة الابتكارات

يتحدد التموقع الهندسي والتجاري للمنظومة الابتكارية من خلال أربعة أبعاد ابتكارية رئيسية تتقاطع مع مستويات عدم التأكد، وتتوزع وفق الآتي:

أ. الابتكارات التكنولوجية:

يمثل النظام ابتكاراً تكنولوجياً متقدماً يرتكز على دمج حلول الأنظمة السيبرانية-الفيزيائية الجوفية مع خوارزميات المعالجة المركزية الذكية للبيانات. وتظهر القيمة التقنية المضافة في هذا المحور من خلال:

المعالجة المركزية الذكية وتحليل تيارات البيانات المتعددة: اعتماد بنية برمجية مركزية متقدمة تتولى فيها المنصة الرئيسية كامل عمليات تصفية الإشارات والتحليل الخوارزمي للبيانات الخام الواردة من العقد الجوفية الموزعة، مما يتيح تطبيق نماذج تعلم آلي شاملة ومعالجة متزامنة لتيارات بيانات متعددة المصادر بدقة تحليلية فائقة.

هندسة بروتوكول الاتصال والتنبؤ الاستباقي: اعتماد مواصفات بروتوكول لاسلكي منخفض الطاقة وبعيد المدى ، مصمم هندسياً لاختراق البيئات الخرسانية والمعدنية للمنشآت تحت الأرض، مع صياغة خوارزميات تعلم آلي تترجم التغيرات الفيزيائية والميدانية إلى إنذارات تنبؤية فورية قبل حدوث الانسداد الفيزيائي لشبكات التطهير.

ب. ابتكارات السوق :

يوفر الابتكار حلولاً مستحدثة لقطاع إدارة المرافق العامة والتعاملات المؤسساتية الحكومية، مما يساهم في عقلنة وضبط مؤشرات عدم التأكد في السوق عبر:

توليد تدفقات البيانات: تحويل قنوات التطهير والبالوعات الصامتة إلى مصادر رقمية تفاعلية تولد بيانات آنية ومستمرة حول المؤشرات الهيدروليكية، الفيزيائية، والتآكل الهيكلي.

تغيير نمط الطلب المؤسساتي: خلق حاجة تشغيلية جديدة وثقافة تسييرية لدى الهيئات الحضرية والبلديات للانتقال من نمط الصيانة التقليدية الارتدادية إلى نمط الصيانة التنبؤية المؤتمتة.

ج. الابتكارات المتزايدة :

يتكامل المشروع مع هذا البُعد من خلال مرونته الهيكلية والميكانيكية العالية في التطبيق الفعلي والمطابقة مع البنية التحتية القائمة:

الاندماج السلس دون تكاليف إنشائية : لا يتطلب النظام استبدال أو إعادة بناء شبكات صرف مياه الامطار الحالية، بل يعتمد تصميمه على دمج وتثبيت عقد الاستشعار داخل المواصفات القياسية للبالوعات القائمة وغرف المعاينة لرفع كفاءتها الرقمية تدريجياً وبأقل تكلفة تشغيلية.

د. الابتكارات الجذرية:

يمثل المشروع قفزة نوعية تلغي الأساليب التقليدية المعتمدة دولياً في شقه البرمجي والتنظيمي لإدارة المدن الذكية:

الرقمنة الشاملة للفحص والتوأمة الرقمية : إلغاء عمليات المسح البشري الميداني الدورية والمخاطر المهنية المصاحبة لها كلياً، وإحلال نظام صيانة تنبؤية مؤتمت بالكامل يحول النقاط الجوفية الصامتة إلى شبكة رقمية تفاعلية حية، تعمل بزمن استجابة منعدم وتمنح مراكز التحكم رؤية جغرافية مكانية شاملة ولحظية للبنية التحتية غير المرئية.

هـ. تحليل وموازنة مصفوفة عدم التأكد:

مؤشر عدم التأكد التكنولوجي : مؤشر هندسي محسوب ومؤطر تقنياً؛ حيث يتسم بالتعقيد بالنظر إلى طبيعة البيئة الجوفية وحتمية اختراق الإشارات اللاسلكية للموانع الخرسانية، مما ينفي عن الابتكار أي صفة بديهية ويؤكد وجود خطوة ابتكارية معقدة. وقد تم تفكيك هذا التعقيد التقني وتأطيره برمجياً عبر النمذجة الرياضية لتدفقات مياه الصرف والمحاكاة الهيدروليكية بنجاح، وتطوير خوارزميات المعالجة المحلية لضمان استقرار المنظومة ودقة عملها في رصد الانسدادات قبل مرحلة التصنيع الفعلي.

مؤشر عدم التأكد في السوق : مؤشر مؤطر تجارياً واستراتيجياً؛ نظراً لأن الحاجة الدولية ملحة لدى البلديات ومؤسسات التطهير لحلول رقمية ذكية تضمن خفض تكاليف الصيانة بنسبة كبيرة، وتمنع كوارث انسداد البنى التحتية الفجائية، مما يرفع من القابلية التجارية والتنافسية العالية للمنظومة بمجرد طرحها ونشرها.

02: مـجـالات الابـتـكـار

تتوزع المنظومة الابتكارية عبر ست مجالات استراتيجية متكاملة تضمن توليد القيمة التقنية والتسويقية وفق الآتي:

- **عروض جديدة :** إدخال منظومة تكنولوجية مبتكرة في سوق تسيير البنى التحتية، تدمج بين المنصات الرقمية التفاعلية حية التدفق وخوارزميات الذكاء الاصطناعي الموجهة للتنبؤ الفيزيائي؛ مما يقدم خدمة استشعارية ذكية ومستقلة ترصد مؤشرات اختناق وهندسة تدفق مياه الامطار قبل حدوث الأزمة على السطح.

- **ميزات جديدة :**تقديم منصة برمجية تفاعلية محسنة وفائقة السرعة تتميز بقدرتها العالية على المعالجة المركزية الذكية للبيانات وتحليل المتغيرات الهيدروليكية المتقدمة؛ مما يمنح واجهات الإشراف والتحكم دقة تنبؤية عالية وزمن استجابة يقترب من المنعدم في رصد الانسدادات وهيدروليكية القنوات الجوفية.
- **عمليات جديدة :**إحلال نموذج هندسي وتشغيلي جديد كلياً يضمن رفع كفاءة العمليات وعقلنة الإنفاق العام للهيئات؛ وذلك عبر الانتقال من المسح البشري التقليدي والصيانة الوقائية الدورية المكلفة، إلى نموذج الصيانة التنبؤية المؤتمتة الذي يقلص تكاليف التشغيل والصيانة العامة بنسبة كبيرة.
- **نماذج جديدة :**اعتماد نظام تشغيلي وتجاري مبتكر لتوليد القيمة مبني على مفهوم التوأمة الرقمية التفاعلية للبنى التحتية صامتة البيانات؛ حيث يتحول الابتكار من مجرد أداة مراقبة عادية إلى منصة استشارية هندسية متكاملة تقدم تحليلات مكانية جغرافية مستدامة وقابلة للتوسع الاستثماري السريع.
- **تجارب جديدة :**تطوير أسلوب العرض الهندسي الموجه لمسيري المدن والمؤسسات؛ فبدلاً من الاعتماد على التقارير المكتوبة والكتالوجات الجافة، يتم تقديم حقيبة وسائط رقمية تفاعلية تتيح للمهندسين ومراكز التحكم محاكاة بصرية ثلاثية الأبعاد ومباشرة لآلية عمل النظام والتدفقات المائية باطن-الأرضية، مما يمنحهم رؤية واضحة ومسبقة لسيناريوهات التدخل والاستجابة للانسدادات قبل حدوثها ميدانياً.

شركاء ومستفيدون استراتيجيون :توسيع نطاق الاستفادة من الابتكار ليتجاوز مؤسسات التطهير والبلديات التقليدية إلى شرائح تسييرية واستثمارية أوسع؛ ليشمل شركات تطوير وإدارة المدن الذكية الحديثة، هيئات ومراكز إدارة المخاطر والأزمات الحضرية، مقاولي الري ومكاتب الدراسات الهيدروليكية الكبرى، والشركات المسؤولة عن التأمين الهندسي على المنشآت العمرانية الاستراتيجية

المحور الثالث

وصف براءة الاختراع

المحور الثالث

وصف براءة الاختراع

01: عنـوان بـراءة الاخـتـراع:

منظومة رقمية تفاعلية للتنبؤ الاستباقي بانسدادات شبكات تصريف مياه الامطار الحضرية

02: ملـخـص بـراءة الاخـتـراع:

يقدم هذا الابتكار منظومة سيبرانية-فيزيائية تفاعلية متكاملة ومستقلة، موجهة لرصد وتسيير البنى التحتية الجوفية والتنبؤ الاستباقي بمخاطر انسداد شبكات صرف مياه الامطار والاختناق الهيدروليكي في البيئات الحضرية. تتكون المنظومة من عقد استشعار ذكية مصممة هندسياً للاندماج السلس داخل البالوعات القائمة وغرف المعاينة دون الحاجة لتعديلات إنشائية مكلفة، بالتكامل مع منصة برمجية رقمية متطورة لإدارة البيانات الجغرافية المكانية حية التدفق.

تكمن الخطوة الابتكارية في هذا النظام في صياغة هيكلة مركزية ذكية تفصل بين طبقة الاستشعار الميداني وطبقة المعالجة الخوارزمية؛ حيث تقتصر العقد الجوفية على التقاط البيانات الفيزيائية الخام ونقلها لاسلكياً إلى المنصة المركزية التي تتولى تنفيذ خوارزميات الذكاء الاصطناعي المبتكرة لتصفية الإشارات وعزل الضجيج وتحليل المتغيرات الهيدروليكية المترابطة، مما يضمن تقليص الفجوة الزمنية وزمن الاستجابة الرقمية لرصد المخاطر إلى أجزاء من الثانية وبمعدل دقة تنبؤية عالٍ. تترجم الخوارزميات المركزية التغيرات الفيزيائية الميدانية كمناسيب المياه وسرعات التدفق إلى إشارات إنذار فوري موجهة لواجهات الإشراف والتحكم قبل حدوث الانسداد الفعلي على السطح.

وقد تم التحقق من استقرار المنظومة وهندستها التقنية عبر النمذجة الرياضية لآليات انسداد شبكات الصرف والمحاكاة الهيدروليكية بنجاح، مما أثبت كفاءة النظام البرمجي في توفير توأمة رقمية حية للبنية التحتية الجوفية غير المرئية. يتيح الابتكار للهيئات الحضرية والبلديات ومؤسسات التطهير الانتقال من نمط الصيانة التقليدية الدورية والمسح البشري المكلف إلى نموذج الصيانة التنبؤية الذكية، مما يضمن خفض تكاليف التشغيل والصيانة العامة بنسبة كبيرة وتقليل خطر الفيضان، ويرفع من القيمة التنافسية والتجارية للمنظومة كحل تكنولوجي مستدام لإدارة المرافق العامة في المدن الذكية الدولية.

03: الميدان التقني الذي ينتمي إليه الاختراع:

ينتمي هذا الاختراع عموماً إلى ميدان التكنولوجيا والهندسة الحضارية المستدامة، ويندرج تفصيلياً تحت مظلة التخصصات التقنية الدقيقة التالية:

- **الأنظمة السيبرانية-الفيزيائية الجوفية :**من خلال دمج المكونات البرمجية مع التصاميم لعقد الاستشعار باطن-الأرضية.
- **هندسة البرمجيات والذكاء الاصطناعي :**عبر تطوير خوارزميات المعالجة المركزية الذكية للبيانات والتوأمة الرقمية.
- **هندسة الاتصالات اللاسلكية منخفضة الطاقة :**ويشمل تكنولوجيا نقل حزم البيانات وإنذارات التنبؤ المبكر عبر بروتوكولات الاتصال اللاسلكية بعيدة المدى ومنخفضة استهلاك الطاقة المتوافقة مع الأوساط الجوفية المعقدة واختراق الموانع الخرسانية.
- **الهيدروليك الحضري وإدارة الكوارث البيئية :**من خلال توظيف الحلول الرقمية للتنبؤ الاستباقي بمخاطر انسداد البنى التحتية وشبكات صرف مياه الامطار.

04: الحالة التقنية السابقة:

بناءً على الفحص المنهجي لقواعد بيانات براءات الاختراع الدولية والأنظمة التكنولوجية المسجلة عالمياً في مجال تسيير البنى التحتية، تتحدد الحالة التقنية السابقة من خلال الأبعاد الحمائية والوثائق المرجعية التالية:

- **الأنظمة المبنية على وثائق حماية الرصد العمودي لمنسوب المياه (الولايات المتحدة الأمريكية، 2019) :**تحمي الوثيقة المرجعية الصادرة عن المكتب الأمريكي لبراءات الاختراع والعلامات التجارية تحت رقم US10428497B2(سنة 2019) آليات تعتمد حصرياً على قياس المستوى الساكن للمياه داخل البالوعات عبر حساسات الأمواج فوق الصوتية، ونقل البيانات الخام مباشرة وبشكل مستمر. ويعيب هذه الأنظمة استهلاكها المفرط لطاقة البطاريات وعجزها البنيوي عن رصد ديناميكية التدفق في باطن الأرض، حيث تقتصر على إصدار إنذار ظرفي عند وصول المشكلة إلى السطح دون فهم مسبق لمسببات الانسداد الجوفية.
- **الأنظمة المبنية على وثائق حماية الأغطية والشبكات السطحية المتصلة (المنظمة العالمية للملكية الفكرية"WIPO" 2021) :**تركز وثيقة الحماية الدولية الصادرة تحت رقم WO2021143899A1

(سنة 2021) على الدمج الميكانيكي لحساسات الإرسال اللاسلكي ضمن الهياكل المعدنية لأغطية البالوعات لرصد تراكم المياه السطحية. ورغم معالجتها لمشاكل الاتصال، إلا أنها تفتقر لأي ربط تفاعلي ديناميكي يسمح بالتنبؤ بآليات الانسداد والاضطراب الهيدروليكي داخل الأنابيب قبل وصول التدفق إلى السطح.

أنظمة المراقبة البعيدة مع تصحيح الأخطاء الديناميكي (USPTO، 2024) :تُعالج الوثيقة US11994422B2إشكالية انعكاسات الموانع الداخلية على دقة قراءة المستشعر عبر خوارزمية تحقق تكرارية، إلا أنها تبقى محصورة في الإنذار الظرفي اللحظي دون أي قدرة تنبؤية أو تمثيل جغرافي مكاني لتوزيع مخاطر الانسداد على الشبكة.

الخطوة الابتكارية الهندسية وحل الفجوة التقنية المشتركة:

تكشف مراجعة الحالة التقنية السابقة عن فجوة بنيوية موحّدة عبر جميع الفئات: لا يوجد نظام مُسجَّل أو منشور يُحقق التكامل الوظيفي بين الاستشعار الجوفي ونمذجة هيدروليكية تنبؤية مركزية وتوأمة رقمية جغرافية مكانية في منظومة واحدة مدمجة. تنحصر جميع الأنظمة السابقة في نمط الكشف الارتدادي أي إصدار الإنذار بعد وقوع الاختناق أو عند اقترابه في حين يُقدم هذا الاختراع النمط المعاكس: التنبؤ بتشكّل الانسداد التدريجي وتحديد موضعه الجغرافي الدقيق على الشبكة قبل حدوثه، وذلك عبر منصة معالجة مركزية تدمج تيارات البيانات القادمة من عقد الاستشعار الموزعة مع نماذج المحاكاة الهيدروليكية الديناميكية في زمن استجابة منعدم. هذا التكامل المنهجي بين طبقات الاستشعار والمعالجة والتمثيل المكاني يُمثل خطوة ابتكارية غير قابلة للاستنتاج المباشر من مجموع الأنظمة المرجعية السابقة مجتمعةً.

05: الـغـرض مـن الاخـتـراع:

يتحدد الغرض الأساسي والأهداف الاستراتيجية للمنظومة الابتكارية ضمن أبعاد تقنية، بيئية، واقتصادية متكاملة تسعى إلى إعادة هندسة طرق تسيير المرافق الحضرية الجوفية وفق الآتي:

- **أولاً: التنبؤ الاستباقي المبكر بمخاطر انسداد شبكات تصريف مياه الامطار :**الهدف المحوري للاختراع هو تجاوز مرحلة الرصد التقليدي الارتدادي، والانتقال نحو بيئة تشغيلية ذكية قادرة على التنبؤ الاستباقي بمواضع تشكل الانسدادات الجوفية تدريجياً، وإصدار إنذارات مبكرة تتيح التدخل الوقائي قبل حدوث الاختناق الهيدروليكي الكامل للقنوات.

- **ثانياً: عقلنة الإنفاق العام وخفض تكاليف الصيانة التشغيلية :**يهدف الابتكار إلى الاستبدال التدريجي لعمليات المسح البشري الميداني والفحص الميكانيكي الدوري المكلف لشبكات التطهير بنظام رقمي مستمر؛ مما يساهم في توجيه فرق الصيانة نحو النقاط المستهدفة بالانسداد فعلياً وبدقة متناهية، الأمر الذي يضمن خفض المصاريف اللوجستية وتكاليف الصيانة العامة.
- **ثالثاً: توفير توأمة رقمية حية للبنية التحتية الجوفية غير المرئية :**يهدف النظام برمجياً إلى تحويل قنوات صرف مياه الامطار والبالوعات الصامتة إلى شبكة رقمية تفاعلية حية، تمنح مهندسي مراكز التحكم

والبلديات رؤية جغرافية مكانية شاملة، لحظية، وبصرية للحالة الهيدروليكية الداخلية للشبكات، مما يرفع من كفاءة اتخاذ القرار التسييري في المدن الذكية المستدامة.

- **رابعاً: حماية الأصول العمرانية والبيئة الحضرية :**الحد من الآثار السلبية والبيئية الناجمة عن انسدادات شبكات التطهير الفجائية، وما يصاحبها من تآكل كيميائي في البنى التحتية، أو تسربات ملوثة للمياه المستعملة، أو تعطيل لحركة المرور والحياة اليومية للمواطنين، عبر ضمان انسيابية هيدروليكية دائمة ومراقبة للمنشآت.

06: تقديم جوهر الاختراع:

يقوم جوهر هذا الاختراع على ابتكار منظومة سيبرانية-فيزيائية تفاعلية هجينة، تعيد هندسة طرق الرصد الجوفي لشبكات التطهير من خلال الجمع بين المكونات البرمجية المدمجة والنمذجة الرياضية اللحظية.
يتجلى الجوهر التقني للاختراع في ثلاثة محاور تشغيلية متكاملة:

أ. البنية الهندسية لعقد الاستشعار الجوفية:

تتألف المنظومة من عقد استشعار رقمية ذكية يتم تثبيتها في الجزء العلوي الداخلي للبالوعات وغرف المعاينة. تحتوي كل عقدة على حساسات دقيقة لقياس المنسوب العمودي للمياه، بالتكامل مع وحدة معالجة ميكروية مدمجة، ووحدة إرسال لاسلكي منخفض الطاقة وبعيد المدى مصممة هندسياً لاختراق الموانع الخرسانية والمعدنية باطن-الأرض.

ب. آلية جمع البيانات الحسية ونقلها إلى المنصة المركزية:

تعتمد المنظومة الابتكارية على مبدأ الفصل الوظيفي الصارم بين طبقة الاستشعار الميداني وطبقة المعالجة الذكية المركزية. تقتصر مهمة العقد الجوفية المثبتة داخل البالوعات وغرف المعاينة على التقاط القراءات الفيزيائية الخام مناسيب المياه، وزمن ارتداد الموجات فوق الصوتية ونقلها فوراً دون أي معالجة أولية عبر بروتوكولات اتصال لاسلكية بعيدة المدى ومنخفضة الطاقة إلى العقدة الرئيسية المركزية. يتيح هذا التصميم المعماري تركيز كامل القدرة الحوسبية والخوارزمية على مستوى منصة المعالجة المركزية، مما يحقق عدة مزايا تقنية جوهرية:

رفع دقة التحليل: إذ تستفيد الخوارزميات المركزية من رؤية شاملة ومتزامنة لبيانات جميع العقد عبر الشبكة، مما يتيح تطبيق نماذج تعلم آلي متقدمة تربط بين المتغيرات الهيدروليكية المكانية وتكشف أنماط الانسداد التدريجي بدقة تفوق المعالجة المنعزلة.

مركزية الذكاء الاصطناعي: حيث تتولى المنصة المركزية تنفيذ خوارزميات تصفية الإشارات وعزل الضجيج، والنمذجة الرياضية للتدفقات الهيدروليكية، وتصنيف مستويات المخاطر، وإصدار قرارات التدخل الاستباقي؛ مما يجعل العقد الجوفية بسيطة التكوين ومنخفضة التكلفة وسهلة الصيانة والاستبدال.

ج. المنصة المركزية الذكية وبنية التأمين السيبراني:

تُشكّل المنصة المركزية الذكية النواة الحوسبية والتحليلية للمنظومة بأكملها؛ إذ تستقبل تيارات البيانات الخام المتدفقة من جميع العقد الجوفية الموزعة جغرافياً، وتُخضعها لمنظومة متكاملة من المعالجة الخوارزمية تشمل: تصفية الإشارات وعزل الضجيج الناتج عن الاضطرابات الجوفية، وتطبيق نماذج التعلم الآلي للتنبؤ الاستباقي بالانسدادات، ودمج البيانات مع نظام معلومات جغرافي مكاني تفاعلي لتوليد التوأمة الرقمية الحية. وقد صُمّمت البنية التحتية للمنصة وفق أعلى معايير التأمين السيبراني؛ حيث تعتمد بروتوكولات تشفير طرفي شاملة تؤمّن البيانات المنقولة لاسلكياً من العقد الجوفية إلى الخوادم المركزية عبر طبقات تشفير متعددة تمنع أي اعتراض أو تحريف للحزم البيانية أثناء النقل.

كما تعتمد المنصة آليات حماية متقدمة لقواعد البيانات المكانية الجوفية تشمل: أنظمة التحقق متعدد العوامل للولوج، والتدقيق المستمر لسلامة البيانات المخزنة، ونسخاً احتياطية مشفرة ومتعددة المواقع، وجدران حماية مخصصة للتصدي للتهديدات السيبرانية الموجهة لأنظمة البنى التحتية الحيوية؛ مما

يضمن سرية وسلامة وتوافرية البيانات الجوفية على مدار الساعة ويمنح المنظومة صموداً سيبرانياً عالياً أمام محاولات الاختراق والتلاعب.

1.6 النموذج الأولي التجريبي

يتجسد النموذج الأولي للمنظومة الابتكارية في بنية هندسية ثلاثية الطبقات متكاملة وظيفياً، صُمّمت لإثبات الجدوى التقنية والتشغيلية للمفهوم الابتكاري في بيئة حضرية واقعية.

تتمثل الطبقة الأولى في عقدة الاستشعار الجوفية كما هو مبيّن في الشكل (1) الذي يوضح المنظر المنظوري العام للجهاز، والشكل (2) الذي يكشف التموضع الطبقي للمكونات الداخلية عبر مقطع طولي جانبي وهي وحدة سيبرانية-فيزيائية مستقلة تتألف من غلاف أسطواني محكم الإغلاق مقاوم للتآكل الكيميائي والبيئات الجوفية القاسية، يحتضن مستشعراً فوق صوتي عمودي التوجيه لقياس مناسيب المياه والعوالق الصلبة، ووحدة اتصال لاسلكي بعيدة المدى مزودة بهوائي مصمم هندسياً لاختراق الموانع الخرسانية والمعدنية باطن الأرض، ووحدة طاقة مستقلة. يوضح الشكل (3) التوزيع الهندسي والمساحي لهذه المكونات داخل المحيط الدائري للغلاف عبر المسقط الأفقي العلوي، بينما يبيّن الشكل (4) تصميم القاعدة ونقاط الربط الميكانيكي التي تتيح تعليق الجهاز مباشرة أسفل أغطية البالوعات القائمة دون أي تعديلات إنشائية.

تتمثل الطبقة الثانية في منظومة الاتصال والنقل اللاسلكي؛ حيث تقتصر وظيفة العقدة الجوفية على التقاط القراءات الفيزيائية الخام وبثها مباشرة عبر بروتوكولات اتصال منخفضة الطاقة وبعيدة المدى إلى بوابة الاستقبال المركزية، كما يوضح الشكل (5) هندسة تركيب العقدة وآلية الرصد العمودي بالموجات فوق الصوتية داخل غرف المعاينة.

أما الطبقة الثالثة فتتجسد في المنصة الرقمية المركزية الذكية التي تتولى كامل عمليات المعالجة والتحليل؛ إذ تستقبل تيارات البيانات الخام من جميع العقد الموزعة، وتُطبّق عليها خوارزميات تصفية وتحليل مركزية متقدمة، وتدمجها مع نظام المعلومات الجغرافي المكاني لتوليد توأمة رقمية حية تتيح محاكاة بصرية تفاعلية لحالة الشبكة الهيدروليكية وتحديد بؤر الانسداد التدريجي وإصدار الإنذارات الاستباقية.

يُبرهن هذا النموذج الأولي على نضج المعمارية الهندسية للمنظومة من خلال التكامل الوظيفي بين مكونات معروفة صناعياً مستشعر فوق صوتي، ووحدة اتصال لاسلكي، ووحدة طاقة ضمن تركيبة ابتكارية مستحدثة تُنتج وظيفة جديدة كلياً هي الصيانة التنبؤية المؤتمتة لشبكات التصريف الحضرية.

ويُعدّ التطبيق الوظيفي المبتكر لهذه التقنيات المعروفة بنقلها من أدوات قياس مسافات تقليدية إلى

منظومة تصنيف استباقي لمستويات خطر الانسداد جوهر القيمة الابتكارية للنموذج الأولي، الذي يُحوّل البنية التحتية الجوفية الصامتة إلى شبكة بيانات رقمية حية قابلة للتنبؤ والتسيير الذكي المستدام.

07: شرح الأشكال

الشكل 1: يمثل منظراً منظورياً عاماً للجهاز، ويوضح المكونات الخارجية والترتيب الهيكلي العام لعقدة الاستشعار المستقلة.

الشكل 2: يمثل مقطعاً طولياً جانبياً، ويوضح التموضع الطبقي للمكونات الداخلية وعناصر العزل الميكانيكي.

الشكل 3: يمثل مسقطاً أفقياً علوياً، ويوضح التوزيع الهندسي والمساحي للمكونات داخل المحيط الدائري للغلاف.

الشكل 4: يمثل مسقطاً سفلياً، ويوضح تصميم القاعدة ونقاط الربط الميكانيكي للجهاز داخل غرف التفتيش.

الشكل 5: مخطط قطاعي عرضي يوضح هندسة تركيب عقدة الاستشعار الجوفية وآلية الرصد العمودي بالموجات فوق الصوتية داخل غرف المعاينة الحضرية.

الرقم	اسم العنصر	الوصف الهيكلي والفيزيائي	الدور الوظيفي داخل المنظومة
1	الغلاف الأسطواني الخارجي	هيكل أسطواني متين ومصمت مصنوع من مواد مقاومة للتآكل والأكسدة الكيميائية.	العمل كحاوية ميكانيكية متكاملة لاحتواء وحماية المكونات الإلكترونية والكهربائية الداخلية.
2	المستشعر فوق الصوتي السفلي	مجس إلكتروني موجّه عمودياً، يتموضع في القاعدة السفلية المكشوفة للعقدة الجوفية.	إصدار واستقبال الموجات فوق الصوتية لقياس المسافة العمودية الحرة بين قاعدة الجهاز وسطح المياه.
3	وحدة المعالجة المركزية	لوحة إلكترونية مدمجة مبرمجة ومجهزة بمعالج دقيق منخفض استهلاك الطاقة.	معالجة الإشارات الرقمية الواردة من المستشعر وتطبيق خوارزميات حوسبة الحافة.

4	وحدة الاتصال اللاسلكي	رقاقة بث لاسلكي مدمجة مع هوائي مخصص للأوساط الجوفية والخرسانية.	نقل البيانات المعالجة والإنذارات الحرجة من العقدة باطن الأرض إلى خوادم الاستقبال عبر بروتوكول بعيد المدى.
5	وحدة الطاقة (بطارية الليثيوم)	حزمة خلايا ليثيوم مستقلة ذات كثافة طاقة عالية وسعة تشغيلية ممتدة.	توفير التغذية الكهربائية المستقرة، الآمنة، والمستمرة لكافة الوحدات الإلكترونية والبرمجية للعقدة.
6	الختم الميكانيكي العلوي العازل	حلقة أو سدادة مرنة عازلة مصنوعة من مطاط صناعي عالي المقاومة.	إغلاق وتأمين الجزء العلوي من الغلاف الأسطواني بإحكام كامل لمنع نفاذ السوائل أو الغازات إلى الداخل.
7	نقاط التثبيت الميكانيكي	براغي لولبية صناعية مقاومة	تحقيق الربط الفيزيائي المحكم بين قاعدة الجهاز وبين حامل التثبيت وغرفة المعاينة.
8	إطار فتحة البالوعة	الهيكل المعدني أو الخرساني الثابت القائم على مستوى سطح الطريق الحَضري.	يشكل نقطة الارتكاز والوصول الأساسية لغرفة المعاينة والتصريف التحت أرضية.
9	غطاء البالوعة الرئيسي	السدادة العلوية المتحركة لغرفة المعاينة وقنوات الصيانة الحضرية.	حماية الفتحة الجوفية من العوامل السطحية، ويُستغل سطحه الداخلي لتثبيت العتاد الرقمي.
10	هوائي الاتصال/خط البث	سلك مرن ممتد أو هوائي بث لاسلكي قصير المدى مخصص للأوساط الجوفية.	تأمين نفاذ الإشارات اللاسلكية ونقل الحزم الإنذارية من باطن الأرض إلى خوادم الاستقبال المأمونة.
11	حامل التثبيت الميكانيكي	هيكل معدني أو ميكانيكي مرن مستقل قابل للضبط والتركيب السريع.	تعليق وتثبيت عقدة الاستشعار (2) مباشرة أسفل الغطاء دون إجراء أي حفر أو تعديلات إنشائية.

12	النبضات الصوتية الصادرة	موجات فوق صوتية مخروطية منبعثة عمودياً من أسفل جهاز الاستشعار.	مسح الفراغ الهيدروليكي وإرسال إشارات فيزيائية مستمرة لتقدير المسافة حتى المنسوب اللحظي.
13	النبضات الصوتية المرتدة	الموجات العائدة بعد اصطدامها بالسطح العاكس المتغير باطن الأرض.	استقبال الإشارة المرتدة لحساب زمن الرحلة وتحويله محلياً إلى قراءات دقيقة لمنسوب المياه.
14	المسافة الحرة المرصودة	الفراغ العمودي المتغير الواقع بين أسفل المجس والحد الأعلى للتدفق.	المتغير الميكانيكي الأساسي المعياري؛ نقصان هذه المسافة يعني مباشرةً ارتفاع منسوب الخطر.
15	السطح المتغير للتدفق	الطبقة العلوية الهيدروليكية الجارية والتي قد تحتجز العوالق والنفايات الحضرية.	يُمثل خط الرصد الأساسي الذي ترتطم به الأمواج فوق الصوتية لتحديد مؤشرات التدفق والانسداد.
16	نقطة انعكاس المنسوب المستقر	المنطقة الصافية للتدفق التي تعكس الموجة الصوتية بشكل خطي منتظم.	تزويد وحدة المعالجة بالقراءات المرجعية الاعتيادية لضمان بقاء المنظومة في وضع السبات.
17	بؤرة الاختناق وتراكم النفايات	تجمع للمواد الصلبة أو الرواسب العائمة التي تسبب عائقاً هيدروليكياً.	التسبب في انحراف هيدروليكي فجائي يحفز خوارزميات الاستيقاظ الذكي لبث إنذار فوري.
18	الحيز الهوائي الجوفي	التجويف الغازي الداخلي الواقع فوق منسوب المياه والمحمل بالرطوبة.	الوسط الفيزيائي الذي تقوم خوارزميات حافة الحافة بعزل ضجيجه وحرارته لضمان دقة القراءة.
19	المجرى المائي الجاري	الكتلة السائلة المتدفقة داخل غرف التصريف والبالوعات الحضرية.	السائل الديناميكي المراد التحكم بمخاطره ومراقبة سلوكه الحجمي على مدار الساعة.

20	قاع غرفة التصريف (الرواسب)	القاعدة الخرسانية السفلى لغرفة المعاينة حيث تتراكم الأتربة.	تُمثل نقطة الصفر أو المرجع الهيدروليكي السفلي لحساب السعة الاستيعابية القصوى للبالوعة.
21	الأساس الإنشائي السفلي	القاعدة الهيكلية المدنية الحاملة لبنية قنوات التصريف التحت أرضية.	ضمان الاستقرار الميكانيكي والمدني لغرف المعاينة والشبكة الحضرية تحت السطح.
22	قنوات الربط والتدفق الهيدروليكي	الأنابيب الخرسانية أو البلاستيكية الأفقية الموصلة بين البالوعات المتتالية.	تسيير المياه وتصريفها؛ ومراقبة حالتها تمنع حدوث اختناقات في الأحياء السكنية.

08: طريقة وآلية عمل الجهاز المخترع

تعتمد آلية تشغيل منظومة الابتكارية على دورة حركية متسلسلة ومؤتمتة بالكامل لمعالجة المعطيات الفيزيائية وتحويلها إلى قرارات تسييرية استباقية، وتمر هذه الآلية عبر أربع مراحل أساسية متكاملة:

1. آلية الرصد والالتقاط الحسي اللحظي:

يعمل الجهاز المثبت أسفل غطاء البالوعة على إرسال نبضات ميكروية دورية عمودية باتجاه قاع قنوات التصريف، وحساب زمن ارتداد الموجة الصوتية بدقة متناهية. تتيح هذه الآلية تحديد المسافة الفاصلة بين رأس العقدة وبين المنسوب الفعلي للمياه والعوالق الصلبة والنفايات المتراكمة جوفياً.

2. تجميع البيانات الخام ونقلها إلى المنصة المركزية:

بمجرد التقاط القراءات الفيزيائية الخام من المستشعر فوق الصوتي، تقوم العقدة الجوفية بتجميعها في حزم بيانية مؤشَّرة زمنياً ومكانياً، وبثها مباشرة عبر وحدة الاتصال اللاسلكي بعيد المدى إلى المنصة المركزية دون إجراء أي معالجة أولية محلية. تضمن بروتوكولات النقل المعتمدة تشفير الحزم البيانية وسلامتها أثناء عبورها للموانع الخرسانية والمعدنية، مع تقليص حجم الحمولة البيانية لتحقيق كفاءة طاقوية عالية في عملية البث اللاسلكي.

3. المعالجة المركزية وتصنيف المخاطر واتخاذ القرار التسييري:

عند استقبال المنصة المركزية للحزم البيانية الخام الواردة من العقد الجوفية، تقوم خوارزميات المعالجة المركزية المتقدمة بتنفيذ سلسلة تحليلية متكاملة تشمل: تصفية الإشارات وعزل الضجيج الناتج عن اضطرابات الرطوبة والهواء الجوفي، وحساب المعادلات الهيدروليكية ومقارنة الارتفاع الفعلي بالعمق

الكلي لتحديد نسبة الانسداد بدقة، ثم تطبيق نماذج التعلم الآلي لاكتشاف الأنماط التراكمية وتصنيف مستوى الخطورة الحالية وفق مراتب محددة مسبقاً. بناءً على نتائج التصنيف، تتخذ المنصة قراراً تسييرياً تفرعياً فورياً وتُجهّز الأوامر التشغيلية المناسبة لكل حالة.

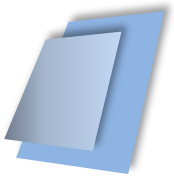
4. التوأمة الرقمية والإنذار الاستباقي المركزي:

بناءً على نتائج التصنيف المركزي وقرارات المعالجة الخوارزمية، تقوم المنصة المركزية بتحديث نظام المعلومات الجغرافية المكاني التفاعلي وتوليد التوأمة الرقمية الحية بزمن استجابة منعدم. تُنتج المنصة محاكاة بصرية تفاعلية توضح تشكّل الانسداد التدريجي وموضعه الدقيق جغرافياً، وتصدر إنذاراً استباقياً ملوناً حسب درجة الخطورة على واجهات الإشراف؛ مما يمنح مسيري الشبكة رؤية كاملة للبنية التحتية غير المرئية ويسمح بالتدخل الوقائي الفوري. كما تتيح المنصة إصدار أوامر عن بُعد للعقد الجوفية لتعديل دورات القياس أو تفعيل نمط الاستجابة المكثفة في المناطق الحرجة.

المحور الرابع

المطالب

المحور الرابع



المطالب

المطالب:

01: المطلب الرئيسي

منظومة سيبرانية-فيزيائية متكاملة لتدبير مخاطر الجريان السطحي عبر الصيانة التنبؤية الذكية لشبكات تصريف مياه الامطار، تتميز بأنها تشمل البنية التكوينية المتكاملة التالية:

- **عقدة استشعار جوفية مستقلة ومحمية بيئيًا :**قابلة للتثبيت والتعليق داخل البالوعات وغرف المعاينة دون تعديلات إنشائية، وتعتمد على الرصد العمودي لمنسوب المياه والعوالق بواسطة نبضات الأمواج فوق الصوتية.
- **وحدة ميكروية مدمجة للتحكم والإرسال:** مبرمجة لتجميع القراءات الفيزيائية الخام من المستشعرات وتعليبها في حزم بيانية مؤشَّرة زمنياً، وبثها عبر وحدة الاتصال اللاسلكي إلى المنصة المركزية التي تتولى كامل المعالجة الخوارزمية وتصفية الإشارات والتحليل التنبؤي.
- **بروتوكولات الاتصال اللاسلكية المؤمَّنة:** مخصصة لنقل حزم البيانات الخام المشفَّرة عبر الأوساط الخرسانية الجوفية إلى خوادم المعالجة المركزية عبر قنوات اتصال مشفرة طرفياً تضمن سلامة وسرية البيانات المنقولة.
- **نظام رقمي مركزي ذكي موحد:** يتولى كامل عمليات المعالجة الخوارزمية والتحليل التنبؤي، ومستند إلى نظم المعلومات الجغرافية وتقنيات التوأمة الرقمية لتصفية الإشارات وعزل الضجيج وتطبيق نماذج التعلم الآلي وتوليد محاكاة تفاعلية حية، تُمكّن من تحديد موقع الانسداد ومتابعة الحالة التشغيلية اللحظية لكل بالوعة وإصدار الإنذارات الاستباقية واتخاذ القرار التسييري قبل وصول التدفق إلى السطح.

02: المطالب المستنبطة من المطلب الرئيسي

المطلب الأول (حماية آلية المعالجة المركزية والخوارزميات الابتكارية): المنظومة وفق المطلب 1، حيث تتميز بأن العقد الجوفية تقتصر وظيفتها على التقاط البيانات الفيزيائية الخام ونقلها إلى العقدة الرئيسية المركزية عبر بروتوكولات اتصال لاسلكية مؤمّنة، وتتولى المنصة المركزية تنفيذ كامل سلسلة المعالجة الخوارزمية المبتكرة التي تشمل: تصفية الإشارات وعزل الضجيج، وتطبيق نماذج التعلم الآلي للتحليل التنبؤي الاستباقي، وحساب المؤشرات الهيدروليكية المركبة، وتصنيف مستويات المخاطر آلياً، وإصدار الإنذارات التسييرية الموجهة لواجهات الإشراف والتحكم قبل تفاقم الانسداد الفعلي.

المطلب الثاني (حماية منظومة الطاقة المزدوجة والتحكم عن بُعد في دورة التشغيل): المنظومة وفق المطلب 1، تتميز العقدة الجوفية بتصميم طاقوي مستقل يعتمد على الطاقة الشمسية الكهروضوئية، حيث يتم دمج اللوحات الشمسية ضمن بنية هيكلية مدمجة ومحصنة فوق غطاء البالوعة، مما يضمن تكاملاً فيزيائياً يمنع بروز المكونات الحساسة ويعزز ديمومتها في الظروف الميدانية القاسية. يعتمد النظام على تسيير طاقوي ذكي يوازن بين طاقة التوليد الشمسي ومعدلات الاستهلاك، مع تفعيل آليات السبات العميق تلقائياً لضمان استمرارية التشغيل. كما تتضمن المنظومة آلية تحكم عن بُعد تسمح للعقدة المركزية بضبط تردد القياس ديناميكياً، وتفعيل نمط الاستجابة المكثفة في حالات الطوارئ، أو إعادة جدولة استهلاك الطاقة حسب مستوى الخطورة المرصود، مما يرفع من كفاءة التشغيل الذاتي للنظام.

المطلب الثالث (حماية مرونة التثبيت الهندسي) :المنظومة وفق أي من المطالب السابقة، حيث تشتمل العقدة على هيكل ميكانيكي مستقل يسمح بالتعليق المباشر أسفل أغطية البالوعات بمختلف أقطارها، دون الحاجة لأي تعديلات إنشائية أو حفر في جدران قنوات التصريف.

المطلب الرابع (حماية الربط التزامني والتوأمة الرقمية) :المنظومة وفق أي من المطالب السابقة، حيث تُربط بيانات العقد الجوفية بالمنصة المركزية تزامناً لتغذية محرك محاكاة جغرافية يولد توأمة رقمية حية للأحياء السكنية بدقة عالية وزمن استجابة منخفض جداً.

المطلب الخامس (حماية الخوارزميات المركزية والبنية التحتية للنظام): المنظومة وفق أي من المطالب السابقة، حيث يتمثل الجانب المحمي في مجموع الخوارزميات الابتكارية المشغَّلة على المنصة المركزية وتشمل: خوارزميات تصفية الإشارات وعزل الضجيج الجوفي، ونماذج التعلم الآلي للتنبؤ الاستباقي

بالانسدادات، وخوارزميات التصنيف التفرعي متعدد المراتب لمستويات المخاطر، ومحركات المحاكاة الهيدروليكية الديناميكية؛ فضلاً عن بنية قاعدة البيانات المكانية الجوفية وما تتضمنه من نماذج فهرسة وترابط مبتكرة، وبروتوكولات التشفير الطرفي الشامل المؤمّنة لقنوات نقل البيانات اللاسلكية، وآليات الصمود والمناعة السيبرانية المتكاملة التي تحمي المنظومة من هجمات الاختراق والحرمان من الخدمة والتلاعب بالبيانات الحسية؛ بحيث يمنع أي استنساخ أو تقليد أو استغلال غير مرخص لأي مكوّن برمجي أو خوارزمي أو بنيوي من مكونات المنظومة.

المحور الرابع

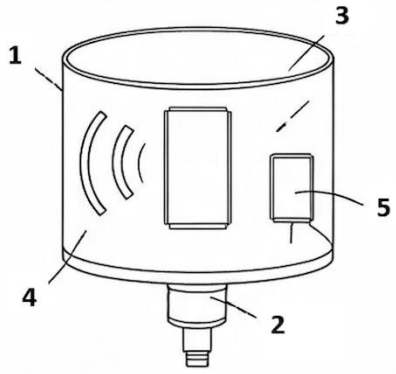
قائمة الملاحق

المحور الرابع

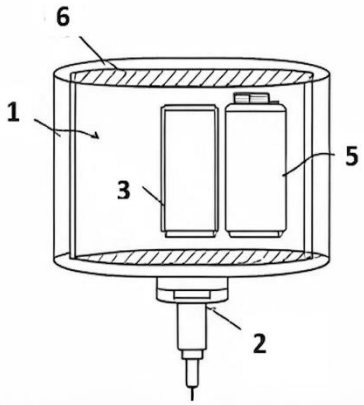
قائمة الملاحق

الاشكال والرسومات

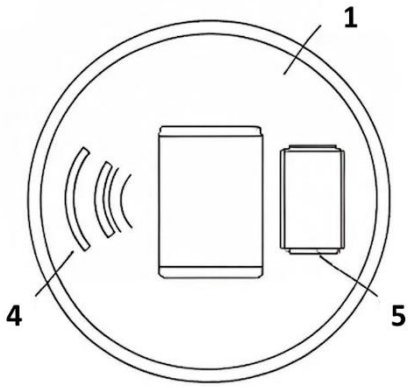
الشكل 1



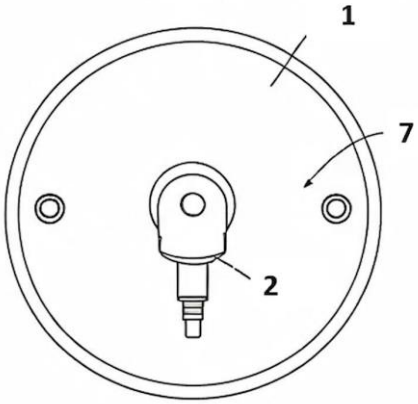
الشكل 2



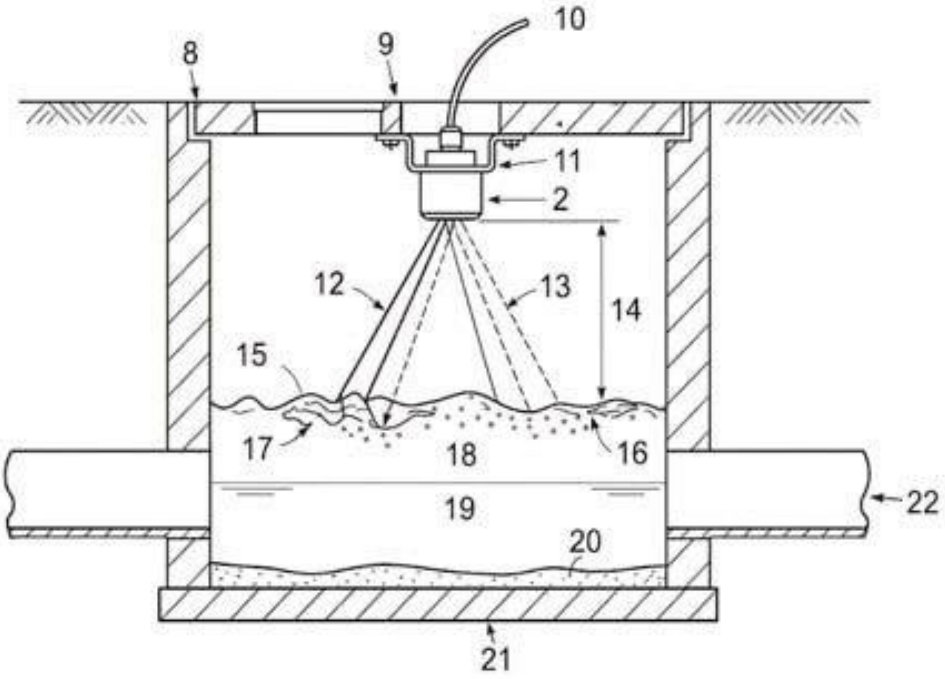
الشكل 3



الشكل 4



الشكل 5



الاسم التجاري

HYDROLINK

العلامة التجارية

HYDROLINK

الجمهـورية الجـزائريـة الديمقراطيـة الشعبيـة
People's Democratic Republic of Algeria
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministry of Higher Education and Scientific Research
جامـعة محمد بوضياف بالمسيلـة
University of Mohamed Boudiaf - M'sila
مركز دعم التكنولوجيا والابتكار
Technology and Innovation Support Center

رقم:37/م.د.ت.إ/2026 المسيلة في: 31 ماي 2026

شهادة إدارية

يشهد مدير مركز دعم التكنولوجيا والابتكار لجامعة محمد بوضياف بالمسيلة، بأن الطلبة:

1- صحراوي سماح

2- عبد الحفيظ حسام

3- مبرك اسماء

4- وليد المختار

قسم: الهندسة الحضرية

تخصص: ماستر 2 الاخطار الطبيعية

كلية: معهد تسيير التقنيات الحضرية

عنوان المشروع: " Hydrolink لتوقع خطر الفيضان"

قد أودعوا على مستوى المركز ملف طلب براءة الاختراع ضمن القرار 008 المعدل والمتمم للقرار الوزاري 1275 في انتظار استكمال الإجراءات اللازمة.

مدير مركز دعم التكنولوجيا والابتكار
أ.د. يوسف بريك

ملاحظة: سلمت هذه الشهادة بطلب من المعني لاستعمالها في حدود ما يسمح به القانون.

مركز دعم التكنولوجيا والابتكار ، مجمع الواجهات، القطب الشمالي لجامعة المسيلة
cati@univ-msila.dz