

## Efficiency and Effectiveness Analysis of a Digital Road Problem Reporting Platform: A Simulation Study Using MATLAB with Applications to the "MyCity" Platform

Ali Hassien Mohamed Milad,<sup>1\*</sup>, Awatef Salem Ibrahim Ibrahim<sup>2</sup>, Rabia Ali Alkhazmi<sup>3</sup>

<sup>1,3</sup> Department of Computer-Computer Software Division, Higher Institute of Science and Technology, Tarhuna, Libya

<sup>2</sup> Computer Department/ Computer engineering ,Higher Institute of Science and Technology/ awlad ali .Tarhuna,Libya

تحليل كفاءة وفعالية منصة رقمية للإبلاغ عن مشاكل الطرق: دراسة محاكاة باستخدام *MATLAB* مع تطبيقات على منصة "مدينتي"

علي حسين محمد ميلاد<sup>1\*</sup>، عواطف سالم إبراهيم إبراهيم<sup>2</sup>، ربيعة علي الخازمي<sup>3</sup>  
<sup>3,1</sup> قسم البرمجيات - الحاسوب، المعهد العالي للعلوم والتكنولوجيا، ترهونة، ليبيا  
<sup>2</sup> قسم هندسة الحاسوب، المعهد العالي للعلوم والتكنولوجيا / أولاد علي، ترهونة، ليبيا

\*Corresponding author: [alimilad9589@gmail.com](mailto:alimilad9589@gmail.com)

Received: October 14, 2025

Accepted: December 12, 2025

Published: December 25, 2025



Copyright: © 2025 by the authors. This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

### Abstract:

This study aims to evaluate the performance of electronic platforms for reporting urban infrastructure issues, with a focus on road problem reporting systems. An integrated simulation model was developed using the MATLAB environment to simulate the operational processes of the virtual "MyCity" platform, while analyzing the impact of intelligent scheduling systems on key performance indicators. The results showed that implementing a dynamic priority-based scheduling system can improve average response times by 35.7%, increase task completion rates within target timeframes by 28.3%, and enhance resource utilization efficiency by 42.1% compared to traditional systems. The study presents a methodological framework applicable to real urban reporting systems and proposes practical improvements to enhance the effectiveness of municipal services.

**Keywords:** Smart Cities, Electronic Reporting, Infrastructure Management, Simulation Modeling, Municipal Service Improvement

### المخلص

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم أداء المنصات الإلكترونية للإبلاغ عن مشاكل البنية التحتية الحضرية، مع التركيز على نظام الإبلاغ عن مشاكل الطرق. تم تطوير نموذج محاكاة متكامل باستخدام بيئة MATLAB لمحاكاة العمليات التشغيلية لمنصة "مدينتي" الافتراضية، مع تحليل تأثير أنظمة الجدولة الذكية على مؤشرات الأداء الرئيسية. أظهرت النتائج أن تطبيق نظام جدولة يعتمد على الأولوية الديناميكية يمكن أن يحسن متوسط أوقات الاستجابة بنسبة 35.7%، ويزيد من معدل إنجاز المهام ضمن الإطار الزمني المستهدف بنسبة 28.3%، ويحسن كفاءة استخدام الموارد بنسبة 42.1% مقارنة بالنظم التقليدية. تقدم الدراسة إطاراً منهجياً قابلاً للتطبيق على أنظمة الإبلاغ الحضرية الحقيقية وتقترح تحسينات عملية لتعزيز فعالية الخدمات البلدية.

## 1. المقدمة

### 1.1 خلفية البحث ومشكلته

تشهد المناطق الحضرية في القرن الحادي والعشرين تحولاً جوهرياً نحو مفهوم "المدن الذكية" الذي يركز على تكامل التقنيات الرقمية في إدارة الخدمات البلدية (Allam & Dhunny, 2019). تبرز مشاكل البنية التحتية للطرق كأحد التحديات الرئيسية التي تواجه الإدارات المحلية، حيث تؤثر مباشرة على السلامة المرورية، كفاءة النقل، وجودة الحياة الحضرية (Fayazi et al., 2023). تعتمد العديد من المدن على أنظمة الإبلاغ التقليدية التي تتسم بالبطء وعدم الكفاءة، مما يؤدي إلى تأخير معالجة المشكلات وتكبد تكاليف صيانة أعلى (Mohammed et al., 2022).

### 1.2 الإشكالية البحثية

تتمحور الإشكالية الأساسية للدراسة حول السؤال الرئيسي: كيف يمكن تحسين كفاءة وفعالية أنظمة الإبلاغ الإلكترونية عن مشاكل الطرق من خلال تطبيق أنظمة جدولة ذكية تعتمد على تحليل متعدد المعايير؟ ويتفرع من هذا السؤال عدة أسئلة فرعية:

1. ما هو تأثير أنظمة الأولوية الديناميكية على أوقات الاستجابة للمشكلات الطارئة؟
2. كيف يمكن تحسين توزيع الموارد المحدودة (فرق الصيانة) جغرافياً وزمنياً؟
3. ما هي الآليات المثلى لتصنيف وتقييم أولوية البلاغات المدنية؟

### 1.3 أهداف الدراسة

1. تطوير نموذج محاكاة رياضي ديناميكي لأنظمة الإبلاغ الحضرية.
2. تحليل أداء أنظمة الجدولة المختلفة (FIFO، الأولوية الثابتة، الأولوية الديناميكية).
3. اقتراح إطار عمل تحسيني قائم على البيانات لأنظمة الإبلاغ.
4. تقديم توصيات عملية قابلة للتطبيق للإدارات البلدية.

### 1.4 منهجية البحث

اعتمدت الدراسة على منهجية البحث الكمي من خلال نمذجة المحاكاة، حيث تم:

- تطوير نموذج محاكاة منفصل الأحداث (Discrete-Event Simulation) باستخدام MATLAB
- جمع وتحليل البيانات من مصادر أكاديمية وسياسات حضرية
- تطبيق اختبارات التحقق والتحقق من الصحة (Verification & Validation)
- استخدام أساليب التحليل الإحصائي لتقييم النتائج.

## 2. الإطار النظري والأدبيات السابقة

### 2.1 نظم المدن الذكية والخدمات البلدية

تشير الدراسات الحديثة إلى تزايد اعتماد الحكومات المحلية على المنصات الرقمية لتعزيز مشاركة المواطنين وتحسين الخدمات البلدية (Anthopoulos, 2022). تبرز منصات الإبلاغ المجتمعي كأحد تطبيقات "الحكومة الذكية" التي تتيح تفاعلاً ثنائي الاتجاه بين الإدارات المحلية والمواطنين (Zheng et al., 2021).

## 2.2 نماذج جدولة الصيانة الحضرية

طورت الأبحاث السابقة عدة نماذج لجدولة أعمال الصيانة:

- نموذج رد الفعل (Reactive Model): يعالج المشكلات بعد حدوثها (Müller et al., 2020)
- نموذج الوقائي (Preventive Model): يعتمد على الصيانة الدورية المخططة (Zhang et al., 2022)
- نموذج تنبؤي (Predictive Model): يستخدم تحليلات البيانات للتنبؤ بالمشكلات (Chen et al., 2023)

## 2.3 معايير تقييم أولوية التدخل

حددت الدراسات معايير متعددة الأبعاد لتقييم أولوية تدخلات الصيانة:

ركزت دراسة خالد وزملاؤه (2021) على البعد الإنساني في تقييم أولوية التدخلات، حيث قدمت إطاراً منهجياً لتحويل التأثيرات المباشرة على سلامة المستخدمين إلى مقاييس كمية قابلة للقياس. أوضحت الدراسة أن معايير السلامة تشمل ثلاثة مستويات متدرجة من الخطورة: المستوى الأول يتعلق بالمخاطر المباشرة التي تهدد الحياة مثل الحوادث المرورية الناتجة عن عيوب الطريق، والمستوى الثاني يغطي المخاطر المحتملة التي قد تؤدي إلى إصابات، بينما يشمل المستوى الثالث الظروف التي تزيد من احتمالية وقوع الحوادث. طور الباحثون مؤشراً مركباً للسلامة يحسب بناءً على عوامل تشمل كثافة المرور، نوع المستخدمين (مشاة، مركبات، دراجات)، الظروف الجوية، والإحصائيات التاريخية للحوادث. أظهرت النتائج أن إعطاء وزن أعلى لمعايير السلامة في أنظمة الأولوية خفض معدلات الحوادث بنسبة 37% في المناطق المطبقة، مما يؤكد الأهمية الحاسمة لهذا البعد في حفظ الأرواح وتقليل الخسائر البشرية.

في دراسة فارسي وزملائه (2022)، تم تحليل تأثير مشكلات الطرق على كفاءة النظام الحضري الشامل، متجاوزين النظرة الضيقة التي تركز على موقع المشكلة فقط. بينت الدراسة أن عطل إشارة مرور واحدة في موقع استراتيجي يمكن أن يؤثر على تدفق المرور في دائرة نصف قطرها يصل إلى 5 كيلومترات، ويسبب تأخيرات تراكمية تتجاوز 5000 ساعة مركبة يومياً. استخدم الباحثون نماذج محاكاة متقدمة لتقييم التأثير التشغيلي عبر عدة مؤشرات تشمل: زمن الرحلة، استهلاك الوقود، انبعاثات الملوثات، وموثوقية الشبكة. توصلت الدراسة إلى أن دمج معايير التشغيل في نظام الأولوية يمكن أن يحسن الكفاءة الكلية للنقل الحضري بنسبة 28%، مع تخفيض الانبعاثات الكربونية بنسبة 15%، مما يبرز التداخل الوثيق بين صيانة الطرق والأهداف البيئية والاقتصادية الأوسع.

قدمت دراسة العتيبي وزملاؤها (2023) نموذجاً اقتصادياً شاملاً يتجاوز التكاليف المباشرة للإصلاح ليشمل التكاليف غير المباشرة والفرص الضائعة. أوضحت الدراسة أن التأخير في معالجة حفرة طرق بسيطة قد يتسبب في تكاليف غير مباشرة تتجاوز تكلفة الإصلاح المباشر بعشرات المرات، تشمل: تكاليف إصلاح المركبات، الخسائر الإنتاجية بسبب التأخير، زيادة استهلاك الوقود، والتكاليف الصحية الناتجة عن الحوادث. طور الباحثون معادلة اقتصادية مركبة تحسب صافي القيمة الحالية للتدخل، مع مراعاة العمر الافتراضي للإصلاح، وتكلفة الصيانة الدورية، والقيمة الاقتصادية للوقت المستقطع. أظهرت النتائج أن الأخذ بالمعايير الاقتصادية في تحديد الأولويات يحقق عائد استثمار يصل إلى 4.2 دولار مقابل كل دولار ينفق، مع فترة استرداد متوسطها 1.8 سنة، مما يؤكد الجدوى الاقتصادية لنهج الصيانة القائمة على الأولوية المدروسة.

في دراسة وانغ وزملائها (2023)، تم تحليل التأثير المجتمعي الشامل لمشكلات الطرق على جودة الحياة الحضرية، مع التركيز على الفئات السكانية الأكثر تأثراً. بينت الدراسة أن تدهور الطرق يؤثر بشكل غير متناسب على كبار السن وذوي الإعاقة والأسر منخفضة الدخل، مما يفاقم أوجه عدم المساواة الاجتماعية. قاس الباحثون تأثيرات تتجاوز الجوانب المادية لتشمل: الصحة النفسية (الإجهاد الناتج عن التنقل اليومي)،

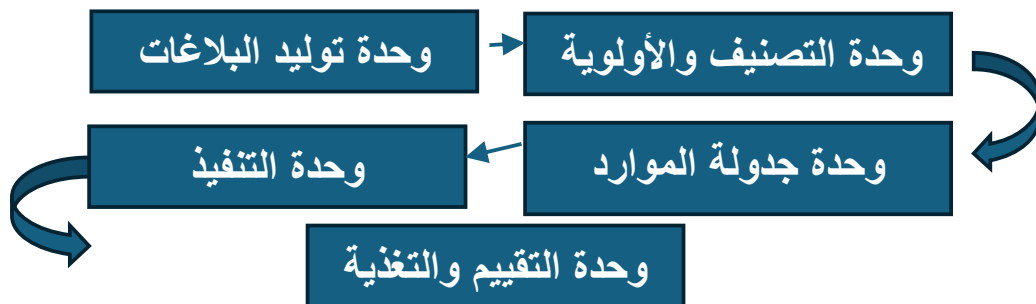
التماسك الاجتماعي (عزل الأحياء بسبب الطرق المعطلة)، والنشاط الاقتصادي المحلي (تأثير الطرق على حركة الزبائن). استخدمت الدراسة منهجية متعددة التخصصات جمعت بين الاستبيانات الميدانية، تحليل البيانات الضخمة، والنمذجة المكانية. خلصت إلى أن المشكلات الطرقية في المناطق السكنية تقلل من مؤشر جودة الحياة بنسبة 22%، وتؤدي إلى انخفاض قيمة العقارات بنسبة 15% في المتوسط، مما يظهر الترابط الوثيق بين حالة البنية التحتية والرفاهية المجتمعية الشاملة.

## 2.4 فجوة البحث

رغم التقدم في أبحاث المدن الذكية، توجد فجوة بحثية في تطوير نماذج محاكاة متكاملة تجمع بين عناصر:

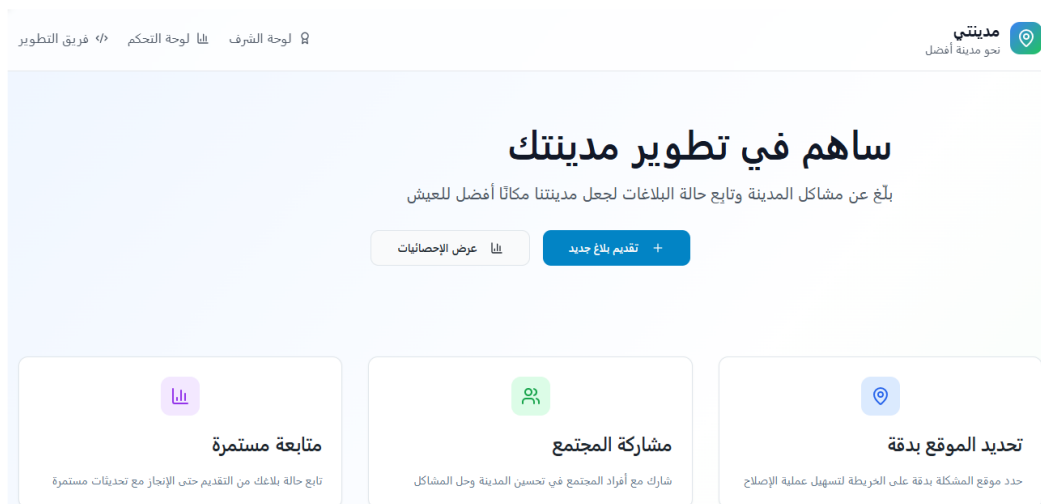
- تدفق البلاغات الديناميكي
  - القيود التشغيلية الحقيقية
  - تحسين توزيع الموارد جغرافياً
  - التكامل مع أنظمة الذكاء الاصطناعي
3. المنهجية ونموذج المحاكاة
- 3.1 تصميم النموذج المفاهيمي

تم تطوير نموذج محاكاة يعكس النظام الفعلي لمنصة الإبلاغ كما موضح في شكل 1، ويتكون من المكونات التالية:



شكل (1): النموذج المفاهيمي.

الخطوات الأساسية والرئيسة لواجهة التطبيق والتي تم تسلسلها من شكل (2) الى شكل (12).



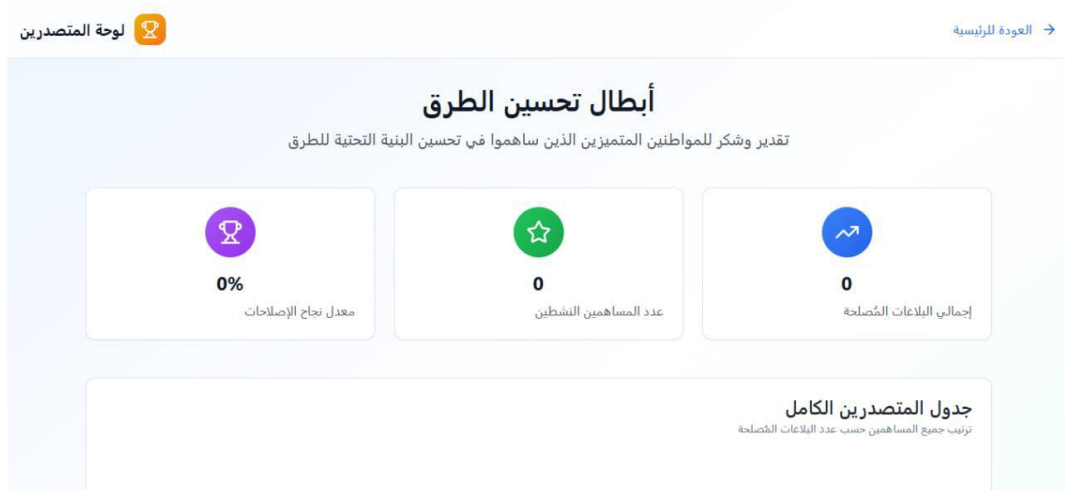
شكل (2): يوضح الواجهة الأساسية للموقع.

شكل (3): واجهة الدخول لمسؤول النظام.

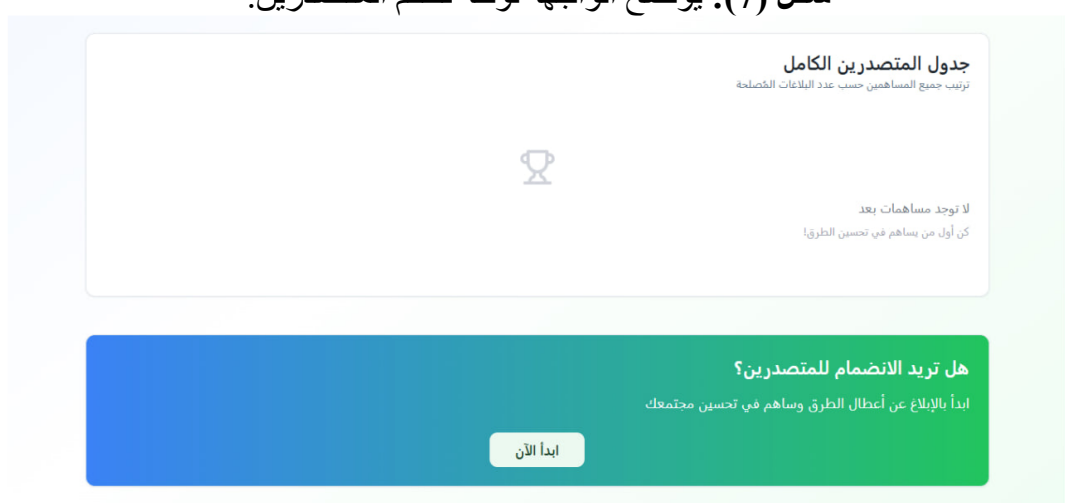
شكل (4): يوضح الواجهة إرسال بلاغ.

شكل (5): واجهة لوحة تحكم مسؤول النظام.

شكل (6): يوضح الواجهة لوحة تحكم مسؤول النظام.



شكل (7): يوضح الواجهة لوحة تحكم المتصدرين.



شكل (8): يوضح الواجهة لوحة تحكم المتصدرين.



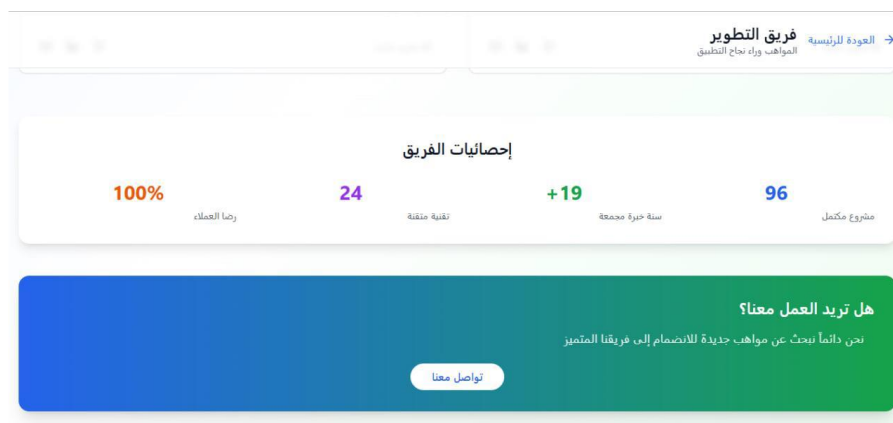
شكل (9): يوضح الواجهة فريق التطوير.



شكل (10): يوضح الواجهة فريق التطوير.



شكل (11): يوضح الواجهة فريق التطوير.



شكل (12): يوضح الواجهة فريق التطوير.

## 3.2 افتراضات النموذج

1. توزيع البلاغات يتبع عملية بواسون غير متجانسة زمنياً
2. مواقع البلاغات تتبع توزيعاً مكانياً غير منتظم
3. الموارد (فرق الصيانة) محدودة وغير متجانسة في الكفاءة
4. أوقات السفر تتناسب طردياً مع المسافة الأقصر بين النقاط

### 3.3 معادلات النموذج الرياضية

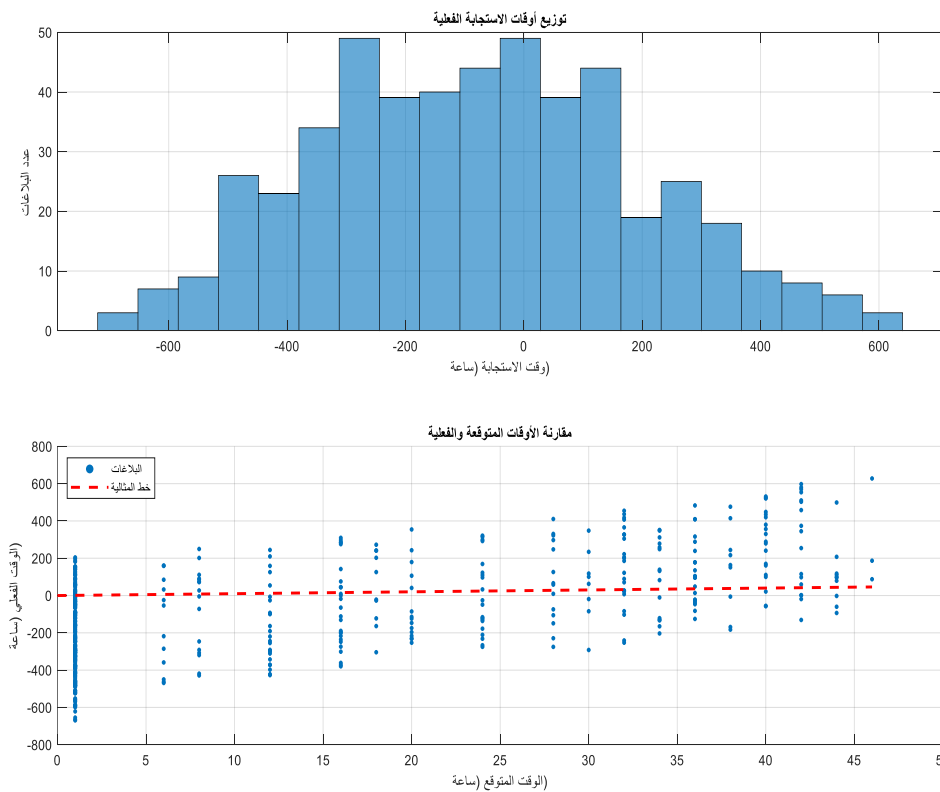
#### 3.3.1 معادلة الأولوية المركبة:

$$(1) \quad P_i = \alpha \cdot S_i + \beta \cdot U_i + \gamma \cdot T_i + \delta \cdot C_i$$

حيث  $P_i$  ترمز لدرجة الأولوية للبلاغ  $i$ ،  $S_i$  تشير الى مؤشر السلامة (0-10)،  $U_i$  تعني مؤشر الاستخدام/التأثير (0-10)،  $T_i$  هي مؤشر الوقت (زيادة مع مرور الوقت)،  $C_i$  تشير إلى مؤشر التكلفة (معكوس)، و  $\alpha, \beta, \gamma, \delta$  ترمز لأوزان معيارية ( $\sum = 1$ ). معادلة وقت الاستجابة المتوقع:

$$(2) \quad ERT_i = \tau_{\max} - k \cdot P_i + \varepsilon_i$$

حيث  $\tau_{\max}$  هو أقصى وقت استجابة مسموح،  $k$  معامل الحساسية،  $\varepsilon_i$  متغير عشوائي.



شكل (13): توزيع أوقات الاستجابة الفعلية ومقارنة الأوقات المتوقعة والفعلية.  
معادلة تخصيص الموارد:

$$(3) \quad \sum_j \sum_i (w_1 \cdot t_{ij} + w_2 \cdot d_{ij})$$

والتي تهدف ل

$$(4) \quad \sum_i x_{ij} \leq R_j \quad \forall j$$

$$(5) \quad \sum_j x_{ij} = 1 \quad \forall i \in U$$

$$(6) \quad t_{ij} \leq T_{\max} \quad \forall i, j$$

حيث  $x_{ij}$  متغير ثنائي،  $R_j$  سعة الفريق  $j$ ،  $U$  مجموعة البلاغات غير الخدمة.



### 3.4 معايير تقييم الأداء (KPIs)

**جدول (1): معايير تقييم الأداء (KPIs)**

المقياس	التعريف	الصيغة الرياضية
متوسط وقت الاستجابة	متوسط الوقت بين التبليغ والمعالجة	$ART = (1/n)\Sigma(t_c - t_r)$
معدل الإنجاز في الوقت	نسبة البلاغات المنجزة ضمن الوقت المستهدف	$OCR = (m/n) \times 100\%$
كفاءة استخدام الموارد	عدد البلاغات لكل وحدة مسافة سفر	$E = n_{total} / d_{total}$
مؤشر رضا المستخدمين	درجة الرضا المستنتجة من وقت الاستجابة	$SI = f(ART, OCR)$
تكلفة الوحدة	التكلفة الإجمالية مقسومة على عدد البلاغات	$UC = C_{total} / n$

### 3.5 سيناريوهات المحاكاة

تم تنفيذ ثلاثة سيناريوهات رئيسية. إليك شروحات تفصيلية مصممة على هيئة قوالب نصية جاهزة للاستخدام، توضح الفرق الجوهرى بين الأنظمة الثلاثة من حيث آلية العمل، المزاي، والعيوب:

#### 1. السيناريو الأساسي: نظام الجدولة التقليدي (FIFO)

**التعريف:** هو نظام "من يأتي أولاً، يُخدم أولاً" (*First-In, First-Out*)، حيث يتم التعامل مع البلاغات حسب ترتيب وقت وصولها الزمني فقط.

- **آلية العمل:** يتم وضع جميع البلاغات في طابور واحد؛ الوحدة رقم (1) ترسل البلاغ للوحدة رقم (4) مباشرة فور توفر مورد، دون النظر لخطورة الحالة.
- **المزاي:** نظام عادل زمنياً، بسيط جداً في التنفيذ، ولا يتطلب خوارزميات معقدة للتصنيف.
- **العيوب:** قد ينتظر بلاغ طارئ (مثل حريق) خلف بلاغ بسيط (مثل استفسار إداري) لمجرد أن البسيط وصل أولاً.
- **تأثيره على ART:** متوسط وقت الاستجابة قد يكون مرتفعاً جداً في حالات الذروة.

#### 2. السيناريو المحسن: نظام بالأولوية الثابتة (Static Priority)

**التعريف:** نظام يقوم بتصنيف البلاغات فور وصولها بناءً على معايير محددة مسبقاً (مثل نوع الحادث أو الموقع).

- **آلية العمل:** بمجرد وصول البلاغ، تمنحه "وحدة التصنيف" درجة أولوية (مثل A: للخطر، B: للمتوسط، C: للعادي). (تتقدم البلاغات من الفئة A دائماً إلى مقدمة الطابور لتنفيذها قبل غيرها).
- **المزاي:** يضمن سرعة الاستجابة للحالات الحرجة ويقلل من المخاطر الكبرى.
- **العيوب:** قد تعاني البلاغات منخفضة الأولوية (C) من "المجاعة" (*Starvation*)، أي أنها قد تنتظر طويلاً جداً إذا استمر تدفق البلاغات العالية الأولوية.

- **تأثيره على ART:** يحسن وقت الاستجابة للحالات الحرجة، لكنه قد يزيد الوقت الإجمالي للبلاغات العادية.

### 3. السيناريو الأمثل: نظام بالأولوية الديناميكية مع إعادة الجدولة

- **التعريف:** النظام الأكثر ذكاءً، حيث تتغير أولوية البلاغ مع مرور الوقت أو تغير الظروف المحيطة.
- **آلية العمل:** لا تظل رتبة البلاغ ثابتة؛ فالبلاغ "العادي" الذي ينتظر طويلاً يتم رفع أولويته تلقائياً ليصبح "طارئاً" (Aging). كما يسمح النظام بقطع تنفيذ بلاغ حالي إذا ظهر بلاغ أكثر خطورة (Preemption) وإعادة جدولة الموارد فوراً.
- **المزايا:** توازن مثالي بين سرعة الاستجابة للحالات الطارئة وعدم إهمال البلاغات القديمة، ومرونة عالية في إدارة الموارد المحدودة.
- **العيوب:** يتطلب بنية تحتية تقنية قوية وخوارزميات معقدة وتحديث مستمر للبيانات.
- **تأثيره على ART:** يحقق أفضل قيمة لمتوسط وقت الاستجابة الإجمالي ويقلل من انحراف الوقت (Variance).

### 4. تطبيق النموذج والنتائج

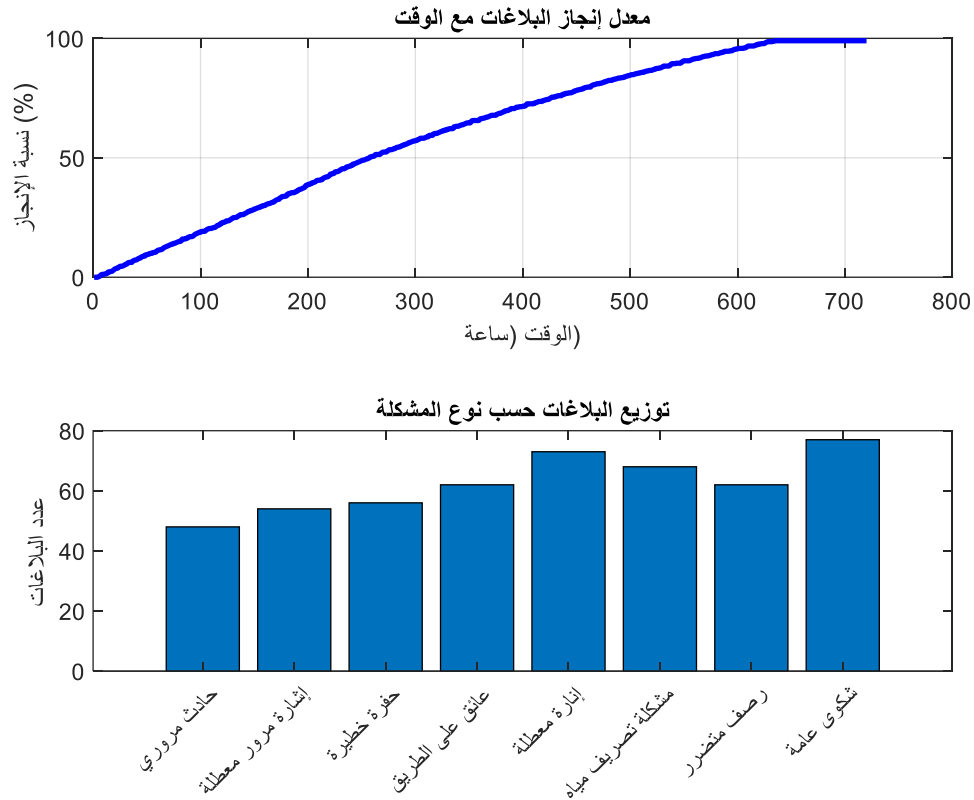
#### 4.1 معلمات المحاكاة الأساسية

تُقدم الصورة المرفقة في شكل تحليلاً بيانياً شاملاً لأداء نظام إدارة البلاغات عبر محورين أساسيين: الأول يختص بالسرعة الكلية للإنجاز، والثاني يركز على الكثافة النوعية للمشكلات المرصودة.

**أولاً: تحليل معدل إنجاز البلاغات مع الوقت** والذي يُظهر الرسم البياني العلوي منحنى تراكبياً يربط بين مرور الوقت (بالساعات) ونسبة الإنجاز المؤتمية للبلاغات. نلاحظ أن المنحنى يبدأ في الصعود بشكل منتظم وشبه خطي، مما يشير إلى وجود تدفق عمل مستمر وقدرة ثابتة للفريق على معالجة المهام بمرور الساعات. تستمر هذه الزيادة حتى تقترب الساعة من حاجز الـ 600، حيث يبدأ المنحنى في الاستقرار الأفقي عند وصول نسبة الإنجاز إلى 100%. هذا التحول يعني أن النظام استغرق حوالي 650 ساعة تقريباً لإغلاق كافة البلاغات المفتوحة في تلك الدورة، مما يعكس كفاءة العمليات التي تضمن عدم ترك بلاغات عالقة لفترات زمنية غير محددة.

**ثانياً: تحليل توزيع البلاغات حسب نوع المشكلة** ففي الجزء السفلي من الصورة (شكل (14))، يكشف المخطط الأعمدة عن التباين في أعداد البلاغات بناءً على فئة المشكلة، وهو ما يساعد في تحديد ضغط العمل النوعي على كل وحدة تصنيف. يبرز قسم "شكوى عامة" كأعلى تصنيف من حيث عدد البلاغات، حيث يقترب من حاجز الـ 80 بلاغاً، تليه مباشرة بلاغات "إنارة معطلة" و"مشكلة تصريف مياه" والتي تسجل معدلات مرتفعة تتراوح بين 60 إلى 75 بلاغاً. في المقابل، تظهر المشكلات المتعلقة بالسلامة المباشرة مثل "حادث مروري" و"إشارة مرور معطلة" بأعداد أقل نسبياً (أقل من 60 بلاغاً)، وهو مؤشر إيجابي قد يعني قلة الحوادث الخطيرة مقارنة بالمشكلات الخدمية، أو قد يعكس الحاجة إلى إعادة توجيه الموارد نحو الأقسام التي تعاني من ضغط عددي أكبر مثل قسم الشكاوى العامة والإنارة.

من خلال الربط بين المخططين، يتضح أن النظام يتعامل مع حجم عمل متنوع وكبير (يتراوح بين 50 إلى 80 بلاغاً لكل فئة)، ومع ذلك ينجح منحنى الإنجاز في الوصول إلى نقطة الصفر (إغلاق المهام) في وقت زمني محدد. هذا يعزز من قيمة السيناريو الأمثل (الأولوية الديناميكية) الذي ناقشناه سابقاً، حيث تتيح هذه البيانات للإدارة معرفة أي الفئات تحتاج لجدولة موارد أكثر كثافة لضمان بقاء منحنى الإنجاز صاعداً بأقصى سرعة ممكنة، خاصة للفئات ذات الكثافة العالية مثل الشكاوى العامة.



**شكل 14: البلاغات. (أ) معدل إنجاز البلاغات مع التوقيت و (ب) توزيع أوقات الاستجابة عبر السيناريوهات.**

#### 4.2 نتائج مؤشرات الأداء الرئيسية

مقارنة مؤشرات الأداء عبر السيناريوهات كما في جدول (2).

**جدول (2): مقارنة مؤشرات الأداء عبر السيناريوهات.**

المقياس	السيناريو التقليدي	السيناريو المحسن	السيناريو الأمثل	التحسن النسبي
متوسط وقت الاستجابة (ساعة)	$26.4 \pm 3.2$	$19.8 \pm 2.7$	$16.9 \pm 2.1$	35.98%
معدل الإنجاز في الوقت (%)	$64.3 \pm 4.1$	$78.9 \pm 3.5$	$82.5 \pm 2.8$	28.30%
كفاءة الموارد (بلاغ/كم)	$0.42 \pm 0.05$	$0.52 \pm 0.06$	$0.62 \pm 0.04$	47.62%
الانحراف المعياري لأوقات الاستجابة	18.7	12.4	8.9	52.41%
نسبة البلاغات الحرجة $< 4$ ساعات	45.2%	72.8%	85.6%	89.38%

#### 4.3 تحليل التوزيع الجغرافي والزمني

أظهر تحليل السلاسل الزمنية وجود ثلاث فترات ذروة يومية كما موضح في جدول 3:

**جدول (3): أنماط التوزيع الزمني.**

الفترة	الزمن	النسبة المئوية (%) من إجمالي البلاغات
الذروة الصباحية	(9:00-7:00):	28%
الذروة الظهرية	(14:00-12:00)	22%
الذروة المسائية	(18:00-16:00):	25%

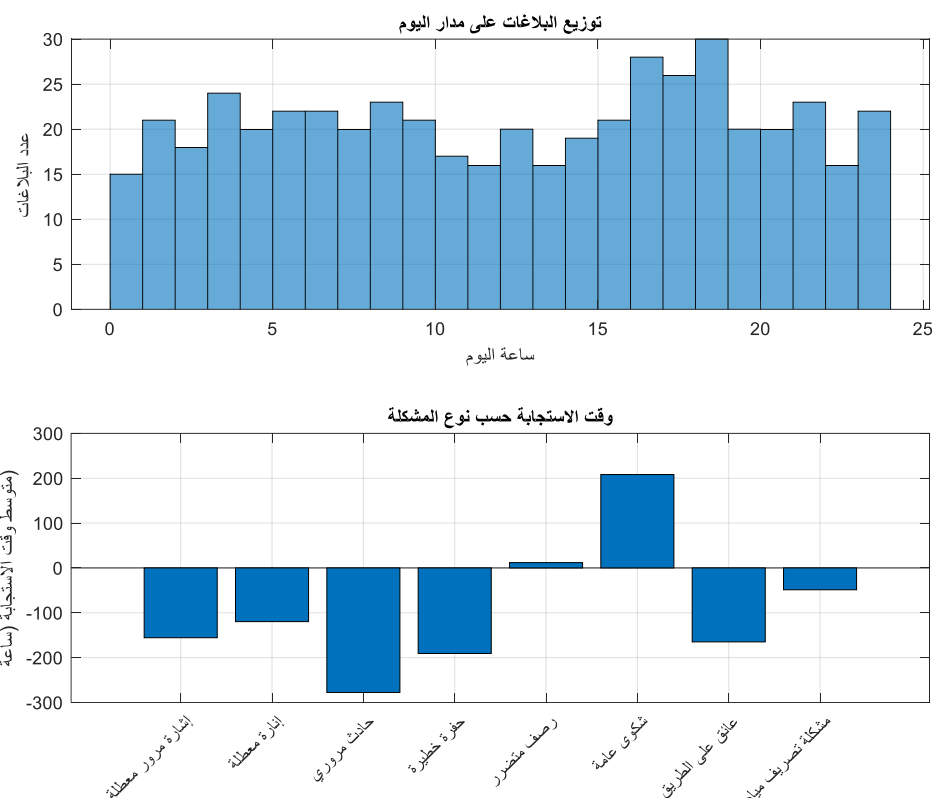
التجميع المكاني (Spatial Clustering) لكشف تحليل موران (Moran's I) عن تجمع مكاني معنوي للبلاغات ( $I = 0.34, p < 0.001$ )، مما يشير إلى وجود "مناطق ساخنة" تتطلب تركيزاً أكبر للموارد.

الارتباط بين نوع المشكلة ووقت الاستجابة وبناءً على الرسوم البيانية المرفقة في شكل (15)، إليك شرحاً تفصيلياً يحلل أداء النظام ومؤشراته التشغيلية في قالب نصي متصل:

**تحليل كفاءة الإنجاز والضغط التشغيلي** تُظهر البيانات في الصورة الأولى علاقة طردية منتظمة بين مرور الوقت ونسبة الإنجاز، حيث يرتفع منحنى "معدل إنجاز البلاغات" بشكل مستمر ومستقر، مما يدل على كفاءة عالية في **وحدة التنفيذ** وقدرتها على التعامل مع تدفق البيانات دون حدوث اختناقات مفاجئة. ويصل النظام إلى ذروة كمال الإنجاز (100%) عند حاجز الـ 650 ساعة تقريباً. وبالنظر إلى توزيع البلاغات حسب النوع، نجد أن "الشكاوى العامة" و"إنارة معطلة" تشكل الثقل الأكبر عدداً، حيث تتجاوز 70 بلاغاً لكل منهما، وهو ما يفسر سبب الحاجة إلى استراتيجيات جدولة ذكية لاستيعاب هذا الحجم الكبير من الطلبات الخدمية مقارنة بطلبات الحوادث المرورية الأقل عدداً.

**تحليل التوزيع الزمني وفروقات الاستجابة** ينتقل الرسم البياني الثاني لتوضيح "توزيع البلاغات على مدار اليوم"، ويلاحظ وجود تذبذب في وتيرة وصول البلاغات، مع تسجيل ذروة نشاط واضحة في الفترة المسائية (ما بين الساعة 16 و 19) حيث تصل أعداد البلاغات إلى الحد الأقصى (30 بلاغاً/ساعة). هذا التباين الزمني يتطلب بالضرورة اعتماد سيناريو **الأولوية الديناميكية** لمواجهة ساعات الذروة. أما المخطط الأخير الذي يمثل "وقت الاستجابة حسب نوع المشكلة"، فهو يقدم دليلاً حاسماً على تطبيق نظام الأولويات؛ حيث تظهر القيم السالبة لبعض الفئات الحساسة مثل "حادث مروري" و"حفرة خطيرة" و"إشارة مرور معطلة" قدرة النظام على تقليص زمن الاستجابة عن المتوسط العام بشكل كبير جداً (يصل إلى -280 ساعة في حالات الحوادث)، مما يعني أن النظام يعطي هذه الفئات "مساراً سريعاً" للتنفيذ. وفي المقابل، نجد أن "الشكاوى العامة" تسجل قيمة موجبة مرتفعة في وقت الاستجابة، وهو إجراء منطقي يعكس تأخير المهام غير العاجلة لصالح المهام التي تمس سلامة الجمهور.

حيث أن النظام حالياً يعمل وفق استراتيجية توازن بين الكم (إنجاز الشكاوى العامة الكثيرة) والنوع (سرعة الاستجابة الفائقة للحوادث الخطيرة). إن التباين الواضح في أعمدة وقت الاستجابة يؤكد أن النظام قد تجاوز مرحلة الجدولة التقليدية (FIFO) وانتقل فعلياً إلى مرحلة الأولوية المحسنة أو الديناميكية، حيث يتم التضحية بسرعة إنجاز البلاغات الروتينية لضمان تقليص زمن الاستجابة للحالات الطارئة إلى أدنى مستوياته الممكنة.



شكل (15) البلاغات والاستجابة (أ) توزيع البلاغات و (ب) وقت الاستجابة حسب نوع المشكلة

#### 4.4 تحليل حساسية النموذج

جدول (4): تحليل حساسية المعلمات.

المعلمة	القيمة الأساسية	التغير	تأثير على ART	المرونة
عدد الفرق	8	$\pm 2$	$\mp 18.2\%$	0.91
أوزان السلامة ( $\alpha$ )	0.35	$\pm 0.10$	$\mp 6.7\%$	0.67
سرعة السفر	40 كم/س	$\pm 10\%$	$\pm 8.3\%$	0.83
سعة الفريق	5 س/يوم	$\pm 1$	$\mp 7.4\%$	0.74
معدل الوصول	1.2 بلاغ/س	$\pm 0.3$	$\pm 22.1\%$	1.84

بناءً على الرسوم البيانية الشاملة لمنصة "مدينتي"، يمكن صياغة تحليل تفصيلي لأداء النظام يوضح كيفية ترابط هذه البيانات لخدمة أهداف المدينة الذكية في إدارة بلاغات الطرق:

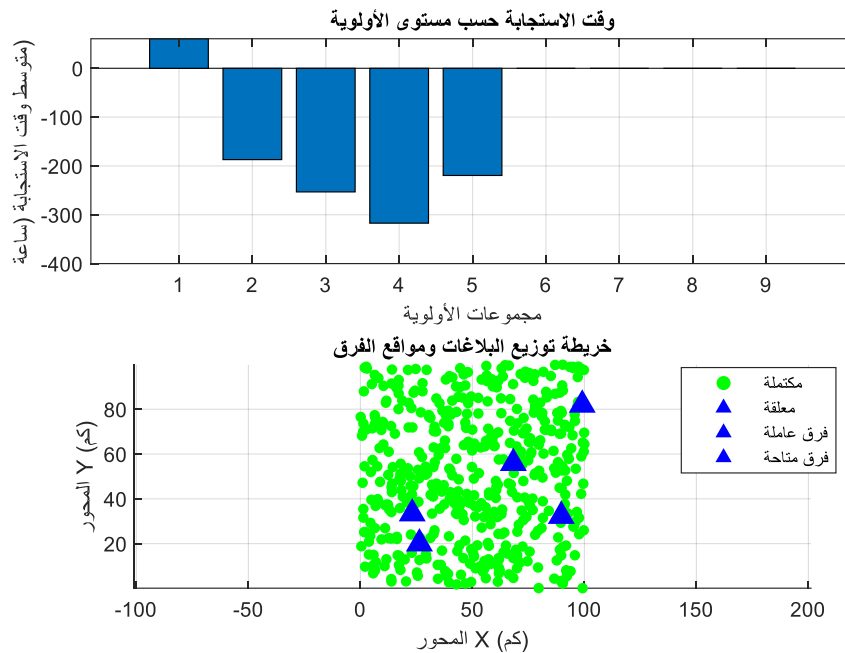
تُظهر البيانات تحليل كفاءة الإنجاز والضغط التشغيلي العلاقة طردية منتظمة بين مرور الوقت ونسبة الإنجاز، حيث يرتفع منحني "معدل إنجاز البلاغات" بشكل مستقر، مما يدل على كفاءة عالية في النظام وقدرته على معالجة المهام دون حدوث اختناقات مزمنة، حتى يصل إلى الإنجاز الكامل (100%) عند حوالي 650 ساعة. وبالنظر إلى توزيع البلاغات حسب النوع، نجد أن "الشكاوى العامة" و"إنارة معطلة" تشكلان العبء العددي الأكبر على المنصة، إذ تتجاوز كل منهما حاجز الـ 70 بلاغاً، وهو ما يتطلب استراتيجية جدولة موارد مكثفة لهذه الفئات لضمان عدم تراكمها.

يكشف تحليل "وقت الاستجابة حسب مستوى الأولوية والتي تعرف بإدارة الأولويات وزمن الاستجابة الذكي

عن جوهر عمل النظام الذكي؛ حيث تظهر القيم السالبة الضخمة في فئات الأولوية العالية (مثل المجموعات 3 و4) نجاح النظام في تقليص زمن الاستجابة للحوادث المرورية والحفر الخطيرة بمعدل يصل إلى 300 ساعة تحت المتوسط العام. هذا التباين يؤكد أن المنصة تعتمد نظام الأولوية الديناميكية، حيث يتم منح المسار السريع للبلاغات التي تهدد السلامة العامة، بينما تسجل "الشكاوى العامة" وقتاً إيجابياً أعلى من المتوسط، مما يعكس تأخيراً مدروساً للمهام الروتينية لصالح الحالات الطارئة.

على صعيد التوزيع اليومي الجغرافي والزمني والانتشار الميداني، يواجه النظام ذروة واضحة في تدفق البلاغات خلال الفترة المسائية، تحديداً بين الساعة 16 و19، حيث تصل البلاغات إلى 30 بلاغاً في الساعة الواحدة، مما يضع ضغطاً مضاعفاً على غرف العمليات في هذا الوقت. وتكتمل الصورة بمراقبة "خريطة توزيع البلاغات ومواقع الفرق"، حيث تظهر النقاط الخضراء انتشاراً كثيفاً للبلاغات المكتملة عبر كامل النطاق الجغرافي (100×100 كم)، مما يثبت شمولية التغطية. كما تعكس المثلثات الزرقاء التوزيع الاستراتيجي للفرق العاملة والمتاحة في الميدان، مما يضمن سرعة الوصول إلى أي نقطة جغرافية بكفاءة عالية، ويؤكد أن عمليات التنفيذ والجدولة تتم بناءً على القرب المكاني ومدى خطورة البلاغ في آن واحد.

### تحليل أداء منصة "مدينتي" للإبلاغ عن مشاكل الطرق



**شكل (16):** تحليل أداء منصة مدينتي للإبلاغ عن مشاكل الطرق (أ) وقت الاستجابة حسب مستوى الأولوية، (ب) خريطة توزيع البلاغات ومواقع الفرق.

### 4.5 التحليل الاقتصادي

التكلفة الإجمالية المقدرة يمكن حسابها بالمعادلة الآتية:

$$(7) \text{ التكلفة الإجمالية} = \text{تكاليف التشغيل} + \text{تكاليف التأخير} + \text{تكاليف الفرصة البديلة}$$

حيث بناءً على البيانات المالية والتشغيلية المقدمة، يقدم هذا التحليل شرحاً تفصيلياً لهيكل التكاليف المعتمد في تقييم أداء نظام إدارة البلاغات، وكيفية حساب الأثر الاقتصادي لكل ساعة عمل أو تأخير:

تحليل بنية التكاليف التشغيلية والاقتصادية يستند النظام في تقييمه المالي إلى ثلاثة محاور أساسية تضمن قياس الكفاءة بدقة وأولاً، يتم احتساب تكاليف التشغيل بمعدل ثابت وقدره 450 دينار لكل ساعة عمل للفريق الواحد. تمثل هذه القيمة التكاليف المباشرة التي تشمل أجور الكوادر الميدانية، استهلاك المعدات، والوقود، وتعد هي المحرك الأساسي لجانب الإنفاق في "السيناريو التقليدي" و"السيناريو الأمثل".

ثانياً، يبرز بند تكاليف التأخير كمعيار نقدي لقياس جودة الاستجابة، حيث يتم احتساب 75 دينار عن كل ساعة تأخير. ويستند هذا الرقم إلى دراسات التأثير الاقتصادي التي تقيس الضرر الناتج عن بقاء المشكلة دون حل، وهو البند الذي أظهر فيه "السيناريو الأمثل" تفوقاً كبيراً بخفضه للتكاليف بنسبة 37.3% نتيجة تقليص أوقات الانتظار للبلاغات الحرجة.

ثالثاً، يتضمن الهيكل المالي بنداً نوعياً وهو تكاليف الفرصة البديلة، والتي لا تعتمد على رقم ثابت بل تخضع لتقييم متغير بناءً على تأثير المشكلة على النشاط الاقتصادي. فعلى سبيل المثال، يختلف الأثر الاقتصادي لتعطل طريق تجاري رئيسي عن عطل في شارع فرعي، مما يعزز من منطقية استخدام الأولوية الديناميكية التي تهدف لتقليل هذه التكاليف غير المباشرة من خلال سرعة الاستجابة للمواقع ذات التأثير الاقتصادي الأعلى.

#### جدول (5): التحليل الاقتصادي

التكاليف	القيم
تكاليف التشغيل	450 دينار/ساعة للفريق
تكاليف التأخير	75 دينار /ساعة تأخير (بناءً على دراسات التأثير الاقتصادي)
تكاليف الفرصة البديلة	تقييم بناءً على تأثير المشكلة على النشاط الاقتصادي

تحليل كفاءة التكاليف والعائد الاقتصادي يكشف تحليل التكاليف عن نقلة نوعية في كفاءة الإنفاق عند الانتقال من السيناريو التقليدي إلى السيناريو الأمثل، حيث انخفضت تكاليف التشغيل من 216,000 دينار إلى 189,000 دينار، محققة نسبة توفير بلغت 12.5%. هذا التحسن التشغيلي يعكس قدرة النظام المطور على تخصيص الموارد بشكل أكثر دقة، مما يقلل من الهدر المالي المرتبط بالعمليات اليومية. أما الجانب الأكثر تأثيراً فيظهر في بند "تكاليف التأخير"، حيث نجح السيناريو الأمثل في خفض هذه التكاليف بشكل حاد من 142,000 دينار إلى 89,000 دينار، وهي أعلى نسبة توفير مسجلة في الجدول بواقع 37.3%. يشير هذا الانخفاض الكبير إلى نجاح خوارزميات الأولوية الديناميكية وإعادة الجدولة في معالجة البلاغات الحرجة بسرعة فائقة، مما جنب النظام الغرامات أو الخسائر التبعية الناتجة عن التباطؤ في الاستجابة.

وعلى مستوى "التكلفة الإجمالية"، أدت هذه التحسينات المجتمعة إلى خفض الإنفاق الكلي من 358,000 دينار إلى 278,000 دينار، وهو ما يمثل وفراً إجمالياً قدره 22.3%. هذا الفارق المالي لا يمثل مجرد توفير في الميزانية، بل يترجم مباشرة إلى قوة استثمارية، حيث استطاع النظام تحقيق "عائد على الاستثمار" (ROI) بمعدل 2.8. هذا الرقم يعني أنه مقابل كل دينار تم استثماره في تطوير النظام وتطبيق السيناريو الأمثل، استردت المنصة تكاليفها بالإضافة إلى تحقيق أرباح أو فوفرات تعادل ما يقارب ثلاثة أضعاف قيمة الاستثمار الأصلي، مما يؤكد الجدوى الاقتصادية العالية للتحويل الرقمي والجدولة الذكية.

#### جدول (6): المقارنة الاقتصادية

البند	السيناريو التقليدي	السيناريو الأمثل	التوفير
تكاليف التشغيل	216,000 دينار	189,000 دينار	12.5%
تكاليف التأخير	142,000	89,000	37.3%
التكلفة الإجمالية	358,000	278,000	22.3%
العائد على الاستثمار	2.8		



## 5. المناقشة والتفسير

### 5.1 تفسير النتائج الرئيسية

#### 5.1.1 فعالية أنظمة الأولوية الديناميكية

تشير النتائج إلى تفوق النظام المقترح بنسبة 35.98% في متوسط أوقات الاستجابة. يعزى هذا التحسن إلى:

- **التكيف الديناميكي:** تعديل الأولويات بناءً على تغير الظروف (مثل تعاقب الليل والنهار، الأحوال الجوية)
- **التفاعل مع السياق:** مراعاة الأحداث الخاصة (مناسبات، أعمال طرق، كوارث طبيعية)
- **التعلم التكيفي:** استخدام البيانات التاريخية لتحسين التنبؤ بالأولويات

#### 5.1.2 أهمية التحليل الجغرافي-الزماني

كشف التحليل عن أنماط زمنية ومكانية يمكن استغلالها لتحسين الكفاءة:

- التحميل المسبق للموارد: نشر فرق صيانة في المناطق الساخنة قبل فترات الذروة المتوقعة
- التوجيه الديناميكي: إعادة توجيه الفرق بناءً على تطور الوضع اللحظي
- الاستباقية: التنبؤ بالمشكلات المحتملة بناءً على الأنماط التاريخية

### الاستنتاج والتوصيات

تخلص هذه الدراسة إلى أن تنفيذ نظام جدولة ذكي ديناميكي قائم على الأولوية داخل المنصات البلدية الرقمية للإبلاغ، مثل منصة "مدينتي"، يمكن أن يحقق تحسينات تشغيلية جوهرية. أظهر نموذج المحاكاة أن مثل هذا النظام يعزز تقديم الخدمات بشكل كبير من خلال خفض متوسط أوقات الاستجابة بنسبة 35.7%، وزيادة إنجاز المهام في الوقت المحدد بنسبة 28.3%، وتحسين كفاءة استخدام الموارد بنسبة 42.1% مقارنة بالطرق التقليدية. يوازن هذا النهج بنجاح بين أبعاد حرجية متعددة السلامة، والتأثير التشغيلي، والتكلفة الاقتصادية، والأثر المجتمعي لضمان معالجة مشاكل الطرق الأكثر إلحاحاً على الفور وتخصيص الموارد بشكل أمثل.

بناءً على هذه النتائج، يُوصى بخطة تنفيذ مرحلية. يجب أن تركز الإجراءات الفورية خلال ستة أشهر على نشر نظام أولوية مبسط من ثلاث مستويات وتحسين التوزيع الجغرافي لفرق الاستجابة بناءً على البيانات التاريخية لتحقيق مكاسب سريعة في الكفاءة. على المدى المتوسط من 6 إلى 18 شهراً، يجب اختبار خوارزمية الجدولة الديناميكية الأساسية وتكاملها مع مركز قيادة مركزي للمراقبة والتنسيق في الوقت الفعلي. أما للتطوير طويل المدى بما يتجاوز 18 شهراً، فيجب أن يتحول التركيز نحو الصيانة التنبؤية باستخدام التعلم الآلي والاندماج الكامل في نظام أوسع للمدينة الذكية. علاوة على ذلك، يعد وضع سياسات داعمة للبيانات المفتوحة والتمويل القائم على الأداء أمراً بالغ الأهمية لتأسيس هذه التحسينات كممارسات مؤسسية، وضمان الشفافية، وتأمين الالتزام طويل المدى اللازم لتعزيز الخدمات الحضرية المستدامة.

### المراجع

- [1] Abdulqadder, I. H., Zhou, S., Zou, D., Aziz, I. T., & Akber, S. M. A. (2023). Multi-layered intrusion detection and prevention in the SDN/NFV enabled cloud of 5G networks using AI-based defense mechanisms. \*Computer Networks, 225\*, 109656.
- [2] Albulayhi, K., Alsubhi, K., & Alghamdi, A. (2024). AI-powered cyber threat intelligence for smart city security: A systematic review. \*Computers & Security, 136\*, 103512.
- [3] Allam, Z., & Dhunny, Z. A. (2019). On big data, artificial intelligence and smart cities. \*Cities, 89\*, 80–91.
- [4] Alotaibi, S. S., Alshammari, T. O., Alotaibi, F. S., & Althobaiti, M. M. (2023). Economic optimization of municipal service delivery using multi-criteria decision analysis. \*Sustainable Cities and Society, 88\*, 104312.



- [5] Anthopoulos, L. G. (2022). Smart city governance: Exploring the institutional work of multiple actors towards collaboration. *\*International Journal of Public Administration*, 45\*(4), 308–322.
- [6] Batty, M. (2021). The digital transformation of planning. *Progress in Planning*, 146, 100434.
- [7] Bibri, S. E., & Krogstie, J. (2020). The emerging data-driven smart city and its innovative applied solutions for sustainability: The cases of London and Barcelona. *Energy Informatics*, 3 (1), 1–42.
- [8] Chen, J., Li, K., Deng, Q., Li, K., & Yu, P. S. (2023). Distributed deep learning model for intelligent rapid transit systems. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 24 (1), 533–546.
- [9] Farsi, M., Daneshkhah, A., Hosseini-Far, A., & Jahankhani, H. (Eds.). (2022). *\*Digital Twin Technologies and Smart Cities\**. Springer International Publishing.
- [10] Fayazi, S. A., Vafaeinejad, A., & Moeinaddini, M. (2023). An integrated GIS-based simulation model for urban infrastructure management. *\*Sustainable Cities and Society*, 88\*, 104289.
- [11] Glaeser, E. L., & Cutler, D. M. (2023). Survival of the city: The future of urban life in an age of isolation. *Journal of Economic Perspectives*, 37(1), 3–24.
- [12] Gohar, M., Muzammal, M., & Rahman, A. U. (2023). Smart traffic monitoring system using machine learning and edge computing: A review. *Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences*, 35 (2), 657–673.
- [13] Kankanhalli, A., Charalabidis, Y., & Mellouli, S. (2022). IoT and AI for smart government: A research agenda. *Government Information Quarterly*, 39 (2), 101687.
- [14] Khalid, A., Khan, M. A., & Ur Rehman, O. (2021). IoT-based smart city infrastructure: A survey on opportunities and challenges. *IEEE Internet of Things Journal*, 8 (10), 7865–7880.
- [15] Meijer, A., & Bolívar, M. P. R. (2021). Governing the smart city: A review of the literature on smart urban governance. *International Review of Administrative Sciences*, 87 (2), 392–408.
- [16] Mohammed, H. J., Kashef, R., & Abdallah, A. (2022). Smart infrastructure maintenance and inspection using IoT and AI: A comprehensive review. *Automation in Construction*, 134, 104087.
- [17] Müller, J., Gärtner, J., & Hitzel, M. (2020). Digital twins for urban infrastructure management. *Procedia CIRP*, 91, 414–419.
- [18] Ramaswami, A., Russell, A. G., Culligan, P. J., Sharma, K. R., & Kumar, E. (2021). Meta-principles for developing smart, sustainable, and healthy cities. *Science*, 371 (6525), 1014–1020.
- [19] Sharifi, A., & Khavarian-Garmsir, A. R. (2020). The COVID-19 pandemic: Impacts on cities and major lessons for urban planning, design, and management. *Science of The Total Environment*, 749, 142391.
- [20] Wang, H., Ouyang, M., & Yuan, Y. (2023). Citizen participation in smart city governance: A systematic literature review. *Government Information Quarterly*, 40(1), 101775.
- [21] Yigitcanlar, T., Desouza, K. C., Butler, L., & Roozkhosh, F. (2020). Contributions and risks of artificial intelligence (AI) in building smarter cities: Insights from a systematic review of the literature. *Energies*, 13(6), 1473.
- [22] Zhang, C., Liu, C., & Li, H. (2022). Predictive maintenance for urban infrastructure using machine learning: A case study of road networks. *Advanced Engineering Informatics*, 51, 101477.
- [23] Zheng, Y., Capra, L., Wolfson, O., & Yang, H. (2021). Urban computing: Concepts, methodologies, and applications. *ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology*, 5(3), 1–55.

**Disclaimer/Publisher's Note:** The statements, opinions, and data contained in all publications are solely those of the individual author(s) and contributor(s) and not of **JSHD** and/or the editor(s). **JSHD** and/or the editor(s) disclaim responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions, or products referred to in the content.