



وقائع مؤتمرات جامعة سبها  
Sebha University Conference Proceedings

Conference Proceeding homepage: <http://www.sebhau.edu.ly/journal/CAS>



نمذجة ومحاكاة شبكات إنترنت الأشياء في المبنى الذكي باستخدام نظرية صفوف الطوابير

\*مواهب عمر أحمد<sup>1</sup> و غزلان مسكين<sup>2</sup>

<sup>1</sup>قسم الهندسة الكهربائية والإلكترونية (شعبة الاتصالات)، كلية الهندسة، جامعة وادي الشاطئ

<sup>2</sup>قسم الهندسة الطبية، كلية الهندسة، جامعة وادي الشاطئ

الكلمات المفتاحية:

إنترنت الأشياء  
مبنى ذكي  
مؤشرات الأداء  
عنق الزجاجة  
نموذج الطوابير.

المخلص

يتم تجهيز أنظمة المباني الذكية في المدن الكبرى بأجهزة إنترنت الأشياء لمراقبة بعض المؤشرات المختلفة بهذه المباني، ولغرض تجنب انخفاض جودة الخدمة لهذه الأنظمة، لذلك يجب تحديد مؤشرات الأداء المتعلقة بأدائها قبل تنفيذ المبنى، ومن خلال هذه المؤشرات يمكن فهم سلوك النظام وتحليله لتقدير أداءه بشكل كمي، في هذه الدراسة تم استخدام نموذج شبكة الطوابير لنمذجة ومحاكاة مبنى ذكي مكون من طابقين وخمس غرف، حيث تجهز الغرفة الرئيسية بأجهزة الحساسات، وقد اشتملت النمذجة لنظام المبنى الذكي على ثلاثة مستويات مختلفة وهي: مستوى حوسبة الحافة، مستوى الحوسبة الضبابية، مستوى الحوسبة السحابية، تم محاكاة المبنى باستخدام برنامج (Java Modeling Tool) الذي يتيح محاكاة نموذج الطوابير ومن خلاله يمكن تقدير مؤشرات الأداء لسيناريو تغيير عدد الخوادم وتحديد البارامترات السيناريو بناء على دراسات سابقة، تم تبني المؤشرات التالية لدراسة سلوك النظام وهي: متوسط وقت الاستجابة (R)، عدد رسائل النظام (N)، نسبة الاستخدام (U)، معدل التدفق ( $\lambda$ th)، معدل فقد الرسائل (PL)، أظهرت نتائج المحاكاة أن نموذج شبكة الطوابير المقترح هو أداة جيدة لتقدير مؤشرات الأداء، بحيث تساعد التحليلات الناتجة مصممي النظام والمستفيد من النظام حرية الاختيار بين الأداء والكلفة، حيث باستخدام (8 Cores) تكون سرعة التنفيذ والتكلفة والطاقة عالية جدا ومؤشرات الأداء تكون أفضل كمتوسط وقت الاستجابة الذي يكون منخفض جدا بمقدار 73 ms لعدد الخوادم ، على مستوى النظام مقارنة بـ (4 Cores)، وأشارت نتائج التحليلات التي أجريت على ثلاثة مستويات أن عنق الزجاجة يحدث في مستوى حوسبة الحافة، حيث تكون نسبة الاستخدام 100%.

Modeling and simulation of Internet of Things networks in smart buildings using queuing theory

\*Mwahib Omer Imhimed<sup>1</sup>, Guzman Miskeen<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Dep. Of Electrical and Electronic Engineering(communication), Faculty of Engineering, Wadi Ashatti University

<sup>2</sup>Dep. Of Medical Engineering, Faculty of Engineering, Wadi Ashatti University

Keywords:

Internet of Things  
Smart building  
Performance indicators  
Bottleneck  
Queuing model

Abstract

Smart building systems in major cities are equipped with Internet of Things devices to monitor some different indicators in these buildings, and for the purpose of avoiding a decrease in the quality of service for these systems. Therefore, performance indicators related to their performance must be determined before implementing the building. Through these indicators, the behavior of the system can be understood and analyzed to estimate its performance quantitatively. In this study, the queue network model was used to model and simulate a smart building consisting of two floors and five rooms, where the main room is equipped with sensors. The modeling of the smart building system included three different levels: the edge computing level, the fog computing level, and the cloud computing level. The building was simulated using the Java Modeling Tool program, which allows simulating the queue model, and through it the performance indicators for the scenario of changing the number of servers can be estimated and the scenario parameters determined. Based on previous studies, the following indicators were adopted to study the behavior of the system, which are: average response time (R), number System messages (N), utilization ratio (U), flow rate ( $\lambda$ th), message loss

\*Corresponding author:

E-mail addresses: [ma.emhemad@wau.edu.ly](mailto:ma.emhemad@wau.edu.ly) ,(G. Miskeen)[guz.miskeen@wau.edu.ly](mailto:guz.miskeen@wau.edu.ly)

Article History: Received 20 June 2024 - Received in revised form 03 September 2024 - Accepted 06 October 2024

rate (PL). The simulation results showed that the proposed queuing network model is a good tool for estimating performance indicators, so that the resulting analyzes help system designers and the user of the system. The choice is between performance and cost, as using (8 Cores) the execution speed, cost and energy are very high and the performance indicators are better such as the average response time which is very low by 73 ms for the number of servers, at the system level compared to (4 Cores). The results indicated At three levels the bottleneck occurs at the edge compute level, where utilization is 100%.

## 1. المقدمة

تتطلب تقييم الأداء منذ المراحل الأولى للتطوير، لأن التجارب الحقيقية مكلفة للغاية وتستهلك الكثير من الوقت والجهد لوجود العديد من السيناريوهات التي ينبغي اختبارها، كما أن التنبؤ بأداء أنظمة إنترنت الأشياء في المراحل المستقبلية إي عند الرغبة في التطوير وتوسيع النظام صعب جداً، لغرض تسهيل الدراسة تم استخدام نماذج الطوابير لتقييم أداء أنظمة إنترنت الأشياء بدقة عالية وبكلفة وجهد أقل مما يسمح بعمل النظام وفقاً لاحتياجات المصمم [3].

أما المشكلة الأساسية فتتمثل في مستوى حوسبة الحافة Edge Computing ((EC)) فهي وحدها ليست قادرة على التعامل مع عبء العمل (workload) لمعالجة البيانات، فيعمل دمجها في مستوى الحوسبة السحابية على إصلاح هذه المشكلة وعلى تقليل وقت استجابة الشبكة العالي الذي يقلل حتماً من جودة خدمة المستخدم، ولكنه لا يعتبر الحل الأمثل [10]، مما أدى إلى تبني مرحلة وسيطة من بيئة الحوسبة تسمى مستوى الحوسبة الضبابية التي عملت على تحسين أداء النظام بشكل كبير عن طريق تقليل كمية الرسائل التي يجب نقلها إلى مستوى الحوسبة السحابية ومعالجتها، إذا تقدم هذه الورقة نمذجة هذا الجزء لتقييم الأداء ومعرفة عنق الزجاجة (Bottleneck) في المباني الذكية.

### 3. أهمية الورقة

توفر الورقة رؤى وأساليب قيمة لتقييم أداء شبكات إنترنت الأشياء في المباني الذكية باستخدام نماذج الطوابير للحوسبة السحابية، من خلال توسيع بنية النموذج بحيث يشمل مستوى الحوسبة السحابية (CC) لتلبية متطلبات جودة الخدمة، استخدام نماذج الطوابير لتقدير أداء النظام بأقل كلفة، تحليل وتقدير مؤشرات الأداء بحيث تساعد هذه التحليلات مصممي النظام والمستفيد من النظام الاختيار بين الأداء والكلفة.

### 4. الدراسات السابقة

يبين جدول (1) مقارنة بين الدراسة الحالية والدراسات السابقة، حيث تشير هذه المقارنة إلى نقاط القوة والتميز بين الدراسة الحالية والدراسات السابقة بالإضافة إلى مستويات النمذجة.

جدول 1: المقارنة بين الدراسة الحالية والدراسات السابقة

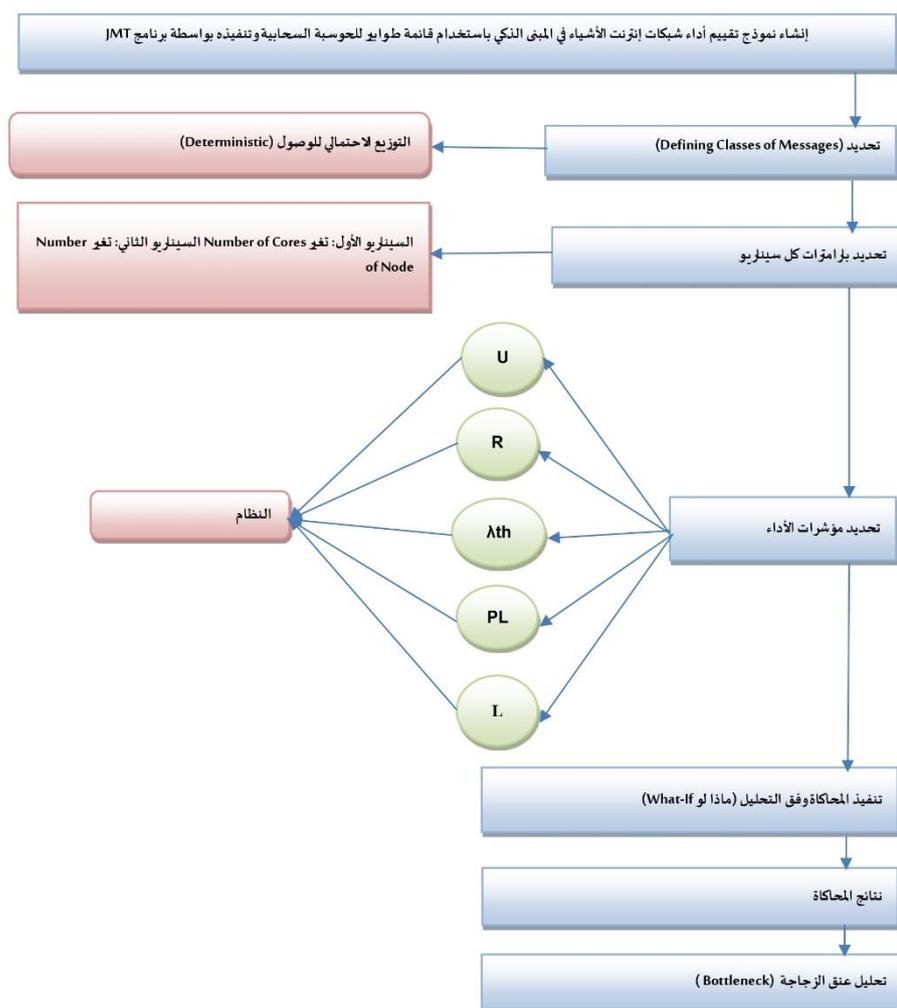
الباحث	السنة	بنية النظام (عدد المستويات)	أداة المحاكاة	مؤشرات الأداء	عنق الزجاجة	أهم الاستنتاجات	التوصيات
[10]	2022	تصميم بيئة ضبابية ذات مستويين	iFogSim	U,R, $\lambda$ th	-	النموذج المقترح ملائم لتصميم الهياكل الضبابية المثل	إجراء المزيد من الاختبارات للتحقق من صحة النموذج المستخدم وتطوير خوارزمية التحسين للعثور على أفضل بارامترات لضمان الاستخدام الأمثل للعقد.
[3]	2021	مستويان وهما FC,EC	JMT	U,R, $\lambda$ th,PL,N	-	عدد العقد له تأثير الأكبر على أداء النظام	توسيع النموذج المقترح ليشمل مستوى الحوسبة السحابية
الرسالة الحالية	2024	3 مستويات وهما CC, FC, EC	JMT	U,R, $\lambda$ th,PL,N	مستوى حوسبة EC, حيث U=100% حتى عند أقصى معدل وصول	أظهرت نتائج المحاكاة أن النموذج المقترح هو أداة جيدة لدراسة متطلبات جودة الخدمة	تنفيذ نظام حقيقي لمقارنة أدائه مع النتائج التي تم الحصول عليها من خلال نموذج الطوابير

تكونت بنية النظام من مستوى حوسبة الحافة والحوسبة الضبابية والسحابية، وقدمت تحليل عنق الزجاجة (Bottleneck)، تعتبر هذه الدراسة تقدماً وتطوراً كبيراً مقارنة بالعمل [3] اقترحت هذه الدراسة نموذج قادر على تقدير مختلف مؤشرات الأداء، وفيما يتعلق بوقت الاستجابة تم الحصول على وقت تنفيذ يبلغ 16.8 ms باستخدام (8 Cores).

##### 5. مخطط انسيابي يلخص إستراتيجية العمل

يوضح الشكل (1) مخطط انسيابي يلخص استراتيجية العمل حيث يبدأ المخطط بإنشاء النموذج المقترح لتقييم أداء شبكات (IOT) في المبنى الذكي باستخدام نماذج طوابير للحوسبة السحابية، وينتهي بحساب بتحليل عنق الزجاجة.

تقدم الدراسة [10] نمذجة الحوسبة الضبابية على أساس نظرية الطابور تم استخدام نموذج عام لتصميم هياكل ضباب فعالة تم محاكاة سيناريو معين يسمح بإمكانية ضبط البارامترات يدوياً من قبل المستخدم، اقترحت الدراسة نموذج قادر على تقييم أداء متوسط وقت الاستجابة، حيث الحصول على وقت تنفيذ يبلغ 737s، وتقدم الدراسة [3] تقييم أداء شبكات إنترنت الأشياء في المباني الذكية، حيث اقتصر بنية النموذج على مستوى حوسبة الحافة ومستوى الحوسبة الضبابية فقط ولم يشمل مستوى السحابية ومكوناتها، أي اقترحت نموذج قادر على تقدير مختلف مؤشرات الأداء، وفيما يتعلق بمتوسط وقت الاستجابة تم الحصول على وقت تنفيذ يبلغ (47ms) باستخدام (8 Cores)، وتقدم الدراسة الحالية تقييم أداء شبكات إنترنت الأشياء في المباني الذكية باستخدام قائمة الطوابير للحوسبة السحابية، حيث



الشكل 1: مخطط انسيابي يلخص استراتيجية العمل

التي تراقب درجة حرارة الغرف بالمبنى بالإضافة إلى اكتشاف وجود دخان غاز أول أكسيد الكربون في حالة اندلاع الحرائق.  
ii. مستوى الحوسبة الضبابية (FC)

يتم توجيه الرسائل من مستوى حوسبة الحافة (EC) عبر بوابة (Gateway Edge-Fog) إلى النظام الأساسي السحابي تدار هذه البيانات خلال مرحلة وسيطة من بيئة الحوسبة تسمى مستوى الحوسبة الضبابية (FC) وهي مسؤولة عن جمع الرسائل ومعالجتها وفي

##### 6. هندسة النظام

تمت مناقشة المبنى الذكي مع الأخذ في الاعتبار ثلاثة جوانب وهي:

1. النظام العام للمبنى.

يتكون المبنى من المستويات التالية:

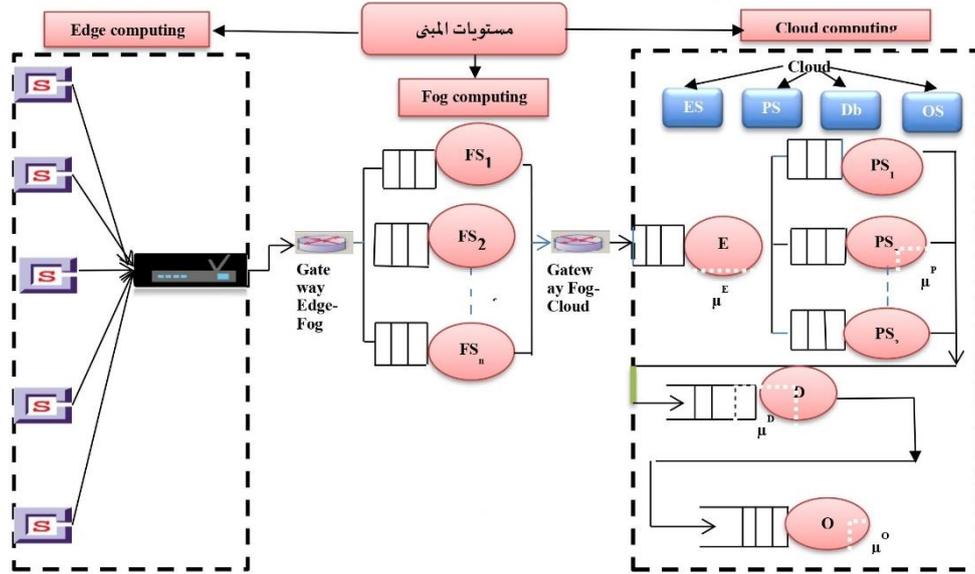
i. مستوى حوسبة الحافة (EC)

يتيح هذا المستوى المراقبة في الوقت الفعلي وتجميع ومعالجة الرسائل بشكل دوري في كل غرفة في كل طابق من طوابق المبنى باستخدام أجهزة الحساسات

3. قاعدة البيانات (Db) وهي مسؤولة عن خدمة الرسائل (مستودع الرسائل).

4. سيرفرات الإخراج (OS).

يوضح الشكل (2) الهيكل العام للنظام، أي نظرة عامة على بنية تسمح بمراقبة أجهزة حساسات متعددة في مبنى ذكي، بحيث تكون الحساسات مختلفة ولها أغراض مختلفة، حيث تم هنا التركيز على بعض الأنواع الممكنة منها كحساس درجة الحرارة، حساس إندار الحريق، حساس الحركة، حساس التحكم في الإنارة المنزلية، حساس فتح وإغلاق الأبواب والنوافذ.



الشكل 2: الهيكل العام للنظام

الرسائل بالتساوي وموازنة الحمل إلى العقد الضبابية (Fog Nodes).

iii. البنية التحتية لإنترنت الأشياء (IoT Infrastructure)

التركيز الرئيسي للنمذجة يدور حول استكشاف تأثير تغيير كل من عدد الخوادم والعقد على مؤشرات الأداء، واستكشاف وتحليل عنق الزجاجة (Bottleneck).

7. نمذجة مستويات المبنى

تتبع معدلات خدمة العقد (Service Time Distribution) في أغلب الحساسات التوزيع الأسي (Exponential) وتعمل هذه الحساسات بالمقاطعة (أي في حالة حدوث حدث معين)، وتتبع عقدة حساس درجة الحرارة الذي يعمل على قياس الحرارة بصورة منتظمة التوزيع الثابت (Deterministic)، وتتم نمذجة نموذج الطابور في مستوى حوسبة الحافة بـ  $(M/M/1/K)$ ، حيث  $(M)$  تشير إلى معدل الوصول ويكون  $0.04 \text{ msg/ms}$  [3] وهو ثابت في جميع المستويات و  $(M)$  تشير إلى معدل الخدمة ويكون متفاوتاً  $(0.033, 0.044)$  وفق للمرجع [3] و  $(0.4)$  وفق للمرجع [14] ويشير 1 إلى سيرفر واحد في جميع سيناريوهات المحاكاة، وتتم نمذجة نماذج الطوابير في الحوسبة الضبابية (Fog nodes) وسيرفرات المعالجة (PS) في مستوى الحوسبة السحابية بـ  $M / (M / C / K)$  حيث يشير (C) إلى عدد مراكز الخدمة، كما هو مبين بالجدول (2).

حالة ليس لديها قوة حوسبة كافية لمعالجة الرسائل ترسل إلى السحابة (Cloud).

iii. مستوى الحوسبة السحابية (CC)

حيث يتكون مستوى السحابة من 4 مكونات

1. سيرفر الإدخال (ES) هو نقطة الدخول إلى السحابة وهو مسؤولاً عن توزيع الرسائل نحو سيرفرات المعالجة (PS).
2. سيرفرات المعالجة (PS) يصل كل سيرفر معالجة إلى قاعدة البيانات (Db).

2. حركة مرور الرسائل في الشبكة

تشير البنية إلى المسارات التي تسلكها حزم الرسائل في النظام بشكل كامل بالإضافة إلى السلوك التشغيلي لنظام المراقبة الأمنية، حيث يتم جمع الرسائل بشكل دوري (أو حسب حدوثها وفق نمط حصول الحدث) بواسطة أجهزة الحساسات ثم إرسالها إلى جهاز حافة (ED) ليتم تجميعها وتغليفها إذا كان الجهاز مشغولاً يمكن إضافة الرسائل إلى قائمة الطابور، حيث سيتم معالجة هذه الرسائل حسب ترتيب وصولها (FCFS).

3. الفرضيات

يتم توفير بعض الافتراضات لتبسيط النمذجة:

i. مستوى حوسبة الحافة (EC)

1. تولد الرسائل من أجهزة الحساسات النشطة في غرفة متصلة إلى جهاز الحافة (ED) مثبت أيضاً في الغرفة.
2. لم يأخذ في الاعتبار زمن انتقال الاتصال بين أجهزة الحساسات وأجهزة الحافة، في الممارسة العملية يتم تشكيل الاتصال عن طريق الاتصال اللاسلكي.
3. جمع الرسائل لكل حساس مستقل عن الآخر.

ii. مستوى الحوسبة الضبابية (FC)

يتم استلام الرسائل عند بوابة (Gateway Edge-Fog) التي تقوم بتوزيع

جدول (2): نمذجة مستوى الحافة ومستوى الحوسبة الضبابية ومكونات مستوى الحوسبة السحابية في (QN)

النموذج Model	Service Time Distribution ( $\mu$ )	النمذجة
M/M/1/K	Exponential	جهاز الحافة Edge Device
M / M / c / K	Exponential	عقد الضباب Fog nodes
نمذجة (Cloud)		
M/M/1/K	Exponential	سيرفر الإدخال Entry server
M / M / c / K	Exponential	سيرفرات المعالجة Processing Server
M/M/1/K	Exponential	قاعدة البيانات Data base
M/M/1/K	Exponential	سيرفر الإخراج Output server

## 8. سيناريو المحاكاة

والسحابية بينما ظل عدد الخوادم في Entry Server (ES) ومستوى حوسبة الحافة ثابتاً عند Edge Device (ED)

يبين جدول (3) بارامترات سيناريو تغيير عدد الخوادم في كل من مستوى الحوسبة الضبابية والسحابية بينما ظل عدد العقد ثابتاً، حيث كان عدد الخوادم متفاوتاً بين (2،4،8) خوادم في مستوى الحوسبة الضبابية

جدول 3: بارامترات السيناريو

عدد السيرفرات	حجم الطابور	معدلات الخدمة	حوسبة	عدد السيرفرات	حوسبة	عدد العقد	حوسبة
8	150	$\mu_{Ed}, \mu_f, \mu_p, \mu_D, \mu_O=0.4$	CC,FC	2	CC,FC	1	CC,FC
4	100	$\mu_{Ed}, \mu_f, \mu_p, \mu_D, \mu_O=0.044$	CC,EC	4	CC,EC	1	CC,EC
2	50	$\mu_{Ed}, \mu_f, \mu_p, \mu_D, \mu_O=0.033$	EC	8	EC	1	EC
		$\mu_E=0.9$					
		$\mu_E=0.6$					
		$\mu_E=0.3$					
PS, DS, FN, OS.	PS, DS, FN, OS.	PS, DS, FN, OS.	حوسبة	PS, DS, FN, OS.	حوسبة	عدد العقد	حوسبة
1	1	1	حوسبة	1	حوسبة	عدد العقد	حوسبة
ED, ES	ED, ES	ED, ES	حوسبة	ED, ES	حوسبة	عدد العقد	حوسبة
1	1	1	حوسبة	1	حوسبة	عدد العقد	حوسبة
Db, OS, ES	Db, OS, ES	Db, OS, ES	حوسبة	Db, OS, ES	حوسبة	عدد العقد	حوسبة
5	5	5	حوسبة	5	حوسبة	عدد العقد	حوسبة
PS, FN.	PS, FN.	PS, FN.	حوسبة	PS, FN.	حوسبة	عدد العقد	حوسبة
6	6	6	حوسبة	6	حوسبة	عدد العقد	حوسبة
ED	ED	ED	حوسبة	ED	حوسبة	عدد العقد	حوسبة

(what if)

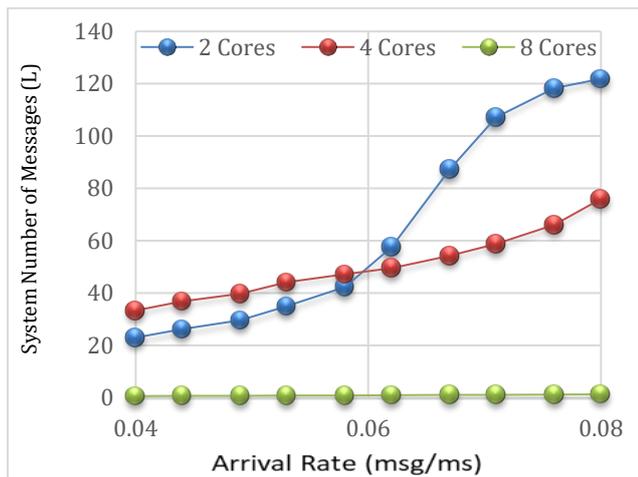
## 9.1 نتائج محاكاة تغيير عدد الخوادم

يعرض الشكل (3) النتائج التي تدرس أعداد مختلفة من عدد الخوادم موضحة في كل من متوسط استجابة النظام (System R)، عدد رسائل النظام (System L)، معدل تدفق النظام (System  $\lambda$ th)، معدل فقد رسائل النظام (System PL).

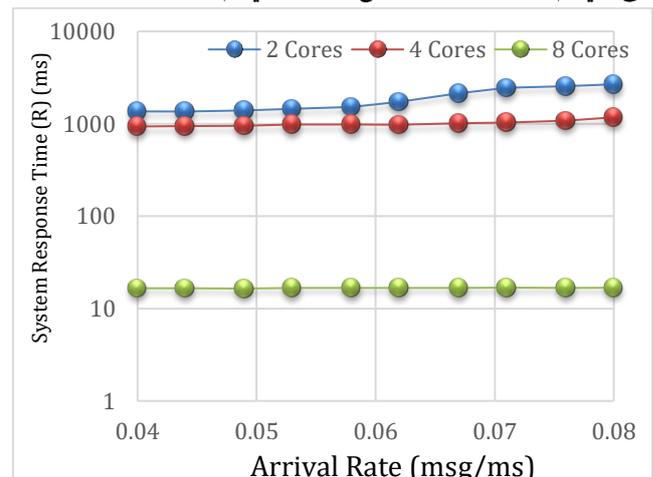
تم محاكاة السيناريو على ثلاثة مراحل، حيث تم ضبط معدل الخدمة لكل من جهاز حافة ( $\mu_{ED}$ ) خادم ضباب ( $\mu_f$ )، خادم معالجة ( $\mu_p$ )، خادم قاعدة البيانات ( $\mu_D$ )، خادم إخراج ( $\mu_O$ ) على (0.033، 0.044، 0.4) وضبط معدل الخدمة لخادم الدخول ( $\mu_E$ ) على (0.3، 0.6، 0.9).

## 9. نتائج المحاكاة

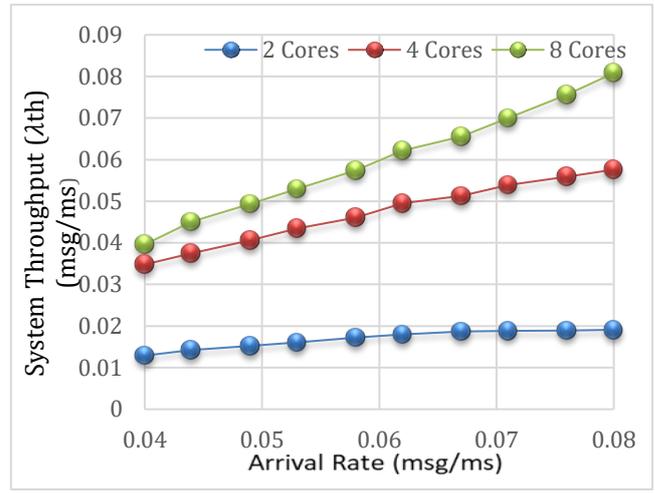
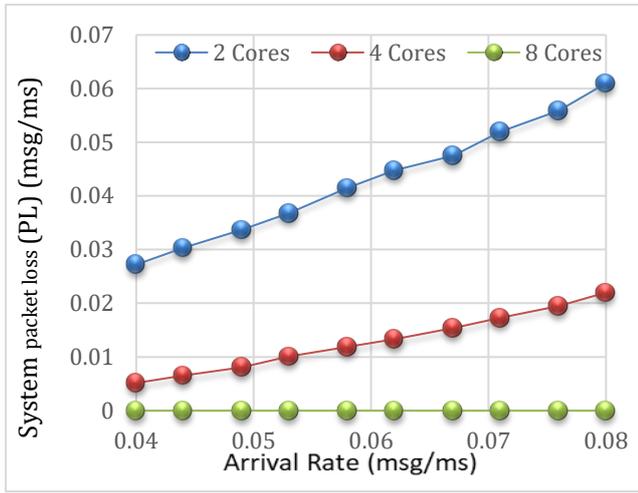
النتائج التي تم الحصول عليها من نوع المحاكاة التي تم إجراؤها: ماذا لو



(b)



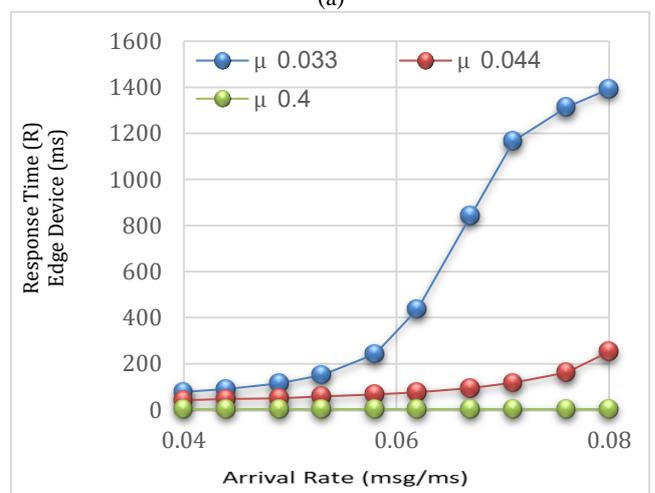
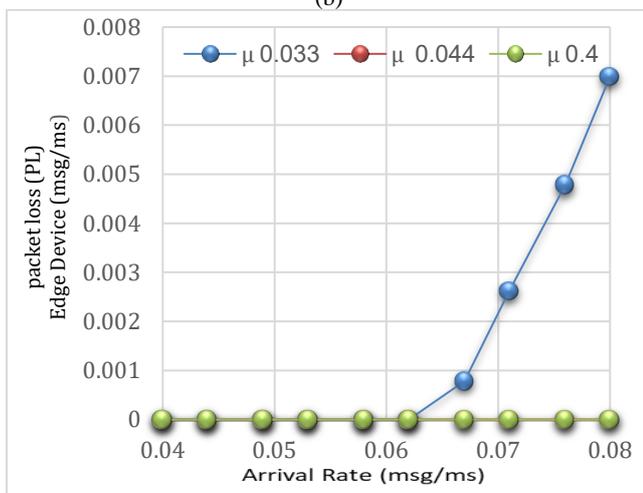
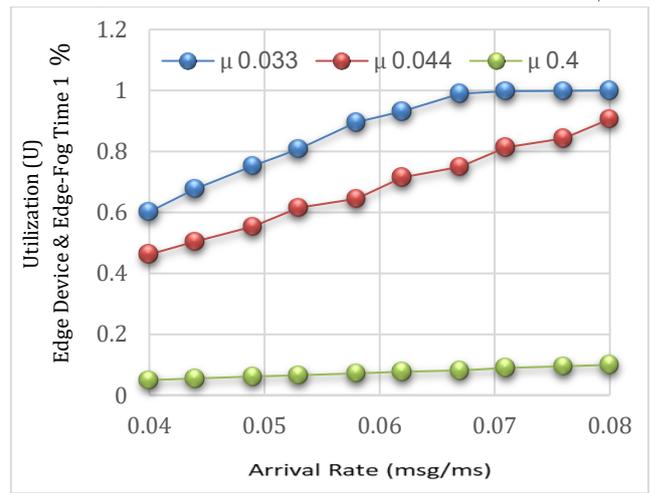
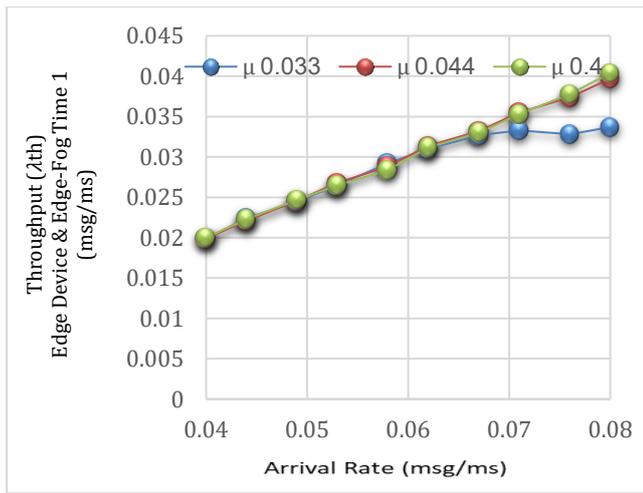
(a)



(d) (System PL) (d), (System λth) (c), (System L) (b), (System R) (a): **الشكل (3)**

**10. تحليل عنق الزجاجة (Bottleneck)**

يعرف مفهوم عنق الزجاجة على أنه مجموعة من الأدوات والعمليات المستخدمة لتحديد مكان حدوث الاختناقات في بيئة الإنتاج [9] تم في هذه الورقة تحليل عنق الزجاجة في جميع مستويات المبنى اعتمدت نتائج التحليل على عدة مؤشرات منها نسبة الاستخدام (U) وبدلالة الانخفاض في معدل التدفق (λth) والزيادة في معدل فقد الرسائل (PL) وبمتوسط وقت الاستجابة العالي، حيث أظهرت نتائج المحاكاة أن عنق الزجاجة يحدث في مستوى حوسبة الحافة أي عند Edge Device ، يعرض الشكل (4) نتائج تحليل عنق الزجاجة موضحة في كل من نسبة استخدام (U) ، معدل تدفق (λth) ، متوسط وقت استجابة (R) ، معدل فقد رسائل (PL) .



**الشكل 4:** نتائج تحليل عنق الزجاجة (a) Utilization (U) ، (b) Throughput (λth) ، (c) Response Time (R) ، (d) packet loss (PL)

(2 Cores) كان متوسط وقت الاستجابة للنظام عالي أي حوالي 2678.52 ms بسبب الاستخدام العالي للموارد مع القليل من قوة المعالجة، ومع (4 Cores)

**11. مناقشة نتائج**  
يعرض الشكل (3) نتائج متوسط استجابة النظام (System R) باستخدام

كيف يتدخل كل عامل في جميع المؤشرات بطريقة مفصلة للغاية، بالإضافة إلى وجود تأثيراً منفرداً على سلوك النظام. أظهرت نتائج المحاكاة أن نموذج شبكة الطوابير المقترح هو أداة جيدة لتقدير مؤشرات الأداء، حيث باستخدام (8 Cores) تكون مؤشرات الأداء أفضل ما يمكن، مقارنة بـ (4 Cores)، وساعدت التحليلات الناتجة مصممي النظام والمستفيد من النظام الاختيار بين الأداء والكلفة، حيث مع (2 Cores) تكون مؤشرات الأداء أسوأ سيناريو ولا يمكن لمصممي النظام والمستفيد من النظام العمل ضمن هذا السيناريو، ومع (4,8 Cores) تكون مؤشرات الأداء أفضل، ويمكن لمصممي النظام والمستفيد من النظام الاختيار ضمن هذا النطاق، كما وجد أن الأداء بمستوى حوسبة الحافة (EC) لا يتأثر بتغيير عدد السيرفرات في مستوى حوسبة الضباب (FC) ومستوى حوسبة السحابة (CC)، لأن مستوى حوسبة الحافة (EC) لا يعتمد على المعالجة في العقد الضبابية والسحابية للأداء مهامها.

أشارت نتائج التحليلات التي أجريت على مستويات المبنى أن عنق الزجاجة (Bottleneck) يكون في مستوى حوسبة الحافة (EC) أي عند جهاز الحافة (ED) بدلالة مؤشرات الأداء كنسبة الاستخدام (U) التي وصلت إلى 100%، وهذا يعني أن اختيار (ED) ذو مواصفات عالية له دور كبير في تحسين أداء النظام بشكل كبير، كما أن معدل الخدمة يجب أن يكون أكبر  $\mu=0.033$ .

### 13. قائمة المراجع

- [1]- Mendez Mena, Diego, Ioannis Papapanagiotou, and Baijian Yang. "Internet of things: Survey on security." *Information Security Journal: A Global Perspective* 27, no. 3 (2018), 162-182. doi:10.1080/19393555.2018.1458258.
- [2]- Fu, Xiuwen, and Yongsheng Yang. "Modeling and analyzing cascading failures for Internet of Things." *Information Sciences* 545 (2021), 753-770. doi:10.1016/j.ins.2020.09.054.
- [3]- Santos, Brena, André Soares, Tuan-Anh Nguyen, Dug-Ki Min, Jae-Woo Lee, and Francisco-Airton Silva. "IoT Sensor Networks in Smart Buildings: A Performance Assessment Using Queuing Models." *Sensors* 21, no. 16 (2021), 5660. doi:10.3390/s21165660.
- [4]- Singh, Dhananjay, Gaurav Tripathi, and Antonio J. Jara. "A survey of Internet-of-Things: Future vision, architecture, challenges and services." 2014 IEEE World Forum on Internet of Things (WF-IoT), 2014. doi:10.1109/wf-iot.2014.6803174.
- [5]- Ajao, Lukman A., James Agajo, Buhari U. Umar, Tope T. Agboade, and Mutiu A. Adegboye. "Modeling and Implementation of Smart Home and Self-control Window using FPGA and Petri Net." 2020 IEEE PES/IAS Power Africa, 2020. doi:10.1109/powerafrica49420.2020.9219925.
- [6]- Attia, Maroua B., Kim-Khoa Nguyen, and Mohamed Cheriet. "Dynamic QoS/QoE-Aware Queuing for Heterogeneous Traffic in Smart Home." *IEEE Access* 7 (2019), 58990-59001. doi:10.1109/access.2019.2914658.
- [7]- C. Arbib, D. Arcelli, J. Dugdale, M. T. Moghaddam, and H. Muccini, "Real-time emergency response through performant IoT architectures," in International Conference on Information Systems for Crisis Response and Management (ISCRAM), 2019.
- [8]- Jafarnejad Ghomi, Einollah, Amir M. Rahmani, and Nooruldeen N. Qader. "Applying queue theory for modeling of cloud computing: A systematic review." *Concurrency and Computation: Practice and Experience* 31, no. 17 (2019). doi:10.1002/cpe.5186.
- [9]- Islam, Mir S., Ashok Kumar, and Yu-Chen Hu. "Context-aware scheduling in Fog computing: A survey, taxonomy, challenges and future directions." *Journal of Network and Computer Applications* 180 (2021), 103008. doi:10.1016/j.jnca.2021.103008

كان متوسط استجابة النظام حوالي 1174.48 ms عند أقصى معدل وصول  $AR = 0.08 \text{ msg / ms}$ ، أما مع (8 Cores) كانت استجابة النظام قريبة جداً أي أقل بمقدار 73 ms يشير هذا القرب إلى أن النظام يكون أكثر فائدة وفعالية، بافتراض فرضية مستوى الخدمة (SLA) يجب أن يكون متوسط وقت الاستجابة النظام أقل من 100 ms حيث يتم تلبية هذا الطلب بـ 4 خوادم.

يعرض الشكل (b3) نتائج عدد رسائل النظام (System L) عند بداية المحاكاة وباستخدام 2 Cores كانت عدد رسائل النظام 23.1 رسالة عند معدل وصول  $AR = 0.04 \text{ msg / ms}$  وعند أقصى معدل وصول  $AR = 0.08 \text{ msg / ms}$ ، كانت عدد رسائل النظام حوالي 121.01 رسالة أي ضمن نظام التكوين، ويقل عدد الرسائل النظام مع (4 Cores) و (8 Cores) بمقدار 24.3 رسالة، في التكوين الأساسي الأول يحتوي النظام دائماً على ما يقرب من 221 رسالة بغض النظر من معدل الوصول.

يعرض الشكل (c3) نتائج معدل تدفق النظام (System  $\lambda$ th) باستخدام (2 Cores) و (4 Cores) يكون معدل التدفق في النظام حوالي  $0.019 \text{ msg/ms}$  و  $0.058 \text{ msg/ms}$  على التوالي، أما مع 8 Cores يزيد معدل تدفق الرسائل بمقدار  $0.72 \text{ msg/ms}$ ، بافتراض فرضية مستوى الخدمة (SLA) يكون معدل التدفق أكبر من 0.2 ms من الممكن تلبية هذا القيد مع (8 Cores) أو أكثر.

يعرض الشكل (d3) نتائج معدل فقد رسائل النظام (System PL) يلاحظ باستخدام (2 Cores) أن النظام لديه معدل فقد لا يقل عن  $0.03 \text{ ms/msg}$  ويزداد المعدل مع نمو معدل الوصول (AR) وباستخدام (4 Cores) يكون في تجاهل للرسائل بمعدل  $0.005 \text{ ms/msg}$  عند معدل وصول  $AR = 0.04 \text{ msg / ms}$ ، أما مع (8 Cores) لا يحدث فقد للرسائل بسبب كثر الخوادم المعالجة. يعرض الشكل (a4) نتائج تحليل عنق الزجاجة من خلال نسبة الاستخدام (U) يكون معدل الخدمة عند  $\mu = 0.033$  كانت نسبة استخدام حوسبة الحافة EC عند 100% Edge Device يعرض الشكل (d4) نتائج تحليل عنق الزجاجة ( $\lambda$ th)، حيث يكون معدل تدفق البيانات منخفض بمقدار  $ms/msg$  1.20 عندما يكون معدل الخدمة  $\mu = 0.033$  عند أقصى معدل وصول، ويعرض الشكل (c4) نتائج تحليل عنق الزجاجة (R) حيث يكون متوسط وقت الاستجابة عالي جداً يصل إلى 1392.39 ms عندما يكون معدل الخدمة  $\mu = 0.033$  عند أقصى معدل وصول.

يعرض الشكل (d4) نتائج تحليل عنق الزجاجة (PL)، حيث يكون معدل فقد الرسائل حوالي  $0.007 \text{ msg/ms}$  عندما يكون معدل الخدمة  $\mu = 0.033$  عند أقصى معدل وصول، بينت نتائج نسبة الاستخدام العالية والانخفاض في معدل التدفق والزيادة في متوسط وقت الاستجابة ومعدل فقط الرسائل أن عنق الزجاجة يكون في مستوى حوسبة الحافة عند Edge Device.

### 12. الاستنتاجات

قدمت هذه الورقة تحليل أداء شبكات إنترنت الأشياء وعنق الزجاجة في مستويات المبنى الذي باستخدام قائمة الطوابير، تم نمذجة مستويات المبنى الذي باستخدام نماذج الطوابير (QM) لتقدير أداء النظام المتمثل في مؤشرات الأداء، حيث يحوي النموذج المقترح نماذج شبكة الطوابير التالية: (M/M/1/K) لحوسبة الحافة، (M/M/C/K) للحوسبة الضبابية، (M/M/C/K) للحوسبة السحابية، كما تم محاكاة النموذج باستخدام برنامج (JMT) لسيناريو تغير عدد الخوادم، سمحت تحليلات السيناريو بمراقبة

Journal of Supercomputing 78, no. 8 (2022), 11138-11155.  
doi:10.1007/s11227-022-04328-3.

[10]- Mas, Lluís, Jordi Vilaplana, Jordi Mateo, and Francesc Solsona. "A queuing theory model for fog computing." The