



الجمهورية العربية السورية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة دمشق

كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية

قسم هندسة الإلكترونيات والاتصالات

مقارنة الأداء بين الشبكات التقليدية والشرائحية في شبكات الجيل الخامس 5G

رسالة مقدمة لنيل درجة الماجستير في هندسة الاتصالات المتقدمة

إعداد

م. بيان حلو

إشراف

د.م. نضال زيدان

العام الدراسي

2025-2024

صفحة قرار الحكم مع توقيع اللجنة

تصريح خطي

أنا الموقعة أدناه أصرح بعلمي الكامل وقبولي:

1. أن كل ما ينتج عن البحث والرسالة هو ملكية فكرية ومالية بالتشارك مع جامعة دمشق، وأني ألتزم بأخذ موافقة الجامعة في حال رغبتني بنشر البحث أو الرسالة أو جزء منها نصاً أو مضموناً خارج إطار الجامعة (من دور نشر أو مكتبات أو مواقع إلكترونية وغيرها من وسائل النشر).

2. أنه لا يوجد أي جزء من هذه الرسالة جرى اقتباسه من عمل علمي آخر أو أنجز للحصول على شهادة أخرى في جامعة دمشق أو أية جامعة أو معهد تعليمي داخل أو خارج الجمهورية العربية السورية .

الاسم والتوقيع

م. بيان حلو

الإهداء

اللهم بفضلك عملت ..أنت سهلت، أنت يسرت، أنت أعنت وفضلت... لك الحمد والشكر على ما أنعمت وأكرمت وبفضلك أتممت..

إلهي

إلى من وهبوني الحياة.. إلى مصدر أمني و سعادتي وسندي وعزوتي الذين أفنيا حياتهما لأتعلم وأصل لمراتب عالية...أتمنى من الله عزّ وجلّ أن يعطيكم الصحة والعافية...فعلتها بفضل الله وأتمنى أن تكونوا فخورين بي... دمتم لي....

والدي الحبيب.. والدتي الحبيبة..

إلى هبة الله لي... إلى قدوتي وملأذي.. إلى من تشاطرنا دروب السعي وتشاركنا فرحة المسعى.. إلى رفقاء كفاحي... دمتم لي.....

إخوتي

إلى من أشرف على رسالتي هذه.. فزادها تشريفاً وتكريماً..

إلى داعمي الأول وركيزتي .. إلى من تحلّى بمُكنة العلم ورقى الفكر...إلى من تعلمت منه ما لا يُحصى من العلم الوفير والخلق الرفيع.. حتى أصبح قدوتي ومدعاة فخري.. كل الشكر والتقدير لك على مجهودك المبذول لإتمام هذا البحث...

د.م. نضال زيدان

إلى من شاركني كامل مسيرتي العلمية فكان شعلة الأمل.. إلى موجّه الخطوات الأولى الضبابية... إلى ينبوع الخير الذي لا ينضب إن قلت شكراً، فشكري لن يوفيكم.. شكراً على دفعي للوصول..

م. أمجد نقاوة

أُهديكم...

إلى أصدقائي الأحبة

م. بيان حلو

شكر وتقدير

بداية أشكر الله تعالى على توفيقه لي لإتمام هذا البحث، ومن ثم أتوجه بشكري الجزيل إلى أستاذي المُشرف الدكتور نضال زيدان الذي كان المُرشد والداعم منذ بداية العمل وحتى خواتيمه.

كما أتوجه بالشكر إلى أساتذتنا الأفاضل أعضاء الهيئة التدريسية في قسم هندسة الإلكترونيات والاتصالات على ملاحظاتهم البّناء أثناء السيمينارات الدورية والسادة أعضاء لجنة الحكم على جهودهم وملاحظاتهم التي أسهمت في إغناء هذا العمل.

م. بيان حلو

فهرس المحتويات Table of Contents

i	Jury Decision.....	قرار لجنة الحكم مع توقيع اللجنة.....
ii	Declaration.....	تصريح خطي.....
iii	Dedication.....	الإهداء.....
iv	Acknowledgment.....	شكر وتقدير.....
v	Table of Contents.....	فهرس المحتويات.....
vii	List of Figures.....	فهرس الأشكال التوضيحية.....
xii	List of Tables.....	فهرس الجداول.....
xiv	List of Terms and Abbreviations.....	قائمة المصطلحات والاختصارات.....
xvii	Arabic Abstract	المستخلص باللغة العربية.....
xx	English Abstract.....	المستخلص باللغة الإنكليزية.....
1	General Framework of the Research	الفصل الأول: الإطار العام للبحث.....
2	.....	1-1 مقدمة.....
2	.....	2-1 بعض الدراسات السابقة.....
3	.....	3-1 مشكلة البحث.....
4	.....	4-1 هدف البحث.....
4	.....	5-1 أهمية البحث.....
4	.....	6-1 مسوغات البحث.....
4	.....	7-1 محددات البحث.....
4	.....	8-1 حدود البحث.....
5	.....	9-1 منهج البحث وأدواته.....
5	.....	10-1 بنية الرسالة.....
7	Theoretical Basis Related to the Research	الفصل الثاني: الأساسيات النظرية المرتبطة بالبحث
8	.....	1-2 شبكات الجيل الخامس.....
10	.....	2-2 أنواع شبكات الجيل الخامس للاتصالات.....
13	.....	1-2-2 الشبكات غير القائمة بذاتها من الجيل الخامس.....
14	.....	1-1-2-2 بنیان الشبكات غير القائمة بذاتها من الجيل الخامس.....
14	.....	2-1-2-2 ميزات الشبكات غير القائمة بذاتها من الجيل الخامس.....
15	.....	3-1-2-2 عيوب الشبكات غير القائمة بذاتها من الجيل الخامس.....

15	2-2-2 الشبكات القائمة بذاتها من الجيل الخامس
16	1-2-2-2 بنیان شبکه قائمة بذاتها من الجيل الخامس
18	2-2-2-2 ميزات الشبكات القائمة بذاتها من الجيل الخامس.....
18	3-2-2-2 عيوب الشبكات القائمة بذاتها من الجيل الخامس.....
19	3-2 تشريح شبكات الجيل الخامس
20	1-3-2 آلية عمل تشريح شبكات الجيل الخامس.....
21	2-3-2 فوائد تشريح شبكة الجيل الخامس.....
21	3-3-2 حالات استخدام تشريح شبكة الجيل الخامس.....
23	الفصل الثالث: التنفيذ العملي والنتائج Implementation and Results
24	1-3 المقدمة.....
24	2-3 الأدوات المستخدمة في البحث.....
24	1-2-3 ميزات لغة البرمجة بايثون Python.....
25	3-3 مقاييس الأداء المختارة.....
26	4-3 المحاكاة المنفّذة.....
27	1-4-3 السيناريو الأول: سيناريو الشبكة غير القائمة بذاتها.....
28	1-1-4-3 المحطات القاعدية.....
29	2-1-4-3 نموذج الحركة.....
31	3-1-4-3 نتائج المحاكاة في سيناريو الشبكة غير القائمة بذاتها.....
48	4-1-4-3 تحليل نتائج السيناريو الأول.....
50	2-4-3 السيناريو الثاني: سيناريو الشبكة القائمة بذاتها.....
50	1-2-4-3 المحطات القاعدية.....
52	2-2-4-3 حالات الاستخدام.....
54	3-2-4-3 نتائج المحاكاة في سيناريو الشبكة القائمة بذاتها.....
77	4-2-4-3 تحليل نتائج السيناريو الثاني.....
83	5-3 مقارنة النتائج مع نتائج دراسات سابقة.....
88	6-3 تحليل النتائج العملية والاستنتاجات.....
90	الآفاق المستقبلية.....
91	الأبحاث المنشورة.....
92	قائمة المراجع.....
95	الملحق.....

فهرس الأشكال التوضيحية List of Figures

9	الشكل (1-2) آخر إصدارات مشروع شراكة الجيل الثالث الخاصة بالجيل الخامس 5G [8]
9	الشكل (2-2) حالات الاستخدام الرئيسية للجيل الخامس [8]
11	الشكل (3-2) خيارات نشر شبكات الجيل الخامس المقترحة من مشروع شبكة الجيل الثالث [8]
12	الشكل (4-2) ملخص خيارات نشر شبكات الجيل الخامس [10]
14	الشكل (5-2) بنيان نشر شبكة اتصالات جيل خامس غير قائمة بذاتها [12]
17	الشكل (6-2) بنيان شبكة قائمة بذاتها من الجيل الخامس الخيار الثاني [13]
19	الشكل (7-2) مفهوم التشريح في شبكات الجيل الخامس [16]
28	الشكل (1-3) نشر شبكة الجيل الخامس [19]
30	الشكل (2-3) المخطط التدفقي لسيناريو شبكة غير قائمة بذاتها [19]
31	الشكل (3-3) نشر شبكة الجيل الخامس في الشبكة غير القائمة بذاتها من أجل عدد مستخدمين يساوي 100 [الباحث]
32	الشكل (4-3) تغير مقاييس الأداء بدلالة الزمن من أجل عدد مستخدمين يساوي 100 في الشبكة غير القائمة بذاتها [الباحث] ...
33	الشكل (5-3) نشر شبكة الجيل الخامس في الشبكة غير القائمة بذاتها من أجل عدد مستخدمين يساوي 500 [الباحث]
33	الشكل (6-3) تغير مقاييس الأداء بدلالة الزمن من أجل عدد مستخدمين يساوي 500 في الشبكة غير القائمة بذاتها [الباحث] ...
34	الشكل (7-3) نشر شبكة الجيل الخامس في الشبكة غير القائمة بذاتها من أجل عدد مستخدمين يساوي 1000 [الباحث]
35	الشكل (8-3) تغير مقاييس الأداء بدلالة الزمن من أجل عدد مستخدمين يساوي 1000 في الشبكة غير القائمة بذاتها [الباحث] ...
36	الشكل (9-3) نشر شبكة الجيل الخامس في الشبكة غير القائمة بذاتها من أجل عدد مستخدمين يساوي 1500 [الباحث]
36	الشكل (10-3) تغير مقاييس الأداء بدلالة الزمن من أجل عدد مستخدمين يساوي 1500 في الشبكة غير القائمة بذاتها [الباحث] ...
37	الشكل (11-3) نشر شبكة الجيل الخامس في الشبكة غير القائمة بذاتها من أجل عدد مستخدمين يساوي 2000 [الباحث]
38	الشكل (12-3) تغير مقاييس الأداء بدلالة الزمن من أجل عدد مستخدمين يساوي 2000 في الشبكة غير القائمة بذاتها [الباحث] ...

- 39 الشكل (3-13) نشر شبكة الجيل الخامس في الشبكة غير القائمة بذاتها من أجل عدد مستخدمين يساوي 2500 [الباحث].....
- 39 الشكل (3-14) تغير مقاييس الأداء بدلالة الزمن من أجل عدد مستخدمين يساوي 2500 في الشبكة غير القائمة بذاتها [الباحث]...
- 40 الشكل (3-15) نشر شبكة الجيل الخامس في الشبكة غير القائمة بذاتها من أجل عدد مستخدمين يساوي 3000 [الباحث].....
- 41 الشكل (3-16) نتائج المحاكاة عند عدد مستخدمين 3000 في الشبكة غير القائمة بذاتها [الباحث].....
- 42 الشكل (3-17) نشر شبكة الجيل الخامس في الشبكة غير القائمة بذاتها من أجل عدد مستخدمين يساوي 3500 [الباحث].....
- 42 الشكل (3-18) تغير مقاييس الأداء بدلالة الزمن من أجل عدد مستخدمين يساوي 3500 في الشبكة غير القائمة بذاتها [الباحث]...
- 43 الشكل (3-19) نشر شبكة الجيل الخامس في الشبكة غير القائمة بذاتها من أجل عدد مستخدمين يساوي 4000 [الباحث].....
- 44 الشكل (3-20) تغير مقاييس الأداء بدلالة الزمن من أجل عدد مستخدمين يساوي 4000 في الشبكة غير القائمة بذاتها [الباحث]...
- 45 الشكل (3-21) نشر شبكة الجيل الخامس في الشبكة غير القائمة بذاتها من أجل عدد مستخدمين يساوي 5000 [الباحث].....
- 45 الشكل (3-22) تغير مقاييس الأداء بدلالة الزمن من أجل عدد مستخدمين يساوي 5000 في الشبكة غير القائمة بذاتها [الباحث].....
- 46 الشكل (3-23) نشر شبكة الجيل الخامس في الشبكة غير القائمة بذاتها من أجل عدد مستخدمين يساوي 1000 [الباحث].....
- 47 الشكل (3-24) تغير مقاييس الأداء بدلالة الزمن من أجل عدد مستخدمين يساوي 10000 في الشبكة غير القائمة بذاتها [الباحث].....
- 48 الشكل (3-25) مقارنة مقياس الأداء متوسط معدل المعطيات الكلي بدلالة عدد المستخدمين في الشبكة غير القائمة بذاتها [الباحث]....
- 49 الشكل (3-26) مقارنة مقياس الأداء متوسط نسبة المستخدمين المتصلين بدلالة عدد المستخدمين في الشبكة غير القائمة بذاتها [الباحث].....
- 49 الشكل (3-27) مقارنة مقياس الأداء متوسط نسبة الحجب بدلالة عدد المستخدمين في الشبكة غير القائمة بذاتها [الباحث]
- 50 الشكل (3-28) مقارنة مقياس الأداء متوسط نسبة التغطية بدلالة عدد المستخدمين في الشبكة غير القائمة بذاتها [الباحث]
- 51 الشكل (3-29) توزع الشرائح في المحطة القاعدية لشبكات الجيل الخامس [20].....
- 53 الشكل (3-30) المخطط التدفقي لسيناريو شبكة قائمة بذاتها [19].....
- 54 الشكل (3-31) نشر شبكة الجيل الخامس في الشبكة القائمة بذاتها من أجل عدد مستخدمين يساوي 100 [الباحث].....
- 55 الشكل (3-32) تغير مقاييس الأداء بدلالة الزمن من أجل عدد مستخدمين يساوي 100 في الشبكة القائمة بذاتها [الباحث].....

- 71 الشكل (55-3) نشر شبكة الجيل الخامس في الشبكة القائمة بذاتها من أجل عدد مستخدمين يساوي 4000 [الباحث].....
- 72 الشكل (56-3) تغير مقاييس الأداء بدلالة الزمن من أجل عدد مستخدمين يساوي 4000 في الشبكة القائمة بذاتها [الباحث]...
- 72 الشكل (57-3) متوسط معدل المعطيات المستهلك لكل شريحة في المحطات القاعدية بدلالة الزمن من أجل عدد مستخدمين يساوي 4000 في الشبكة القائمة بذاتها [الباحث].....
- 73 الشكل (58-3) نشر شبكة الجيل الخامس في الشبكة القائمة بذاتها من أجل عدد مستخدمين يساوي 5000 [الباحث].....
- 74 الشكل (59-3) تغير مقاييس الأداء بدلالة الزمن من أجل عدد مستخدمين يساوي 5000 في الشبكة القائمة بذاتها [الباحث]....
- 74 الشكل (60-3) متوسط معدل المعطيات المستهلك لكل شريحة في المحطات القاعدية بدلالة الزمن من أجل عدد مستخدمين يساوي 5000 في الشبكة القائمة بذاتها [الباحث].....
- 75 الشكل (61-3) نشر شبكة الجيل الخامس في الشبكة القائمة بذاتها من أجل عدد مستخدمين يساوي 10000 [الباحث].....
- 76 الشكل (62-3) تغير مقاييس الأداء بدلالة الزمن من أجل عدد مستخدمين يساوي 10000 في الشبكة القائمة بذاتها [الباحث]...
- 76 الشكل (63-3) متوسط معدل المعطيات المستهلك لكل شريحة في المحطات القاعدية بدلالة الزمن من أجل عدد مستخدمين يساوي 10000 في الشبكة القائمة بذاتها [الباحث].....
- 78 الشكل (64-3) مقارنة مقياس الأداء متوسط معدل المعطيات الكلي بدلالة عدد المستخدمين في الشبكة القائمة بذاتها [الباحث]
- 79 الشكل (65-3) مقارنة مقياس الأداء متوسط نسبة المستخدمين المتصلين بدلالة عدد المستخدمين في الشبكة القائمة بذاتها [الباحث]
- 79 الشكل (66-3) مقارنة مقياس الأداء متوسط نسبة الحجب بدلالة عدد المستخدمين في الشبكة القائمة بذاتها [الباحث]
- 80 الشكل (67-3) مقارنة مقياس الأداء متوسط نسبة التغطية الكلي بدلالة عدد المستخدمين في الشبكة القائمة بذاتها [الباحث]
- 81 الشكل (68-3) مقارنة بين شبكتي الجيل الخامس غير القائمة بذاتها والقائمة بذاتها من حيث متوسط نسبة المستخدمين المتصلين بدلالة عدد المستخدمين [الباحث].....
- 81 الشكل (69-3) مقارنة بين شبكتي الجيل الخامس غير القائمة بذاتها والقائمة بذاتها من حيث متوسط نسبة الحجب بدلالة عدد المستخدمين [الباحث].....
- 82 الشكل (70-3) مقارنة بين شبكتي الجيل الخامس غير القائمة بذاتها والقائمة بذاتها من حيث متوسط معدل المعطيات الكلي بدلالة عدد المستخدمين [الباحث].....
- 82 الشكل (71-3) مقارنة بين شبكتي الجيل الخامس غير القائمة بذاتها والقائمة بذاتها من حيث متوسط نسبة التغطية بدلالة عدد المستخدمين [الباحث].....
- 83 الشكل (72-3) تغير مقاييس الأداء بدلالة الزمن من أجل عدد مستخدمين يساوي 1000 [الدراسة المرجعية].....
- 84 الشكل (73-3) تغير مقاييس الأداء بدلالة الزمن من أجل عدد مستخدمين يساوي 5000 [الدراسة المرجعية].....
- 85 الشكل (74-3) تغير مقاييس الأداء بدلالة الزمن من أجل عدد مستخدمين يساوي 10000 [الدراسة المرجعية].....

- 86 الشكل (75-3) مقارنة بين نتائج مقياس أداء متوسط نسبة المستخدمين المتصلين للباحث والدراسة المرجعية بدلالة عدد المستخدمين في الشبكة القائمة بذاتها
- 86 الشكل (76-3) مقارنة بين نتائج مقياس أداء متوسط نسبة الحجب للباحث والدراسة المرجعية بدلالة عدد المستخدمين في الشبكة القائمة بذاتها.....
- 87 الشكل (77-3) مقارنة بين نتائج مقياس أداء متوسط معدل المعطيات الكلي للباحث والدراسة المرجعية بدلالة عدد المستخدمين في الشبكة القائمة بذاتها
- 87 الشكل (78-3) مقارنة بين نتائج مقياس أداء متوسط نسبة التغطية للباحث والدراسة المرجعية بدلالة عدد المستخدمين في الشبكة القائمة بذاتها

فهرس الجداول List of Tables

26	الجدول (1-3) موسطات المحاكاة المعتمدة في سيناريو الشبكة غير القائمة بذاتها [19,20]
27	الجدول (2-3) موسطات المحاكاة المعتمدة في سيناريو الشبكة القائمة بذاتها [19,20]
29	الجدول (3-3) مواصفات المحطات القاعدية بحالة الشبكة غير القائمة بذاتها [19]
29	الجدول (4-3) نماذج الحركية في الشبكة غير القائمة بذاتها [21]
30	الجدول (5-3) توزع المستخدمين في شبكتي الجيل الخامس القائمة بذاتها وغير القائمة بذاتها [21]
32	الجدول (6-3) متوسط قيم الأداء من أجل عدد مستخدمين يساوي 100 في الشبكة غير القائمة بذاتها [الباحث]
34	الجدول (7-3) متوسط قيم الأداء من أجل عدد مستخدمين يساوي 500 في الشبكة غير القائمة بذاتها [الباحث]
35	الجدول (8-3) متوسط قيم الأداء من أجل عدد مستخدمين يساوي 1000 في الشبكة غير القائمة بذاتها [الباحث]
37	الجدول (9-3) متوسط قيم الأداء من أجل عدد مستخدمين يساوي 1500 في الشبكة غير القائمة بذاتها [الباحث]
38	الجدول (10-3) متوسط قيم الأداء من أجل عدد مستخدمين يساوي 2000 في الشبكة غير القائمة بذاتها [الباحث]
40	الجدول (11-3) متوسط قيم الأداء من أجل عدد مستخدمين يساوي 2500 في الشبكة غير القائمة بذاتها [الباحث]
41	الجدول (12-3) متوسط قيم الأداء من أجل عدد مستخدمين يساوي 3000 في الشبكة غير القائمة بذاتها [الباحث]
43	الجدول (13-3) متوسط قيم الأداء من أجل عدد مستخدمين يساوي 3500 في الشبكة غير القائمة بذاتها [الباحث]
44	الجدول (14-3) متوسط قيم الأداء من أجل عدد مستخدمين يساوي 4000 في الشبكة غير القائمة بذاتها [الباحث]
46	الجدول (15-3) متوسط قيم الأداء من أجل عدد مستخدمين يساوي 5000 في الشبكة غير القائمة بذاتها [الباحث]
47	الجدول (16-3) متوسط قيم الأداء من أجل عدد مستخدمين يساوي 10000 في الشبكة غير القائمة بذاتها [الباحث]
51	الجدول (17-3) مواصفات المحطات القاعدية بحالة الشبكة القائمة بذاتها [19]
52	الجدول (18-3) معدل المعطيات المخصص لكل شريحة من الشرائح في شبكات الجيل الخامس القائمة بذاتها [19]
56	الجدول (19-3) متوسط قيم الأداء من أجل عدد مستخدمين يساوي 100 في الشبكة القائمة بذاتها [الباحث]
58	الجدول (20-3) متوسط قيم الأداء من أجل عدد مستخدمين يساوي 500 في الشبكة القائمة بذاتها [الباحث]
60	الجدول (21-3) متوسط قيم الأداء من أجل عدد مستخدمين يساوي 1000 في الشبكة القائمة بذاتها [الباحث]
62	الجدول (22-3) متوسط قيم الأداء من أجل عدد مستخدمين يساوي 1500 في الشبكة القائمة بذاتها [الباحث]
65	الجدول (23-3) متوسط قيم الأداء من أجل عدد مستخدمين يساوي 2000 في الشبكة القائمة بذاتها [الباحث]
67	الجدول (24-3) متوسط قيم الأداء من أجل عدد مستخدمين يساوي 2500 في الشبكة القائمة بذاتها [الباحث]
69	الجدول (25-3) متوسط قيم الأداء من أجل عدد مستخدمين يساوي 3000 في الشبكة القائمة بذاتها [الباحث]
71	الجدول (26-3) متوسط قيم الأداء من أجل عدد مستخدمين يساوي 3500 في الشبكة القائمة بذاتها [الباحث]
73	الجدول (27-3) متوسط قيم الأداء من أجل عدد مستخدمين يساوي 4000 في الشبكة القائمة بذاتها [الباحث]
75	الجدول (28-3) متوسط قيم الأداء من أجل عدد مستخدمين يساوي 5000 في الشبكة القائمة بذاتها [الباحث]

77	الجدول (29-3) متوسط قيم الأداء من أجل عدد مستخدمين يساوي 10000 في الشبكة القائمة بذاتها [الباحث].....
83	الجدول (30-3) متوسط قيم الأداء من أجل عدد مستخدمين يساوي 1000 [الدراسة المرجعية].....
84	الجدول (31-3) متوسط قيم الأداء من أجل عدد مستخدمين يساوي 5000 [الدراسة المرجعية].....
85	الجدول (32-3) متوسط قيم الأداء من أجل عدد مستخدمين يساوي 10000 [الدراسة المرجعية].....

List of Terms and Abbreviations قائمة المصطلحات

المصطلح الإنجليزي	الاختصار	المصطلح العربي
Augmented reality	AR	الواقع المعزّز
Base Station	BS	المحطة القاعدية
Capacity	-	السعة
Client	-	زبون
Container	-	حاوية
Core Network	CN	الشبكة النواة
Coverage	-	التغطية
Data Mining	DM	التنقيب في المعطيات
Distributor	-	الموزّع
Dual Connectivity	DC	التوصيلية المزدوجة
Dynamic Network Slicing mechanism	-	آلية تشريح الشبكة الدينامية
End-to-End	E2E	من طرف إلى طرف
Enhanced Mobile Broadband	eMBB	عريض المجال نقّال محسّن
Evolved Node B	eNB	العقدة بي المطورة
Evolved Packet Core	EPC	النواة الرزمية المطورة
Fixed-Mobile Convergence	FMC	تقارب الثابت والنقال
Frequency Division Multiple Access	FDMA	النفاذ المتعدد باقتسام التردد
Graphic	-	بياني
Handover	-	المناولة
High Definition	HD	عالي الدقة
Institute of Electrical and Electronics Engineers	IEEE	معهد مهندسي الكهرباء والإلكترونيات

Internet of Things	IoT	إنترنت الأشياء
Isolation	-	العزل
Key Performance Indicators	KPIs	مؤشرات الأداء الرئيسية
Long-Term Evolution	LTE	شبكة التطور طويل الأجل
Machine Learning	ML	تعلّم الآلة
Massive Machine Type Communication	mMTC	الاتصالات نوع آلة الكثيفة
Mobile Network Operator	MNOs	مشغلي الشبكات النّقالة
Mobility Data Repository	MDR	خازنة المعطيات الحركية
Mobility Pattern	-	نموذج الحركية
Network Availability	-	متاحية الشبكة
Network Exposure Function	NEF	وظيفة التعرّض للشبكة
Network Functions	NFs	وظائف الشبكة
Network Function Virtualization	NFV	التحقيق الافتراضي لوظائف الشبكة
Network Repository Function	NRF	وظيفة خازنة الشبكة
Network Slicing	NS	تقسيم الشبكة
New Radio	NR	الراديو الجديد
Next-Generation Node B	gNB	العقدة بي من الجيل القادم
Non-Standalone New Radio	NSA	غير القائم بذاته
Policy Control Function	PCF	وظيفة التحكم في السياسات
Python Image Library	PIL	مكتبة صور البايثون
Radio Access Network	RAN	شبكة النفاذ الراديوي
Real-Time Performance	-	الأداء بزمن حقيقي
Session Management Function	SMF	وظيفة إدارة الجلسة
Security	-	الأمن
Slices	-	شرائح
Software-Defined Networking	SDN	التشبيك المعرفة برمجياً

Software-Defined Radio Access Network	SD-RAN	شبكة النفاذ الراديوي المعرفة برمجياً
Software-Defined Wide Area Network	SD-WANs	الشبكات الواسعة النطاق المعرفة برمجياً
Standalone New Radio	SA	القائم بذاته
The 3rd Generation Partnership Project	3GPP	مشروع شراكة الجيل الثالث
Time Division Multiple Access	TDMA	النفاذ المتعدد باقتسام الزمن
Transport Network	TN	شبكة النقل
Ultra Reliable Low Latency Communications	URLLC	الاتصالات المنخفضة التلّث فائقة الموثوقية
Unified Data Repository	UDR	خازنة المعطيات الموحدة
Unstructured Data Storage Function	UDSF	وظيفة تخزين المعطيات غير البنيوية
Uplink	UL	الوصلة الصاعدة
User Equipment	UE	تجهيزة المستخدم
User Plane Functions	UPFs	وظائف مستوي المستخدم
Virtual Reality	VR	الحقيقة الافتراضية

المستخلص باللغة العربية Arabic Abstract

خلفية البحث

تتنافس منظومات الاتصالات وتقاناتها على تحسين الخدمات التي تقدّم إلى المستخدم النهائي، وقد جرى إصدار معايير منظومات الجيل الرابع 4G التي تعتمد بشكل متزايد إرسال على الرزم وتوفّر النفاذ إلى مجموعة واسعة من خدمات الاتصالات، إضافة إلى دعم تطبيقات الحركية المنخفضة إلى العالية ومجموعة واسعة من معدلات المعطيات، وفقاً لمتطلبات الخدمة في بيئة متعددة المستخدمين. وأحد أهم المجالات التي أثّرت على تكوين وتقديم هذه الخدمات هو ظهور إنترنت الأشياء (Internet of Things (IoT، والذي من المتوقع أن يحقق اتّصال مليار جهاز بالإنترنت. حيث ستقوم هذه الأجهزة بتبادل المعلومات وتقديم الخدمات. ولذلك كان لابدّ من إنشاء تقنيات اتصالات جديدة لتمكين ودعم تطبيقات إنترنت الأشياء. لذا ظهرت منظومات الجيل الخامس (5G) كتقنية أكثر ذكاءً لتربط العالم بأسره وتوفّر الخدمات التي تتناسب مع المتطلبات المتزايدة للمستخدمين.

تبنّى مشروع شراكة الجيل الثالث (The 3rd Generation Partnership Project (3GPP نوعين من شبكات الجيل الخامس وهما النشر غير القائم بذاته Non-Standalone والنشر القائم بذاته Standalone لاعتمادها من قبل مشغلي شبكات الهاتف النقال.

يقدم البحث مقارنة بين شبكة جيل خامس غير قائمة بذاتها-الراديو الجديد (NSA NR) Non-Standalone New Radio وشبكة جيل خامس قائمة بذاتها-الراديو الجديد (SA NR) Standalone New Radio كشبكات نفاذ راديوي (Radio Access Network (RAN .

وقد اخترنا أربعة مقاييس أداء هي: معدل المعطيات الكلي total data rate، ونسبة الزيائن المترابطين connected clients ratio، ونسبة التغطية coverage ratio، ونسبة الحجب Block ratio، وأُجريت المحاكاة باستخدام البرمجة

VS Code وباستعمال لغة البرمجة بايثون Python [7].

اعتمدنا في نموذج الشبكة القائمة بذاتها على تقنية التشرية Slicing للشبكة ودرسنا حالات الاستخدام الرئيسية الثلاث: عريض المجال نقال محسن (eMBB)، والاتصالات المنخفضة التلّث فائقة الموثوقية (URLLC)، والاتصالات نوع آلة الكثيفة (mMTC).

هدف البحث

إن هدف البحث هو مقارنة الأداء بين شبكات الجيل الخامس غير القائمة بذاتها والقائمة بذاتها.

المواد والطرائق

جرى اتباع المنهج التحليلي في محاكاة سيناريو لشبكتي الجيل الخامس القائمة بذاتها وغير القائمة بذاتها، ثم اتباع المنهج التجريبي في تقييم أداء الشبكتين وفق مواصفات معينة؛ وذلك من أجل عدة مقاييس أداء. باستخدام رماز فيجوال ستوديو Studio Code الإصدار 1.79.2 ولغة بايثون Python الإصدار 3.11.5 مُنصبتان على حاسوب من نوع HP proBook 4540s، له المواصفات الآتية: معالج Intel(R) Core i5-3210M CPU@ 2.50GHZ، وذاكرة نفاذ عشوائي RAM مثبتة 4GB ونظام تشغيل ويندوز 8.1.

النتائج العملية

بيّنت نتائج البحث أفضلية شبكات الجيل الخامس القائمة بذاتها على شبكات الجيل الخامس للاتصالات غير القائمة بذاتها من حيث خفض الهدر في عرض المجال الترددي وتحسين التغطية نتيجة زيادة قدرة الشبكة على تخديم المستخدمين بواسطة التحكم بعرض المجال المخصص بناءً على الخدمة المطلوبة.

الاستنتاجات من وجهة نظر الباحث

تفوقت الشبكة القائمة بذاتها (القائمة بذاتها) على نظيرتها غير القائمة بذاتها (غير القائمة بذاتها) بتحقيقها أكبر عدد من المستخدمين المتصلين، كما أصبحت نسبة التغطية في الشبكات القائمة بذاتها أكبر من مثيلتها في الشبكات غير القائمة بذاتها. بالإضافة لذلك استهلكت عرض مجال ترددي أقل مقارنة بالشبكات غير القائمة بذاتها من أجل نفس عدد المستخدمين باستخدام تقنية التشريح التي سمحت بتخصيص شرائح مختلفة في الميزات والخصائص ومن ثمّ إنقاص عرض المجال الكلي اللازم وتقديم خدمات بجودة أعلى.

الكلمات المفتاحية

شبكات الجيل الخامس - الشبكات القائمة بذاتها من الجيل الخامس - الشبكات غير القائمة بذاتها من الجيل الخامس - تشريح الشبكة - عريض المجال نقال محسّن - الاتصالات المنخفضة التلّث فائقة الموثوقية - الاتصالات نوع آلة الكثيفة .

المستخلص باللغة الإنكليزية English Abstract

Research Background

Communications systems and technologies compete to improve the services provided to the end user. The fourth generation (4G) systems standards were released, which rely increasingly on packets and provide access to a wide range of communications services, in addition to supporting low to high mobility applications and a wide range of data rates, according to the service requirements in a multi-user environment. One of the most important areas influencing the formation and delivery of these services is the emergence of the Internet of Things (IoT), under which a billion devices are expected to connect to the Internet. These devices will exchange information and provide services. Therefore, new communications technologies had to be created to enable and support IoT applications. 5G systems appeared as a smarter technology that connects the entire world and provides services that suit the increasing requirements of users.

The 3rd Generation Partnership Project (3GPP) adopted two types of 5G networks to be endorsed by Mobile networks operators; which one Non-Standalone (NSA) and Standalone (SA) deployments.

The research presents a comparison between a Non-standalone-New Radio (NSA-NR) fifth generation network and a Standalone -New Radio (SA-NR) fifth generation network as Radio Access Network (RAN).

We chose four performance metrics which are total data rate, connected clients ratio, coverage ratio, and block ratio [7]. The simulation was conducted using VS Code software and Python programming language.

In the Standalone network model, we adopted the slicing technique and studies the four use cases which are: Enhanced Mobile Broadband (eMBB), Ultra Reliable Low Latency

Communications (URLLC), and Dense Type Communications. Massive Machine Type Communications (mMTC).

Research Objective

The research aim is performance comparison between Non-standalone and Standalone 5G networks.

Resources and Methods

The analytical approach was adopted in simulating two 5G networks scenarios which are: standalone and non-standalone; then we use the experimental approach was followed in evaluating the performance of these two networks according to standard specifications; for several performance metrics.

We used Visual Studio Code version 1.79.2 and Python version 3.11.5 installed on an HP proBook 4540s computer with the following specifications: Intel(R) Core i5-3210M CPU @ 2.50GHZ, 4GB of installed RAM, and Windows 8.1 as operating system.

Practical Results

The research results showed the superiority of fifth generation standalone networks over fifth generation non-standalone communications networks regarding reducing required bandwidth and improving coverage as a result of the increased capacity of the network to serve users by controlling the allocated bandwidth based on the required service.

Conclusions from the researcher's point of view

The Standalone network outperformed the non-Standalone counterpart by achieving the largest number of connected users, and thus the coverage rate in the Standalone networks became greater than that of the non-standalone networks. In addition, it consumed less bandwidth compared to traditional networks for the same number of users by the use of slicing technique, which allowed the allocation of slices with different features and

characteristics; thus reducing the required total bandwidth and providing services of greater quality.

Keywords

5G network - 5G standalone network - 5G non-standalone network - network slicing - Enhanced Mobile Broadband - Ultra Reliable Low Latency Communications - Massive Machine Type Communications.

الفصل الأول

الإطار العام للبحث

General Framework of the Research

1-1 مقدمة

أدى الطلب على خدمات الفيديو النقال (مثل يوتيوب YouTube) والازدياد الهائل في عدد تجهيزات إنترنت الأشياء Internet Of Things (IoT) إلى تطوير الجيل الخامس من الاتصالات النقالة. واستناداً إلى تقرير تحركية إريكسون، تجاوز عدد الاشتراكات من الجيل الخامس عبر العالم 1.7 مليار اشترك مع نهاية الربع الأول لعام 2024 [1]. ويتوقع أن يصبح الجيل الخامس تقانة النفاذ النقال المهيمنة من حيث عدد الاشتراكات في العام 2028 4G [2]. وقد تزايد عدد التطبيقات الجديدة المقدمة، كما ازداد عدد تجهيزات المستخدمين مع انتشار شبكات الجيل الخامس التي توفر سعة تصل إلى 1000 مرة مقارنة بالسعة التي يقدمها الجيل الرابع من الاتصالات الخلوية التجارية، وتتضمن مؤشرات الأداء الرئيسية Key Performance Indicator (KPIs) لتقنية الجيل الخامس ما يلي: تغطية أفضل تصل إلى 100% تقريباً وتأمين الاتصال "في أي وقت وفي أي مكان"، ومعدلات معطيات أعلى بمقدار 10 إلى 100 مرة، وتوفير في الطاقة بنسبة تزيد عن 90% وموثوقية الخدمة الإجمالية تصل إلى 99.999%. [2]

سنقوم في هذا البحث بتقييم أداء شبكة جيل خامس غير قائمة بذاتها (تقليدية) Non-Standalone (NSA) تعتمد على شبكات الجيل الرابع للاتصالات في قسمي النواة والنقل، وتقييم أداء شبكة جيل خامس قائمة بذاتها (شرائحية) Standalone (SA) تعتمد على تقنية تشريح الشبكة Network Slicing (NS) التي تُنفَّذ في شبكة النفاذ الراديوي Radio Access Network (RAN).

2-1 بعض الدراسات السابقة

- اقترح الباحث بابا Papa وزملاؤه [3] (2019) خوارزمية لتشريح قسم النفاذ الراديوي لشبكة معرّفة برمجياً Software-Defined Radio Access Network (SD-RAN) بهدف تخصيص الموارد فيها حسب الطلب، قضى السيناريو المقترح لتقسيم الشبكة إلى شريحتين وعدد المستخدمين بكل شريحة 5 مستخدمين وعرض المجال الكلي للشريحة 5 MHz وزمن التلبّث 10 ms.

أظهرت النتائج فاعلية التقنية المقترحة من حيث ضمان متطلبات جودة الخدمة.

- اقترح الباحث بوتيبا Boutiba وزملاؤه [4] (2022) إطار عمل جديد أطلقوا عليه اسم مرونة الراديو الجديد (New Radio Flexibility (NRflex) لمعالجة تحدي تشريح شبكة النفاذ الراديوي في الجيل الخامس. ويقدم إطار العمل هذا حلاً يسند بصورة ديناميكية أجزاء عرض المجال إلى الشرائح العاملة وتجهيزات المستخدمين المرتبطة بهدف تحقيق جودة الخدمة المطلوبة للشرائح. وأظهرت نتائج المحاكاة تفوق إطار العمل المقترح على الحلول المتوافرة الأخرى.
- قام الباحث ليو Liu وزملاؤه [5] (2020) بتحليل ومقارنة أنماط الراديو الجديد القائم بذاته والراديو الجديد غير القائم بذاته من حيث التغطية وقدرة الشبكة والتشغيل البيئي للجيلين الرابع والخامس وتعقيد وتكلفة نشر الشبكة، وآخر التطورات الصناعية. وقد حقق الراديو الجديد غير القائم بذاته أداءً أفضل من حيث التشغيل البيئي في الطور الابتدائي. في حين تفوق الراديو الجديد القائم بذاته من حيث قدرات الشبكة وأداء التجهيزات والنشر البسيط للشبكة ومردود التكلفة.
- وقد قام الباحث بيريرا Pereyra [6] (2022) باقتراح محاكي مفتوح المصدر ومرن أطلقوا عليه اسم Py5cheSim يعتمد على لغة بايثون وموجه خصيصاً لمحاكاة سعة الخلية في شبكات الجيل الخامس وما وراءها. وهو يقدم بيئة تسمح بتطوير خوارزميات جدولة جديدة بأسلوب سهل للباحثين من دون الحاجة إلى معرفة مفصلة بلبّ الأداة.

3-1 مشكلة البحث

تشهد حركة معطيات الهواتف النقالة في شبكات الجيل الخامس نمواً هائلاً حيث أنها تدعم مجموعة متنوعة من الخدمات، وهذا يمثل تحدياً كبيراً لهذه الشبكات من حيث توفير الخدمات بمتطلبات الأداء المطلوبة ولجميع

المستخدمين، وإدارة الكم الهائل من المعطيات بمرونة، إذ أنَّ فلسفة التصميم غير القائمة بذاتها ليست كافية لتلبية هذه المتطلبات، ممَّا فرض تطوير تقنيات جديدة. وقد اقترحت تقنية تشريح الشبكة كركيزة رئيسية لبناء شبكات الجيل الخامس.

4-1 هدف البحث

يهدف البحث إلى مقارنة الأداء بين الشبكات غير القائمة بذاتها والقائمة بذاتها في شبكات الجيل الخامس.

5-1 أهمية البحث

تتمثل أهمية البحث في تقييم أداء تقنية تشريح الشبكات في الجيل الخامس.

6-1 مسوغات البحث

تشتمل مسوغات البحث على الآتي:

- تقييم أداء تقنية تشريح الشبكات عند تطبيقها على شبكة جيل خامس قائمة بذاتها.
- مقارنة الأداء بين شبكتي الجيل الخامس القائمة بذاتها وغير القائمة بذاتها.

7-1 محددات البحث

يركز البحث على دراسة نوعي شبكات النفاذ الراديوي في الجيل الخامس غير القائم بذاته والقائم بذاته. ويتناول مبدأ تقنية تشريح الشبكات وتقييم أداء الشبكة المدروسة عند تطبيق هذه التقنية بدلالة عدد المستخدمين.

8-1 حدود البحث

- الحد المكاني: جرى تنفيذ هذا البحث في قسم هندسة الإلكترونيات والاتصالات في كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية بجامعة دمشق.

- الحد التقني: أُجريت محاكاة لشبكتي جيل خامس 5G غير قائمة بذاتها NSA وقائمة بذاتها SA، ومقارنة أدائهما في شبكة النفاذ الراديوي اعتماداً على عدة مقاييس أداء شائعة، وباستخدام برمجية رِماز فيجوال استوديو Visual Studio Code الإصدار 1.79.2 ولغة Python الإصدار 3.11.5، مُنصبتان على حاسوب من نوع HP proBook 4540s .
- الحد الزمني: استغرق تنفيذ البحث ثلاثة أعوام اعتباراً من تاريخ صدور قرار التسجيل.
- الحد العلمي: جرى اتباع المنهج التحليلي في محاكاة سيناريو شبكتي جيل خامس قائمة بذاتها وغير قائمة بذاتها، ثم اتباع المنهج التجريبي في اختبار هاتين الشبكتين ومقارنة أدائهما.

9-1 منهج البحث وأدواته

اعتمدنا في هذا البحث على المنهج التحليلي في محاكاة سيناريو شبكتي جيل خامس قائمة بذاتها وغير قائمة بذاتها، ثم اتباع المنهج التجريبي في اختبارهما وفق معايير مرجعية ومقارنة أدائهما من أجل عدة مقاييس أداء شائعة. وقد جرى استخدام الإصدار 1.79.2 من البرمجية رِماز فيجوال استوديو Visual Studio Code ولغة بايثون Python الإصدار 3.11.5 مُنصبتان على حاسوب من نوع HP proBook 4540s، له المواصفات الآتية:

- معالج: Intel(R) Core i5-3210M CPU@ 2.50GHZ.
- ذاكرة نفاذ عشوائي RAM مثبتة: 4GB.

10-1 بنية الرسالة

تتضمن الرسالة ثلاثة فصول وفق الآتي:

- يشتمل الفصل الأول على الإطار العام للبحث؛ والذي يتضمن مقدمة عامة، وبعض الدراسات السابقة، ومشكلة البحث، وهدفه، وأهميته، ومسوغاته، ومحدداته، وحدوده، ومنهجه وأدواته وبنية الرسالة.

- يتناول الفصل الثاني الأساسيات النظرية المرتبطة بالبحث؛ ويتضمن دراسة نظرية لأنواع شبكات الجيل الخامس

المقترحة من قبل مشروع شراكة الجيل الثالث (3GPP) The 3rd Generation Partnership Project

وخصوصاً الشبكات الجيل الخامس القائمة بذاتها SA وغير القائمة بذاتها NSA وخواص كل منها، وشرح لمبدأ

تقنية تشريح الشبكات ومميزاتها وتطبيقاتها في شبكات الجيل الخامس.

- وأخيراً، يعرض الفصل الثالث بالتفصيل التنفيذ العملي البرمجي ونتائج محاكاة نوعي شبكات الجيل الخامس:

غير قائمة بذاتها وقائمة بذاتها، ثم مقارنة أدائهما من حيث مقاييس أداء شائعة، وتفسير النتائج، وجمله من

التوصيات والآفاق المستقبلية.

الفصل الثاني

الأساسيات النظرية المرتبطة بالبحث

Theoretical Basis Related To The Research

1-2 شبكات الجيل الخامس

إلى جانب حالة الاستخدام عريض المجال نقال محسن، تدعم معايير الجيل الخامس العديد من حالات الاستخدام الجديدة. ذات متطلبات متنوعة، من حيث الأداء والتكلفة والأمن وإدارة الحركة. ومنه فإن فلسفة التصميم، ذات المقاس الواحد الذي يناسب الجميع، المطبقة في الشبكات الحالية لم تعد قابلة للتطبيق بعد الآن. فتم التوجّه نحو تطوير العديد من التقنيات القادرة على تحقيق مستوى الجودة المطلوب. [7]

مشروع شراكة الجيل الثالث The 3rd Generation Partnership Project (3GPP) والذي أسس رسمياً في العام 1998 هو مشروع تعاوني بين مجموعة من جمعيات الاتصالات كان هدفه الأولي تطوير توصيفات للجيل الثالث من المنظومات النّقالة. ومنذ تأسيسه قام المشروع بتطوير معيار الجيل الثالث الأكثر استخداماً، ثمّ معايير الجيل الرابع فمعايير الجيل الخامس. ويتكون كل معيار من المئات من التوصيفات الفنية المنظمة في إصدارات Releases

ويُشكّل الإصدار 15 أساس الجيل الخامس القاعدي الذي اعتمد في النشر التجاري عبر العالم، ثم جرى العمل على تطوير النّقانة بوساطة الإصدارين 16 و17. ويُعدّ الإصدار 18 بداية العمل على الجيل الخامس المتقدم. وقد بدأ مشروع شركة الجيل الثالث بالعمل على وضع الإصدار 19 لمنظومات الجيل الخامس الذي سيُشكل دليلاً للجيل السادس القادم. يوضّح الشكل (1-2) آخر إصدارات مشروع شراكة الجيل الثالث الخاصة بالجيل الخامس 5G [8].

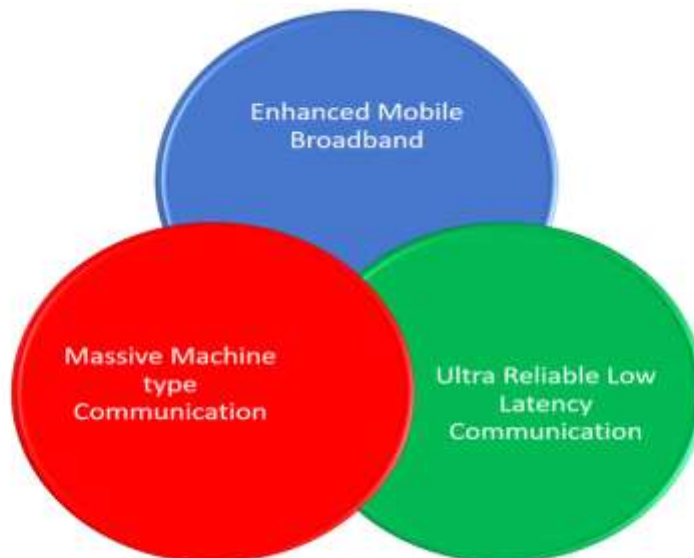


الشكل (1-2) آخر إصدارات مشروع شراكة الجيل الثالث الخاصة بالجيل الخامس 5G [8]

ويبين الشكل (2-2) حالات الاستخدام use cases الرئيسية المعتمدة للجيل الخامس وهي: عريض المجال نقال

محسّن Enhanced Mobile Broadband (eMBB)، الاتصالات المنخفضة التلّث فائقة الموثوقية (URLLC)

Ultra Reliable Low Latency Communications، والاتصالات نوع آلة الكثيفة (mMTC). [9]



الشكل (2-2) حالات الاستخدام الرئيسية للجيل الخامس [8]

وتركز حالة الاستخدام عريض المجال نقال محسن eMBB على الخدمات التي تتميز بمعدلات معطيات عالية، مثل مقاطع الفيديو عالية الدقة (HD) ، والحقيقة الافتراضية (VR) ، والحقيقة Virtual Reality (VR) ، والحقيقة الواقعية المزيدة (AR) ، وتقارب الثابت والنقال (FMC) Fixed-mobile convergence [9].

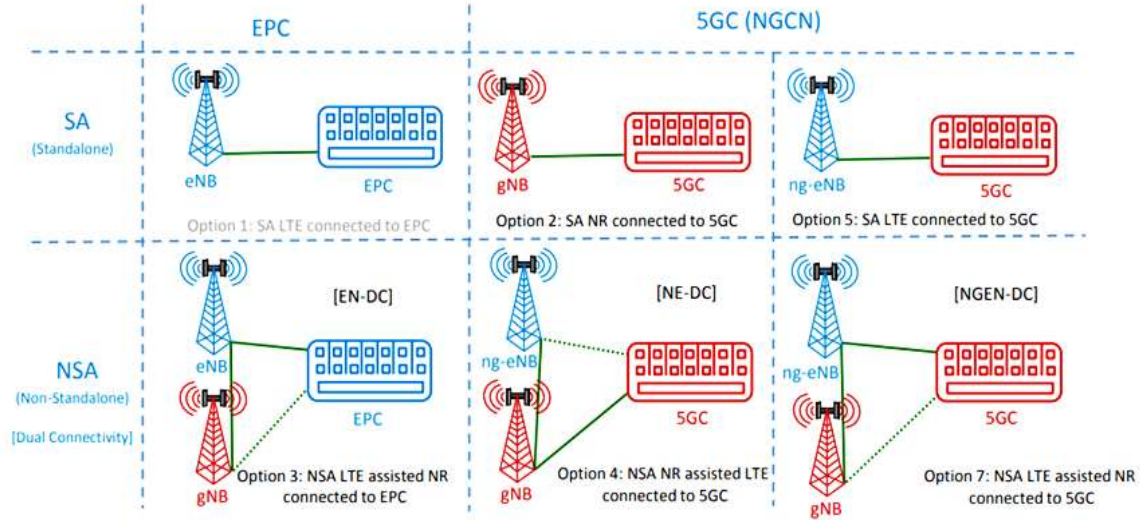
وتركز حالة الاستخدام الاتصالات المنخفضة التالبث فائقة الموثوقية URLLC على الخدمات الحساسة للتأخير، مثل القيادة الذاتية، أو الجراحة عن بعد، أو التحكم في الطائرات بدون طيار [9].

وتركز حالة الاستخدام الاتصالات نوع آلة الكثيفة mMTC على الخدمات ذات متطلبات كثافة اتصال عالية، مثل المدن الذكية والزراعة الذكية. وتتطلب كل حالة استخدام متطلبات مختلفة جذرياً، بل ومتناقضة في بعض الأحيان [9]. ويجب تحقيق العديد من مؤشرات الأداء الرئيسية (KPIs) Key performance Indicators في آنٍ واحدٍ لبعض الخدمات المذكورة أعلاه. فعلى سبيل المثال، تفرض تطبيقات الحقيقة الافتراضية (VR) والحقيقة الواقعية المزيدة (AR) متطلبات صارمة بشأن معدل المعطيات بالإضافة إلى التأخير [9].

2-2 أنواع شبكات الجيل الخامس

انطلاقاً من حالات الاستخدام الرئيسية الثلاث للجيل الخامس، جرى وضع العديد من خيارات نشر شبكات الجيل الخامس ومن أهمها القائمة بذاتها (5G SA) 5G Standalone وغير القائمة بذاتها 5G non-Standalone (5G NSA) كما موضّح في الشكل (3-2) [8].

5G Deployment Options



الشكل (3-2) خيارات نشر شبكات الجيل الخامس المقترحة من مشروع شبكة الجيل الثالث [8]

يمكن نشر الجيل الخامس وفق سيناريوهات متعددة. ويعتمد اختيار السيناريو على الطيف المرخص للمشغل، والمنطقة الجغرافية التي يجري تخديمها (التضاريس وكثافة المستخدمين)، وقدرات المعدات المستخدمة [10].

حدّد مشروع شراكة الجيل الثالث 3GPP خيارات متعددة فيما يتعلق بشبكة النفاذ الراديوي Radio Access Network (RAN) والشبكة النواة Core Network (CN). تغطي هذه الخيارات تقنيات الجيل الرابع للاتصالات 4G والجيل الخامس للاتصالات 5G. يمكن لهذه الخيارات توجيه المشغلين أثناء انتقالهم من شبكات الجيل الرابع للاتصالات 4G إلى شبكات الجيل الخامس للاتصالات 5G. [10]

حيث أن المشغلين قد قاموا بنشر شبكات الجيل الخامس للاتصالات 5G NR، تسمح النفاذ الراديوي من شبكات الجيل الرابع 4G وشبكات الجيل الخامس للاتصالات 5G NR بالتعايش، ونشر الشبكة النواة للجيل الخامس 5G

Core. وهذا يعني أن هواتف الجيل الرابع والخامس 5G+4G ستتصل بكل من المحطة القاعدية للجيل الرابع للاتصالات 4G eNB والمحطة القاعدية للجيل الخامس للاتصالات 5G gNB [10].

ويُوضَّح الشكل (4-2) بشكل مختصر الخيارات الممكن استخدامها من قبل الشركات وفقاً لتوصيات مشروع شراكة الجيل الثالث 3GPP [10].

Connectivity option	Core network	Master RAT	Secondary RAT	3GPP term	3GPP release
Option 1	EPC	LTE	-	LTE	Rel. 8
Option 3	EPC	LTE	NR	EN-DC	Rel. 15, Dec 2017
Option 2	5GC	NR	-	NR	Rel. 15, June 2018
Option 4	5GC	NR	eLTE	NE-DC	Rel. 15, March 2019
Option 5	5GC	eLTE	-	eLTE	Rel. 15, June 2018
Option 7	5GC	eLTE	NR	NGEN-DC	Rel. 15, March 2019

الشكل(4-2) ملخص خيارات نشر شبكات الجيل الخامس [10]

بعد أن يحصل مشغل شبكة الجيل الخامس للاتصالات 5G على التراخيص المطلوبة. يستثمر في معدات الجيل الخامس 5G لكل من قسمي النفاذ الراديوي RAN والنواة CN، وينشر الشبكة للتغطية. [10]

وقد واجه نشر هذه الشبكة تحديات عدّة، مع الأخذ بالحسبان أنّ المنطقة الجغرافية المراد نشر شبكة الجيل الخامس فيها مغطاة مسبقاً بشبكة جيل رابع، منها عدم امتلاك مستخدمي شبكة الجيل الرابع لهواتف تدعم تقنيات الجيل الخامس، ممّا يجعل انتقالهم إلى الشبكة الجديدة بطيئاً، بالإضافة إلى التكلفة المرتفعة والتغطية الضعيفة. [10]

كما أن مشغلي شبكات الجيل الرابع قد استثمروا بشكل كبير في تراخيص ومعدات الجيل الرابع، وقد تكون هذه التراخيص في نطاقات طيفية غير مدعومة من قبل الجيل الخامس 5G، أو ربما لا يمكن ترقية المعدات التي يستخدمونها بسهولة إلى الجيل الخامس 5G [10].

2-2-1 الشبكات غير القائمة بذاتها من الجيل الخامس

هي الإصدار الأول من شبكة الجيل الخامس، ويُقصد بشبكات الجيل الخامس غير القائمة بذاتها NSA 5G، الشبكات المبنية على البنية التحتية لشبكة الجيل الرابع 4G الحالية. وجرى توفير معدل معطيات أعلى للمستخدمين بمكاملة تقانة النفاذ الراديوي التي أطلق عليها الراديو الجديدة New Radio (NR) مع التطور طويل الأجل Long-Term Evolution (LTE). لذا، لا يمكن لشبكة الجيل الخامس 5G العمل بصورة مستقلة، بل تعتمد على محطة قاعدية خلية ماكروية من التطور طويل الأجل لتشوير مستوى التحكم، في حين تستخدم شبكة النفاذ الراديوي للجيل الخامس 5G RAN لتوفير معدل معطيات أعلى [10].

وتعتمد شبكة الجيل الخامس غير القائمة بذاتها في عملها على شبكة نواة التطور طويل الأجل المعروفة باسم النواة الرزمية المطورة Evolved Packet Core (EPC) لإدارة وظائف مستوى التحكم، وبذلك تتضمن شبكات الجيل الخامس غير القائمة بذاتها NSA كلاً من محطة جيل رابع ومحطة جيل الخامس 5G الأساسية [11].

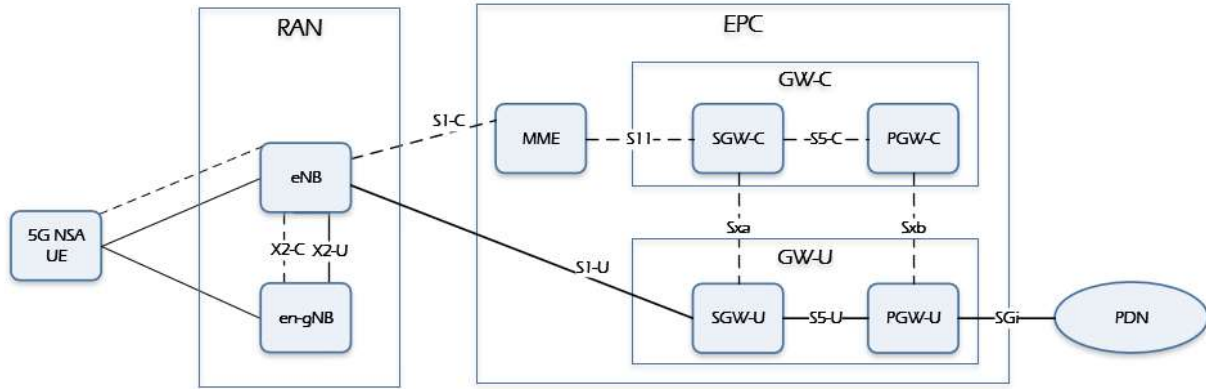
لكن شبكات الجيل الخامس غير القائمة بذاتها 5G NSA ليس بمقدورها توفير القدرات التي تحققها شبكة جيل خامس قائمة بذاتها 5G SA [11].

كما أن شبكات الجيل الخامس غير القائمة بذاتها تتطلب مستوى أعلى من الطاقة لتشغيلها مع البنية التحتية لشبكات الجيل الرابع 4G. فبحسب معهد مهندسي الكهرباء والإلكترونيات (IEEE) Institute of Electrical and Electronics Engineers فإن الراديو الجديد للجيل الخامس 5G NR مردوده أعلى من حيث الطاقة مقارنة مع

شبكات التطور طويل الأجل LTE لكن استخدام شكلين مختلفين من التقنية الخلوية يزيد بشكل كبير استهلاك الطاقة [11].

1-1-2-2 بنیان الشبكات غير القائمة بذاتها من الجيل الخامس

يوضح الشكل (5-2) بنیان نشر شبكة غير قائمة بذاتها (5G NSA) وفقاً لمشروع شراكة الجيل الثالث 3GPP . والتي تتضمن القسم الراديوي لشبكتي اتصالات جيل الرابع وخامس، بالإضافة إلى قسم النواة الرزمية المطورة (EPC) Evolved Packet Core. حيث يكون القسم الراديوي للجيلين متصلين بالنواة الرزمية المطورة، لذا سميت بالشبكات غير القائمة بذاتها، لكونها تعتمد على البنية التحتية للجيل الرابع [11].



الشكل (5-2) بنیان نشر شبكة اتصالات جيل خامس غير قائمة بذاتها [12]

2-1-2-2 ميزات الشبكات غير القائمة بذاتها من الجيل الخامس

تتميز شبكات الجيل الخامس غير القائمة بذاتها بمجموعة من المميزات، نذكر منها [11] :

- انخفاض التكاليف: يمكن لمشغلي شبكات الهاتف النقال إنشاء شبكة جيل خامس 5G ومكاملة شبكات الجيل الرابع القائمة معها من أجل خفض التكاليف وضمان الانتقال السلس إلى الجيل الخامس وما وراءه.

- سهولة النشر : تستخدم الشبكات غير القائمة بذاتها البنية التحتية لشبكات الجيل الرابع للاتصالات 4G المنشورة، مما يبسط عمليات التأسيس والتشغيل والتحديث.

3-1-2-2 عيوب الشبكات غير قائمة بذاتها من الجيل الخامس

تحمل الشبكات غير القائمة بذاتها من الجيل الخامس في طياتها مجموعة من العيوب مقارنةً بشبكات الجيل الخامس القائمة بذاتها، نذكر منها [11]:

- عدم قدرة الشبكات على توفير زمن تلبّث منخفض، وهو أحد أكبر عوامل الجذب لشبكة جيل خامس 5G.
 - استهلاك طاقة أكبر بسبب استخدام نوعين من الشبكات الخلوية.
 - لا تستطيع الشبكات غير القائمة بذاتها توفير حالات الاستخدام الأساسية وفق المعايير المعتمدة.
- وعلى الرغم من هذه العيوب إلا أنَّ الشبكات غير القائمة بذاتها 5G NSA تُعدُّ حلاً مثاليًا للطرح الأولي لخدمات الجيل الخامس 5G في أي بلد.

2-2-2 الشبكات القائمة بذاتها من الجيل الخامس

لا تعتمد تقنية الشبكات القائمة بذاتها من الجيل الخامس على شبكة نواة الجيل الرابع. لذا قامت شركات الاتصالات الخلوية المشغلة للجيل الخامس بإنشاء بنى تحتية جديدة تمامًا في المناطق التي لا تتوفر فيها تغطية من شبكات الجيل الرابع وفي المناطق ذات الكثافة السكانية العالية وبخاصة المراكز المالية والتجارية في المدن [13].

تستخدم شبكات الجيل الخامس للاتصالات القائمة بذاتها شبكة نفاذ راديوي في الجيل الخامس 5G RAN لتحقيق متطلبات الجيل الخامس للاتصالات 5G الأساسية، مثل خفض زمن التلبّث، وتحسين الموثوقية، والتحكّم في الوظائف المتعلقة بإدارة الشبكة. ويجري تثبيت مستوى التحكّم في شبكات الراديو الجديد من الجيل الخامس 5G NR على

الشبكة النواة للجيل الخامس للاتصالات (5GC) 5G Core [13].

وبالمقارنة مع الشبكات غير القائمة بذاتها NSA، تُظهر الشبكة القائمة بذاتها SA أفضلية في الوصلة الصاعدة Uplink (UL)، وزمن التلبّث من طرف إلى طرف End-to-End (E2E)، والحوسبة الطرفية.

الشبكات القائمة بذاتها توفر الكثير من الخدمات، منها [13]:

- تنتج خدمات البث المباشر بدقة عالية (HD) High Definition وتقدّم المحتويات بزمن حقيقي Real-

Time (RT)، التي تتطلب معدّل نقل معطيات عالي للوصلة الصاعدة. ففي كانون الثاني 2019، أكمل

تلفزيون الصين المركزي البث المباشر بميز 4K resolution والواقع الافتراضي 360 درجة بمعدل معطيات

للوصلة الصاعدة 250 ميغابت في الثانية في شبكة جيل خامس مستقل SA 5G.

- إنّ تشغيل تطبيقات باستخدام الموارد السحابية cloud كالحقيقة الافتراضية (VR) Virtual Reality

والحقيقة الواقعية المزيّدة (AR) Augmented Reality، يساعد مستخدمي الهاتف النقال على الاستمتاع

بخدمات الحقيقة الافتراضية / والحقيقة الواقعية المزيّدة بتكلفة أقل للجهاز. ويمكن تحسين هذه الخدمات بشكل

كبير بتخفيض زمن التلبّث عبر الموارد الحوسبة المتطورة في شبكة الجيل الخامس القائمة بذاتها.

- تعدّ خدمات الألعاب عبر الإنترنت، وخاصة الألعاب التفاعلية بزمن حقيقي، حساسة جداً لزمن تلبّث الشبكة،

حيث يمكن لشبكة الجيل الخامس القائمة بذاتها خفض زمن الاستجابة وتوفير تجربة أفضل للمستخدم.

1-2-2-2 بنیان شبکه قائمة بذاتها من الجيل الخامس

يبين الشكل (2-6) بنیان شبكة اتصالات جيل خامس قائمة بذاتها (5G SA) الخيار الثاني option 2 وفقاً لمشروع

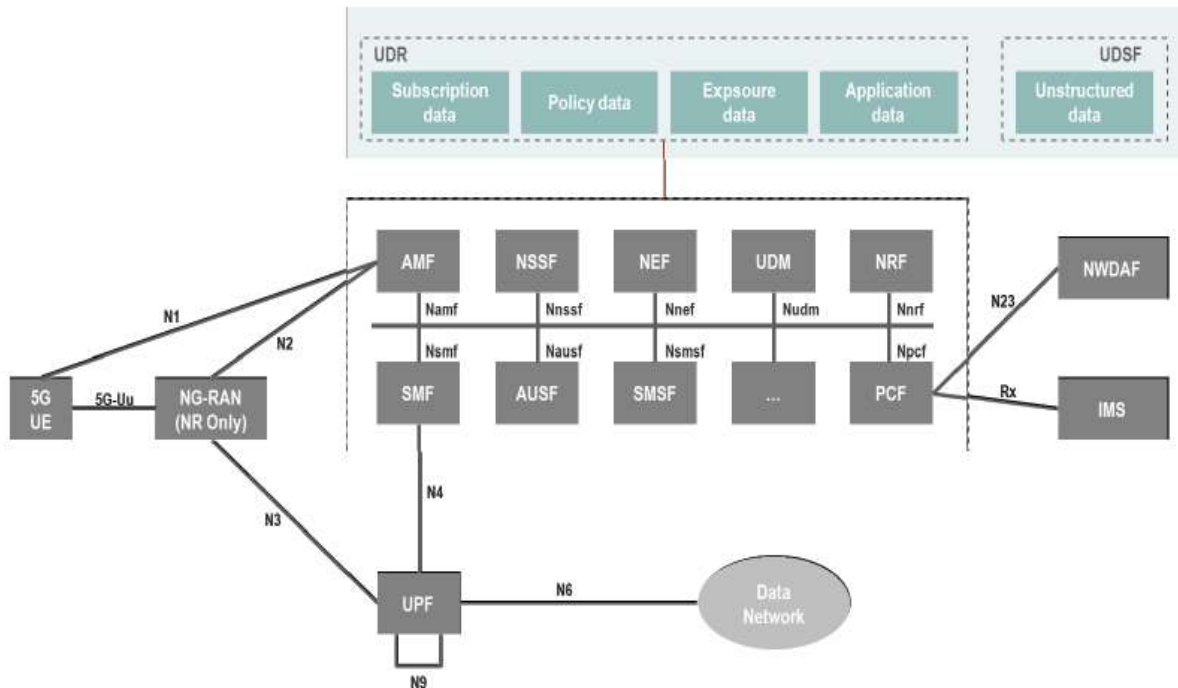
شراكة الجيل الثالث 3GPP. تتألف هذا البنیان من القسم الراديوي المتمثّل بتجهيز المستخدم user equipment

للجيل الخامس 5G UE، وشبكات النفاذ الراديوي للجيل القادم (NG-RAN) Next Generation Radio Access

Network التي تتصل بنواة شبكة الجيل الخامس (5GC) 5G Core القائمة على الحوسبة ليكون أكثر مرونة.

يُنشِج قسم النواة في الجيل الخامس الفصل بين مستوي المستخدم ومستوي التحكم، لخفض زمن التلبّث بالشبكة. تقسم

طبقة المعطيات إلى قسمين رئيسيين وهما: خازنة المعطيات الموحدة (UDR)، ووظيفة تخزين المعطيات غير البنيوية (UDSF) Unstructured Data Storage Function لتغطية كل المعطيات البنيوية و غير البنيوية، وكذلك وظيفة إدارة النفاذ والحركية (AMF) Access and Mobility management Function المسؤولة عن تلقّي معلومات التحكم والمعلومات المتعلقة بالجلسة والمصادقة، ووظيفة إدارة الجلسة (SMF) Session Management Function المسؤولية عن إنشاء جلسات الشبكة وإنائها للمستخدمين، ووظيفة التحكم في السياسات (PCF) Policy Control Function التي تتضمّن جوانب متعدّدة مثل جودة الخدمة ومراقبة استخدام المستخدمين وإدارة تقسيم الشبكة، ووظيفة التعرّض للشبكة (NEF) Network Exposure Function التي تؤمّن الاتصال بين شبكة الجيل الخامس 5G الأساسية والتطبيق الخارجي بوساطة إنشاء جسر. وأخيراً وظيفة خازنة الشبكة (NRF) Network Repository Function المكوّن الضروري لتنفيذ البنية الجديدة القائمة على الخدمة في شبكة الجيل الخامس 5G الأساسية. والتي تعمل بمثابة خازنة مركزية لوظائف الشبكة (NFs) Network Functions [13].



2-2-2-2 ميزات الشبكات القائمة بذاتها من الجيل الخامس

تتمتع شبكات الجيل الخامس القائمة بذاتها بمجموعة من الميزات مقارنةً مع شبكات الأجيال السابقة، نذكر منها [11]:

- انخفاض استهلاك الطاقة: تستهلك شبكات الجيل الخامس القائمة بذاتها طاقةً أقلّ من الشبكات غير القائمة بذاتها، إذ أنّ تشغيلها لا يحتاج إلى الربط مع شبكات الجيل الرابع، ومن ثمّ تستخدم طريقة واحدة فقط للاتصال الخلوي، وهذا ينعكس توفيراً بالطاقة.
- الاستفادة أكثر من خدمات شبكات الجيل الخامس: على عكس شبكات الجيل الخامس غير القائمة بذاتها NSA، يمكن لشبكات الجيل الخامس القائمة بذاتها SA تقديم خدمات الجيل الخامس الأساسية، مثل زمن التلبّث المحسّن وزيادة معدل المعطيات وتمت برهنتها في المقارنة في الشكل (3-70)، لتشغيل شبكات فائقة السرعة وقابلة للتطوير.
- إمكانية استخدام تقنية التشريح: في هذه النوعية من الشبكات يمكن تطبيق تقنية التشريح slicing التي تُعنى بإنشاء شبكات افتراضية متعدّدة ضمن شبكة فعلية، وذلك بهدف توفير مرونة أكبر في استخدام موارد الشبكة وتخصيصها، وتقليل الهدر. ويمكن استخدام هذه التقنية في جميع أقسام شبكة الجيل الخامس، مثل شبكة النفاذ الراديوي Radio Access Network (RAN) وشبكة النقل Transport Network (TN) والشبكة النّواة Core Network (CN) بالاعتماد على تقنيات مخصّصة لكل قسم مع الأخذ بالحسبان مقدار التعقيد والتكلفة التي يفرضها وجود تطبيق تقنية التشريح على الشبكة.

3-2-2-2 عيوب الشبكات القائمة بذاتها من الجيل الخامس

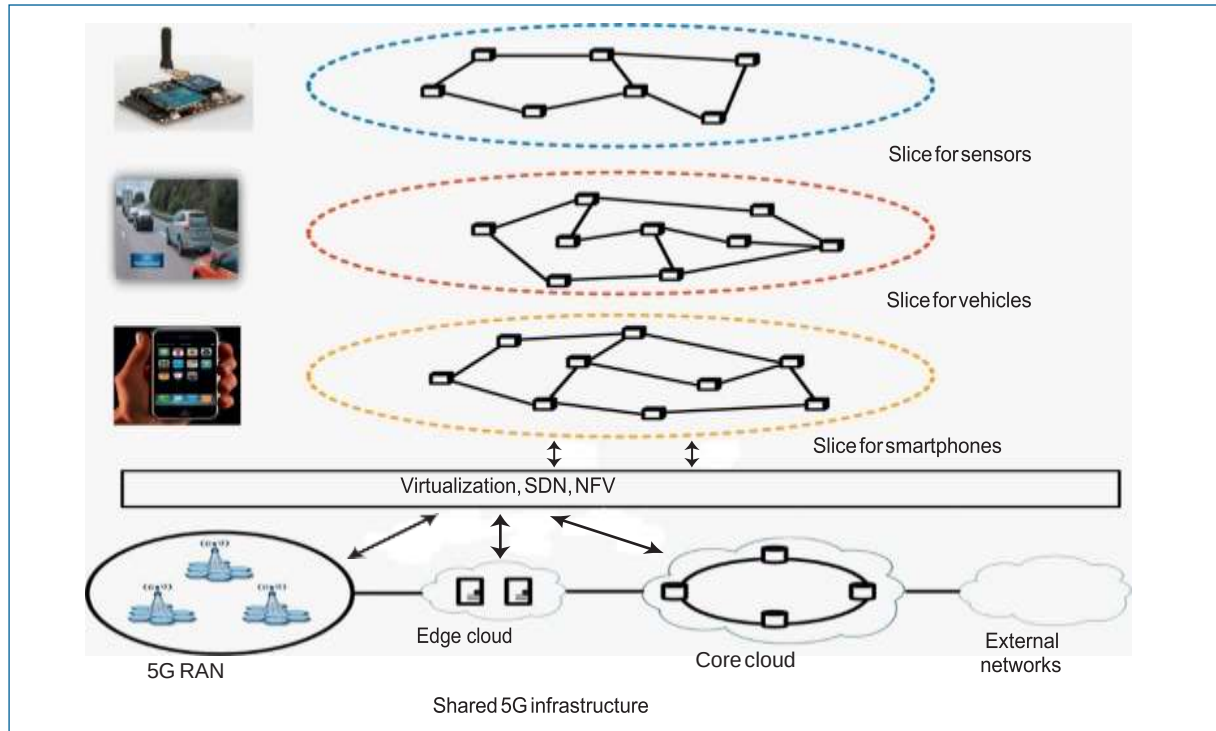
على الرغم من الميزات الكثيرة التي تتمتع بها شبكة الجيل الخامس القائمة بذاتها، إلّا أنّها تعاني من بعض السلبيّات مقارنة مع الشبكة غير القائمة بذاتها، نذكر منها [14]:

- تنفيذ جميع المراحل له تكلفة عالية.

- يتطلب تعلم البنية التحتية الأساسية الجديدة وقتًا طويلاً.
- من الصعب نشر شبكات الجيل الخامس القائمة بذاتها في كل المناطق بسبب البنية التحتية المحدودة للشبكة القائمة بذاتها والأجهزة التي تدعم تقنية الشبكة القائمة بذاتها.

3-2 تشريح شبكات الجيل الخامس

تشريح الشبكة هو تقنية تُعنى بإنشاء شبكات افتراضية متعددة ضمن شبكة فيزيائية واحدة لتوفير مرونة أكبر في استخدام موارد الشبكة وتخصيصها. ويستدعي تشريح الشبكة كتنقية أساسية، في حين أنّ الجيل الرابع والأجيال السابقة لا تدعمها [15]. ويمكن أن يكون لكل شريحة من الشبكة طبولوجيا منطقية خاصة بها وقواعد أمن وخصائص أداء، وذلك ضمن الحدود التي تفرضها الشبكات الفيزيائية الأساسية كما موضح في الشكل (7-2). ويمكن تخصيص شرائح مختلفة لأغراض مختلفة، مثل ضمان حصول تطبيق أو خدمة معينة على أولوية النفاذ إلى السعة والتوصيل delivery أو عزل الحركة traffic لمستخدمين محددين أو فئات من الأجهزة [15].



الشكل (7-2) مفهوم التشريح في شبكات الجيل الخامس [16]

2-3-1 آلية عمل تشريح شبكات الجيل الخامس

نضج مفهوم التشريح بشكل كامل مع ظهور الشبكات المعرفة برمجياً (SDN) Software-Defined Networks ، ومؤخراً، الشبكات واسعة النطاق المعرفة برمجياً (SD-WANs) Software-Defined Wide Area Network ، والتي تُطبّق مفاهيم الشبكات المعرفة برمجياً على الشبكات واسعة النطاق. حيث تعمل هذه التقنية على فصل مستوى التحكم في الشبكة عن مستوى معطيات معالجة الرزم. ويمكن لمستوي التحكم تحديد الشبكات الافتراضية بوساطة تحديد قواعد التعامل مع الرزم، واعتماد تلك القواعد ضمن تجهيزات مستوى المعطيات للتنفيذ. وينطبق هذا التحكم في مستوى المعطيات على كل من تجهيزات الشبكة الفعلية والافتراضية المُدارة من قبل متحكم الشبكة SDN Controller ، وهو مبدال switch فيزيائي أو مبدال افتراضي يعمل في بيئة سحابية أو على برمجية هايبرفايزر Hypervisor ترأقب الآلات الافتراضية، والتي تنشئ وتشغل آلات افتراضية (VM) Virtual Machines في مركز المعطيات [15].

يُعدّ تشريح الشبكة سمة أساسية للبنية الأساسية لشبكات الجيل الخامس 5G ويطبّق نفس مبادئ المحاكاة الافتراضية عبر بنية شبكة المزوّد بالكامل. تتضمن هذه المبادئ شبكات النفاذ الراديوي RANs والشبكات النّواة الداعمة التي تقوم عليها شبكات الجيل الخامس للاتصالات، بما في ذلك موارد مركز المعطيات المرتبطة بها. ويتيح التشريح لمقدمي الخدمات إنشاء مجموعة متنوعة من بنى شرائح الشبكة التي تقدم ضمانات ذات معنى للعملاء فيما يتعلّق، على سبيل المثال، بالحد الأدنى من معدل التدفق لاتصالاتهم أو تسليم الأولوية للرزم من أنواع معينة من الأجهزة أو التطبيقات.

ويمكن لمشغّل شبكة الجيل الخامس للاتصالات 5G فصل الحركة فعلياً على شبكات راديوية مختلفة، أو تقسيم شبكة واحدة، أو الجمع بين سعة شبكات متعددة وتقسيم الموارد المجمّعة. ويتيح ذلك لمشغلي شبكات الجيل الخامس اختيار الخصائص اللازمة لدعم مستوياتهم المستهدفة من المردود الطيفي وكثافة المستخدمين، وهو عدد الأجهزة التي يمكن الاتصال بها في مساحة معينة.

2-3-2 فوائد تشريح شبكات الجيل الخامس

يعمل تشريح الشبكة على زيادة مرونة شبكات الجيل الخامس إلى الحد الأقصى، مما يؤدي إلى تحسين استخدام البنية التحتية وتخصيص الموارد. ومن الفوائد الإضافية أيضاً [17] :

- زيادة قابلية التصعد scalability والمرونة وتوفير التكاليف بوساطة التمكين تقديم المزيد من الخدمات في نفس الوقت مع أقل عدد ممكن من الموارد المطلوبة، حيث تعمل المحاكاة الافتراضية على التخلص من التجهيزات المخصصة.
- زيادة الطلب على المنتجات والخدمات التي يمكن تقديمها إلى السوق بشكل سريع، ويمكن اعتمادها بسهولة مع تغير وتطور بيئة العمل، مما يؤدي بدوره إلى زيادة إيرادات المشغلين.
- أفضل أداء والحد الأقصى للعائد على الاستثمار، حيث يمكن تلبية المتطلبات الأكثر تعقيداً أثناء مدة قصيرة مع الاستخدام الكامل لجميع الموارد المتاحة.

3-3-2 حالات استخدام تشريح شبكات الجيل الخامس

- يشتمل تطبيق تشريح الشبكة على ثلاث حالات استخدام رئيسية هي: الأداء بزمان حقيقي، والسعة، والأمن [17] :
- الأداء بزمان حقيقي Real-time performance : قد تتطلب الاتصالات العسكرية أو الحكومية شريحة من شبكة الهاتف النقال بزمان تلبّث منخفض للغاية، وضمانات صارمة لتسليم رزم المعطيات، أي سرعة استجابة مع موثوقية عالية. وإن إحدى حالات استخدام الجيل الخامس هي الاتصالات المنخفضة التلبّث فائقة الموثوقية (URLLC) ultra reliable low latency communications لضمان عمل الشريحة على المعدات والمسارات ذات زمن التلبّث الأقل بين تجهيزات المستخدمين والموارد السحابية، مع الاحتفاظ بسعة كافية لتحقيق معدل التدفق المنشود.
 - السعة Capacity: تحتاج بعض التطبيقات إلى سعة عالية لضمان توصيل مضمون لكميات كبيرة من المعطيات من دون إسقاط أي رزمة.

- الأمن Security: تحتاج بعض التطبيقات الحساسة إلى ضمان أن جميع المعطيات الواردة والصادرة من وإلى مخدّم الشبكة تخزن بصورة آمنة لا تسمح بالنفاز إليها و/أو اختراقها من قبل أفراد غير مصرّح لهم.

الفصل الثالث

التنفيذ العملي والنتائج

Implementation and Results

1-3 المقدمة

في هذا الفصل سنقوم بتقييم أداء الشبكات من الجيل الخامس القائمة بذاتها والشبكات غير القائمة بذاتها (التقليدية) بدلالة تغيير عدد المستخدمين في كلتا الشبكتين. وقد اخترنا أربعة مقاييس أداء وهي: معدّل المعطيات الكلي ونسبة المستخدمين المتصلين، ونسبة التغطية، ونسبة الحجب، وذلك من أجل نفس السيناريو في كلتا الشبكتين باستخدام 20 محطة قاعدية ضمن مساحة جغرافية $2 \times 2 \text{Km}^2$.

2-3 الأدوات المستخدمة في البحث

استخدمنا في هذا العمل برمجية Visual Studio Code الإصدار 1.79.2 لكتابة الرماز البرمجي code لكلا الشبكتين ولغة البرمجة بايثون Python الإصدار 3.11.5 لتنفيذ الرماز البرمجي وإظهار النتائج البيانية مُنصبتان على حاسوب من نوع HP proBook 4540s، له المواصفات الآتية:

- معالج: Intel(R) Core i5-3210M CPU@ 2.50GHZ.

- ذاكرة نفاذ عشوائي RAM مثبتة: 4GB .

1-2-3 ميزات لغة البرمجة بايثون Python

بايثون هي لغة برمجة مفسّرة وموجّهة للكائنات وعالية المستوى ذات دلالات ديناميّة. وإنّ بنى المعطيات المضمّنة عالية المستوى، جنباً إلى جنب مع الكتابة الدينامية والربط الدينامي، تجعلها جذابة للغاية للتطوير السريع للتطبيقات، بالإضافة إلى استخدامها كلغة برمجة نصيّة أو لغة لربط المكونات الموجودة معاً، ولغة بايثون بسيطة وسهلة التعلم على سهولة القراءة ومن ثمّ فإنّ تكلفة صيانة البرنامج منخفضة، وتدعم لغة بايثون Python الوحدات والرزم، ممّا يشجّع نمطية البرنامج وإعادة استخدام التعليمات البرمجية. ويتوفّر مترجم بايثون والمكتبة القياسية الشاملة على شكل مصدر مجانياً لجميع المنصّات الرئيسيّة، ويمكن توزيعهما مجاناً. في كثير من الأحيان، وتمتاز لغة بايثون بعدم وجود

خطوة تجميع، لذا فإن دورة التحرير والاختبار والتصحيح سريعة. حيث يُعدّ تصحيح أخطاء في لغة بايثون Python أمراً سهلاً ولن يؤدي الخطأ أو الإدخال السيئ إلى حدوث خطأ في التجزئة، بدلاً من ذلك، عندما يقوم المترجم بطباعة تتبّع المكّس. يسمح مصحّح الأخطاء على مستوى المصدر بفحص المتغيّرات المحلية والعالمية، وتقييم المتغيرات للتعبيرات التعسفية، وتعيين نقاط التوقّف، والتقلّل أثناء التعليمات البرمجية سطرًا تلو الآخر، وما إلى ذلك. وتجرى كتابة مصحح الأخطاء بلغة بايثون نفسها. من ناحية أخرى، غالباً ما تكون أسرع طريقة لتصحيح أخطاء برنامج ما هي إضافة بعض عبارات الطباعة إلى المصدر. ويجعل دورة التحرير والاختبار والتصحيح السريعة هذا الأسلوب البسيط فعالاً للغاية [18].

3-3 مقاييس الأداء المختارة

قمنا بمقارنة لأداء شبكتي جيل خامس غير قائمة بذاتها NSA وأخرى قائمة بذاتها SA بناءً على أربعة مقاييس أداء وهي [19]:

- نسبة الزبائن المربوطين Clients Ratio : هي نسبة تعبّر عن عدد المستخدمين المتواجدين ضمن حدود التغطية ويتوافر لهم موارد لدى المحطة القاعدية إلى عدد المستخدمين الكلي.
- نسبة الحجب Block Ratio: هي نسبة تعبّر عن عدد المستخدمين الذين لم يتوافر لهم موارد من المحطة القاعدية لتحقيق اتصال إلى عدد المستخدمين الكلي.
- معدّل المعطيات الكلي Total Data Rate: معدل تدفق المعطيات الإجمالي، واحدته Mbps.
- نسبة التغطية Coverage Ratio: هي نسبة تعبّر عن عدد المستخدمين الذين يقع موقعهم الجغرافي داخل تغطية المحطات القاعدية إلى إجمالي عدد المستخدمين.

4-3 المحاكاة المنفذة

سنقوم في هذا البحث بمحاكاة سيناريو شبكتي جيل خامس غير قائمة بذاتها NSA والقائمة بذاتها SA، مستخدمين برمجية Visual Studio Code 2023 وبرمجية Python 2023 لكتابة الرمز البرمجي لشبكة الجيل الخامس غير المستقلة وتنفيذ الكود البرمجي لشبكة الجيل الخامس المستقلة، ويشتمل السيناريو في كلتا الحالتين على تغيير عدد المستخدمين وتقييم الأداء بناءً على مستويات المحاكاة المختارة. ويبين الجدول (1-3) مستويات (بارامترات) parameters المحاكاة المعتمدة في سيناريو الشبكة غير القائمة بذاتها. ويبين الجدول (2-3) مستويات (بارامترات) parameters المحاكاة المعتمدة في سيناريو الشبكة القائمة بذاتها.

الجدول (1-3) مستويات المحاكاة المعتمدة في سيناريو الشبكة غير القائمة بذاتها [19,20]

الموسم	القيمة والواحدة	ملاحظات
عدد المستخدمين	[100,500,1000,1500,2000,2500,3000,3500,4000,5000,10000] مستخدم	توزع المستخدمين عشوائياً
السماحية	20ms	-
عدد المحطات	20	بغية تأمين التشوير يلزم وجود محطة جيل رابع وجيل خامس في نفس الموقع
معدل المعطيات المضمون لكل مستخدم	10Mbps	-
الحد الأقصى لمعدل المعطيات المسموح لكل مستخدم	50Mbps	-
الاستطاعة المستهلكة لكل محطة قاعدية	Micro: 120–200W / Pico: 60–100W / Femto:10–30W	موسم ثابت

الجدول (2-3) موسطات المحاكاة المعتمدة في سيناريو الشبكة القائمة بذاتها [19,20]

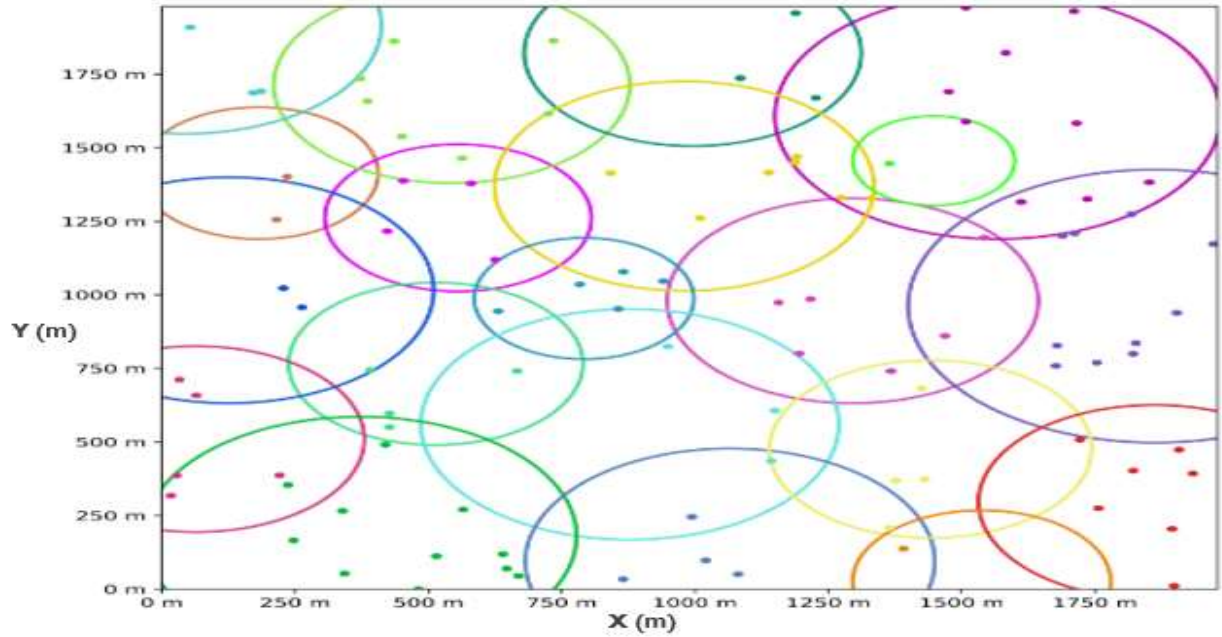
الموسط	القيمة والواحدة	ملاحظات
عدد المستخدمين	[100,500,1000,1500,2000,2500,3000,3500,4000,5000,10000] مستخدم	توزع المستخدمين عشوائياً
السماحية	2ms	-
عدد المحطات	20	-
معدل المعطيات المضمون لكل مستخدم	يختلف حسب الشريحة المطلوبة	-
الحد الأقصى لمعدل المعطيات المسموح لكل مستخدم		
الاستطاعة المستهلكة لكل محطة قاعدية	Micro: 80-150W / Pico: 40-70W / Femto:5-20W	موسط ثابت

جرى الاعتماد على رماز برمجي مطور في رسالة ماجستير في جامعة بوسفور Bosphorus في عام 2019 لشبكة مكونة من محطات قاعدية وزبائن، كما جرى الاعتماد على الموسطات المزودة من قبلهم لشبكات الجيل الخامس، ومواصفات كل محطة قاعدية وكل شريحة والتي سنشرح كل واحدة منها على حدة [19,20].

1-4-3 السيناريو الأول: سيناريو الشبكة غير القائمة بذاتها NSA

بدايةً جرى نشر عدد من المستخدمين عشوائياً ضمن مساحة $2 \times 2 \text{ Km}^2$ ، ولتغطية المنطقة بالكامل نحتاج إلى 20 محطة قاعدية. والمحطات القاعدية مختلفة بعرض المجال المخصص، ويُعبّر عن تغطية كل محطة بإطار يغطي عدد من المستخدمين المعبّر عنهم بنقاط تتلّون بلون الإطار أو المحطة القاعدية التي تُزوّدهم بالتغطية. يظهر الشكل (1-3) عشرون إطاراً موزعين على كامل المساحة، وتتنوع الزبائن ضمن هذه الأطارات عشوائياً بحركية متغيرة مع واحدة

الزمن. [19]



الشكل (1-3) نشر شبكة الجيل الخامس [19]

ونبين فيما يأتي مواصفات المحطات القاعدية المستخدمة ومخططات الحركة: [19]

1-1-4-3 المحطات القاعدية

تحتوي العقدة بي من الجيل القادم (gNodeB) Next-Generation Node B في الشبكة غير القائمة بذاتها على

الآتي لتنظيم توزيع الموارد بين المحطات في الشبكة:

- معدل المعطيات لكل محطة قاعدية.
- المجال المضمون لكل مستخدم.
- الحد الأقصى لعرض المجال لكل مستخدم.
- التلوث.

يبين الجدول (3-3) مواصفات المحطات القاعدية المعتمدة في سيناريو الشبكات غير القائمة: [19]

الجدول (3-3) مواصفات المحطات القاعدية بحالة الشبكة غير القائمة بذاتها [19]

نوع المحطة	معدل المعطيات لكل محطة	موقع المحطة (m) (نصف قطر المحطة، إحداثياتها)	رقم تعريف للمحطة القاعدية
Femto Cell	10Gbps	(1448,1456),152	1
Pico Cell	20Gbps-25Gbps- 30Gbps-40Gbps	(182,1414),224 (126,1016), 368	2 . 18
Micro Cell	50 Gbps-75Gbps	(960,625), 464 (1568,1608),418	19 20

يلاحظ في الجدول (3-3) أنّ الشبكة تحتوي على ثلاثة أنواع أساسية من المحطات تُعرّف برقم تعريف و معدّل معطيات مخصّص لكل محطة وإحداثيات ونصف قطر تُوضّح مكان توزّع المحطات على المساحة المدروسة، فلدينا محطة بمعدّل معطيات 10Gbps و 18 محطة بمعدّلات معطيات تختلف بين 20Gbps -40Gbps ومحطة بمعدّل 50Gbps. [19]

2-1-4-3 نموذج الحركة Mobility Pattern

كما يُوضّح الجدول (4-3) نماذج الحركة. وقد جرى تعيين وسحب المخرجات وفقاً للتوزيعات الاحتمالية العشوائية الموجودة ضمن منطقة الدراسة. وقد تمّ اعتماد الدراسة السابقة من جامعة نيو مكسيكو للحصول على التوزيعات الاحتمالية [21].

الجدول (4-3) نماذج الحركة في الشبكة غير القائمة بذاتها [21]

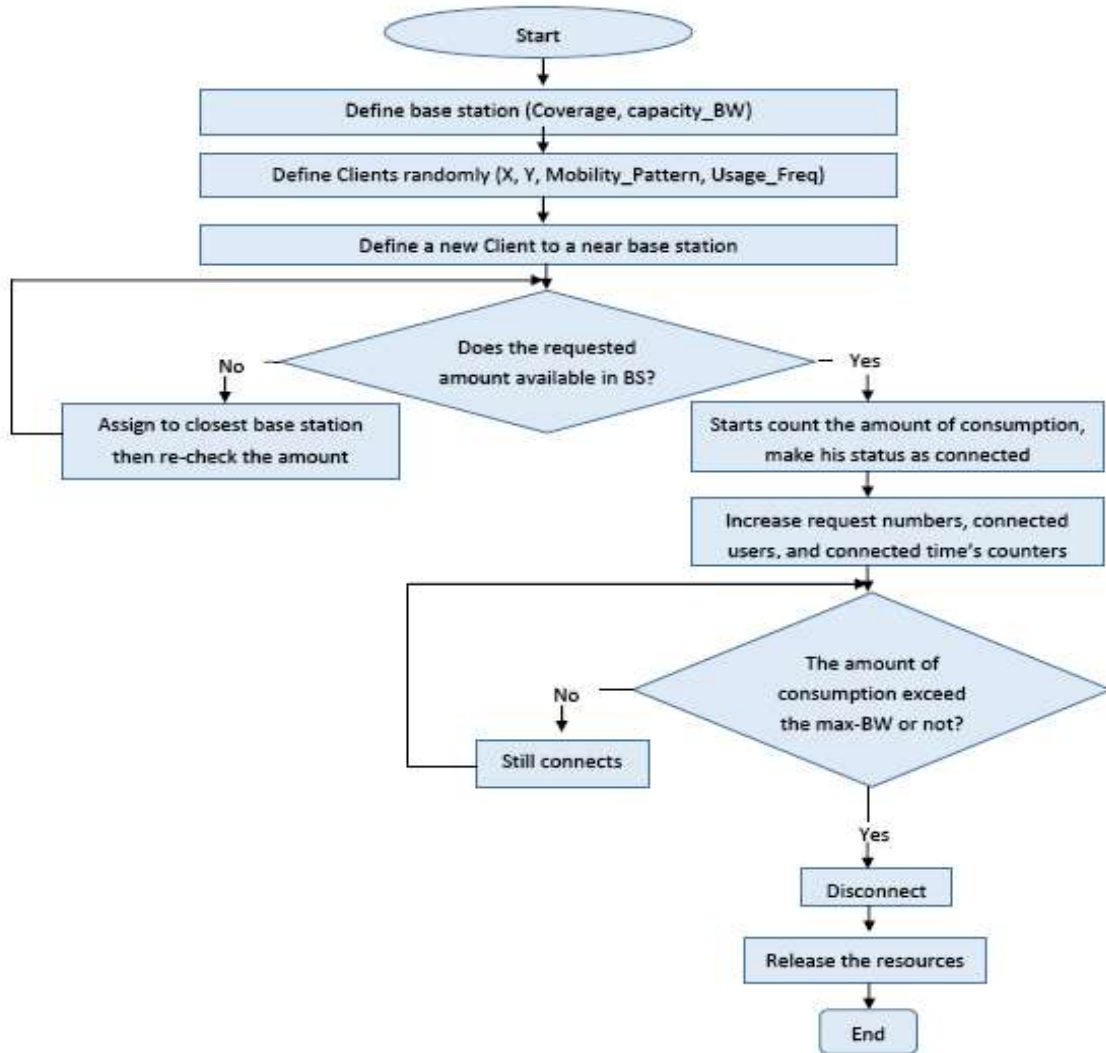
Name	Distribution	Parameters
Car	Normal Dist.	$N(\mu=0, \sigma=7)$
Walk	Random Integer	Min= 0, max= 7
Stationary	Normal Dist.	$N(\mu=0, \sigma=0.1)$
Slack Person	Random Integer	Min= 0, max= 1

يُوضّح الجدول (5-3) توزّع المستخدمين على المساحة المدروسة حسب التوزيعات الاحتمالية [21] بالإضافة إلى ذلك، قد جرى توزيع الترددات بين المستخدمين ضمن مجال ترددات الجيل الخامس 6GHZ.

الجدول (5-3) توزّع المستخدمين في شبكتي الجيل الخامس القائمة بذاتها وغير القائمة بذاتها [21]

Name	Distribution	Parameters
X	Random Integer	Min= 0, max= 1980
Y	Random Integer	Min= 0, max= 1980

ويبين الشكل (2-3) المخطط التدفقي بحالة سيناريو الشبكة غير القائمة بذاتها.



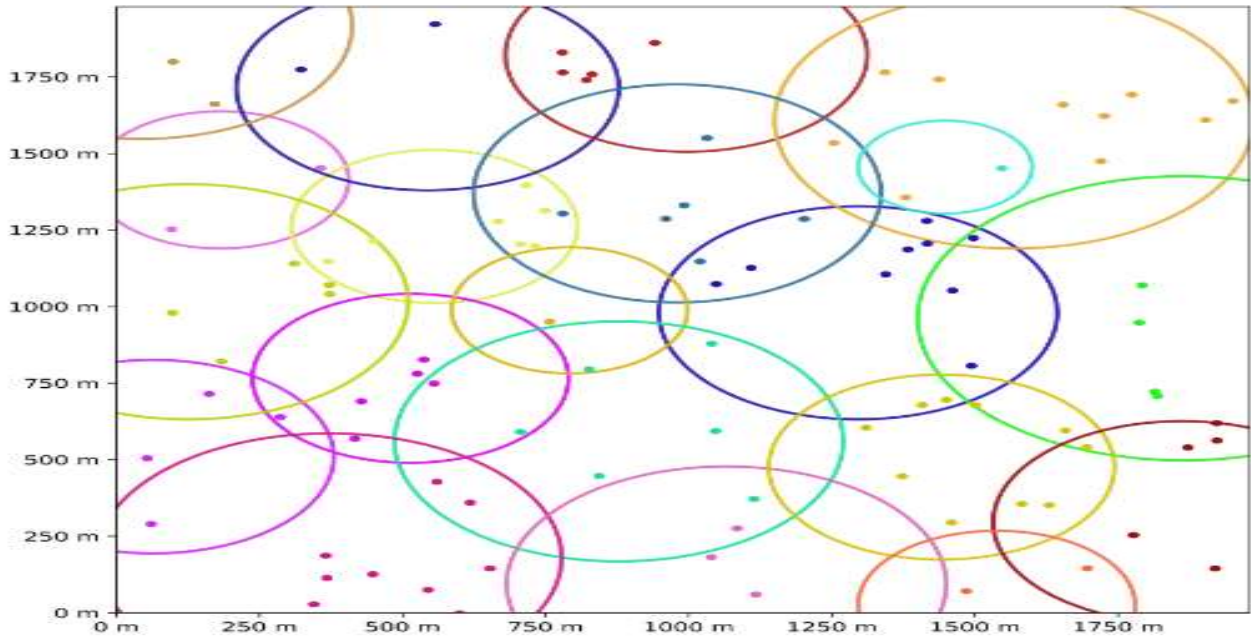
الشكل (2-3) المخطط التدفقي لسيناريو شبكة غير قائمة بذاتها [19]

3-1-4-3 نتائج المحاكاة في سيناريو الشبكة غير القائمة بذاتها:

تهدف عملية المحاكاة إلى دراسة أثر تغيير عدد المستخدمين على أداء شبكتي الجيل الخامس القائمة بذاتها و غير القائمة بذاتها، الذي له تأثير كبير على نسبة التغطية ومعدل المعطيات الكلي من أصل عرض المجال الكلي الذي يمكن تقديمه من قبل كل محطة قاعدية. ومن أجل تحليل هذا الأثر سنقوم بإيجاد مقاييس الأداء من أجل إحدى عشرة قيمة لعدد المستخدمين في الشبكة وهي: 100، 500، 1000، 1500، 2000، 2500، 3000، 3500، 4000، 5000، 10000.

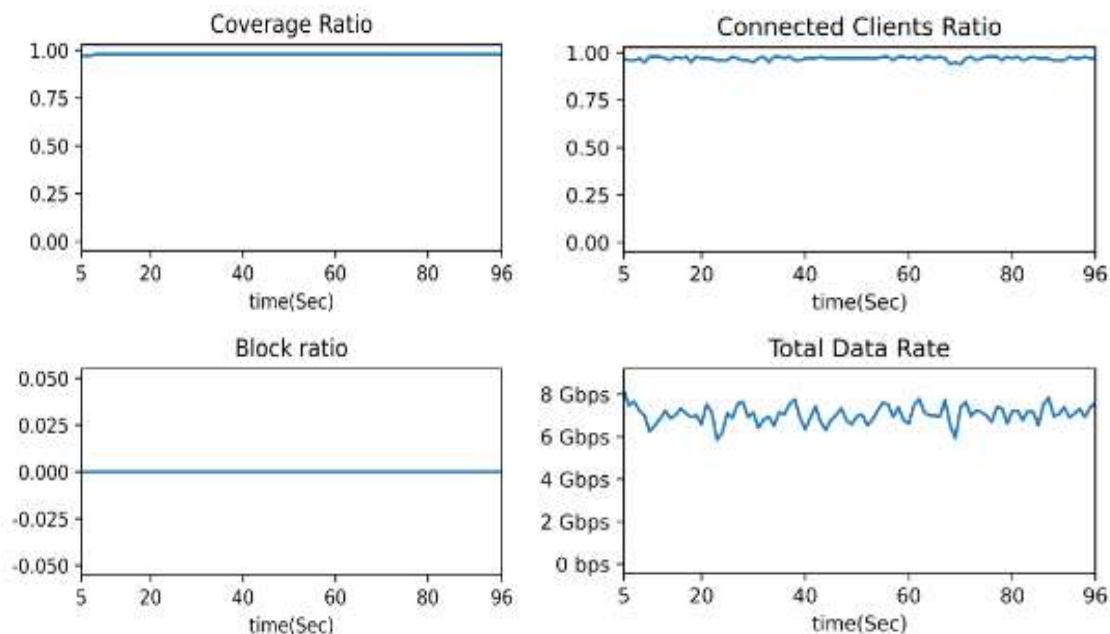
-نتائج المحاكاة في سيناريو الشبكة غير القائمة بذاتها من أجل عدد مستخدمين 100:

يوضح الشكل (3-3) التموضع العشوائي لمئة مستخدم في شبكة جيل خامس تقليدية تتمثل بالنقاط الملونة، ولون النقاط يدل على المستخدمين في منطقة تغطية محطة معينة، مع الأخذ بالحسبان أن المنطقة المدروسة تحوي 20 محطة قاعدية تتمثل بإطارات ملونة مختلفة بالخصائص فيما بينها.



الشكل (3-3) نشر شبكة الجيل الخامس في الشبكة غير القائمة بذاتها من أجل عدد مستخدمين يساوي 100 [الباحث]

يبين الشكل (4-3) تغير مقاييس الأداء بدلالة الزمن بحالة عدد مستخدمين يساوي 100. ويُظهر الجدول (6-3) متوسط قيم مقاييس الأداء التي جرى الحصول عليها.



الشكل (4-3) تغير مقاييس الأداء بدلالة الزمن من أجل عدد مستخدمين يساوي 100 في الشبكة غير القائمة بذاتها [الباحث]

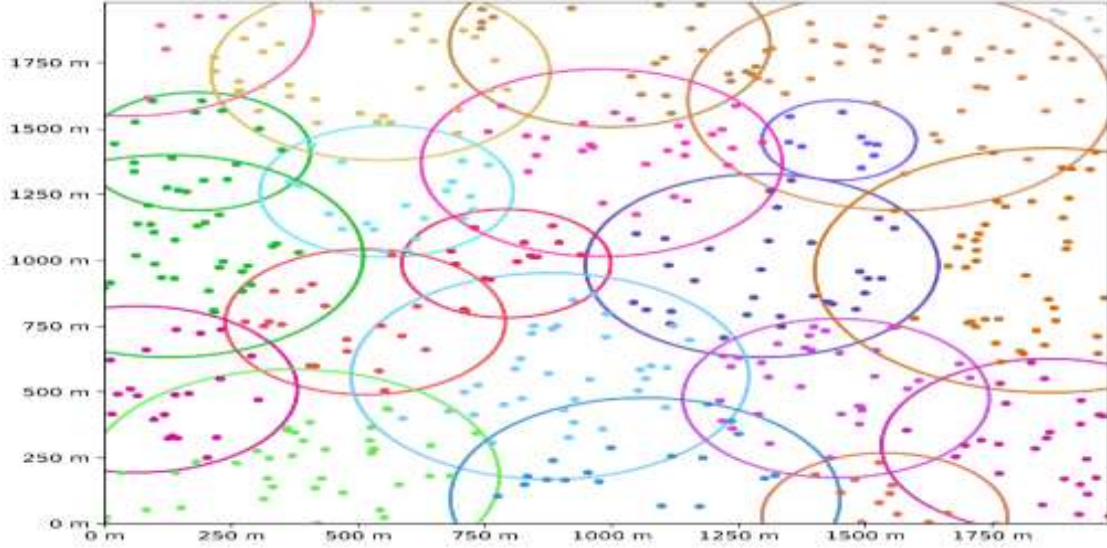
الجدول (6-3) متوسط قيم مقاييس الأداء من أجل عدد مستخدمين يساوي 100 في الشبكة غير القائمة بذاتها [الباحث]

Initial number of clients	100
Average connected client	0.97
Total Data Rate	7.046 Gbps
Average coverage ratio	0.97
Average block ratio	0.0000

يوضح الشكل (4-3) والجدول (6-3) أنَّ الشبكة بحالة عدد مستخدمين 100 تغطّي هذه الشبكة تقريباً جميع المستخدمين بنسبة 97% في حين نسبة الحجب كانت مساوية للصفر، وبلغ متوسط عدد المستخدمين المتصلين حوالي 97% وقد كان متوسط معدل المعطيات الكلي الموافق لهم 7.6Gbps، وهذه حالة الشبكة المثالية التي تغطي جميع المستخدمين.

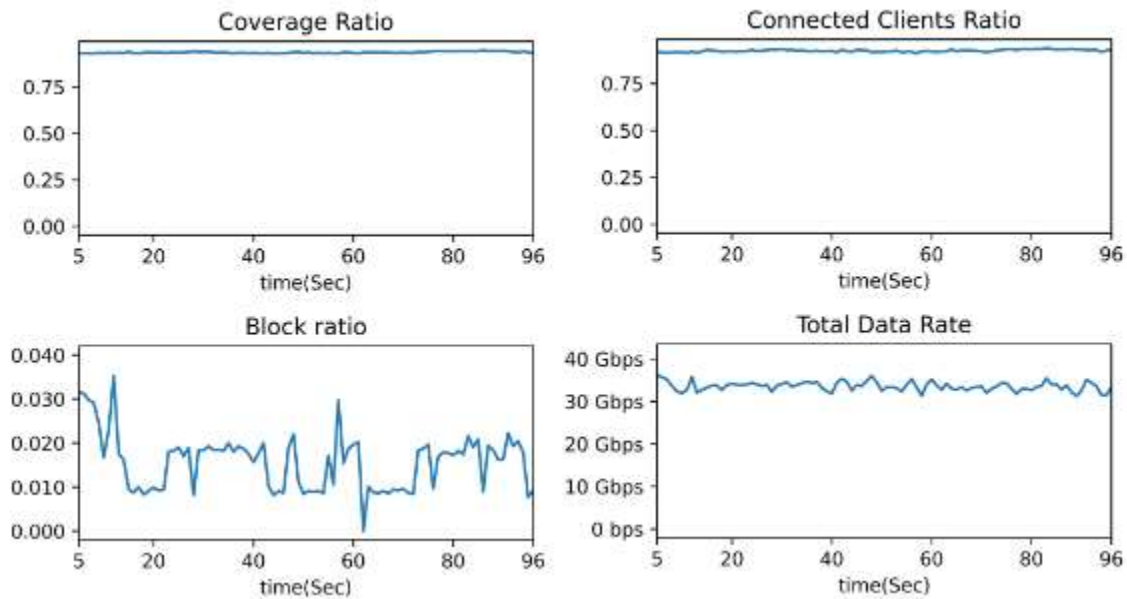
-نتائج المحاكاة في سيناريو الشبكة غير القائمة بذاتها من أجل عدد مستخدمين 500:

يُوضح الشكل (5-3) التموضع العشوائي بحالة عدد مستخدمين 500.



الشكل (5-3) نشر شبكة الجيل الخامس في الشبكة غير القائمة بذاتها من أجل عدد مستخدمين يساوي 500 [الباحث]

يبين الشكل (6-3) تغير مقاييس الأداء بدلالة الزمن بحالة عدد مستخدمين يساوي 500. ويُظهر الجدول (7-3) متوسط قيم مقاييس الأداء التي جرى الحصول عليها.



الشكل (6-3) تغير مقاييس الأداء بدلالة الزمن من أجل عدد مستخدمين يساوي 500 في الشبكة غير القائمة بذاتها [الباحث]

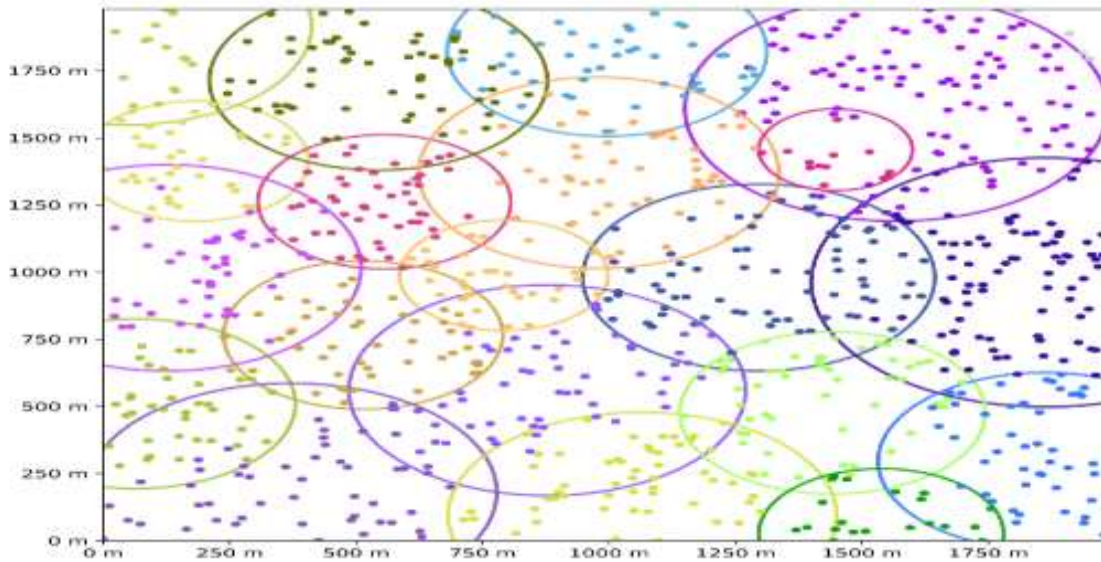
الجدول (7-3) متوسط قيم مقاييس الأداء من أجل عدد مستخدمين يساوي 500 في الشبكة غير القائمة بذاتها [الباحث]

Initial number of clients	500
Average connected client	0.92
Total Data Rate	33.549 Gbps
Average coverage ratio	0.94
Average block ratio	0.0158

نستنتج من الشكل (6-3) والجدول (7-3) أنّ الشبكة أصبحت تغطّي المستخدمين بنسبة 94% بسبب زيادة عدد المستخدمين في الشبكة، مع ملاحظة توزّعهم العشوائي الذي قد يؤدي إلى حدوث اختناق في بعض المحطات القاعدية، ومن ثمّ نفاذ الموارد المخصصة لها ممّا يؤدي إلى عدّ المستخدم خارج حدود التغطية وزيادة نسبة الحجب في حال عدم وجود محطة قاعدية مجاورة حيث تحدث عملية المناولة handover، ووفقاً لنسبة التغطية أصبحت نسبة المستخدمين المربوطين 92% في حين ارتفعت نسبة الحجب إلى قيمة 1.58%، وبلغ معدل المعطيات الكلي 33.549 Gbps.

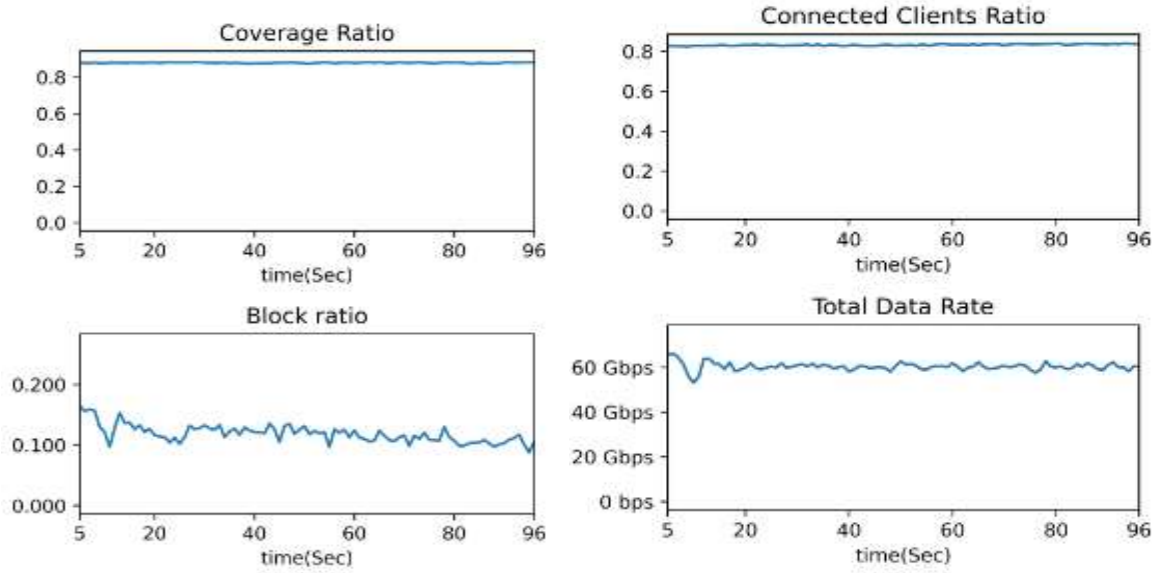
-نتائج المحاكاة في سيناريو الشبكة غير القائمة بذاتها من أجل عدد مستخدمين 1000:

يُوضح الشكل (7-3) التوزيع العشوائي بحالة عدد مستخدمين 1000.



الشكل (7-3) نشر شبكة الجيل الخامس في الشبكة غير القائمة بذاتها من أجل عدد مستخدمين يساوي 1000 [الباحث]

بيّن الشكل (8-3) تغير مقاييس الأداء بدلالة الزمن بحالة عدد مستخدمين يساوي 1000. ويُظهر الجدول (8-3) متوسط قيم مقاييس الأداء التي جرى الحصول عليها.



الشكل (8-3) تغير مقاييس الأداء بدلالة الزمن من أجل عدد مستخدمين يساوي 1000 في الشبكة غير القائمة بذاتها [الباحث]

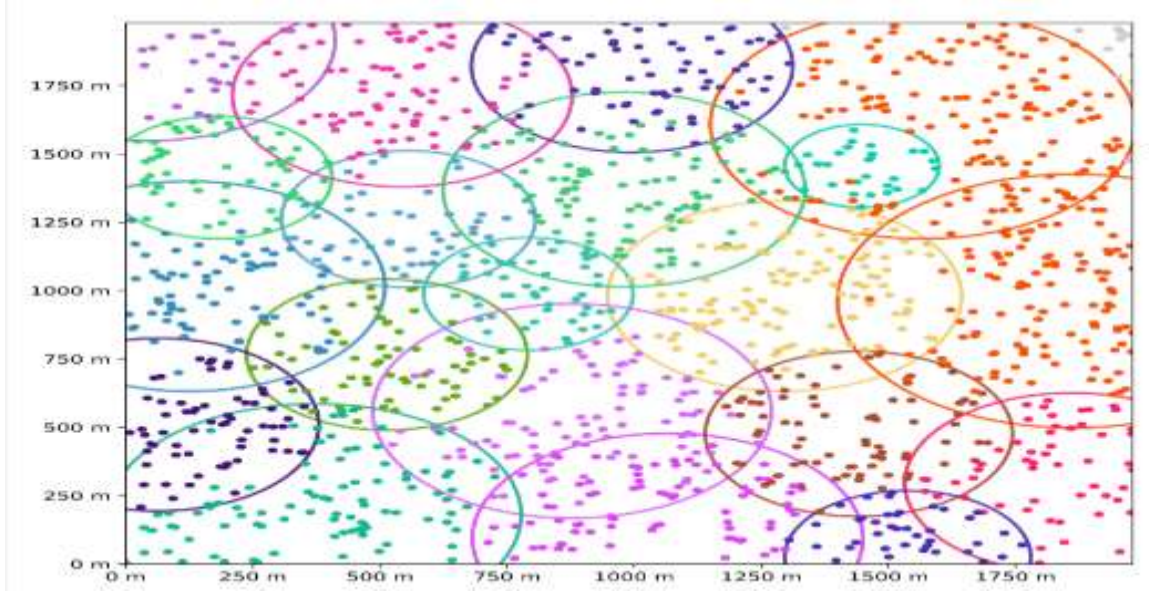
الجدول (8-3) متوسط قيم مقاييس الأداء من أجل عدد مستخدمين يساوي 1000 في الشبكة غير القائمة بذاتها [الباحث]

Initial number of clients	1000
Average connected client	0.83
Total Data Rate	60.326 Gbps
Average coverage ratio	0.935
Average block ratio	0.1067

يُلاحظ وفقاً للشكل (8-3) والجدول (8-3) أنّ الشبكة بحالة عدد مستخدمين 1000 انخفضت تغطيتها بسبب زيادة العدد وبالتالي زيادة الطلب على موارد الشبكة لنسبة 93% وبالتالي نسبة المستخدمين المتصلين انخفضت وفقاً لها لتصبح 83% ونسبة الحجب ارتفعت لقيمة 10.87% وبلغ معدّل المعطيات الكلي المستهلك من قبل المستخدمين الذين يستخدمون الشبكة بحدود 60.326 Gbps.

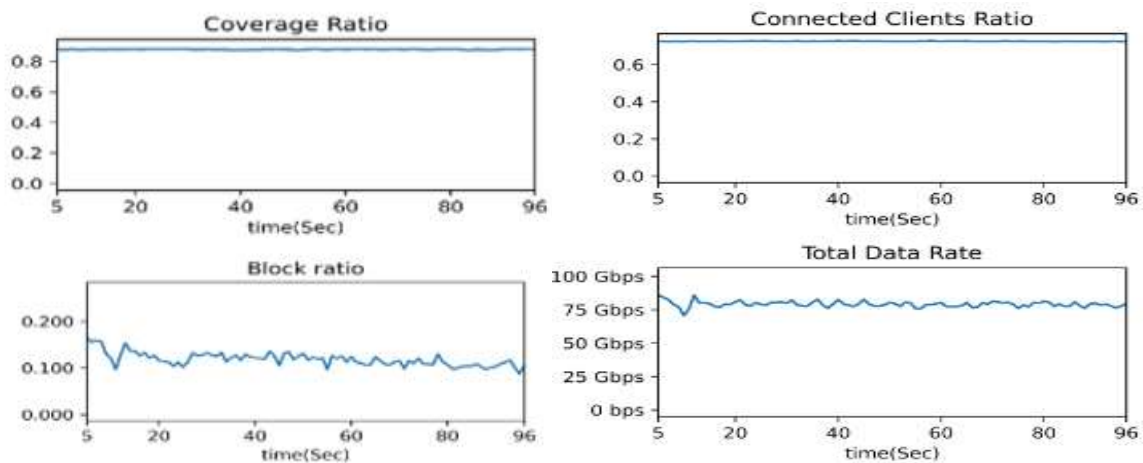
-نتائج المحاكاة في سيناريو الشبكة غير القائمة بذاتها من أجل عدد مستخدمين 1500:

يُوضح الشكل (9-3) التموضع العشوائي بحالة عدد مستخدمين 1500.



الشكل (9-3) نشر شبكة الجيل الخامس في الشبكة غير القائمة بذاتها من أجل عدد مستخدمين يساوي 1500 [الباحث]

يبين الشكل (10-3) تغير مقاييس الأداء بدلالة الزمن بحالة عدد مستخدمين يساوي 1500. ويُظهر الجدول (9-3) متوسط قيم مقاييس الأداء التي جرى الحصول عليها.



الشكل (10-3) تغير مقاييس الأداء بدلالة الزمن من أجل عدد مستخدمين يساوي 1500 في الشبكة غير القائمة بذاتها [الباحث]

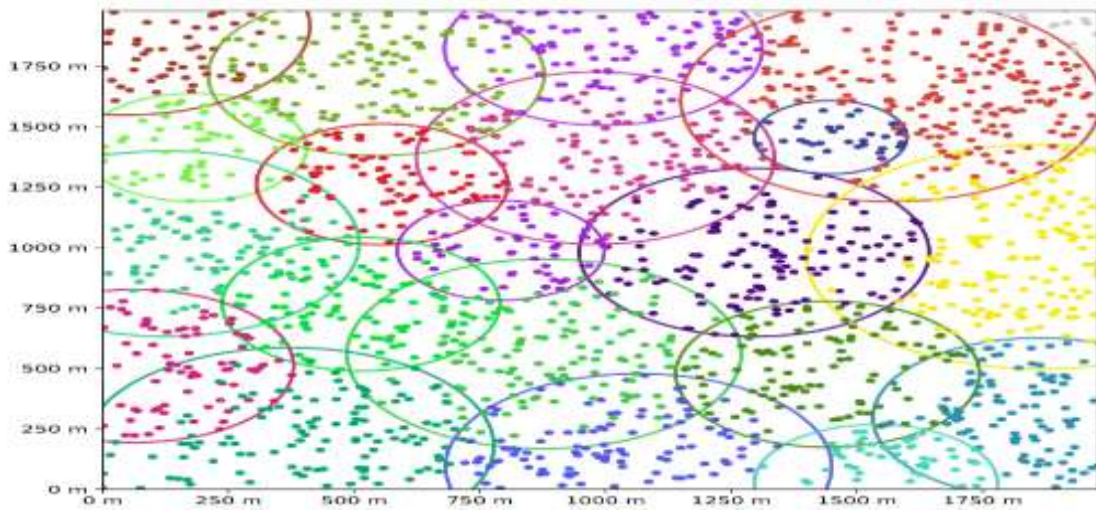
الجدول (9-3) متوسط قيم مقاييس الأداء من أجل عدد مستخدمين يساوي 1500 في الشبكة غير القائمة بذاتها [الباحث]

Initial number of clients	1500
Average connected client	0.70
Total Data Rate	79.156 Gbps
Average coverage ratio	0.852
Average block ratio	0.1542

نلاحظ من الشكل (10-3) والجدول (9-3) أنَّ تغطية الشبكة بلغت نسبة 85% عندما أصبح عدد المستخدمين 1500 ونسبة المستخدمين المتصلين انخفضت وفقاً لها لتصبح 70% في حين نسبة رفض المستخدمين ارتفعت لقيمة 15.4% ومعدل المعطيات الكلي المستهلك من قبل المستخدمين الذين يستخدمون الشبكة بحدود 79.156 Gbps.

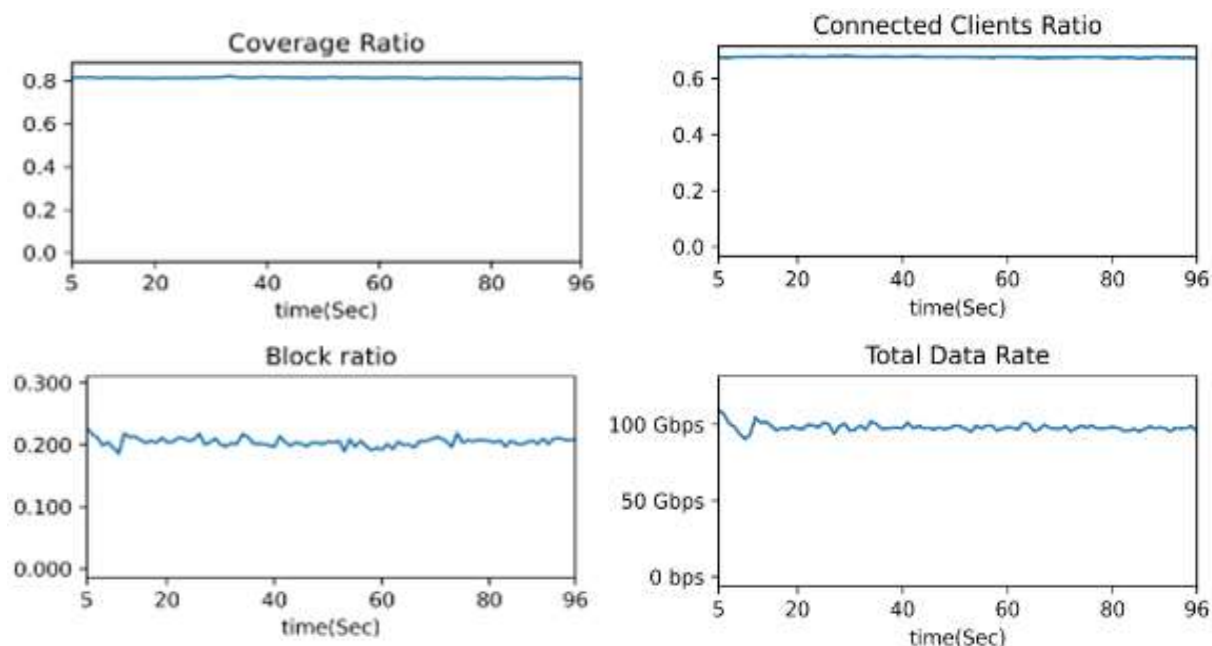
–نتائج المحاكاة في سيناريو الشبكة غير القائمة بذاتها من أجل عدد مستخدمين 2000:

يُوضح الشكل (11-3) التوزيع العشوائي بحالة عدد مستخدمين 2000.



الشكل (11-3) نشر شبكة الجيل الخامس في الشبكة غير القائمة بذاتها من أجل عدد مستخدمين يساوي 2000 [الباحث]

يبين الشكل (12-3) تغير مقاييس الأداء بدلالة الزمن بحالة عدد مستخدمين يساوي 2000. ويُظهر الجدول (10-3) متوسط قيم مقاييس الأداء التي جرى الحصول عليها.



الشكل (12-3) تغير مقاييس الأداء بدلالة الزمن من أجل عدد مستخدمين يساوي 2000 في الشبكة غير القائمة بذاتها [الباحث]

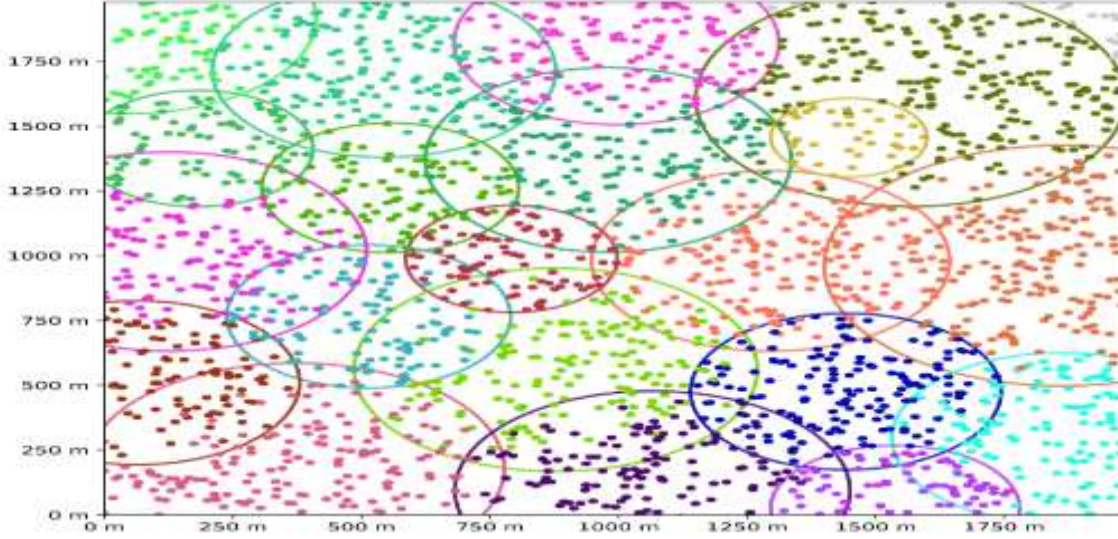
الجدول (10-3) متوسط قيم مقاييس الأداء من أجل عدد مستخدمين يساوي 2000 في الشبكة غير القائمة بذاتها [الباحث]

Initial number of clients	2000
Average connected client	0.63
Total Data Rate	98.077 Gbps
Average coverage ratio	0.808
Average block ratio	0.178

يظهر الشكل (12-3) والجدول (10-3) أنَّ تغطية الشبكة تواصل الانخفاض مع زيادة عدد المستخدمين لتصل في حالة 2000 مستخدم إلى القيمة 80% ونسبة المستخدمين المتصلين انخفضت وفقاً لها لتصبح 63% في حين نسبة الحجب ارتفعت إلى قيمة 17.82% ومعدل المعطيات الكلي المستهلك من قبل المستخدمين الذين يستخدمون الشبكة بحدود 98.077 Gbps.

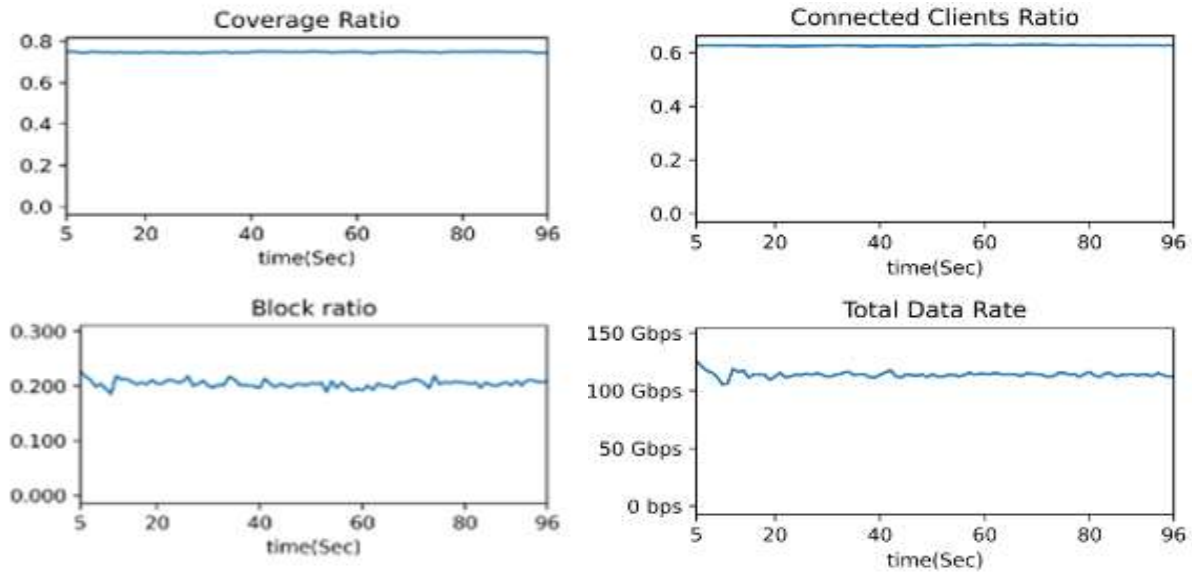
-نتائج المحاكاة في سيناريو الشبكة غير القائمة بذاتها من أجل عدد مستخدمين 2500:

يُوضح الشكل (13-3) التوزيع العشوائي بحالة عدد مستخدمين 2500.



الشكل (13-3) نشر شبكة الجيل الخامس في الشبكة غير القائمة بذاتها من أجل عدد مستخدمين يساوي 2500 [الباحث]

يبين الشكل (14-3) تغير مقاييس الأداء بدلالة الزمن بحالة عدد مستخدمين يساوي 2500. ويُظهر الجدول (11-3) متوسط قيم مقاييس الأداء التي جرى الحصول عليها.



الشكل (14-3) تغير مقاييس الأداء بدلالة الزمن من أجل عدد مستخدمين يساوي 2500 في الشبكة غير القائمة بذاتها [الباحث]

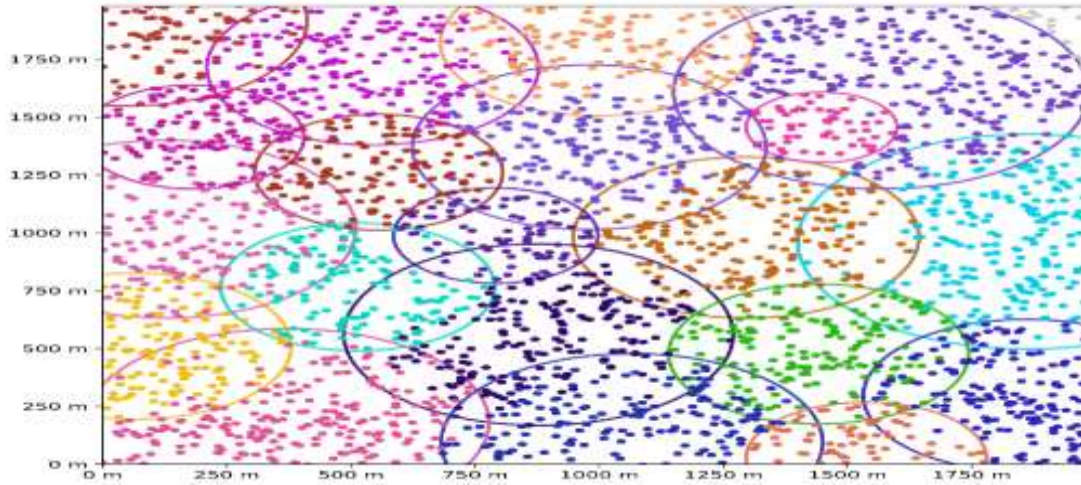
الجدول (11-3) متوسط قيم مقاييس الأداء من أجل عدد مستخدمين يساوي 2500 في الشبكة غير القائمة بذاتها [الباحث]

Initial number of clients	2500
Average connected client	0.602
Total Data Rate	113.823 Gbps
Average coverage ratio	0.797
Average block ratio	0.195

نستنتج من الشكل (14-3) والجدول (11-3) أن التغطية أصبحت في حالة 2500 مستخدم تساوي 79% ونسبة المستخدمين المتصلين انخفضت لتصبح 60% في حين نسبة الحجب ارتفعت إلى قيمة 19.5% ومعدل المعطيات الكلي المستهلك من قبل المستخدمين بحدود 113.823 Gbps.

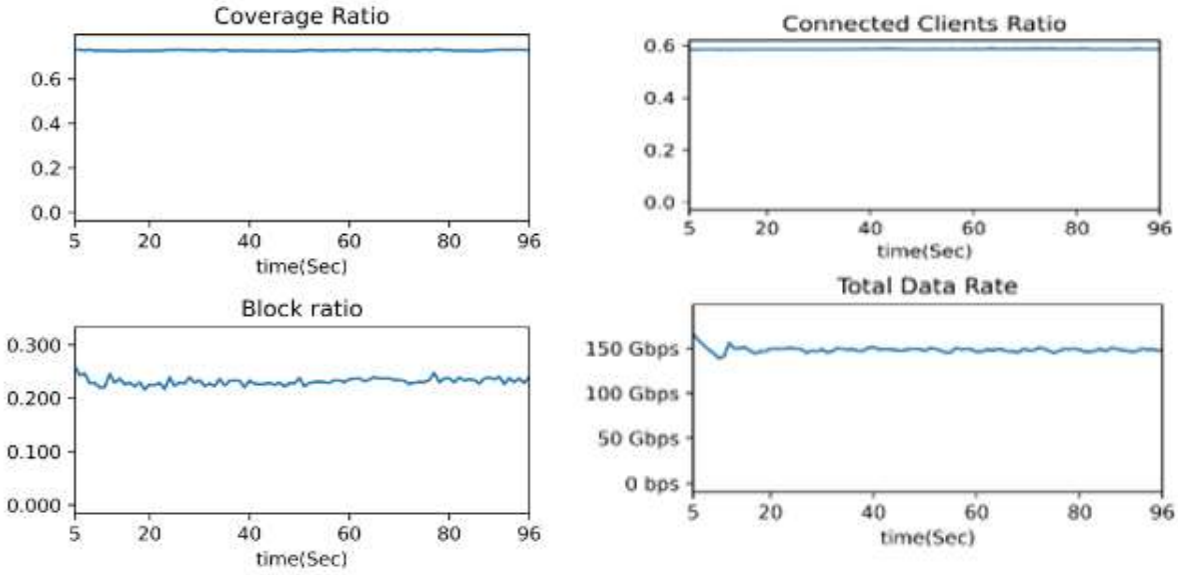
-نتائج المحاكاة في سيناريو الشبكة غير القائمة بذاتها من أجل عدد مستخدمين 3000:

يوضح الشكل (15-3) التوزيع العشوائي بحالة عدد مستخدمين 3000.



الشكل (15-3) نشر شبكة الجيل الخامس في الشبكة غير القائمة بذاتها من أجل عدد مستخدمين يساوي 3000 [الباحث]

يبين الشكل (16-3) تغير مقاييس الأداء بدلالة الزمن بحالة عدد مستخدمين يساوي 3000. ويظهر الجدول (12-3) متوسط قيم مقاييس الأداء التي جرى الحصول عليها.



الشكل (16-3) تغيير مقاييس الأداء بدلالة الزمن من أجل عدد مستخدمين يساوي 3000 في الشبكة غير القائمة بذاتها [الباحث]

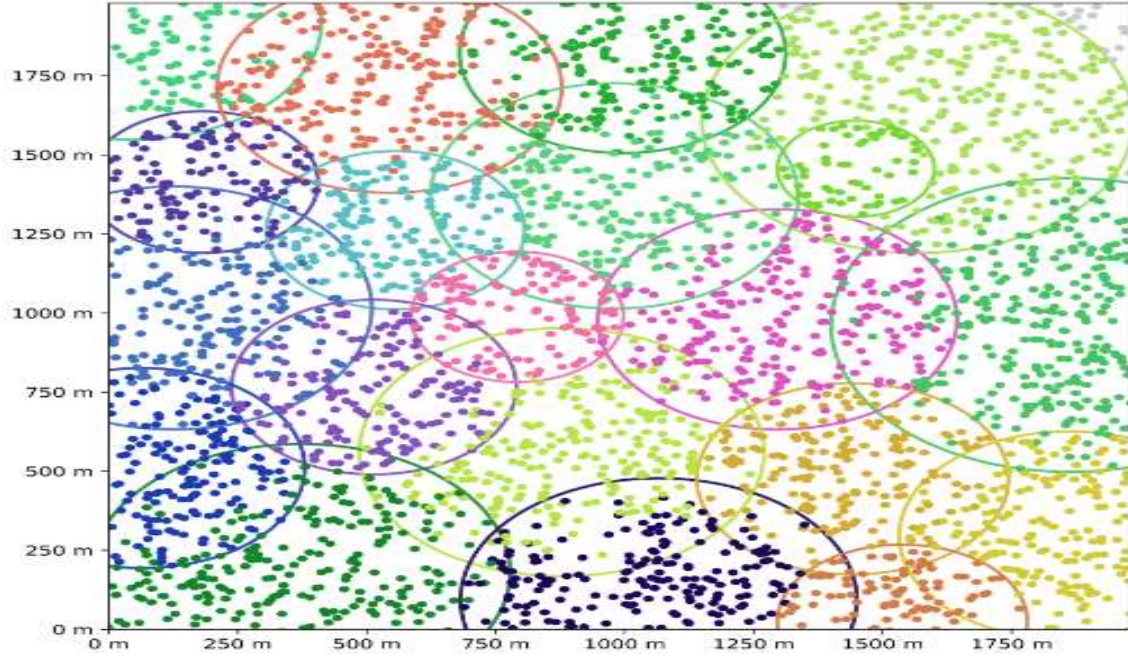
الجدول (12-3) متوسط قيم مقاييس الأداء من أجل عدد مستخدمين يساوي 3000 في الشبكة غير القائمة بذاتها [الباحث]

Initial number of clients	3000
Average connected client	0.576
Total Data Rate	131.950 Gbps
Average coverage ratio	0.789
Average block ratio	0.213

يظهر الشكل (16-3) والجدول (12-3) انخفاض التغطية إلى قيمة 78% وانخفاض نسبة المستخدمين المتصلين إلى نسبة 57% في حين نسبة الحجب ارتفعت إلى قيمة 21.3% ومعدل المعطيات الكلي المستهلك من قبل المستخدمين بحدود 131.950 Gbps.

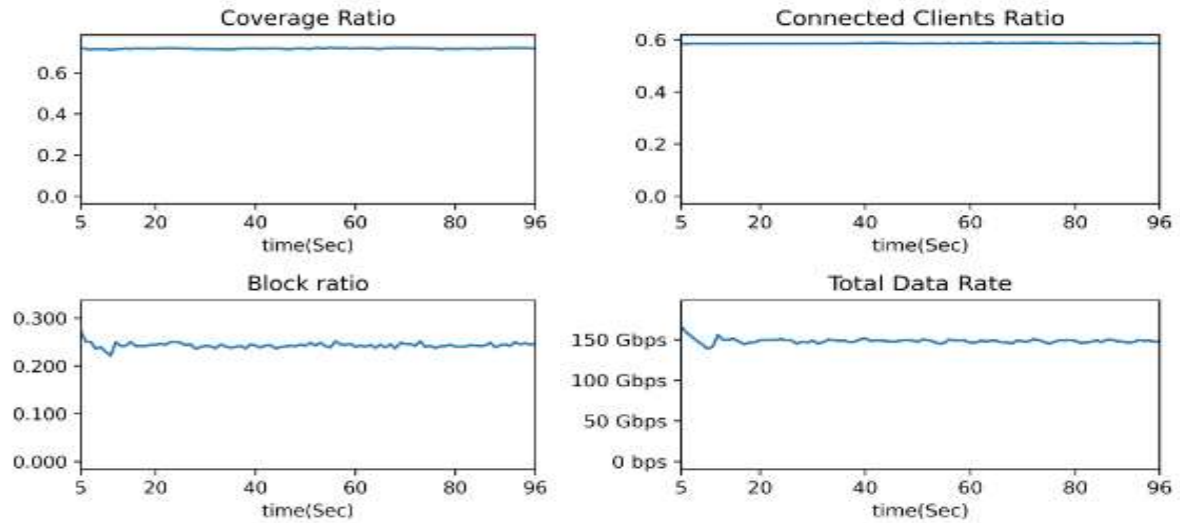
-نتائج المحاكاة في سيناريو الشبكة غير القائمة بذاتها من أجل عدد مستخدمين 3500:

يوضح الشكل (17-3) التوزيع العشوائي بحالة عدد مستخدمين 3500.



الشكل (3-17) نشر شبكة الجيل الخامس في الشبكة غير القائمة بذاتها من أجل عدد مستخدمين يساوي 3500 [الباحث]

يبين الشكل (3-18) تغير مقاييس الأداء بدلالة الزمن بحالة عدد مستخدمين يساوي 3500. ويُظهر الجدول (3-13) متوسط قيم مقاييس الأداء التي جرى الحصول عليها.



الشكل (3-18) تغير مقاييس الأداء بدلالة الزمن من أجل عدد مستخدمين يساوي 3500 في الشبكة غير القائمة بذاتها [الباحث]

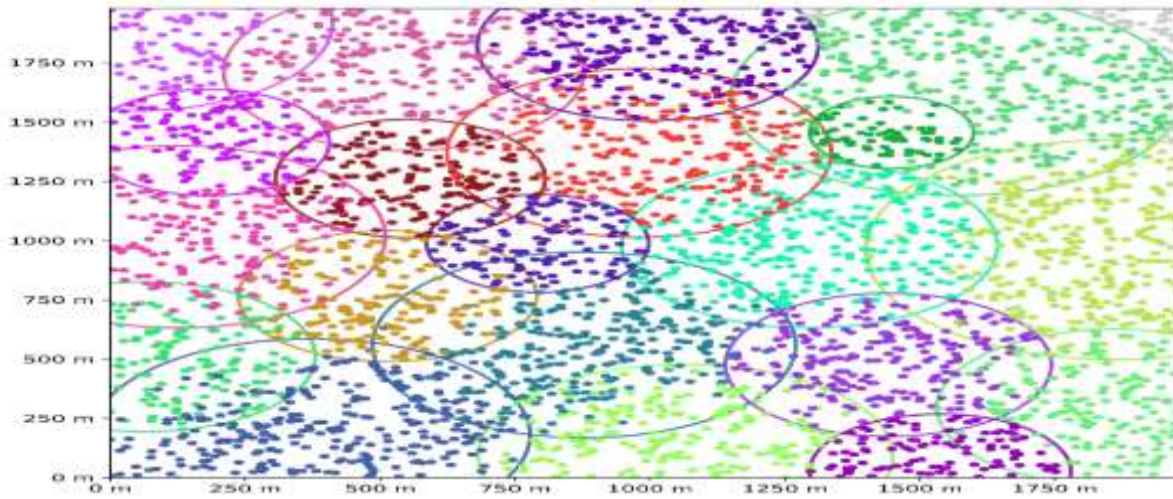
الجدول (13-3) متوسط قيم مقاييس الأداء من أجل عدد مستخدمين يساوي 3500 في الشبكة غير القائمة بذاتها [الباحث]

Initial number of clients	3500
Average connected client	0.551
Total Data Rate	148.341 Gbps
Average coverage ratio	0.771
Average block ratio	0.220

يظهر الشكل (18-3) والجدول (13-3) أنَّ نسبة التغطية وصلت إلى قيمة 77% ونسبة المستخدمين المتصلين انخفضت وفقاً لها لتصبح 55%، وذلك يُرجى لعدم قدرة الشبكة أي المحطات القاعدية في بعض الأوقات على توفير الموارد المطلوبة من قبل المستخدمين بالرغم من تواجدهم ضمن تغطية هذه المحطات، وبلغت نسبة الحجب 22% ومعدل المعطيات المستهلك 148Gbps.

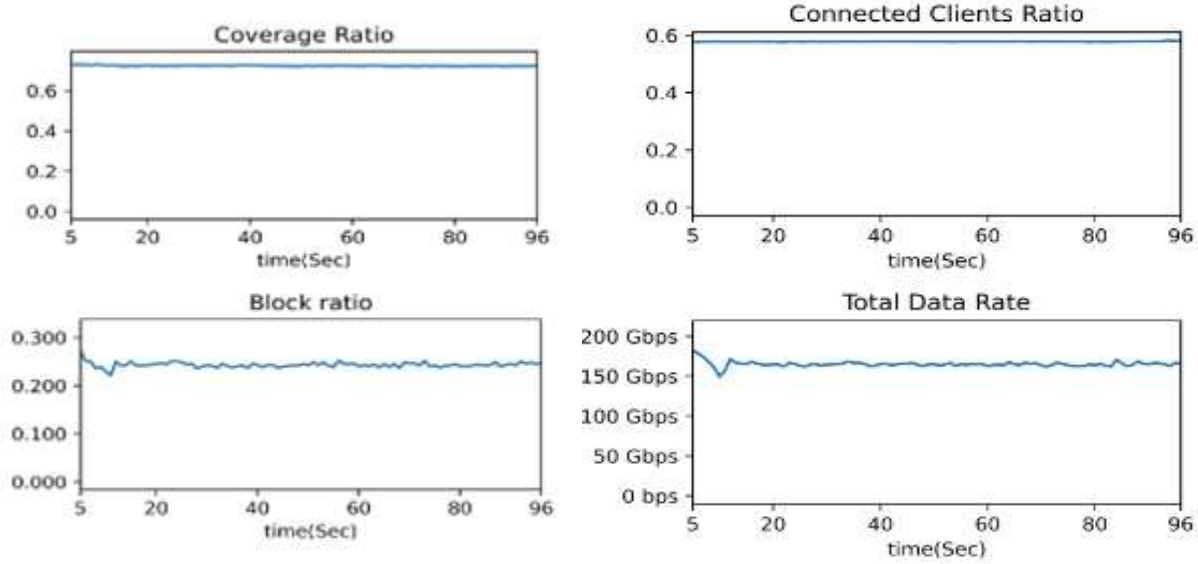
-نتائج المحاكاة في سيناريو الشبكة غير القائمة بذاتها من أجل عدد مستخدمين 4000:

يُوضح الشكل (19-3) التوزيع العشوائي بحالة عدد مستخدمين 4000.



الشكل (19-3) نشر شبكة الجيل الخامس في الشبكة غير القائمة بذاتها من أجل عدد مستخدمين يساوي 4000 [الباحث]

يبين الشكل (20-3) تغير مقاييس الأداء بدلالة الزمن بحالة عدد مستخدمين يساوي 4000. ويُظهر الجدول (14-3) متوسط قيم مقاييس الأداء التي جرى الحصول عليها.



الشكل (20-3) تغير مقاييس الأداء بدلالة الزمن من أجل عدد مستخدمين يساوي 4000 في الشبكة غير القائمة بذاتها [الباحث]

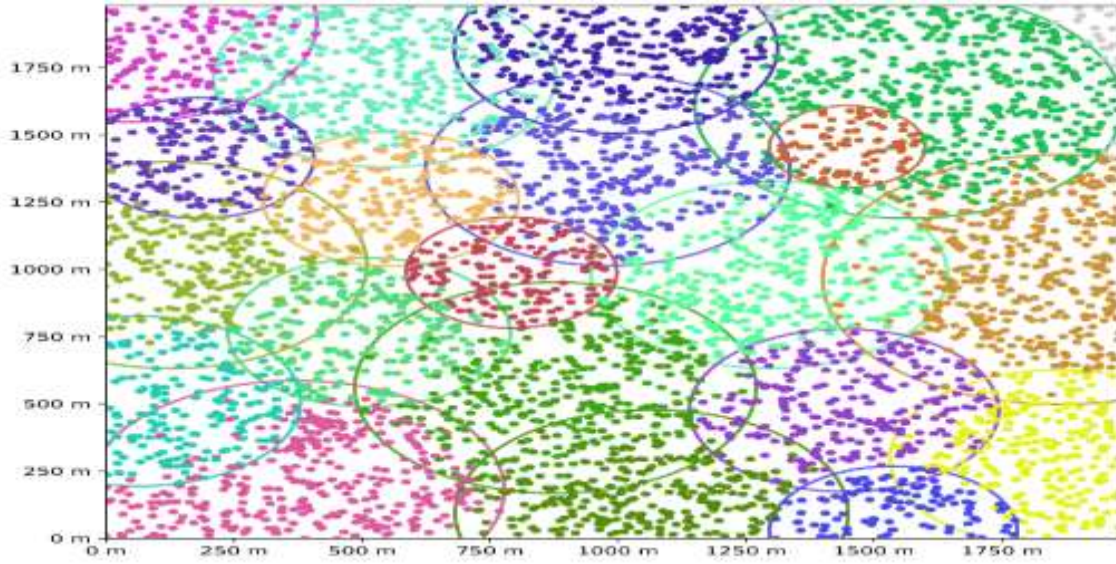
الجدول (14-3) متوسط قيم مقاييس الأداء من أجل عدد مستخدمين يساوي 4000 في الشبكة غير القائمة بذاتها [الباحث]

Initial number of clients	4000
Average connected client	0.531
Total Data Rate	165.025 Gbps
Average coverage ratio	0.761
Average block ratio	0.230

يظهر الشكل (20-3) والجدول (14-3) استمرار انخفاض التغطية مع زيادة عدد المستخدمين حيث بلغت 76% وانخفاض نسبة المستخدمين المتصلين 53% أي تقريباً نصف المستخدمين لم تستطع الشبكة تأمين موارد لهم، في حين بلغت نسبة الحجب تقريباً 23% ومعدل المعطيات الكلي المستهلك من قبل المستخدمين بحدود 165 Gbps.

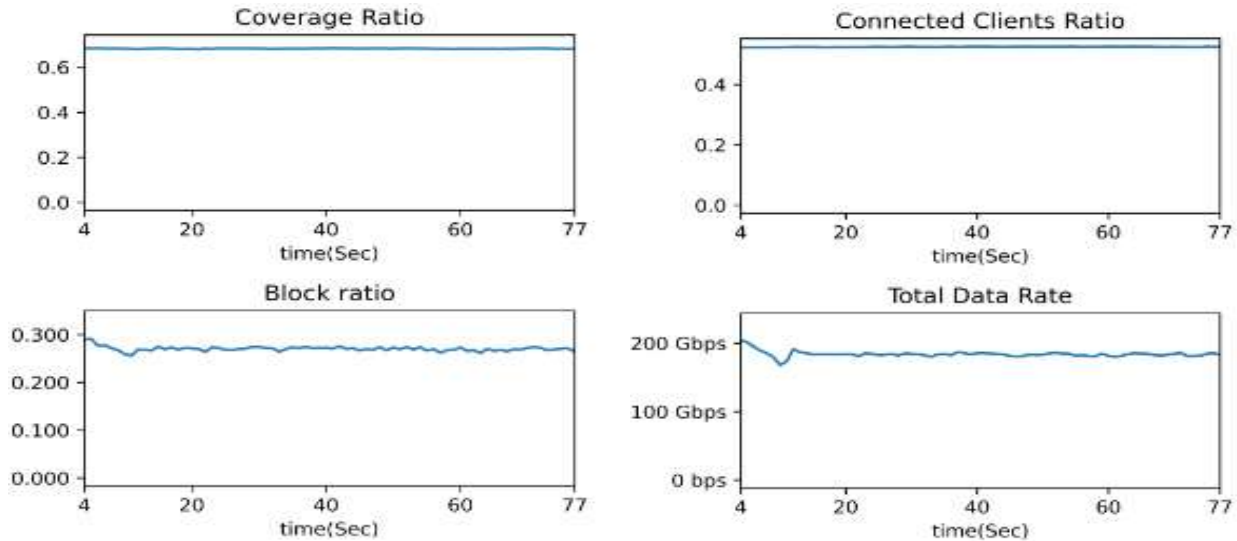
-نتائج المحاكاة في سيناريو الشبكة غير القائمة بذاتها من أجل عدد مستخدمين 5000:

يُوضح الشكل (21-3) التوزيع العشوائي بحالة عدد مستخدمين 5000.



الشكل (21-3) نشر شبكة الجيل الخامس في الشبكة غير القائمة بذاتها من أجل عدد مستخدمين يساوي 5000 [الباحث]

يبين الشكل (22-3) تغير مقاييس الأداء بدلالة الزمن بحالة عدد مستخدمين يساوي 5000. ويُظهر الجدول (3-15) متوسط قيم مقاييس الأداء التي جرى الحصول عليها.



الشكل (22-3) تغير مقاييس الأداء بدلالة الزمن من أجل عدد مستخدمين يساوي 5000 في الشبكة غير القائمة بذاتها [الباحث]

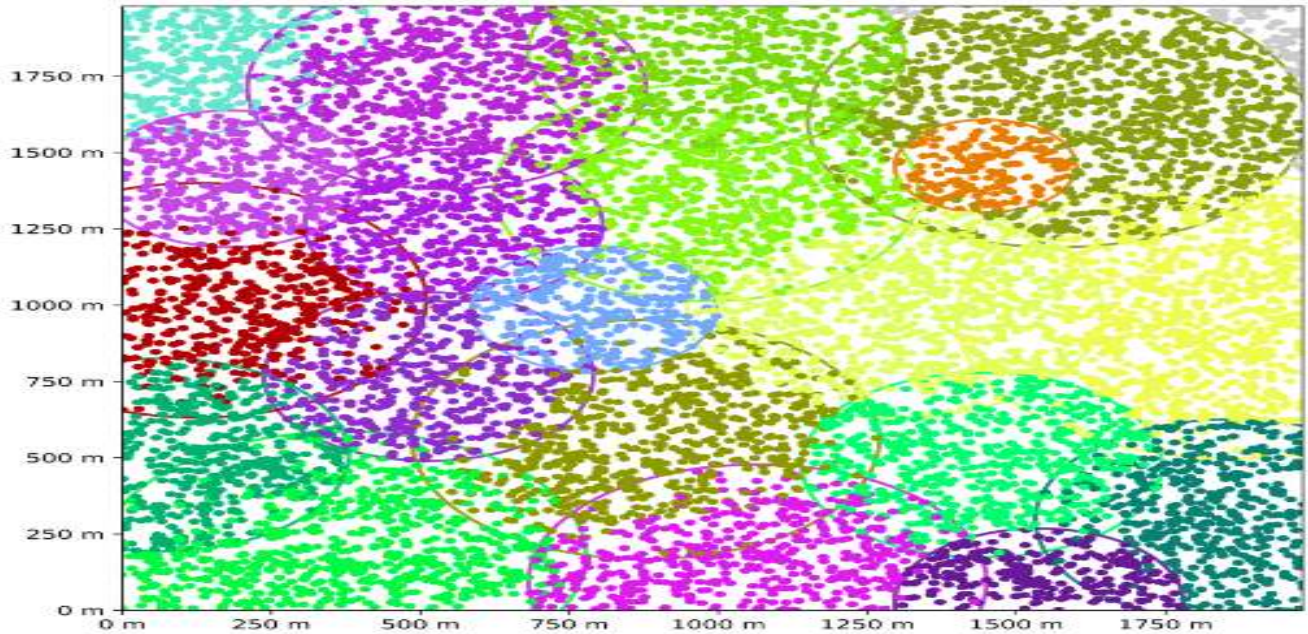
الجدول (15-3) متوسط قيم مقاييس الأداء من أجل عدد مستخدمين يساوي 5000 في الشبكة غير القائمة بذاتها [الباحث]

Initial number of clients	5000
Average connected client	0.50
Total Data Rate	183.991 Gbps
Average coverage ratio	0.743
Average block ratio	0.243

يبين الشكل (22-3) والجدول (15-3) استمرار انخفاض التغطية مع زيادة عدد المستخدمين لتصل إلى 74% وانخفاض نسبة المستخدمين المتصلين 50% أي تقريباً نصف المستخدمين لم تستطع الشبكة تأمين موارد لهم، في حين بلغت نسبة الحجب تقريباً 24% ومعدل المعطيات الكلي المستهلك من قبل المستخدمين بحدود 183 Gbps.

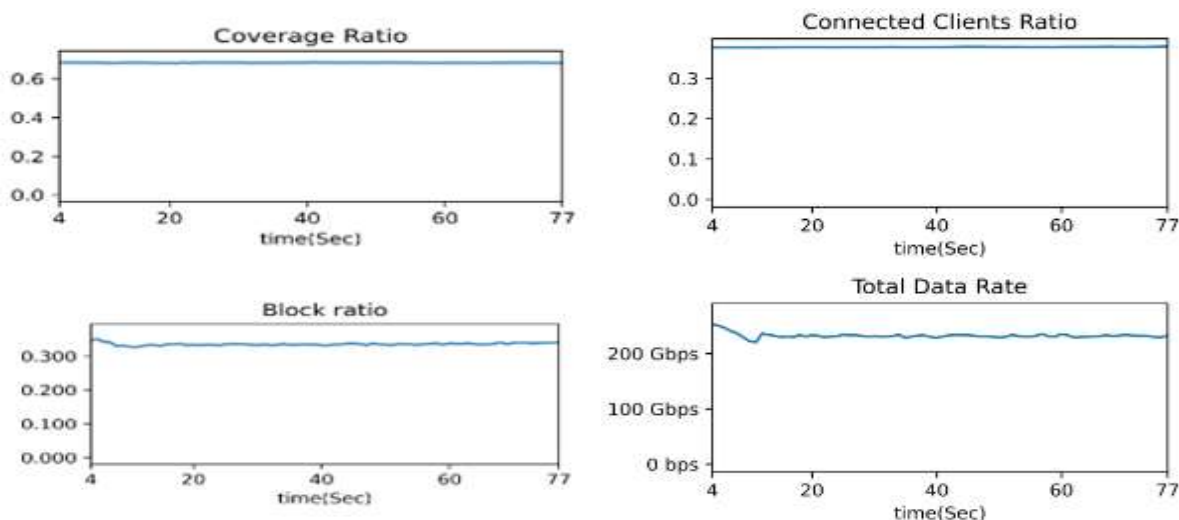
-نتائج المحاكاة في سيناريو الشبكة غير القائمة بذاتها من أجل عدد مستخدمين 10000:

يوضح الشكل (23-3) التوزيع العشوائي بحالة عدد مستخدمين 10000.



الشكل (23-3) نشر شبكة الجيل الخامس في الشبكة غير القائمة بذاتها من أجل عدد مستخدمين يساوي 10000 [الباحث]

بيّن الشكل (24-3) تغير مقاييس الأداء بدلالة الزمن بحالة عدد مستخدمين يساوي 10000. ويُظهر الجدول (16-3) متوسط قيم مقاييس الأداء التي جرى الحصول عليها.



الشكل (24-3) تغير مقاييس الأداء بدلالة الزمن من أجل عدد مستخدمين يساوي 10000 في الشبكة غير القائمة بذاتها [الباحث]

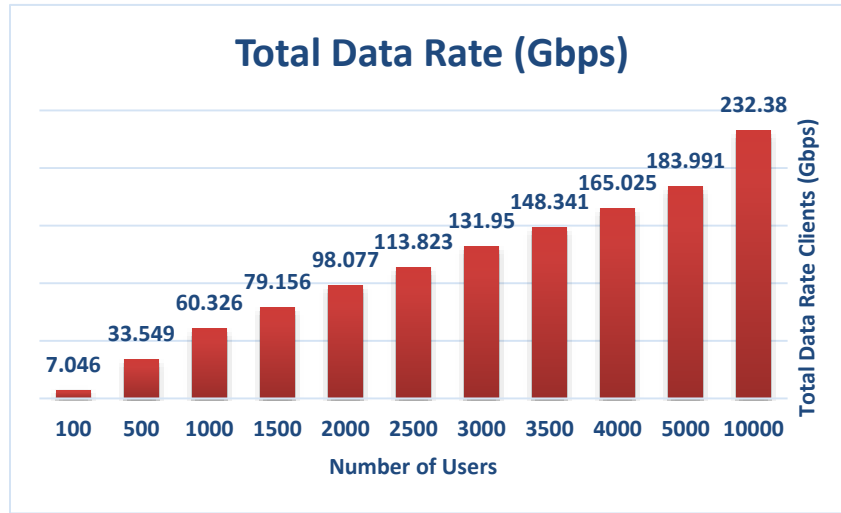
الجدول (16-3) متوسط قيم مقاييس الأداء من أجل عدد مستخدمين يساوي 10000 في الشبكة غير القائمة بذاتها [الباحث]

Initial number of clients	10000
Average connected client	0.322
Total Data Rate	232.382 Gbps
Average coverage ratio	0.633
Average block ratio	0.311

وأخيراً، تُظهر المحنّيات والجدول استمرار انخفاض التغطية مع زيادة عدد المستخدمين حيث أصبح عند عدد مستخدمين 10000 وهو يعتبر عدد كبير نسبياً مقارنةً مع حجم الشبكة كمساحة 63% وبالتالي انخفاض نسبة المستخدمين المتصلين 32%، في حين بلغت نسبة الحجب تقريباً 31% ومعدل المعطيات الكلي المستهلك من قبل المستخدمين بحدود 232 Gbps وهي أكبر قيمة معدل معطيات تم الحصول عليها في سيناريو الشبكة غير القائمة بذاتها.

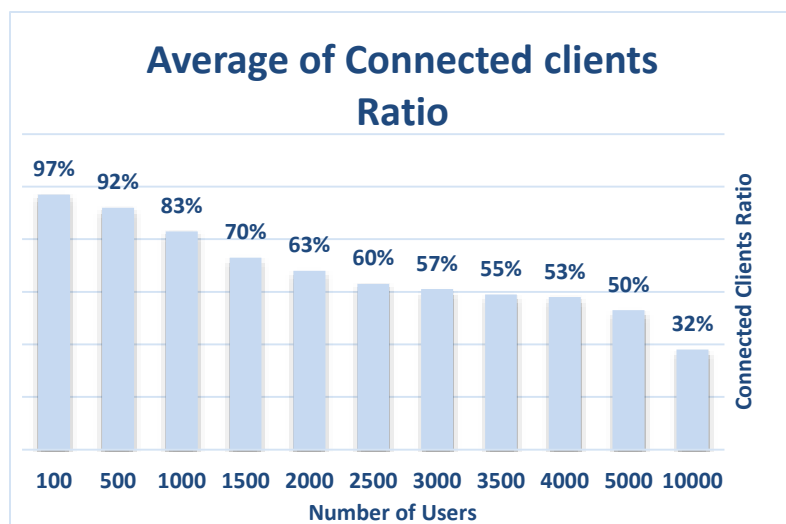
4-1-4-3 تحليل نتائج السيناريو الأول

كمُلخَص للأداء في الشبكات غير القائمة بذاتها نستنتج أنه كلما زاد عدد المستخدمين في الشبكة تنخفض إمكانية الشبكة لتأمين الموارد لهم ومن ثمَّ تزداد نسبة الحجب وتنخفض نسبة التغطية ، مع ملاحظة أن عرض المجال المستهلك يزداد حتماً مع زيادة عدد المستخدمين آخذين بالحسبان أن معدل المعطيات لكل مستخدم لا يزيد عن 10Mbps في هذه النوعية من الشبكات، ومع وجود احتمال انخفاض هذه القيمة لزيادة استيعاب الشبكة للكَمِّ الهائل من المستخدمين. تبين الأشكال (25-3)، (26-3)، (27-3)، (28-3) مقارنة بين مقاييس الأداء الأربعة مع زيادة عدد المستخدمين في الشبكة غير القائمة بذاتها:



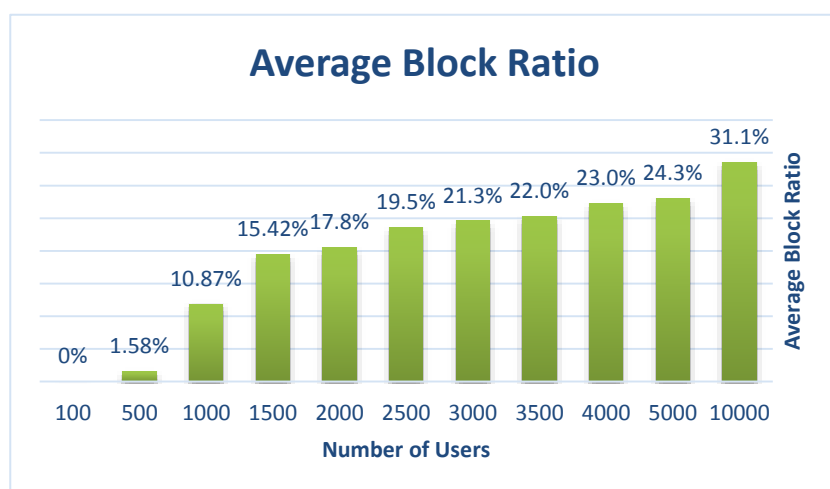
الشكل (25-3) مقارنة مقياس الأداء متوسط معدل المعطيات الكلي بدلالة عدد المستخدمين في الشبكة غير القائمة بذاتها [الباحث]

يلاحظ من الشكل (25-3) تزايد معدل المعطيات الكلي المستهلك عند تزايد عدد المستخدمين، وعند عدد مستخدمين يساوي 1000 بلغ معدل المعطيات 33Gbps وعند 3000 بلغ 131Gbps، فمعدل المعطيات يتناسب طردياً مع عدد المستخدمين.



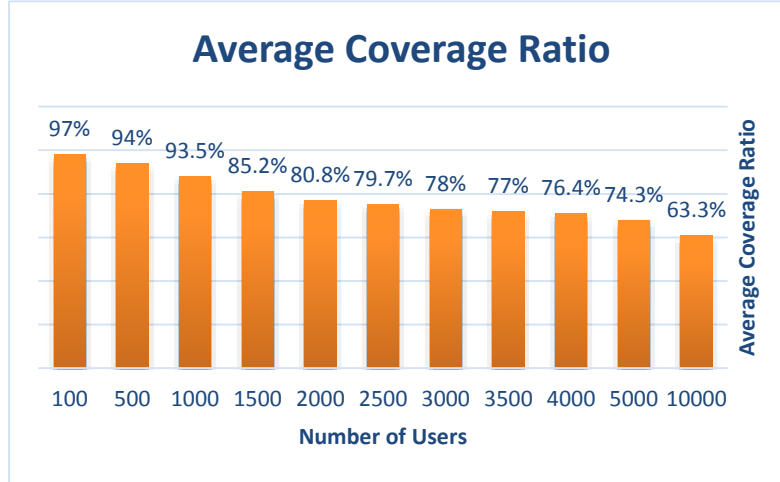
الشكل (26-3) مقارنة مقياس الأداء متوسط نسبة المستخدمين المتصلين بدلالة عدد المستخدمين في الشبكة غير القائمة بذاتها [الباحث]

يلاحظ من الشكل (26-3) تناقص متوسط نسبة المستخدمين المتصلين عند تزايد عدد المستخدمين، حيث عند عدد مستخدمين 1000 بلغ متوسط نسبة المستخدمين المتصلين 83% وعند 3000 بلغ 57%، نظراً لعدم قدرة الشبكة على تأمين الموارد لكافة المستخدمين، ومنه فإن متوسط نسبة المستخدمين المتصلين يتناسب عكساً مع عدد المستخدمين.



الشكل (27-3) مقارنة مقياس الأداء متوسط نسبة الحجب بدلالة عدد المستخدمين في الشبكة غير القائمة بذاتها [الباحث]

يلاحظ من الشكل (3-27) تزايد متوسط نسبة الحجب عند تزايد عدد المستخدمين، حيث عند عدد مستخدمين 1000 بلغ متوسط نسبة الحجب 10% وعند 3000 بلغ 21%، أيضاً نظراً لعدم قدرة الشبكة على تأمين الموارد لكافة المستخدمين، ومنه فإن متوسط نسبة الحجب يتناسب طردياً مع عدد المستخدمين.



الشكل (3-28) مقارنة مقياس الأداء متوسط نسبة التغطية بدلالة عدد المستخدمين في الشبكة غير القائمة بذاتها [الباحث]

يلاحظ من الشكل (3-28) تناقص متوسط نسبة التغطية عند تزايد عدد المستخدمين، حيث عند عدد مستخدمين 1000 بلغ متوسط نسبة التغطية 93.5% وعند 3000 بلغ 78%، وهذا يُعزى إلى عدم قدرة الشبكة على تأمين الموارد لكافة المستخدمين، ومنه فإن متوسط نسبة التغطية يتناسب عكساً مع عدد المستخدمين.

2-4-3 السيناريو الثاني: سيناريو الشبكة القائمة بذاتها SA

هنا أيضاً جرى نشر عدد من المستخدمين عشوائياً ضمن مساحة $2 \times 2 \text{ Km}^2$ تحوي 20 محطة قاعدية، وجرى استخراج مقاييس الأداء المُعتمدة من أجل عدد مستخدمين 100، 500، 1000، 1500، 2000، 2500، 3000، 3500، 4000، 5000، 10000.

1-2-4-3 المحطات القاعدية

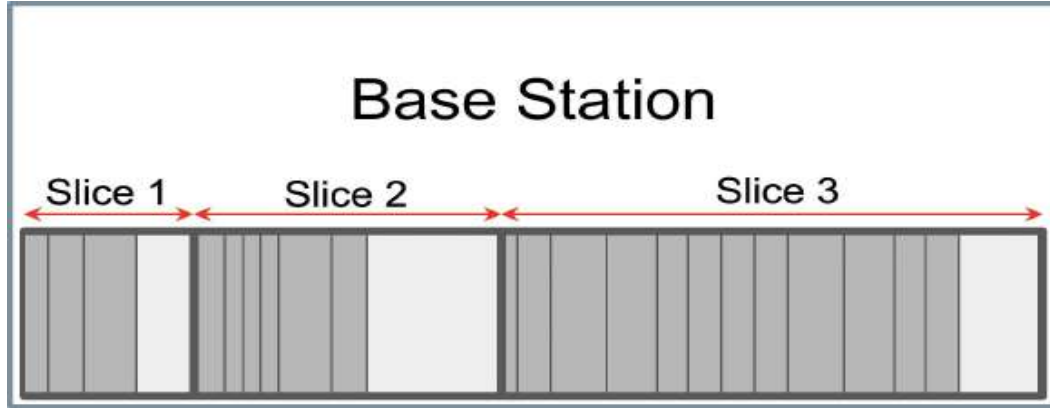
تحتوي المحطة الأساسية (gNodeB) Next-Generation Node B بالشبكة القائمة بذاتها على: [19]

- عرض المجال المضمون لكل المستخدمين.

- الحد الأقصى لعرض المجال لكل مستخدم.

- التلبيث

- عرض المجال المخصص لكل شريحة من الشرائح كما مبيّن في الشكل (28-3):



الشكل (29-3) توزّع الشرائح في المحطة القاعدية لشبكات الجيل الخامس [20]

وفي حالة الشبكة القائمة بذاتها، تدعم كل المحطات القاعدية للجيل الخامس المذكورة بالجدول (17-3) جميع أنواع

حالات الاستخدام وبالإضافة إلى أن لها نفس خواص المحطات التي جرى اعتمادها في الشبكات غير القائمة بذاتها

من حيث الرقم التعريفي وإحداثيات (X,Y) ونصف القطر: [19]

الجدول (17-3) مواصفات المحطات القاعدية في حالة الشبكة القائمة بذاتها [19]

الشرائح	نوع المحطة	معدل المعطيات لكل محطة	التغطية	رقم تعريفي للمحطة القاعدية
تدعم كل أنواع حالات الاستخدام	Femto Cell	10Gbps	(1448,1456),152	1
	Pico Cell	20Gbps-25Gbps-30Gbps-40Gbps	(182,1414),224 (126,1016),368	2 . 18
	Micro Cell	50 Gbps-75Gbps	(960,625),464 (1568,1608),418	19 20

كما أن مخطط الحركة وطريقة توزيع المستخدمين والترددات التي جرى اعتمادها هي على نفس سياق شبكات الجيل الخامس للاتصالات غير القائمة بذاتها.

3-4-2 حالات الاستخدام

حُدثت ثلاث حالات استخدام رئيسية في شبكات الجيل الخامس 5G، وقمنا بعدّ كل حالة على أنها شريحة وهي: [2]

- عريض المجال نقال مُحسّن eMBB: لدعم حالات الاستخدام التي تحتاج إلى مجال عريض وتمتاز بأن لها قدرة على توفير معدلات معطيات أعلى، ومنطقة تغطية أوسع، وقدرة على التعامل مع حركية المستخدم.

- الاتصالات الكثيفة من نوع آلة mMTC: تكون متطلبات كل حالة استخدام مختلفة عن الأخرى ولا يمكن ضمها تحت إطار ذات الشبكة؛ وهذه الحالة تتطلب تغطية داخلية عميقة، وكثافة عالية لتجهيزات المستخدمين تصل إلى مليون عقدة/كم²، وأكثر من عشرة سنوات كعمر للبطارية.

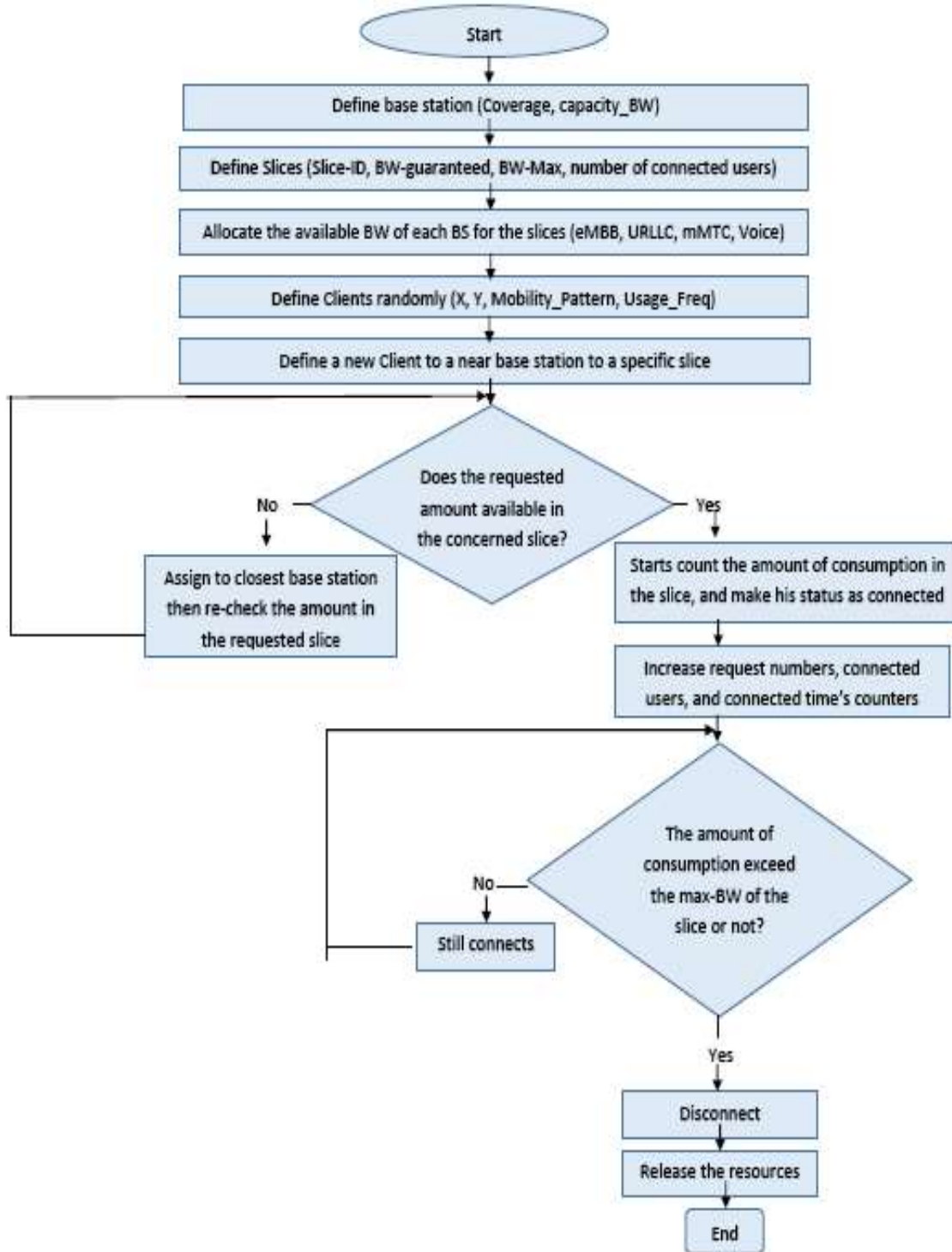
- الاتصالات المنخفضة التلَبّث فائقة الموثوقية URLLC: تدعم حالات الاستخدام ذات المهام الحرجة التي تحتاج لموثوقية عالية، والتي تتطلب زمن تلَبّث منخفض للغاية (أقل من 5ms).

يبين الجدول (3-18) معدّل المعطيات المخصّص لكل شريحة من الشرائح، حيث سنطبق تقنية التشريح على شبكة جيل خامس قائمة بذاتها، مستخدمين أربعة أنواع من الشرائح.

الجدول (3-18) معدّل المعطيات المخصص لكل شريحة من الشرائح في شبكات الجيل الخامس القائمة بذاتها [19]

اسم الشريحة	عرض المجال المضمون لكل مستخدم	عرض المجال الأعظمي لكل مستخدم
x_eMBB	100 Mbps	1 Gbps
x_mMTC	1 Mbps	10 Mbps
x_URLLC	5 Mbps	10 Mbps

ويبين الشكل (30-3) المخطط التدفقي بحالة سيناريو الشبكة قائمة بذاتها.



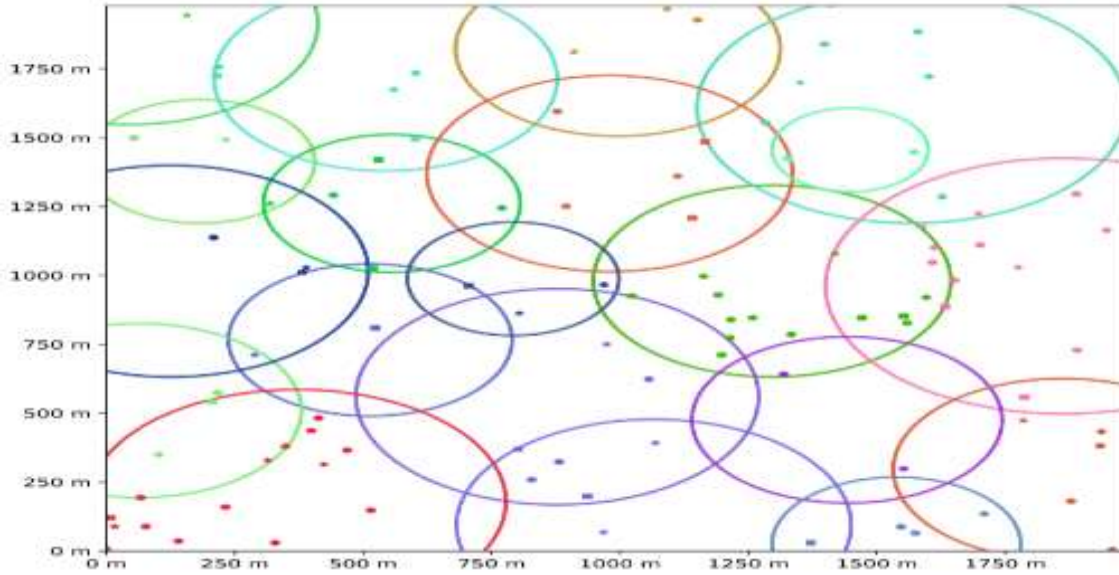
الشكل (30-3) المخطط التدفقي لسيناريو الشبكة القائمة بذاتها [19]

3-2-4-3 نتائج المحاكاة في سيناريو الشبكة القائمة بذاتها

الدراسة التي أُجريت في السيناريو الأول، أيضاً ستُجرى للسيناريو الثاني، وسنستخرج مقاييس الأداء المُعتمدة من أجل نفس أعداد المستخدمين الواردة في السيناريو الأول من أجل نفس عدد المحطات ونفس المساحة المدروسة.

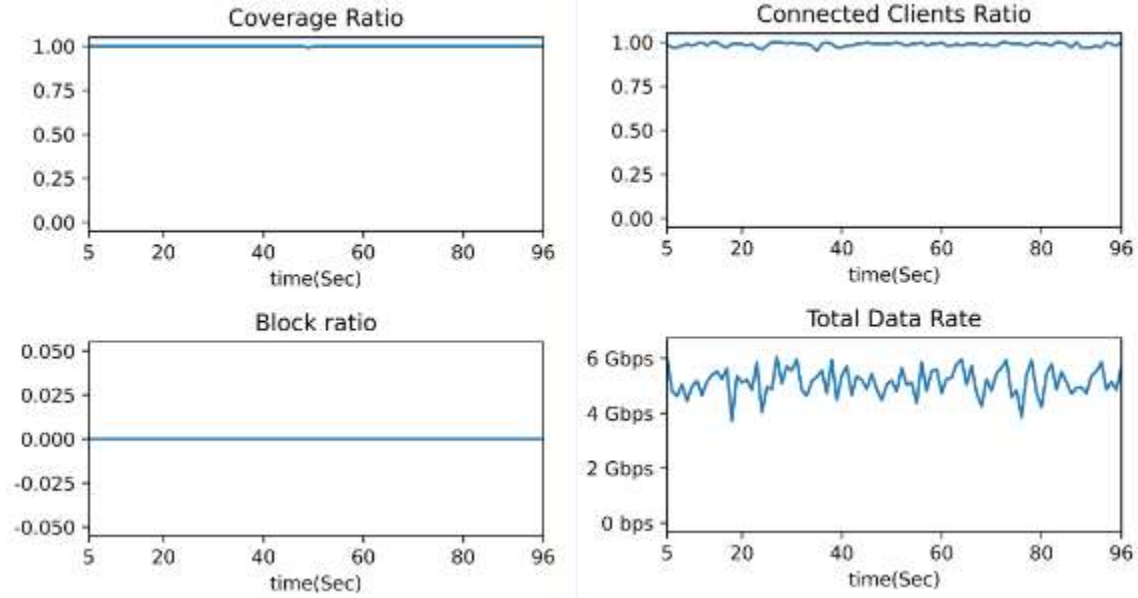
-نتائج المحاكاة في سيناريو الشبكة القائمة بذاتها من أجل عدد مستخدمين 100:

يُوضح الشكل (31-3) التوزيع العشوائي لعدد 100 مستخدم في شبكة جيل خامس شرائحية تتمثل بالنقاط الملونة، ولون النقاط يدل على المحطة القاعدية التي تغطي المستخدم، مع الأخذ بالحسبان أن المنطقة المدروسة تحوي 20 محطة قاعدية تدعم ثلاث شرائح بمتطلبات متنوعة، حيث سيتم تزويد كل مستخدم بالشريحة التي تتناسب مع الخدمة المطلوبة من قبله.

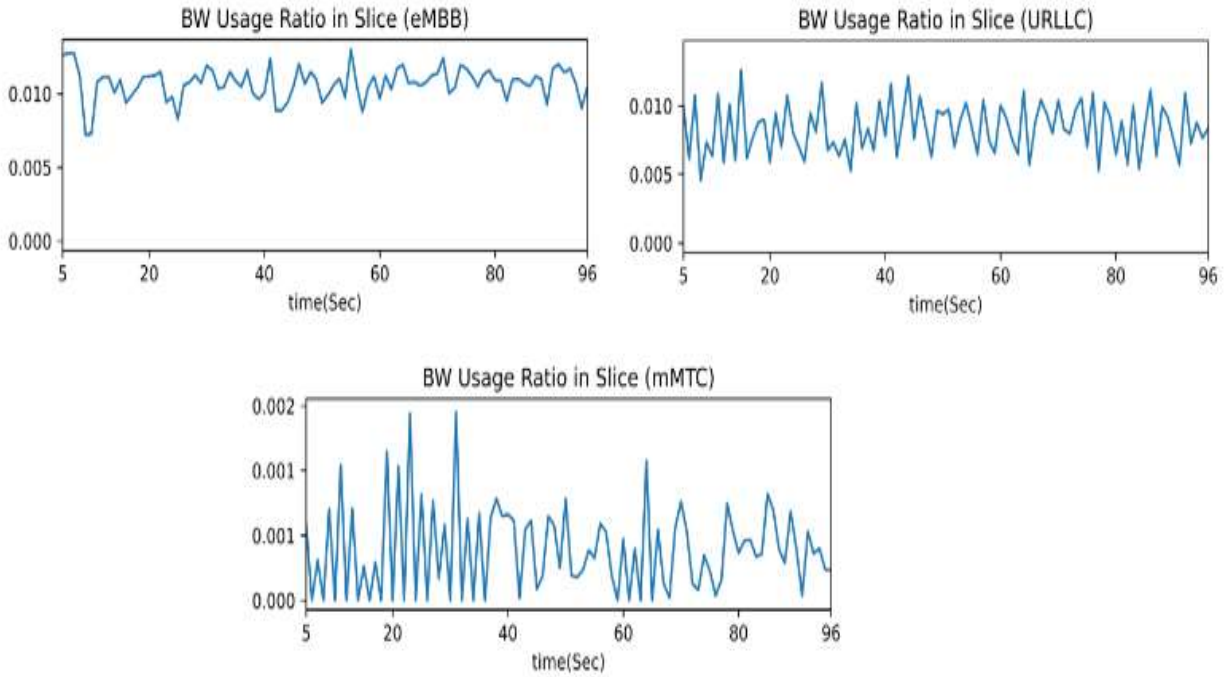


الشكل (31-3) نشر شبكة الجيل الخامس في الشبكة القائمة بذاتها من أجل عدد مستخدمين يساوي 100 [الباحث]

يبين الشكل (32-3) تغير مقاييس الأداء بدلالة الزمن بحالة عدد مستخدمين يساوي 100 ويبين الشكل (33-3) متوسط معدل المعطيات المستهلك لكل شريحة من الشرائح الثلاث في المحطات القاعدية. ويُظهر الجدول (19-3) متوسط قيم مقاييس الأداء التي جرى الحصول عليها.



الشكل (32-3) تغير مقاييس الأداء بدلالة الزمن من أجل عدد مستخدمين يساوي 100 في الشبكة القائمة بذاتها [الباحث]



الشكل (33-3) متوسط معدل المعطيات المستهلك لكل شريحة في المحطات القاعدية بدلالة الزمن من أجل عدد مستخدمين يساوي 100 في الشبكة القائمة بذاتها [الباحث]

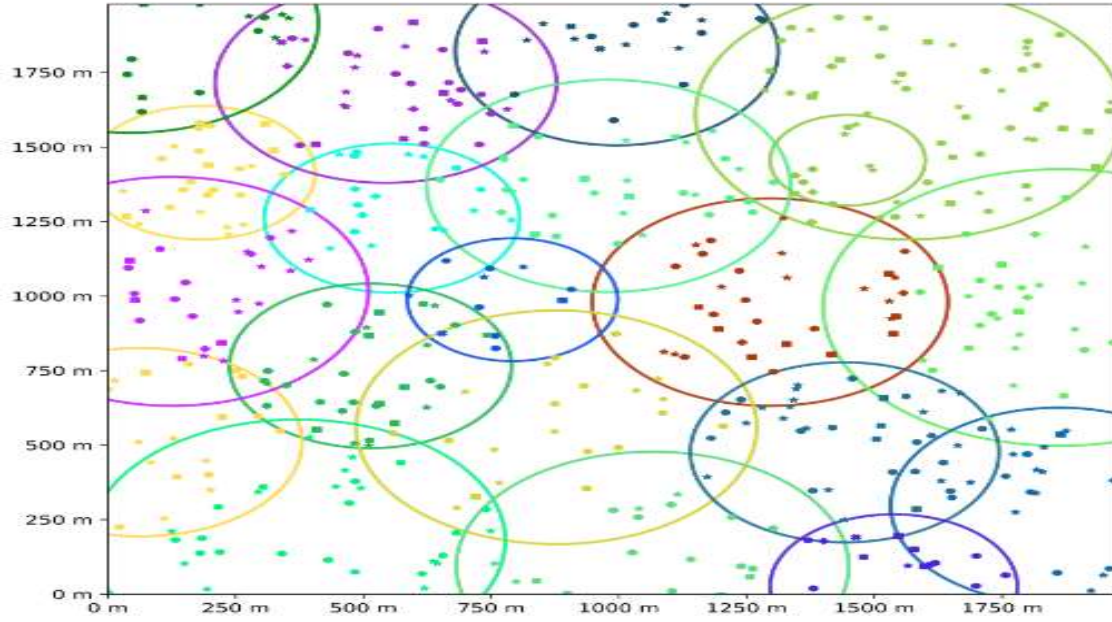
الجدول (19-3) متوسط قيم مقاييس الأداء من أجل عدد مستخدمين يساوي 100 في الشبكة القائمة بذاتها [الباحث]

Initial number of clients	100
Average connected client	0.9999
Total Data Rate	5.139 Gbps
Average coverage ratio	1.00
Average block ratio	0.0000

يُظهر الشكل (32-3) والجدول (19-3) أنَّ الشبكة بحالة عدد مستخدمين 100 تغطي جميع المستخدمين بنسبة 100% في حين نسبة الحجب مساوية للصفر وقد بلغ معدل المعطيات الكلي المستهلك 5.1 Gbps، ومن الملاحظ أنَّ نسبة التغطية في سيناريو الشبكة الشرائحية أعلى من السيناريو الأول في حالة 100 مستخدم وكمية المعطيات المستهلكة أقلَّ حيث بلغت في سيناريو الشبكة غير القائمة بذاتها قيمة 7.6Gbps وذلك يعود إلى تخصيص معدل معطيات محدد وفقاً لكل متطلب من المستخدمين، ممَّا يؤدي إلى توفير في هدر الموارد. ونلاحظ من الشكل (33-3) أنَّ متوسط معدل المعطيات المستهلك في جميع المحطات القاعدية في شريحة eMBB قيمة 2% فقط من الموارد المتاحة وبلغ متوسط معدل المعطيات المستهلك في جميع المحطات القاعدية في شريحة URLLC قيمة 0.9% من الموارد المخصصة لهذه الشريحة وبلغ متوسط معدل المعطيات المستهلك في جميع المحطات في شريحة mMTC قيمة 0.01% من قيمة الموارد المخصصة لها. ومن القيم العددية نلاحظ أنَّ نتائج الاستهلاك بكل شريحة يتوافق مع معدل المعطيات المخصص لكل نوع من الشرائح وفقاً للجدول (18-3).

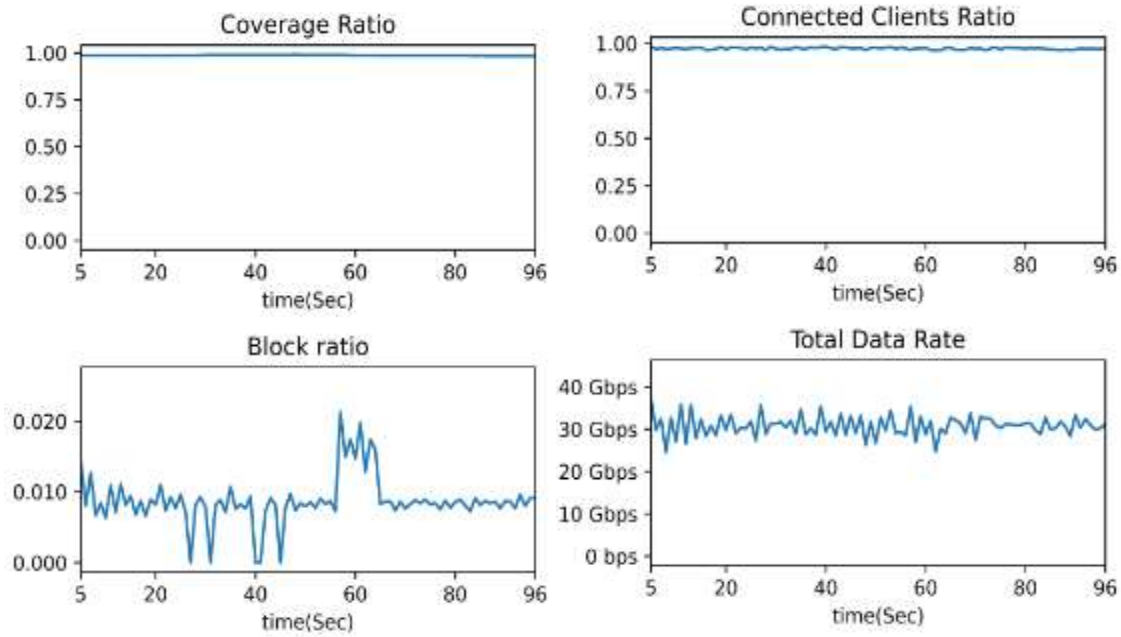
-نتائج المحاكاة في سيناريو الشبكة القائمة بذاتها من أجل عدد مستخدمين 500:

يُوضح الشكل (34-3) التوزيع العشوائي بحالة عدد مستخدمين 500.

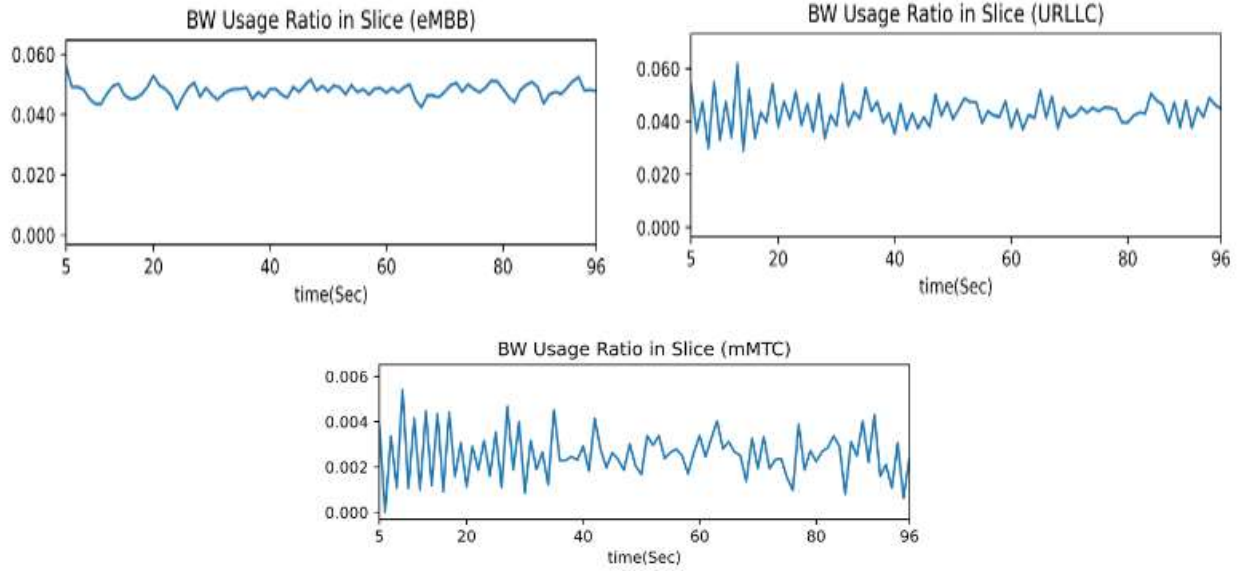


الشكل (34-3) نشر شبكة الجيل الخامس في الشبكة القائمة بذاتها من أجل عدد مستخدمين يساوي 500 [الباحث]

يبين الشكل (35-3) تغير مقاييس الأداء بدلالة الزمن بحالة عدد مستخدمين يساوي 500 ويبين الشكل (36-3) متوسط معدّل المعطيات المستهلك لكل شريحة من الشرائح الثلاث في المحطات القاعدية. ويُظهر الجدول (20-3) متوسط قيم مقاييس الأداء التي جرى الحصول عليها.



الشكل (35-3) تغير مقاييس الأداء بدلالة الزمن من أجل عدد مستخدمين يساوي 500 في الشبكة القائمة بذاتها [الباحث]



الشكل (36-3) متوسط معدل المعطيات المستهلك لكل شريحة في المحطات القاعدية بدلالة الزمن من أجل عدد مستخدمين يساوي 500 في الشبكة القائمة بذاتها [الباحث]

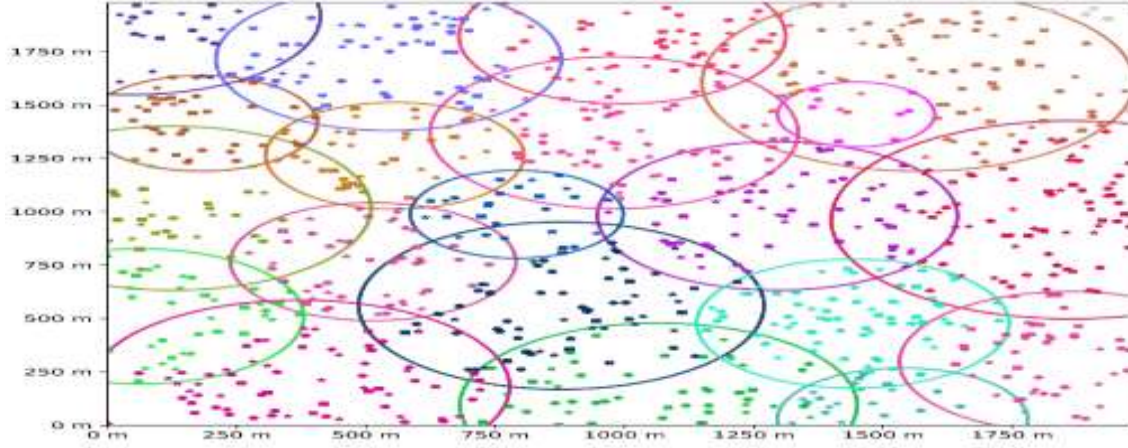
الجدول (20-3) متوسط قيم الأداء من أجل عدد مستخدمين يساوي 500 في الشبكة القائمة بذاتها [الباحث]

Initial number of clients	500
Average connected client	0.98
Total Data Rate	30.766 Gbps
Average coverage ratio	0.99
Average block ratio	0.0088

من الشكل (35-3) والجدول (20-3) نجد أنّ الشبكة بحالة عدد مستخدمين 500 أصبحت تغطّي المستخدمين بنسبة 99% بسبب زيادة عدد المستخدمين في الشبكة، ووفقاً لنسبة التغطية أصبحت نسبة المستخدمين المتصلين 98% في حين ازدادت نسبة الحجب لقيمة 0.88% وبلغ معدل المعطيات الكلي تقريباً 30 Gbps. ونلاحظ من الشكل (36-3) أنّ متوسط معدل المعطيات المستهلك في جميع المحطات القاعدية في شريحة eMBB قيمة 6% من الموارد المتاحة وبلغ متوسط معدل المعطيات المستهلك في جميع المحطات القاعدية في شريحة URLLC قيمة 5% من الموارد المخصصة لهذه الشريحة وبلغ متوسط معدل المعطيات المستهلك في جميع المحطات في شريحة mMTC قيمة 0.2% من قيمة الموارد المخصصة لهذه الشريحة.

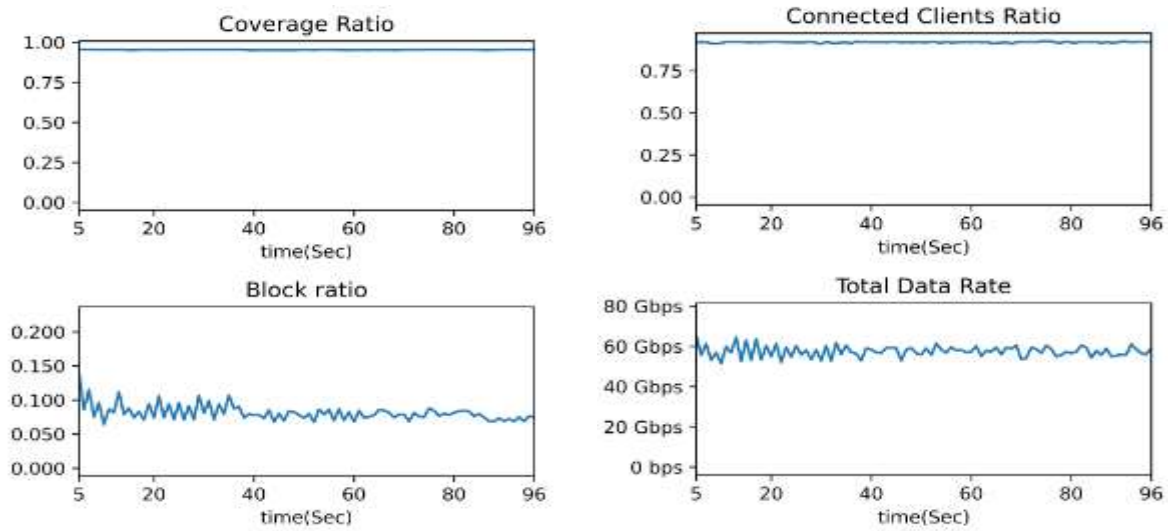
-نتائج المحاكاة في سيناريو الشبكة القائمة بذاتها من أجل عدد مستخدمين 1000:

يُوضح الشكل (37-3) التوزيع العشوائي بحالة عدد مستخدمين 1000.

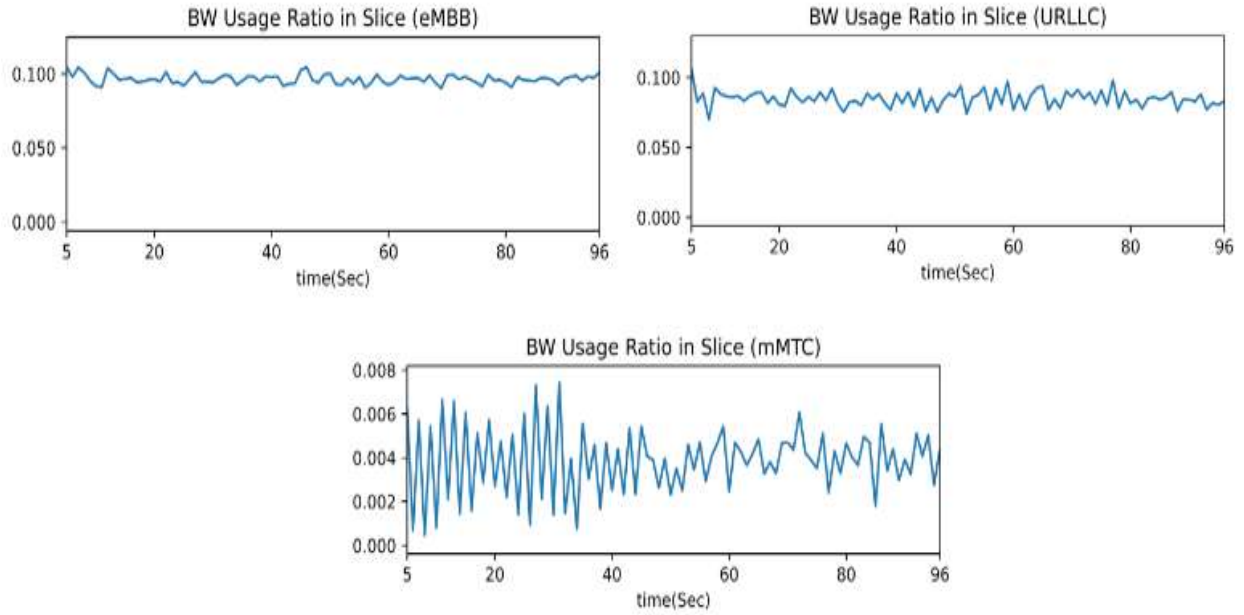


الشكل (37-3) نشر شبكة الجيل الخامس في الشبكة القائمة بذاتها من أجل عدد مستخدمين يساوي 1000 [الباحث]

يبين الشكل (38-3) تغير مقاييس الأداء بدلالة الزمن بحالة عدد مستخدمين يساوي 1000 ويبين الشكل (39-3) متوسط معدل المعطيات المستهلك لكل شريحة من الشرائح الثلاث في المحطات القاعدية. ويُظهر الجدول (21-3) متوسط قيم مقاييس الأداء التي جرى الحصول عليها.



الشكل (38-3) تغير مقاييس الأداء بدلالة الزمن من أجل عدد مستخدمين يساوي 1000 في الشبكة القائمة بذاتها [الباحث]



الشكل (39-3) متوسط معدّل المعطيات المستهلك لكل شريحة في المحطات القاعدية بدلالة الزمن من أجل عدد مستخدمين يساوي 1000 في الشبكة القائمة بذاتها [الباحث]

الجدول (21-3) متوسط قيم الأداء من أجل عدد مستخدمين يساوي 1000 في الشبكة القائمة بذاتها [الباحث]

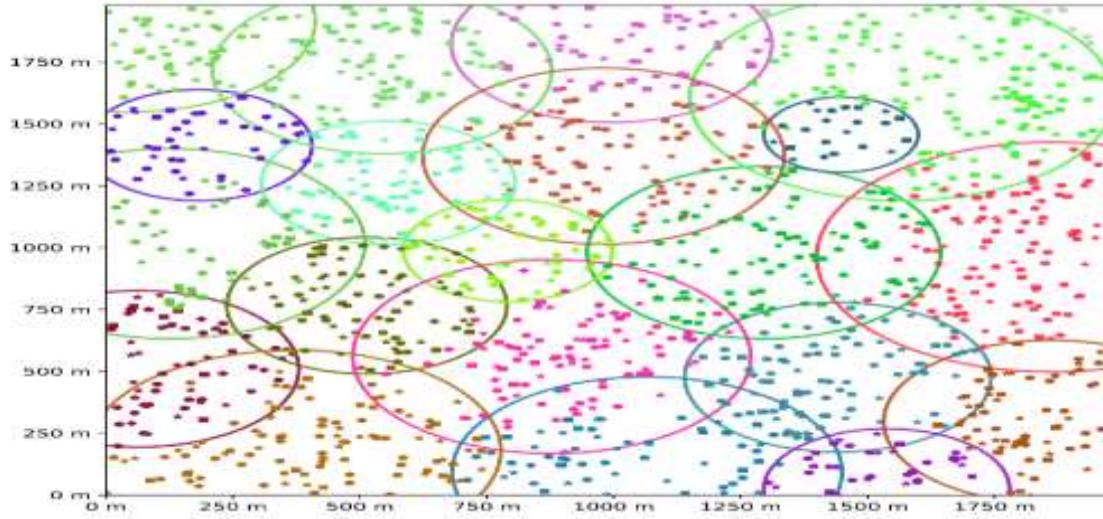
Initial number of clients	1000
Average connected client	0.92
Total Data Rate	57.465 Gbps
Average coverage ratio	0.988
Average block ratio	0.068

يُلاحظ من منحنيات مقاييس الأداء المعطاة في الشكل (38-3) ومتوسط قيم الأداء المعطاة بالجدول (21-3) أنّ الشبكة انخفضت تغطيتها بنسبة 98.8% ، ومن ثمّ نسبة المستخدمين المتصلين انخفضت وفقاً لها لتصبح 92% ولكن مازالت أعلى من القيمة المقابلة في سيناريو الشبكة غير القائمة بذاتها، ونسبة الحجب ازدادت لمقدار 7% ومعدل المعطيات الكلي المستهلك من قبل المستخدمين الذين يستخدمون الشبكة بحدود 57 Gbps، وأيضاً هي أقلّ من الكمية المستهلكة في شبكات الجيل الخامس غير القائمة بذاتها التي بلغت 60 Gbps. ونلاحظ من الشكل (39-3) أن متوسط

معدل المعطيات المستهلك في جميع المحطات القاعدية في شريحة eMBB قيمة 10% من الموارد المتاحة وبلغ متوسط معدل المعطيات المستهلك في جميع المحطات القاعدية في شريحة URLLC قيمة 7% من الموارد المخصصة لهذه الشريحة وبلغ متوسط معدل المعطيات المستهلك في جميع المحطات في شريحة mMTC قيمة 0.4% من قيمة الموارد المخصصة لهذه الشريحة.

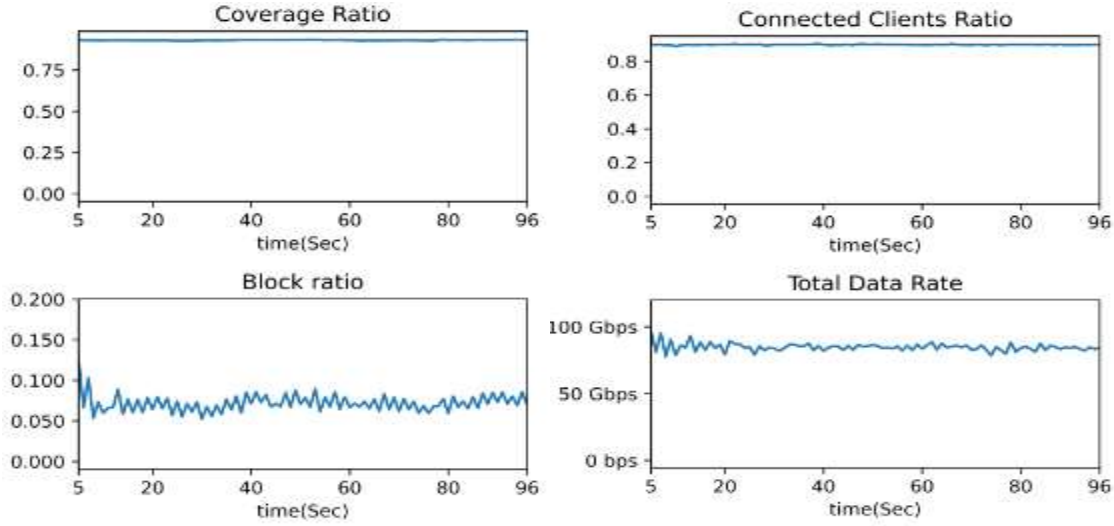
-نتائج المحاكاة في سيناريو الشبكة القائمة بذاتها من أجل عدد مستخدمين 1500:

يُوضح الشكل (3-40) التوزيع العشوائي بحالة عدد مستخدمين 1500.

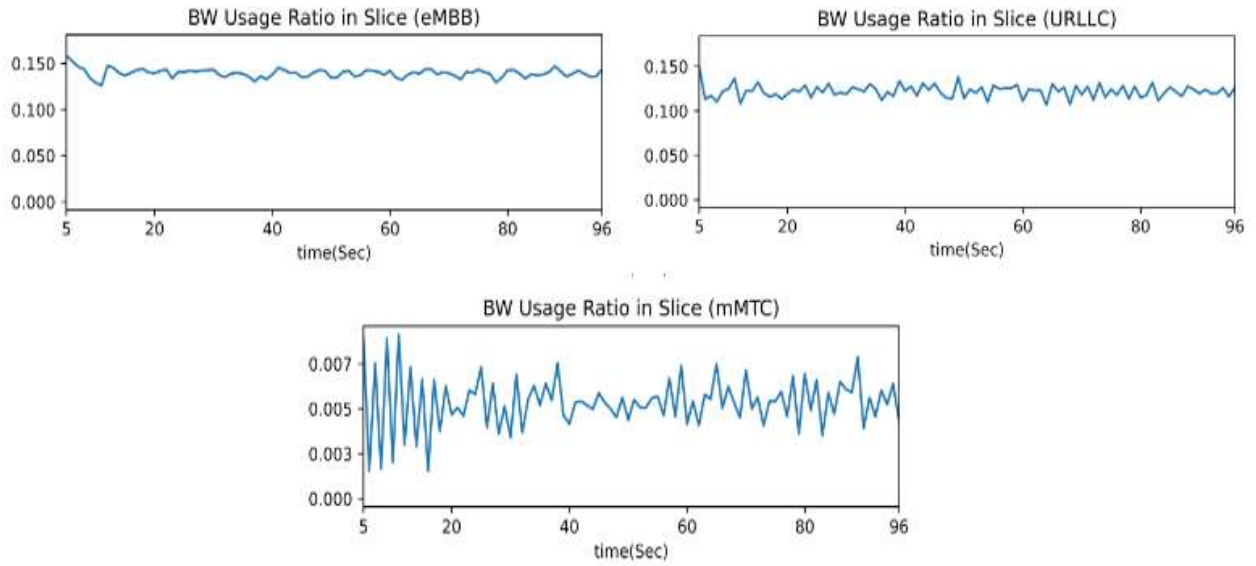


الشكل (3-40) نشر شبكة الجيل الخامس في الشبكة القائمة بذاتها من أجل عدد مستخدمين يساوي 1500 [الباحث]

يبين الشكل (3-41) تغير مقاييس الأداء بدلالة الزمن بحالة عدد مستخدمين يساوي 1500 ويبين الشكل (3-42) متوسط معدل المعطيات المستهلك لكل شريحة من الشرائح الثلاث في المحطات القاعدية. ويُظهر الجدول (3-22) متوسط قيم مقاييس الأداء التي جرى الحصول عليها.



الشكل (3-41) تغيير مقاييس الأداء بدلالة الزمن من أجل عدد مستخدمين يساوي 1500 في الشبكة القائمة بذاتها [الباحث]



الشكل (3-42) متوسط معذل المعطيات المستهلك لكل شريحة في المحطات القاعدية بدلالة الزمن من أجل عدد مستخدمين يساوي 1500 في الشبكة القائمة بذاتها [الباحث]

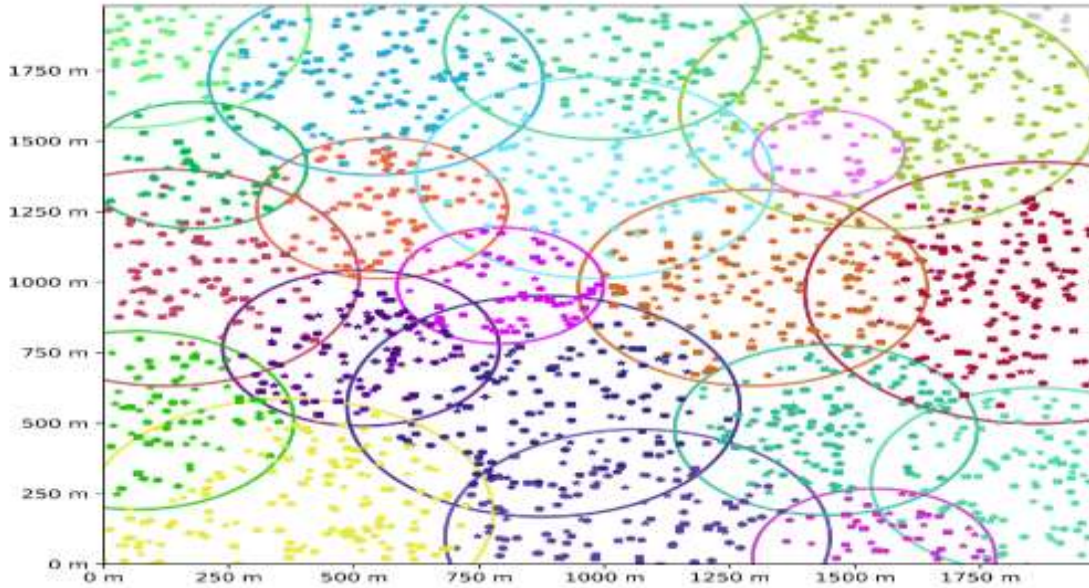
الجدول (3-22) متوسط قيم الأداء من أجل عدد مستخدمين يساوي 1500 في الشبكة القائمة بذاتها [الباحث]

Initial number of clients	1500
Average connected client	0.89
Total Data Rate	84.787 Gbps
Average coverage ratio	0.970
Average block ratio	0.08

نلاحظ من الشكل (3-41) والجدول (3-22) أنَّ تغطية الشبكة بلغ نسبة 97% عندما أصبح عدد المستخدمين 1500 وانخفضت نسبة المستخدمين المتصلين وفقاً لها لتصبح 89% وبالمقابل كانت في الشبكات السابقة 70%، وازدادت نسبة الحجب لقيمة 8% وهي قيمة أقل من القيمة المقابلة لها في الشبكة غير القائمة بذاتها ومعدل المعطيات الكلي المستهلك من قبل المستخدمين الذين يستخدمون الشبكة بحدود 84 Gbps، وهي أكبر من مقابلتها في النوع السابق وذلك لأن عدد المستخدمين الذين استطاعوا الاتصال بالشبكة أكبر من العدد في مثلتها غير القائمة بذاتها بسبب مرونة توزيع الموارد بينهم. ونلاحظ من الشكل (3-42) أن متوسط معدل المعطيات المستهلك في جميع المحطات القاعدية في شريحة eMBB قيمة 15% من الموارد المتاحة وهي أكبر قيمة من القيم المحققة بين الشرائح وهو الأمر المنطقي وفقاً لتوزيع الموارد بين الشرائح بالجدول (3-18) وبلغ متوسط معدل المعطيات المستهلك في جميع المحطات القاعدية في شريحة URLLC قيمة 11% من الموارد المخصصة لهذه الشريحة وبلغ متوسط معدل المعطيات المستهلك في جميع المحطات في شريحة mMTC قيمة 0.5% من قيمة الموارد المخصصة لها.

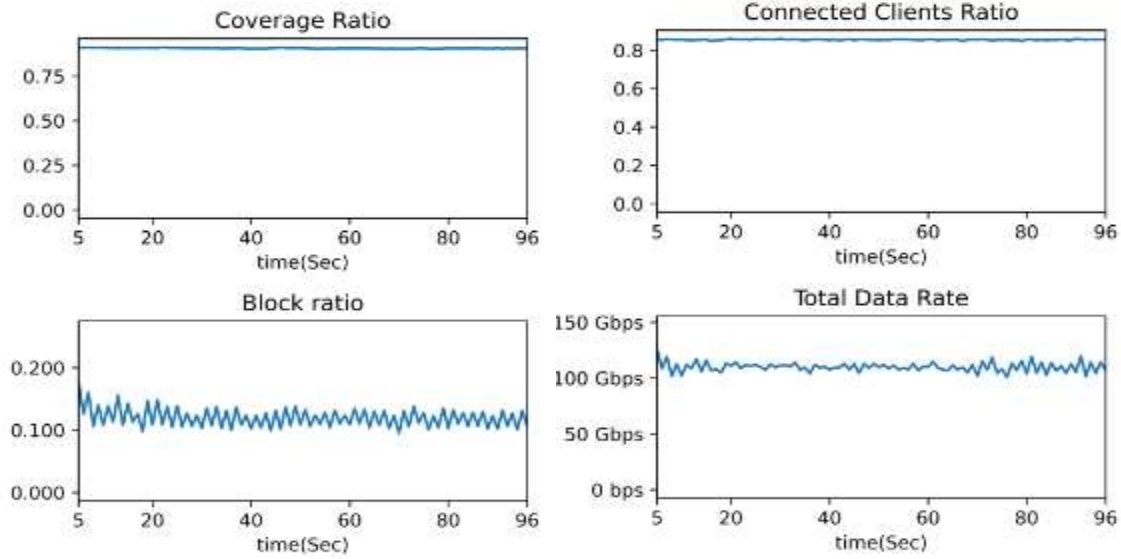
-نتائج المحاكاة في سيناريو الشبكة القائمة بذاتها من أجل عدد مستخدمين 2000:

يوضح الشكل (3-43) التوزيع العشوائي بحالة عدد مستخدمين 2000.

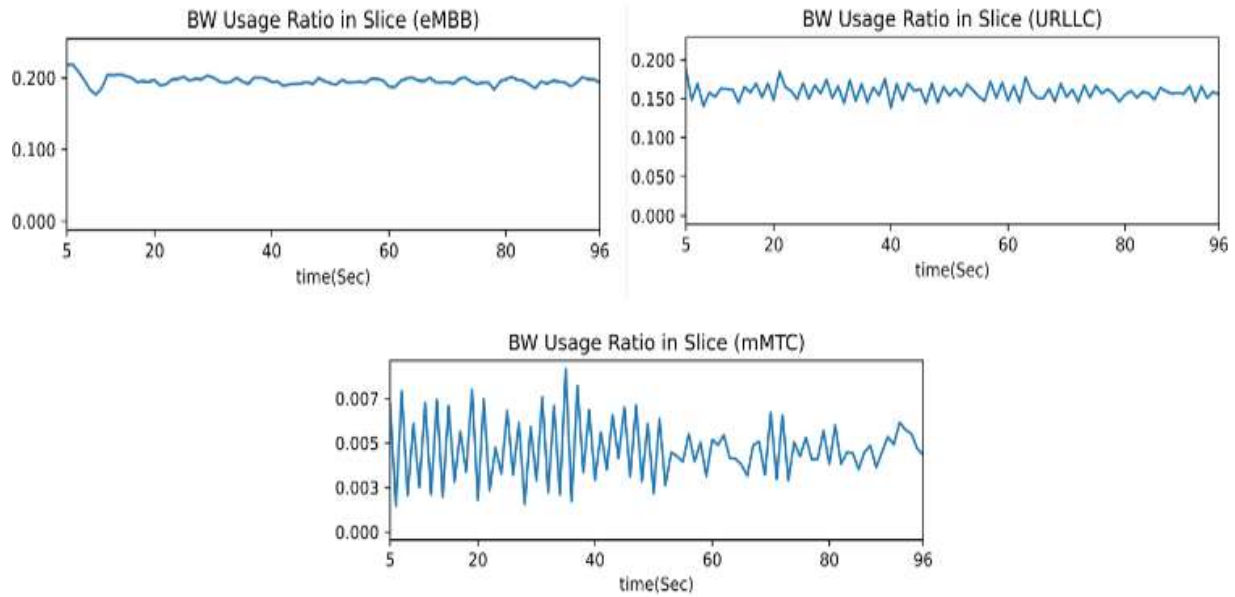


الشكل (3-43) نشر شبكة الجيل الخامس في الشبكة القائمة بذاتها من أجل عدد مستخدمين يساوي 2000 [الباحث]

بيّن الشكل (3-44) تغير مقاييس الأداء بدلالة الزمن بحالة عدد مستخدمين يساوي 2000 وبيّن الشكل (3-45) متوسط معدل المعطيات المستهلك لكل شريحة من الشرائح الثلاث في المحطات القاعدية. ويُظهر الجدول (3-23) متوسط قيم مقاييس الأداء التي جرى الحصول عليها.



الشكل (3-44) تغير مقاييس الأداء بدلالة الزمن من أجل عدد مستخدمين يساوي 2000 في الشبكة القائمة بذاتها [الباحث]



الشكل (3-45) متوسط معدل المعطيات المستهلك لكل شريحة في المحطات القاعدية بدلالة الزمن من أجل عدد مستخدمين يساوي 2000 في الشبكة القائمة بذاتها [الباحث]

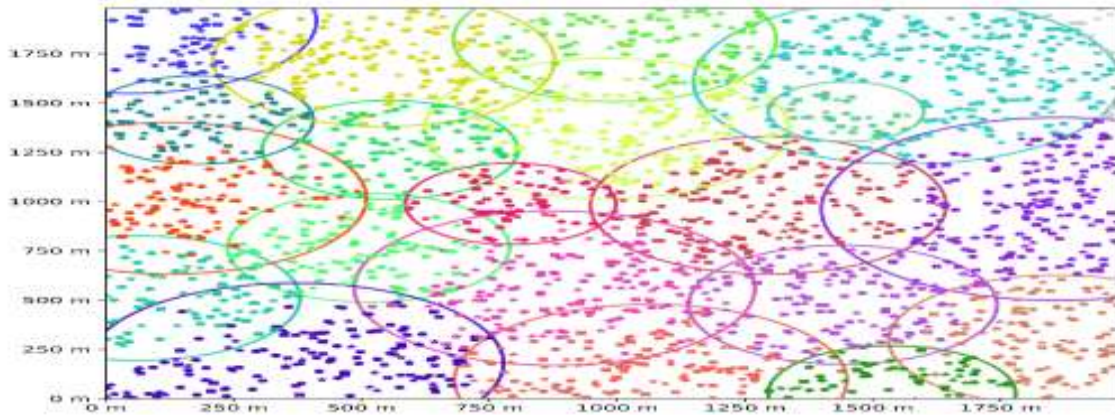
الجدول (3-23) متوسط قيم الأداء من أجل عدد مستخدمين يساوي 2000 في الشبكة القائمة بذاتها [الباحث]

Initial number of clients	2000
Average connected client	0.85
Total Data Rate	109.869 Gbps
Average coverage ratio	0.962
Average block ratio	0.112

يبين الشكل (3-44) والجدول (3-23) أنَّ تغطية الشبكة تواصل الانخفاض مع زيادة عدد المستخدمين لتصبح في حالة 2000 مستخدم بنسبة 96% وانخفضت نسبة المستخدمين المتصلين وفقاً لها لتصبح 85% في حين ازدادت نسبة الحجب لمقدار 11% وبلغ معدل المعطيات الكلي المستهلك من قبل المستخدمين الذين يستخدمون الشبكة بحدود 109 Gbps. ونلاحظ من الشكل (3-45) أن متوسط معدل المعطيات المستهلك في جميع المحطات القاعدية في شريحة eMBB قيمة 21% من الموارد المتاحة وبلغ متوسط معدل المعطيات المستهلك في جميع المحطات القاعدية في شريحة URLLC قيمة 15% من الموارد المخصصة لهذه الشريحة وبلغ متوسط معدل المعطيات المستهلك في جميع المحطات في شريحة mMTC قيمة 0.5% من قيمة الموارد المخصصة لهذه الشريحة.

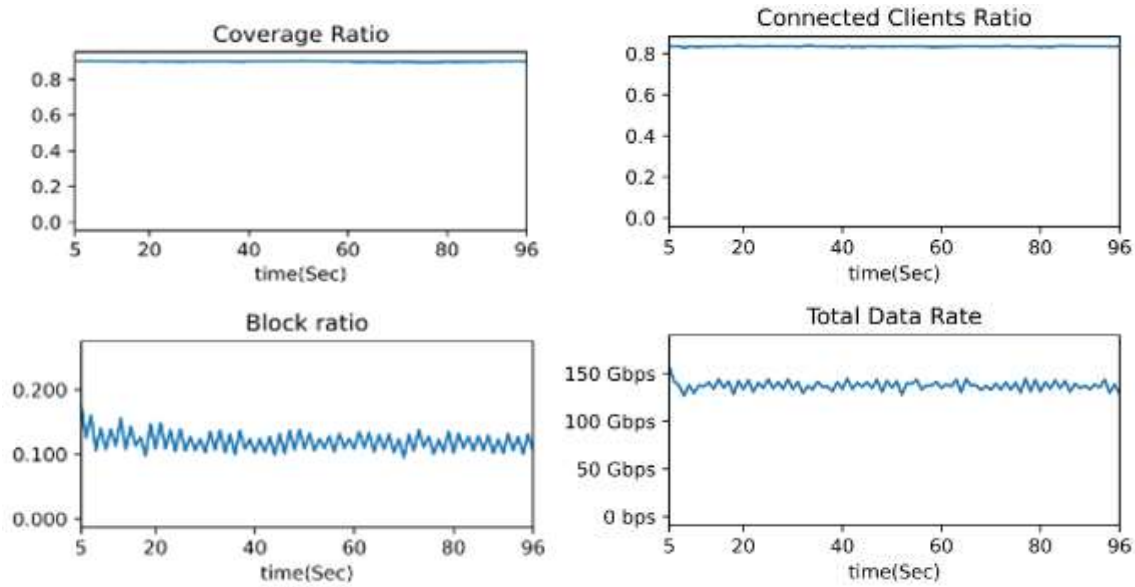
-نتائج المحاكاة في سيناريو الشبكة القائمة بذاتها من أجل عدد مستخدمين 2500:

يُوضح الشكل (3-46) التوزيع العشوائي بحالة عدد مستخدمين 2500.

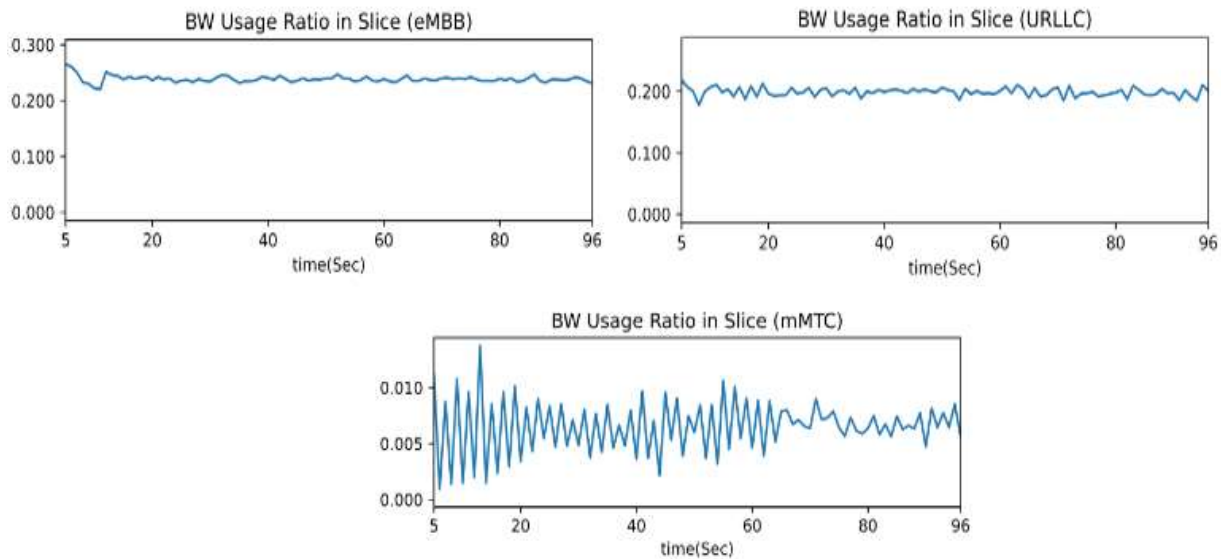


الشكل (3-46) نشر شبكة الجيل الخامس في الشبكة القائمة بذاتها من أجل عدد مستخدمين يساوي 2500 [الباحث]

بيّن الشكل (47-3) تغير مقاييس الأداء بدلالة الزمن بحالة عدد مستخدمين يساوي 2500. ويبيّن الشكل (48-3) متوسط معدّل المعطيات المستهلك لكل شريحة من الشرائح الثلاث في المحطات القاعدية. ويُظهر الجدول (24-3) متوسط قيم مقاييس الأداء التي جرى الحصول عليها



الشكل (47-3) تغير مقاييس الأداء بدلالة الزمن من أجل عدد مستخدمين يساوي 2500 في الشبكة القائمة بذاتها [الباحث]



الشكل (48-3) متوسط معدّل المعطيات المستهلك لكل شريحة في المحطات القاعدية بدلالة الزمن من أجل عدد مستخدمين يساوي 2500 في الشبكة القائمة بذاتها [الباحث]

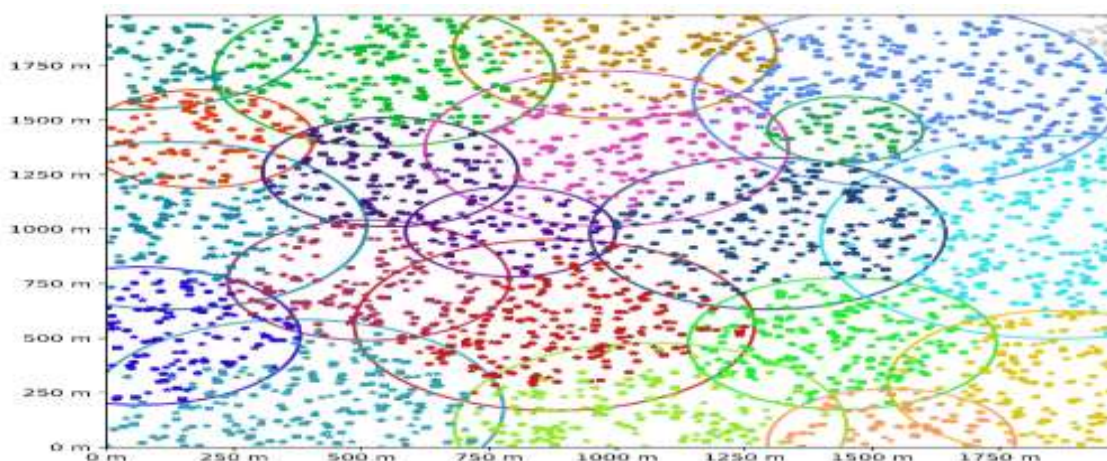
الجدول (24-3) متوسط قيم الأداء من أجل عدد مستخدمين يساوي 2500 في الشبكة القائمة بذاتها [الباحث]

Initial number of clients	2500
Average connected client	0.82
Total Data Rate	137.278 Gbps
Average coverage ratio	0.954
Average block ratio	0.134

يظهر الشكل (47-3) والجدول (24-3) أنَّ التغطية أصبحت في حالة 2500 مستخدم بنسبة 95% وانخفضت نسبة المستخدمين المتصلين 82% في حين ازدادت نسبة الحجب لقيمة 13% وبلغ معدل المعطيات الكلي المستهلك من قبل المستخدمين بحدود 137 Gbps. ونلاحظ من الشكل (48-3) أنَّ متوسط معدل المعطيات المستهلك في جميع المحطات القاعدية في شريحة eMBB قيمة 27% فقط من الموارد المتاحة وبلغ متوسط معدل المعطيات المستهلك في جميع المحطات القاعدية في شريحة URLLC قيمة 21% من الموارد المخصصة لهذه الشريحة وبلغ متوسط معدل المعطيات المستهلك في جميع المحطات في شريحة mMTC قيمة 0.6% من قيمة الموارد المخصصة لهذه الشريحة.

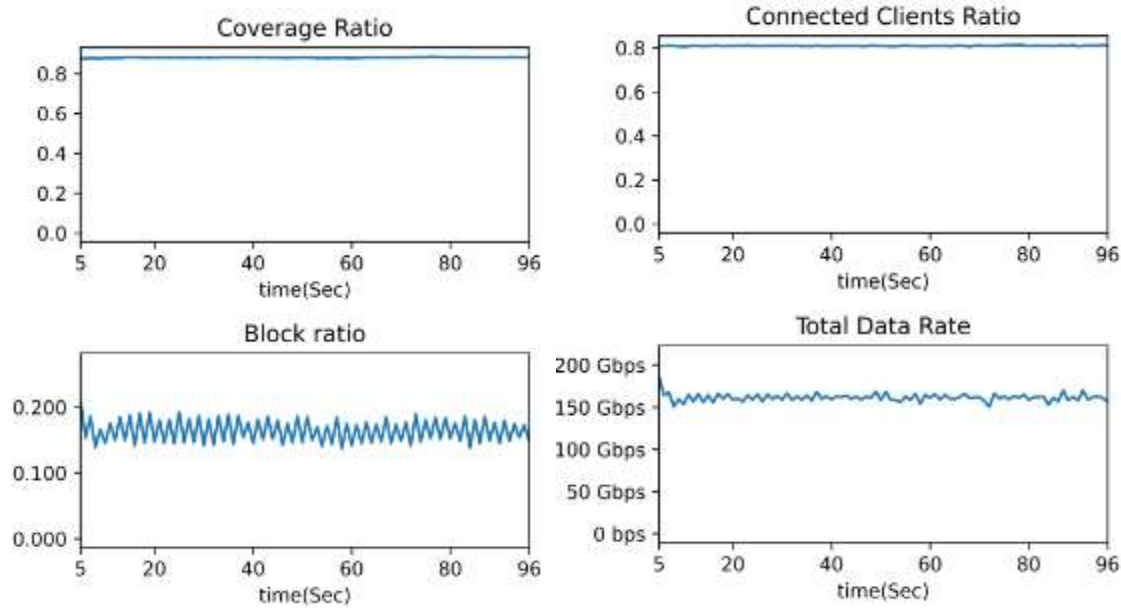
-نتائج المحاكاة في سيناريو الشبكة القائمة بذاتها من أجل عدد مستخدمين 3000:

يُوضح الشكل (49-3) التموضع العشوائي بحالة عدد مستخدمين 3000.

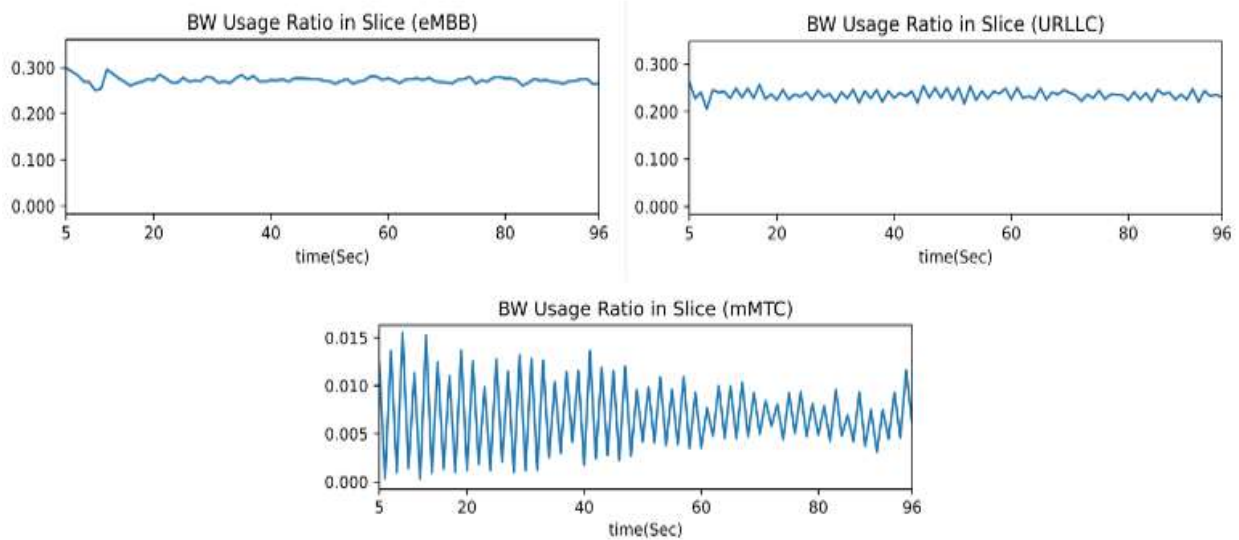


الشكل (49-3) نشر شبكة الجيل الخامس في الشبكة القائمة بذاتها من أجل عدد مستخدمين يساوي 3000 [الباحث]

بيّن الشكل (50-3) تغير مقاييس الأداء بدلالة الزمن بحالة عدد مستخدمين يساوي 3000. ويبين الشكل (51-3) متوسط معدّل المعطيات المستهلك لكل شريحة من الشرائح الثلاث في المحطات القاعدية. ويظهر الجدول (25-3) متوسط قيم مقاييس الأداء التي جرى الحصول عليها.



الشكل (50-3) تغير مقاييس الأداء بدلالة الزمن من أجل عدد مستخدمين يساوي 3000 في الشبكة القائمة بذاتها [الباحث]



الشكل (51-3) متوسط معدّل المعطيات المستهلك لكل شريحة في المحطات القاعدية بدلالة الزمن من أجل عدد مستخدمين يساوي 3000 في الشبكة القائمة بذاتها [الباحث]

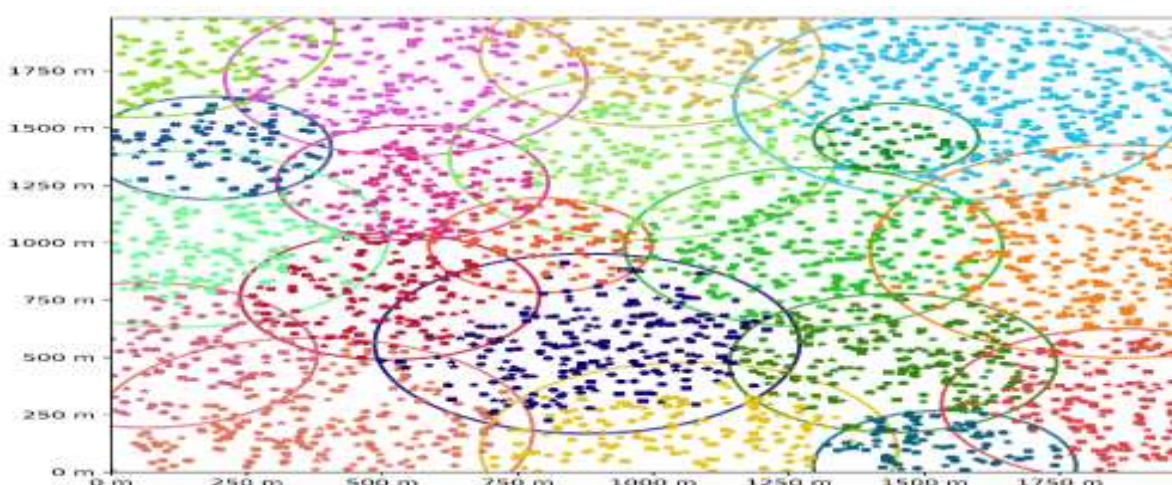
الجدول (25-3) متوسط قيم الأداء من أجل عدد مستخدمين يساوي 3000 في الشبكة القائمة بذاتها [الباحث]

Initial number of clients	3000
Average connected client	0.794
Total Data Rate	161.458 Gbps
Average coverage ratio	0.934
Average block ratio	0.140

يبين الشكل (3-50) والجدول (3-25) انخفاض التغطية مقارنةً بالحالة السابقة إلى نسبة 93% ونسبة المستخدمين المتصلين إلى نسبة 79% في حين ارتفعت نسبة الحجب لمقدار 14% وبلغ معدل المعطيات الكلي المستهلك من قبل المستخدمين بحدود 161 Gbps. ونلاحظ من الشكل (3-51) أن متوسط معدل المعطيات المستهلك في جميع المحطات القاعدية في شريحة eMBB قيمة 30% فقط من الموارد المتاحة وبلغ متوسط معدل المعطيات المستهلك في جميع المحطات القاعدية في شريحة URLLC قيمة 25% من الموارد المخصصة لهذه الشريحة وبلغ متوسط معدل المعطيات المستهلك في جميع المحطات في شريحة mMTC قيمة 0.7% من قيمة الموارد المخصصة لهذه الشريحة.

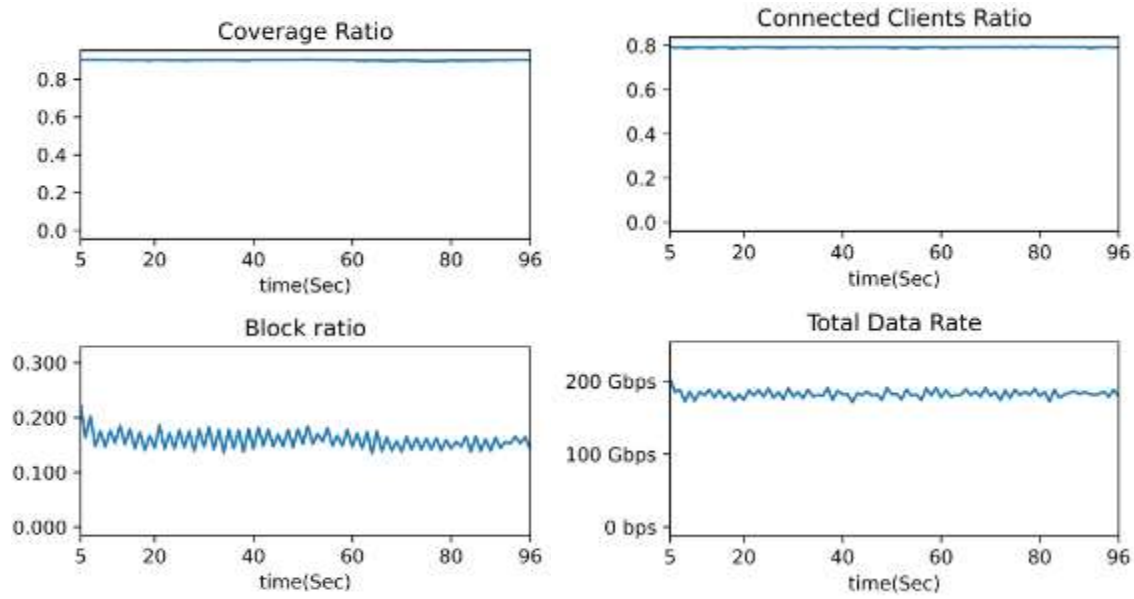
-نتائج المحاكاة في سيناريو الشبكة القائمة بذاتها من أجل عدد مستخدمين 3500:

يوضح الشكل (3-52) التوزيع العشوائي بحالة عدد مستخدمين 3500.

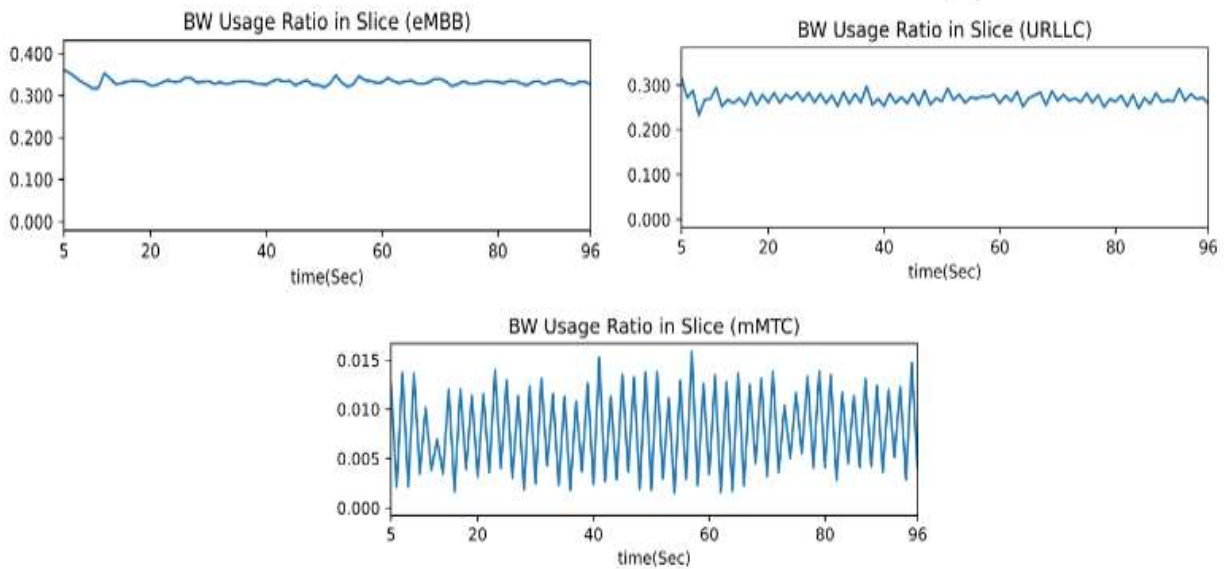


الشكل (3-52) نشر شبكة الجيل الخامس في الشبكة القائمة بذاتها من أجل عدد مستخدمين يساوي 3500 [الباحث]

يبين الشكل (53-3) تغير مقاييس الأداء بدلالة الزمن بحالة عدد مستخدمين يساوي 3500. ويبين الشكل (54-3) متوسط معدل المعطيات المستهلك لكل شريحة من الشرائح الثلاث في المحطات القاعدية. ويُظهر الجدول (26-3) متوسط قيم مقاييس الأداء التي جرى الحصول عليها.



الشكل (53-3) تغير مقاييس الأداء بدلالة الزمن من أجل عدد مستخدمين يساوي 3500 في الشبكة القائمة بذاتها [الباحث]



الشكل (54-3) متوسط معدل المعطيات المستهلك لكل شريحة في المحطات القاعدية بدلالة الزمن من أجل عدد مستخدمين يساوي 3500 في الشبكة القائمة بذاتها [الباحث]

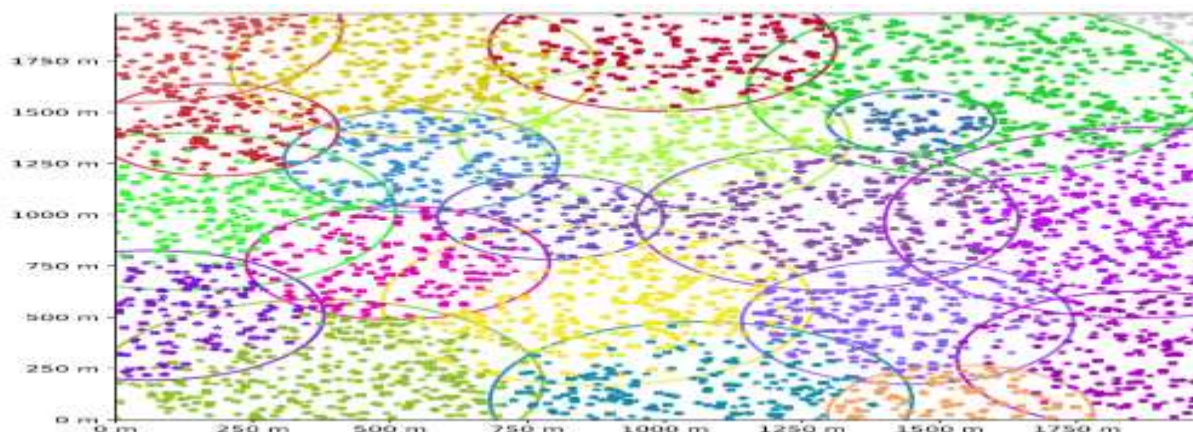
الجدول (26-3) متوسط قيم الأداء من أجل عدد مستخدمين يساوي 3500 في الشبكة القائمة بذاتها [الباحث]

Initial number of clients	3500
Average connected client	0.754
Total Data Rate	182.407 Gbps
Average coverage ratio	0.905
Average block ratio	0.151

يظهر الشكل (53-3) والجدول (26-3) وصول نسبة التغطية إلى نسبة 90% وانخفاض نسبة المستخدمين المتصلين وفقاً لها لتصبح 75% مع ملاحظة أن أيضاً عدد المستخدمين المتصلين يتناقص بشكل مستمر مع تزايد عدد المستخدمين بقيمة تقل عن نسبة التغطية، وذلك يُرجى لعدم قدرة الشبكة أي المحطات القاعدية في بعض الأوقات على توفير الموارد المطلوبة من قبل المستخدمين بالرغم من تواجدهم ضمن تغطية هذه المحطات ولكن بنسبة أفضل من مثيلتها في الشبكة السابقة فضلاً لوجود التشريح، وبلغت نسبة الحجب قيمة 15% وبلغ معدل المعطيات الكلي قيمة 182 Gbps. ونلاحظ من الشكل (54-3) أن متوسط معدل المعطيات في جميع المحطات القاعدية في شريحة eMBB قيمة 35% وبلغ متوسط معدل المعطيات في جميع المحطات القاعدية في شريحة URLLC قيمة 30% وبلغ متوسط معدل المعطيات المستهلك في جميع المحطات في شريحة mMTC قيمة 1% من الموارد المخصصة لهذه الشريحة.

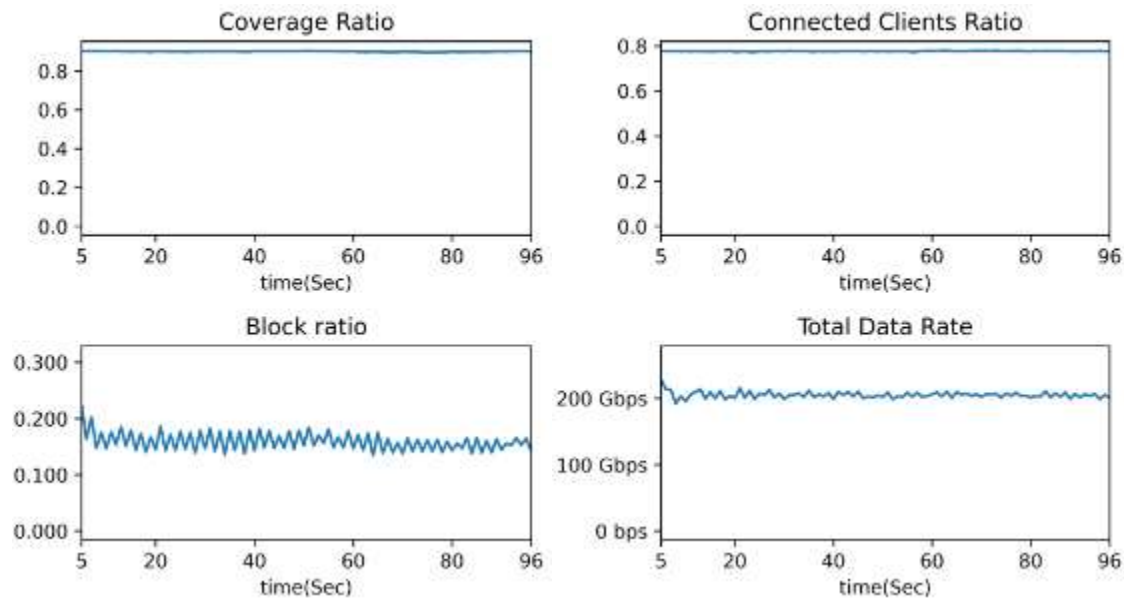
-نتائج المحاكاة في سيناريو الشبكة القائمة بذاتها من أجل عدد مستخدمين 4000:

يُوضح الشكل (55-3) التموضع العشوائي بحالة عدد مستخدمين 4000.

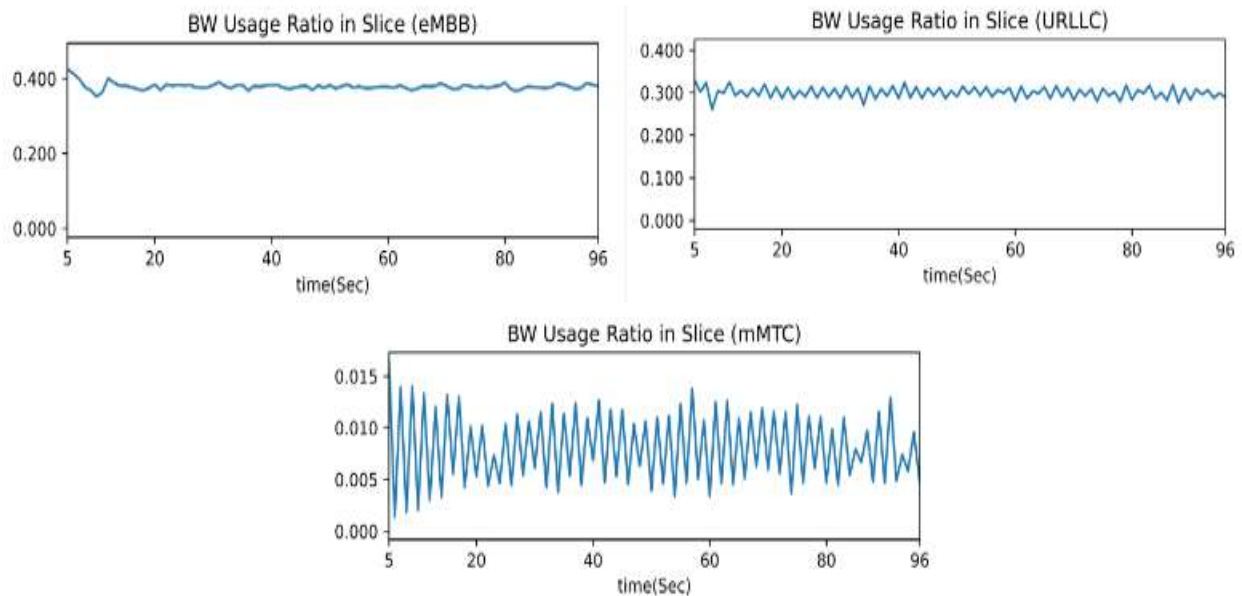


الشكل (55-3) نشر شبكة الجيل الخامس في الشبكة القائمة بذاتها من أجل عدد مستخدمين يساوي 4000 [الباحث]

يبين الشكل (3-56) تغير مقاييس الأداء بدلالة الزمن بحالة عدد مستخدمين يساوي 4000 ويبين الشكل (3-57) متوسط معدل المعطيات المستهلك لكل شريحة من الشرائح الثلاث في المحطات القاعدية. ويُظهر الجدول (3-27) متوسط قيم مقاييس الأداء التي جرى الحصول عليها.



الشكل (3-56) تغير مقاييس الأداء بدلالة الزمن من أجل عدد مستخدمين يساوي 4000 في الشبكة القائمة بذاتها [الباحث]



الشكل (3-57) متوسط معدل المعطيات المستهلك لكل شريحة في المحطات القاعدية بدلالة الزمن من أجل عدد مستخدمين يساوي 4000 في الشبكة القائمة بذاتها [الباحث]

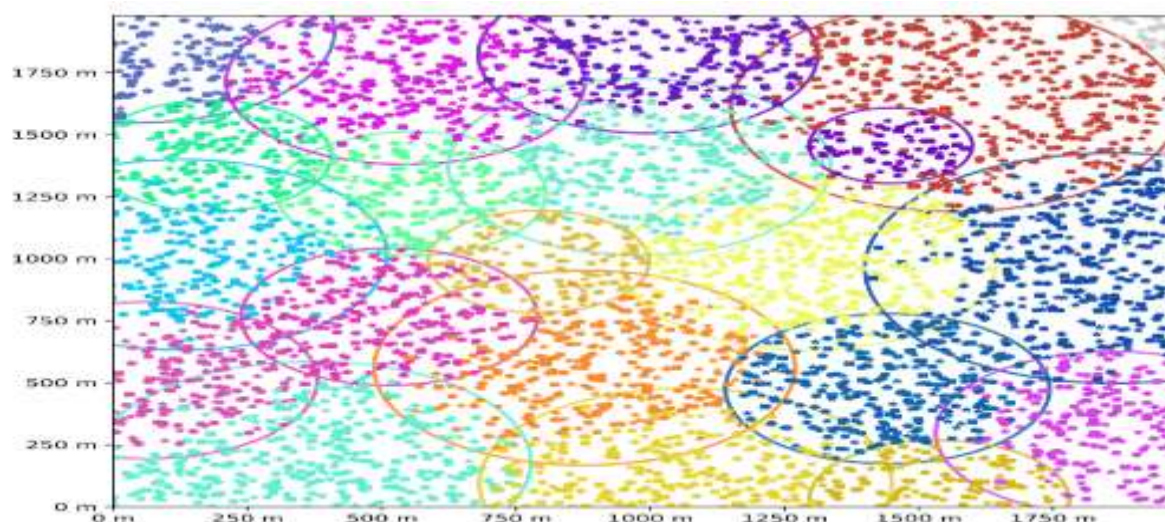
الجدول (27-3) متوسط قيم الأداء من أجل عدد مستخدمين يساوي 4000 في الشبكة القائمة بذاتها [الباحث]

Initial number of clients	4000
Average connected client	0.72
Total Data Rate	205.199 Gbps
Average coverage ratio	0.890
Average block ratio	0.171

يُظهر الشكل (3-56) والجدول (3-27) استمرار انخفاض التغطية مع زيادة عدد المستخدمين حيث بلغت في هذه النوعية من الشبكات عند عدد مستخدمين 4000 نسبة 89% بينما قابلها في النوع السابق نسبة 76% ونسبة المستخدمين المتصلين 72% في حين بلغت نسبة الحجب تقريباً 17% وبلغ معدل المعطيات الكلي المستهلك من قبل المستخدمين بحدود 205 Gbps. ونلاحظ من الشكل (3-57) أن متوسط معدل المعطيات المستهلك في جميع المحطات القاعدية في شريحة eMBB قيمة 41% من الموارد المتاحة وبلغ متوسط معدل المعطيات المستهلك في جميع المحطات القاعدية في شريحة URLLC قيمة 32% من الموارد المخصصة لهذه الشريحة وبلغ متوسط معدل المعطيات المستهلك في جميع المحطات في شريحة mMTC قيمة 1.1% من قيمة الموارد المخصصة لهذه الشريحة.

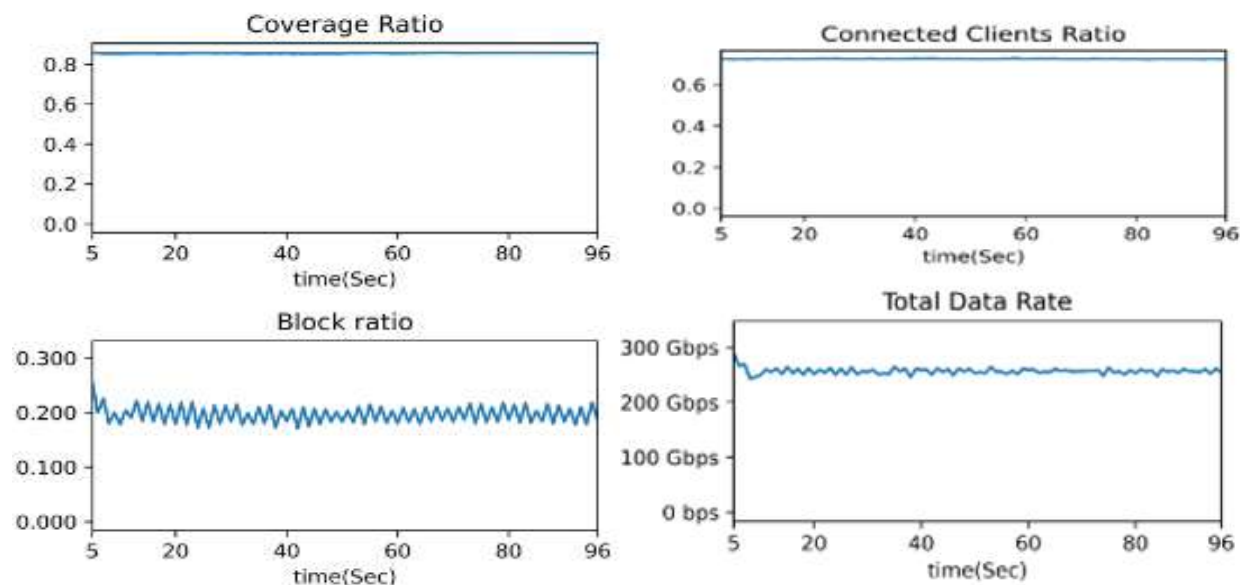
-نتائج المحاكاة في سيناريو الشبكة القائمة بذاتها من أجل عدد مستخدمين 5000:

يُوضح الشكل (3-58) التوزيع العشوائي بحالة عدد مستخدمين 5000.

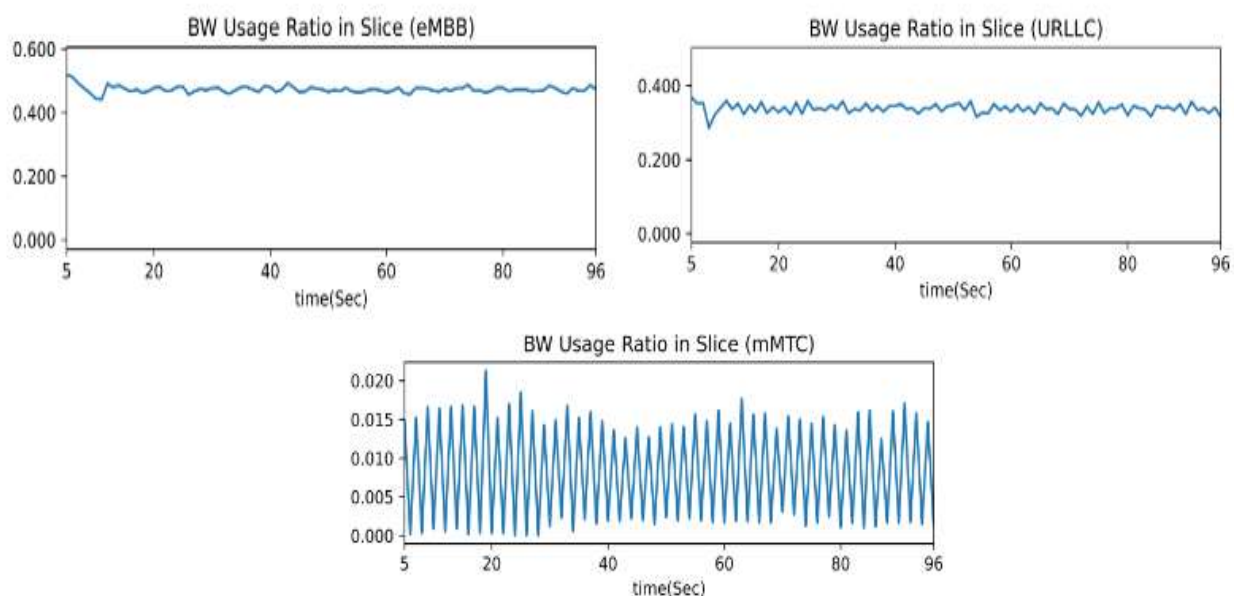


الشكل (3-58) نشر شبكة الجيل الخامس في الشبكة القائمة بذاتها من أجل عدد مستخدمين يساوي 5000 [الباحث]

بيّن الشكل (3-59) تغير مقاييس الأداء بدلالة الزمن بحالة عدد مستخدمين يساوي 5000. ويبيّن الشكل (3-60) متوسط معدّل المعطيات المستهلك لكل شريحة من الشرائح الثلاث في المحطات القاعدية. ويُظهر الجدول (3-28) متوسط قيم مقاييس الأداء التي جرى الحصول عليها



الشكل (3-59) تغير مقاييس الأداء بدلالة الزمن من أجل عدد مستخدمين يساوي 5000 في الشبكة القائمة بذاتها [الباحث]



الشكل (3-60) متوسط معدّل المعطيات المستهلك لكل شريحة في المحطات القاعدية بدلالة الزمن من أجل عدد مستخدمين يساوي 5000 في الشبكة القائمة بذاتها [الباحث]

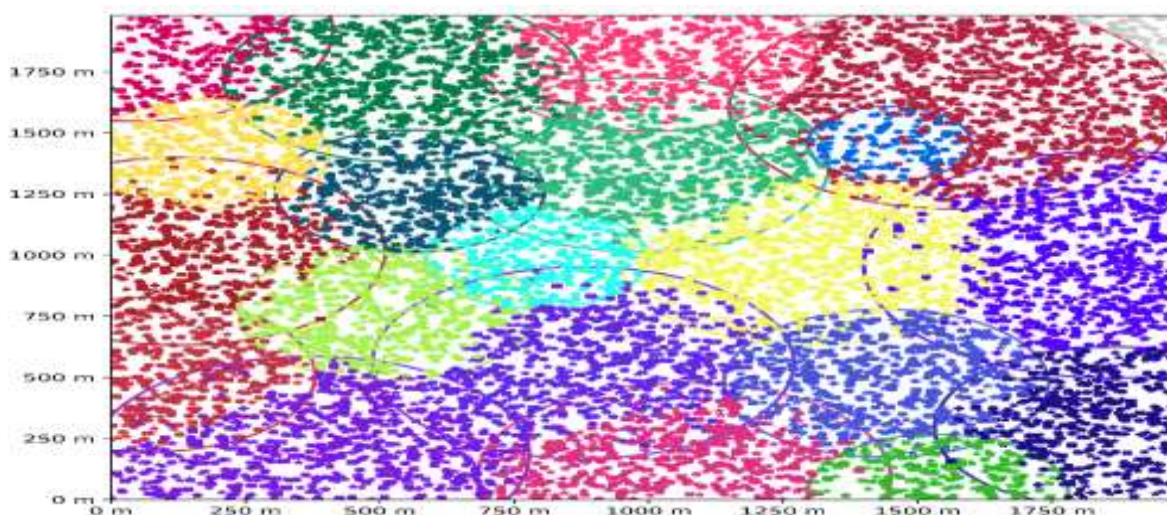
الجدول (28-3) متوسط قيم الأداء من أجل عدد مستخدمين يساوي 5000 في الشبكة القائمة بذاتها [الباحث]

Initial number of clients	5000
Average connected client	0.70
Total Data Rate	256.703 Gbps
Average coverage ratio	0.881
Average block ratio	0.181

يُظهر الشكل (59-3) والجدول (28-3) استمرار انخفاض التغطية مع زيادة عدد المستخدمين حيث بلغت في هذه النوعية من الشبكات عند عدد مستخدمين 5000 نسبة 88% بينما قابلها في النوع السابق 74% ونسبة المستخدمين المتصلين 70% في حين نسبة الحجب بلغت تقريباً 18.1% وبلغ معدل المعطيات الكلي المستهلك من قبل المستخدمين بحدود 256 Gbps. ونلاحظ من الشكل (60-3) أن متوسط معدل المعطيات المستهلك في جميع المحطات القاعدية في شريحة eMBB قيمة 50% فقط من الموارد المتاحة وبلغ متوسط معدل المعطيات المستهلك في جميع المحطات القاعدية في شريحة URLLC قيمة 39% من الموارد المخصصة لهذه الشريحة وبلغ متوسط معدل المعطيات المستهلك في جميع المحطات في شريحة mMTC قيمة 1.4% من قيمة الموارد المخصصة لهذه الشريحة.

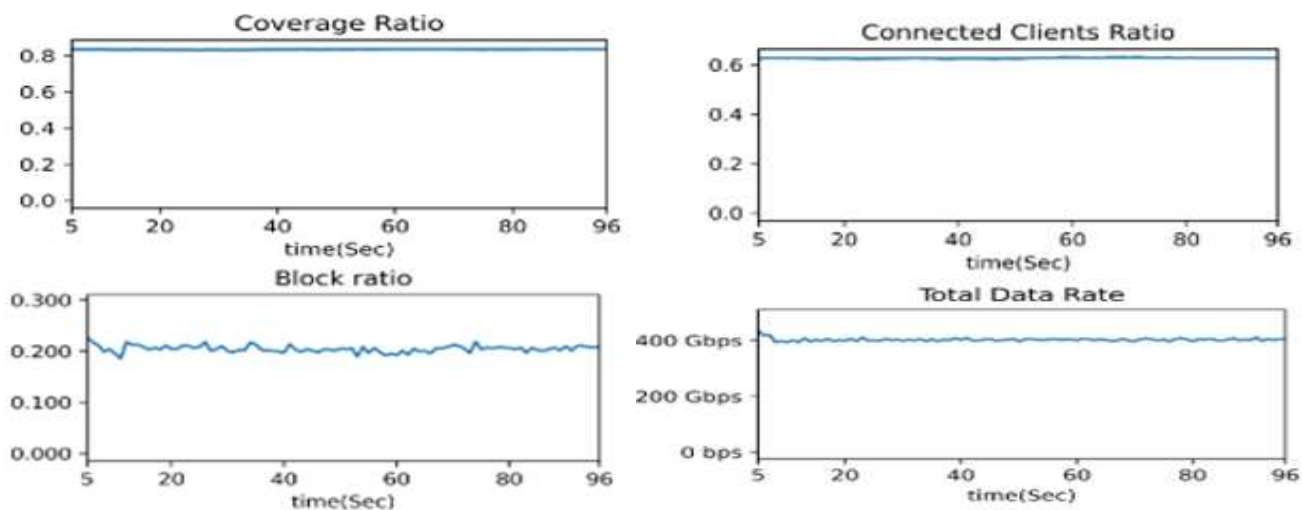
-نتائج المحاكاة في سيناريو الشبكة القائمة بذاتها من أجل عدد مستخدمين 10000:

يُوضح الشكل (61-3) التموضع العشوائي بحالة عدد مستخدمين 10000.

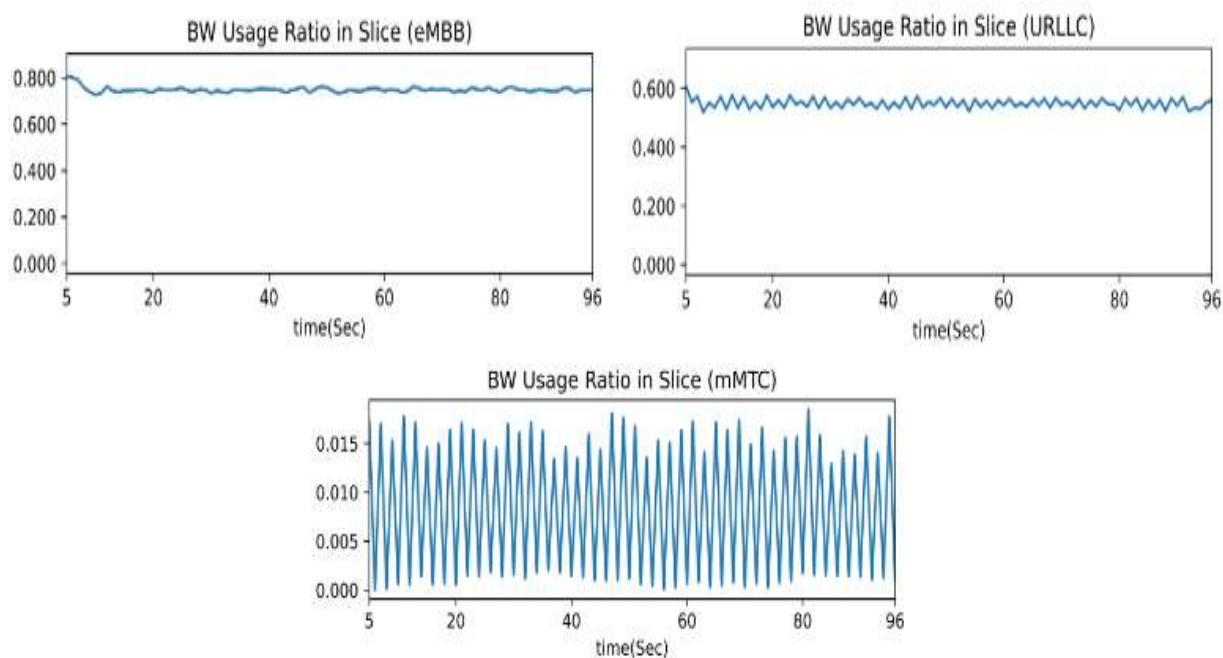


الشكل (61-3) نشر شبكة الجيل الخامس في الشبكة القائمة بذاتها من أجل عدد مستخدمين يساوي 10000 [الباحث]

بيّن الشكل (62-3) تغير مقاييس الأداء بدلالة الزمن بحالة عدد مستخدمين يساوي 10000. ويبيّن الشكل (63-3) متوسط معدّل المعطيات المستهلك لكل شريحة من الشرائح الثلاث في المحطات القاعدية. ويُظهر الجدول (29-3) متوسط قيم مقاييس الأداء التي جرى الحصول عليها



الشكل (62-3) تغير مقاييس الأداء بدلالة الزمن من أجل عدد مستخدمين يساوي 10000 في الشبكة القائمة بذاتها [الباحث]



الشكل (63-3) متوسط معدّل المعطيات المستهلك لكل شريحة في المحطات القاعدية بدلالة الزمن من أجل عدد مستخدمين يساوي 10000 في الشبكة القائمة بذاتها [الباحث]

الجدول (29-3) متوسط قيم الأداء من أجل عدد مستخدمين يساوي 10000 في الشبكة القائمة بذاتها [الباحث]

Initial number of clients	10000
Average connected client	0.62
Total Data Rate	402.857 Gbps
Average coverage ratio	0.841
Average block ratio	0.221

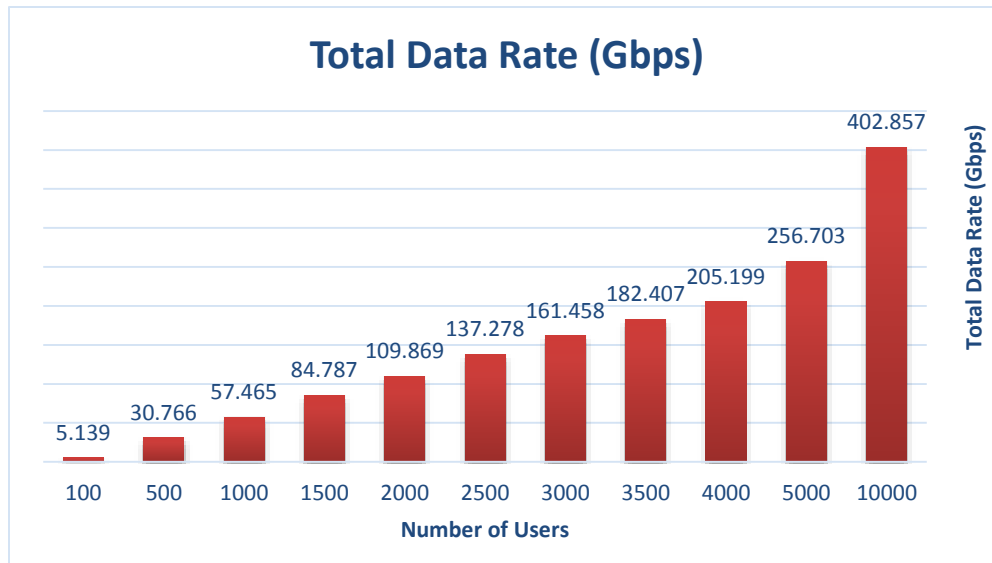
وأخيراً، يُظهر الشكل (62-3) والجدول (29-3) استمرار انخفاض التغطية مع زيادة عدد المستخدمين حيث أصبحت بنسبة 84% ونسبة المستخدمين المتصلين 62% في حين نسبة الحجب بلغت تقريباً 22.1% وبلغ معدل المعطيات الكلي المستهلك من قبل المستخدمين بحدود 402.8 Gbps. ونلاحظ من الشكل (63-3) أن متوسط معدل المعطيات المستهلك في جميع المحطات القاعدية في شريحة eMBB قيمة 80% من الموارد المتاحة وبلغ متوسط معدل المعطيات المستهلك في جميع المحطات القاعدية في شريحة URLLC قيمة 59% من الموارد المخصصة لهذه الشريحة وبلغ متوسط معدل المعطيات المستهلك في جميع المحطات في شريحة mMTC قيمة 1.6% من قيمة الموارد المخصصة لهذه الشريحة.

4-2-4-3 تحليل نتائج السيناريو الثاني

يُلاحظ مما سبق وبالمقارنة مع نتائج الشبكة غير القائمة بذاتها أن ذات عدد المستخدمين استهلك عرض مجال ترددي أقل كون الشبكة تخصص لهم عرض مجال بناءً على نوع الخدمة المطلوبة أو حالة الاستخدام، والتي سيظهر تأثيرها جلياً مع زيادة عدد المستخدمين، حيث عند عدد مستخدمين 2500 بلغ معدل المعطيات الكلي في الشبكة غير القائمة بذاتها 113Gbps، وفي الشبكة القائمة بذاتها 137Gbps، مع ملاحظة أن لهذا انعكاس على نسبة التغطية التي تحسنت وكذلك نسبة المستخدمين المتصلين ونسبة الحجب، حيث عند عدد مستخدمين يساوي 2500 كانت نسبة الحجب في الشبكة القائمة بذاتها 13% وفي الشبكة غير القائمة بذاتها 19.5%، وأما نسبة المستخدمين المتصلين

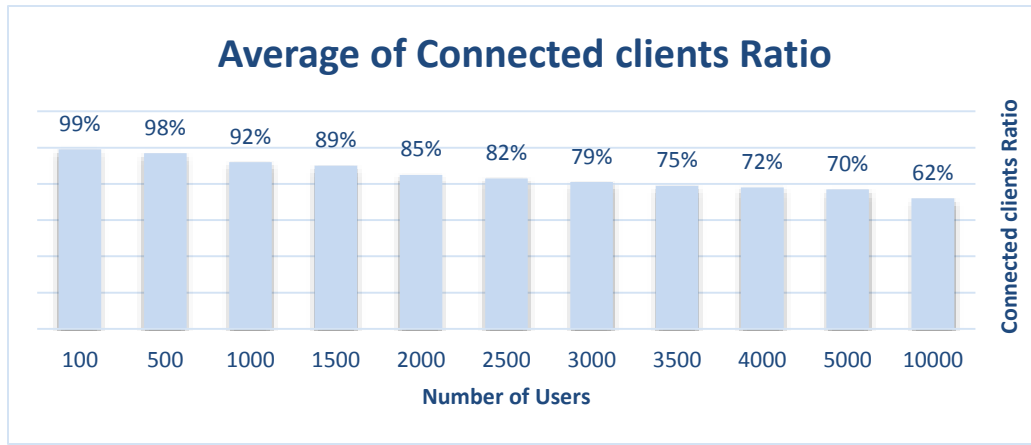
بلغت 60% وزادت إلى 82% في الشبكة القائمة بذاتها. وأما بالنسبة لمتوسط معدل المعطيات المستهلك في الشرائح نجد أن المتوسط لكل نوع من الشرائح يزداد مع ازدياد عدد المستخدمين حيث عند عدد مستخدمين 100 بلغ المعدل لشريحة eMBB قيمة 2% وعند عدد مستخدمين 10000 أصبحت 80% وهي تعتبر أكبر الشرائح المستهلكة وهو أمر منطقي وفقاً لتوزيع الموارد بين الشرائح الثلاث، وبلغ معدل المعطيات لشريحة URLLC والتي تعتبر ثاني أكبر نوع شريحة مستهلكة، عند عدد مستخدمين 100 قيمة 0.9% وبجالة عدد مستخدمين 10000 بلغت قيمة 59%، وأما بالنسبة للشريحة الثالثة mMTC الأقل استهلاكاً وفقاً لجدول توزيع الموارد فقد بلغ معدل الاستهلاك بجالة عدد مستخدمين 100 قيمة 0.01% وعند عدد مستخدمين 10000 بلغ 1.6% من قيمة الموارد المخصصة لهذه الشريحة في جميع المحطات القاعدية.

تبيّن الأشكال (64-3)، (65-3)، (66-3)، (67-3) مقارنة بين مقاييس الأداء الأربعة مع زيادة عدد المستخدمين في الشبكة القائمة بذاتها:



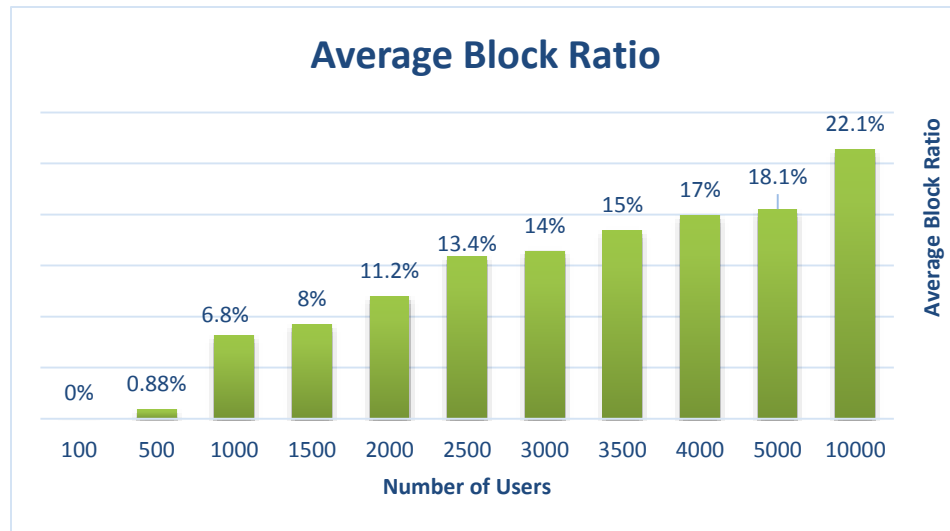
الشكل (64-3) مقارنة مقياس الأداء متوسط معدل المعطيات الكلي بدلالة عدد المستخدمين في الشبكة القائمة بذاتها [الباحث]

يبين الشكل (64-3) تزايد معدل المعطيات الكلي المستهلك عند تزايد عدد المستخدمين، حيث عند عدد مستخدمين 1000 بلغ معدل المعطيات 57Gbps وعند 3000 بلغ 161Gbps، فمعدل المعطيات يتناسب طردياً مع عدد المستخدمين.



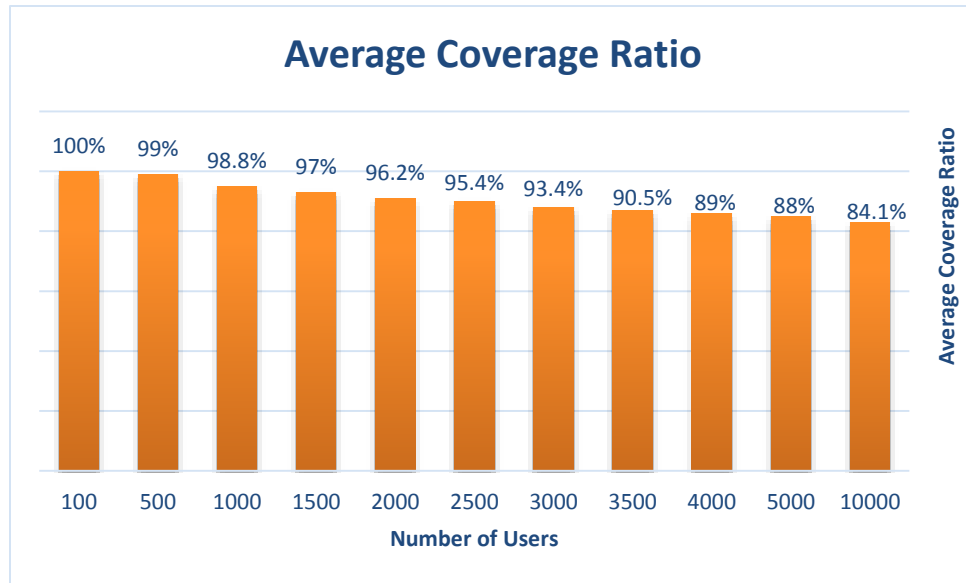
الشكل (3-65) مقارنة مقياس الأداء متوسط نسبة المستخدمين المتصلين بدلالة عدد المستخدمين في الشبكة القائمة بذاتها [الباحث]

يبين الشكل (3-65) تناقص متوسط نسبة المستخدمين المتصلين عند تزايد عدد المستخدمين، حيث عند عدد مستخدمين 1000 بلغ متوسط نسبة المستخدمين المتصلين 92% وعند 3000 بلغ 79%، ومنه متوسط نسبة المستخدمين المتصلين يتناسب عكساً مع عدد المستخدمين.



الشكل (3-66) مقارنة مقياس الأداء متوسط نسبة الحجب بدلالة عدد المستخدمين في الشبكة القائمة بذاتها [الباحث]

يبين الشكل (3-66) تزايد متوسط نسبة الحجب عند تزايد عدد المستخدمين، حيث عند عدد مستخدمين 1000 بلغ متوسط نسبة الحجب 6.8% وعند 3000 بلغ 14%، نظراً لعدم مقدرة الشبكة على تأمين الموارد لكافة المستخدمين، ومنه متوسط نسبة الحجب يتناسب طردياً مع عدد المستخدمين.



الشكل (67-3) مقارنة مقياس الأداء متوسط نسبة التغطية بدلالة عدد المستخدمين في الشبكة القائمة بذاتها [الباحث]

يبين الشكل (67-3) تناقص متوسط نسبة التغطية عند تزايد عدد المستخدمين، حيث عند عدد مستخدمين 1000 بلغ متوسط

نسبة التغطية 98.8% وعند 3000 بلغ 93.4%، وهذا يُعزى إلى عدم مقدرة الشبكة على تأمين الموارد لكافة المستخدمين،

ومنه متوسط نسبة التغطية يتناسب عكساً مع عدد المستخدمين.

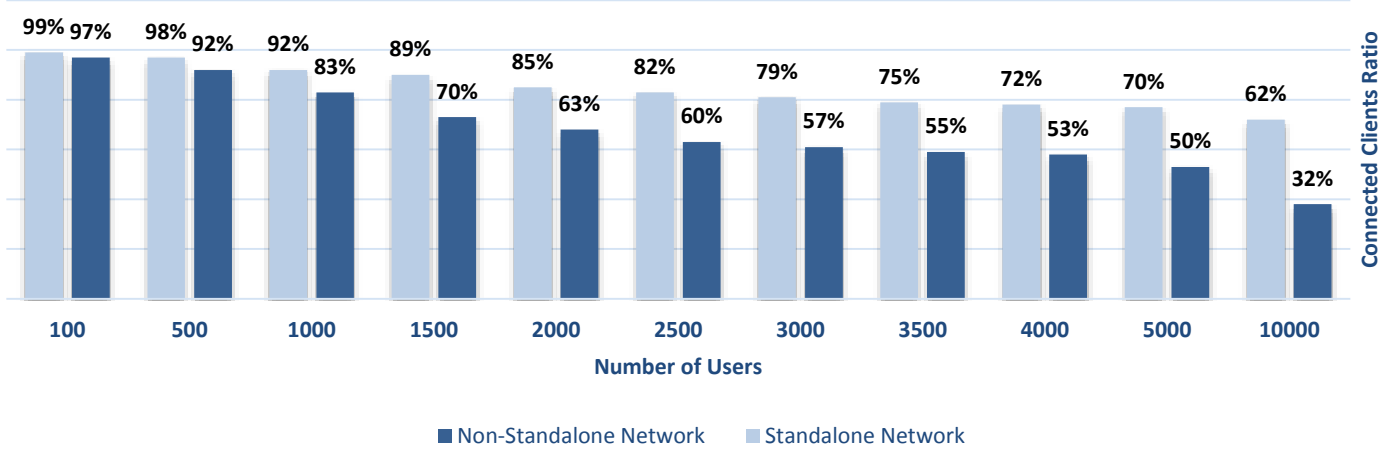
وتبين الأشكال (68-3) و(69-3) و(70-3) و(71-3) مقارنة تغير مقاييس الأداء لشبكتي الجيل الخامس بدلالة عدد

المستخدمين، والتي تُظهر تفوق أداء الشبكة القائمة بذاتها على أداء الشبكة غير القائمة بذاتها عند اتصال عدد كبير

من المستخدمين من حيث نسب التغطية والحجب ومعدل المعطيات الكلي المستهلك الذي يوضح استثمار الشبكة

القائمة بذاتها لمواردها بشكل أمثل.

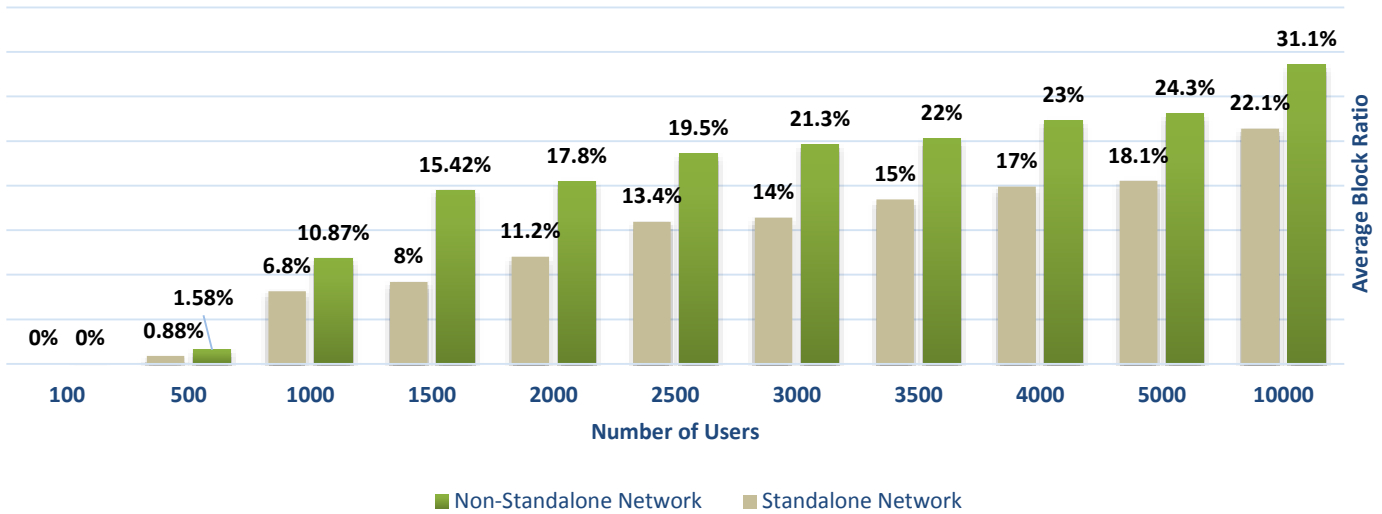
Connected Clients Ratio



الشكل (68-3) مقارنة بين شبكتي الجيل الخامس غير القائمة بذاتها والقائمة بذاتها من حيث متوسط نسبة المستخدمين

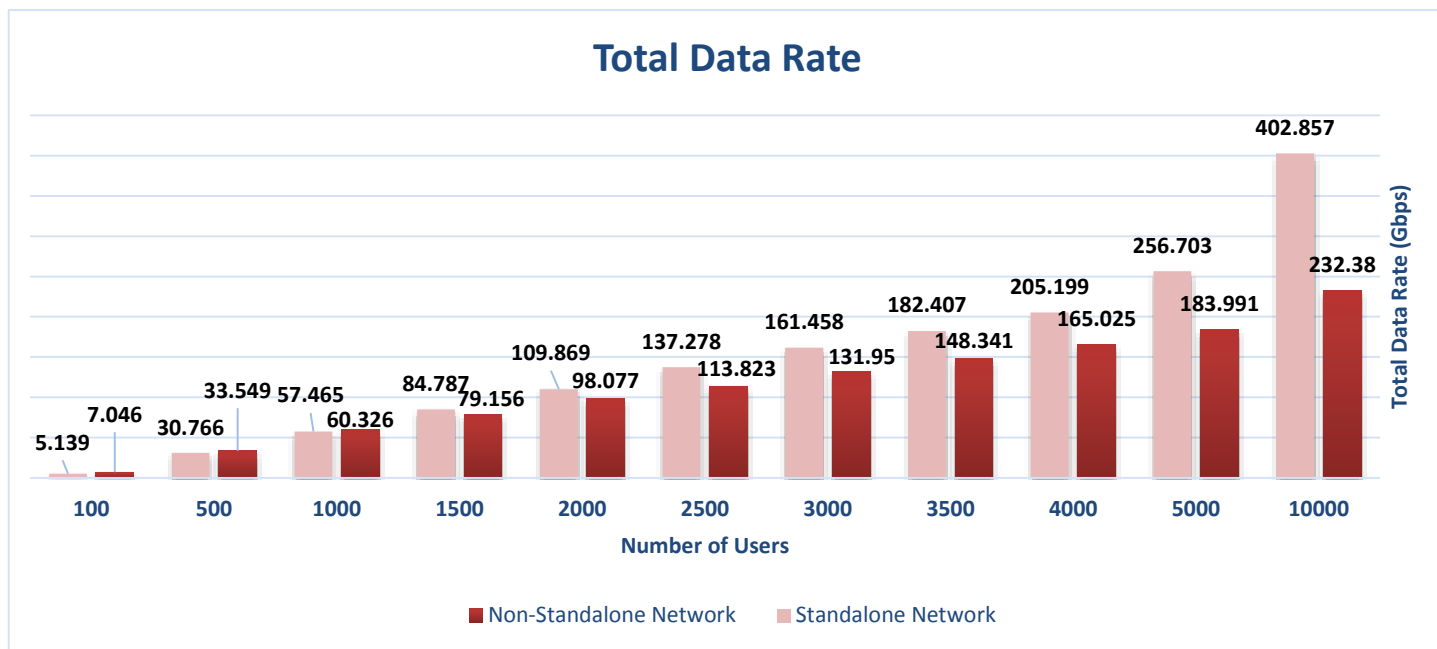
المتصلين بدلالة عدد المستخدمين [الباحث]

Average Block Ratio

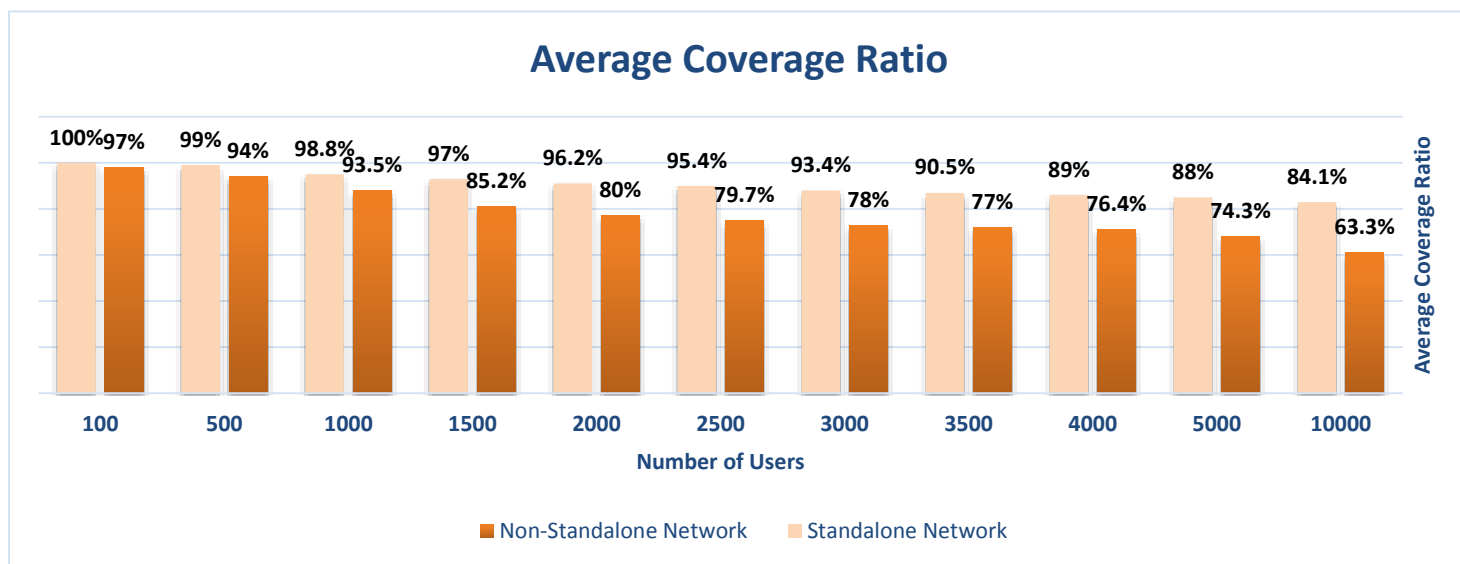


الشكل (69-3) مقارنة بين شبكتي الجيل الخامس غير القائمة بذاتها والقائمة بذاتها من حيث متوسط نسبة الحجب بدلالة عدد

المستخدمين [الباحث]



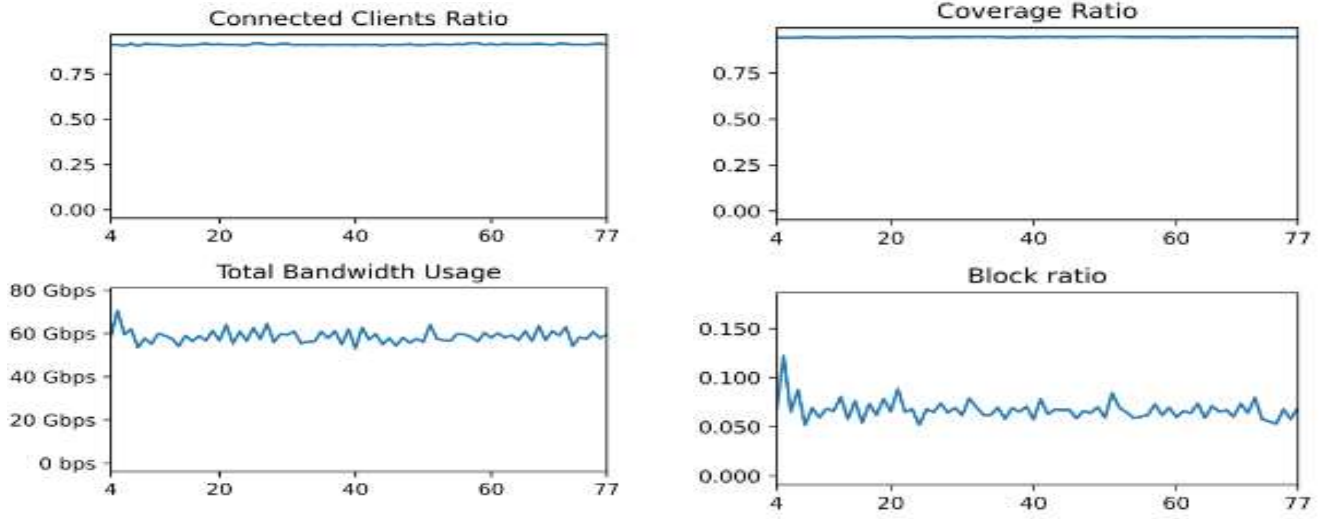
الشكل (70-3) مقارنة بين شبكتي الجيل الخامس غير القائمة بذاتها والقائمة بذاتها من حيث متوسط نسبة معدل المعطيات الكلي بدلالة عدد المستخدمين [الباحث]



الشكل (71-3) مقارنة بين شبكتي الجيل الخامس غير القائمة بذاتها والقائمة بذاتها من حيث متوسط نسبة التغطية بدلالة عدد المستخدمين [الباحث]

5-3 مقارنة النتائج مع نتائج دراسات سابقة

بالمقارنة مع الدراسة [20] والتي تشتمل على تقييم أداء شبكات الجيل الخامس القائمة بذاتها بدلالة نفس مقاييس الأداء، وعند نفس المتوسطات المعتمدة في بحثنا والمعتمدة على الدراسة [19]، حيث اعتمدوا تطبيق التجربة بدلالة عدد المستخدمين، وكانت نتائجهم بحالة عدد مستخدمين يساوي 1000 كالآتي:



الشكل (72-3) تغير مقاييس الأداء بدلالة الزمن من أجل عدد مستخدمين يساوي 1000 [الدراسة المرجعية]

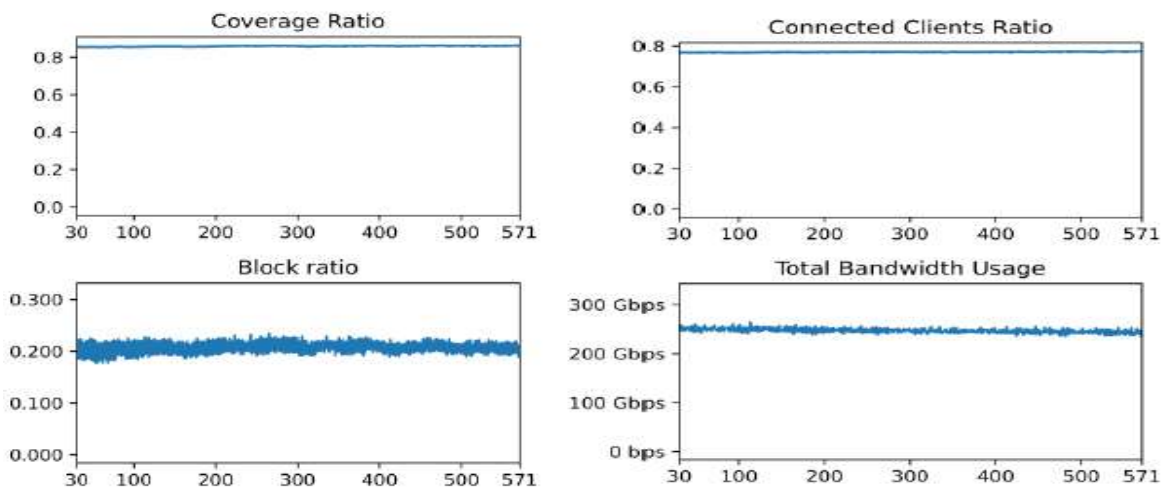
الجدول (30-3) متوسط قيم الأداء من أجل عدد مستخدمين يساوي 1000 [الدراسة المرجعية]

Initial number of clients	1000
Average connected client	0.90
Total Data Rate	54.554 Gbps
Average coverage ratio	0.94
Average block ratio	0.07

يظهر الشكل (72-3) والجدول (30-3) أنَّ الشبكة بحالة عدد مستخدمين 1000 في الدراسة المرجعية تغطي بحدود 94% بمعدل استهلاك 54Gbps وبلغت نسبة الحجب 7.8% وهي قيم متقاربة للقيم التي تم استخراجها في بحثنا حيث في سيناريو عدد المستخدمين 1000 في بحثنا بلغت نسبة التغطية 98% بمعدل استهلاك 57Gbps وبلغت نسبة الحجب 6.8%، والاختلاف الضئيل بالقيم يعود إلى التوزيع العشوائي للمستخدمين وبالتالي اختلاف القيم في كل تجربة، وأيضاً

في الرماز البرمجي للدراسة المرجعية عندما يتم تسجيل المستخدم على أنه محجوب يتم إعادة تصنيفه على أنه متصل عند إعادته محاولة الاتصال، أما في دراستنا عندما يتم تسجيل المستخدم على أنه محجوب تبقى حالته محجوب ولا يتم تسجيله في عداد المستخدمين المتصلين.

ويبين الشكل (73-3) تغير مقاييس الأداء بدلالة الزمن بحالة عدد مستخدمين يساوي 5000. ويُظهر الجدول (31-3) متوسط قيم مقاييس الأداء التي جرى الحصول عليها.



الشكل (73-3) تغير مقاييس الأداء بدلالة الزمن من أجل عدد مستخدمين يساوي 5000 [الدراسة المرجعية]

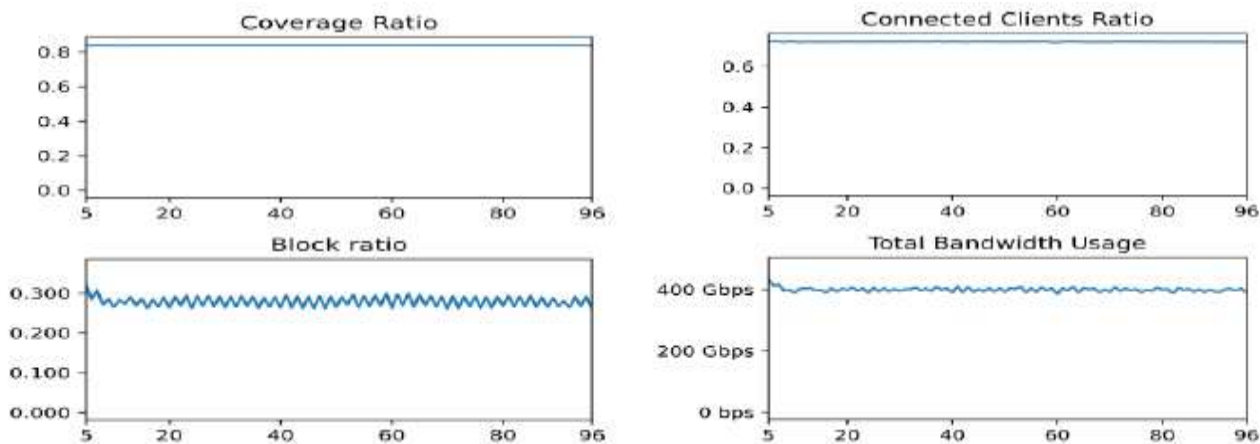
الجدول (31-3) متوسط قيم الأداء من أجل عدد مستخدمين يساوي 5000 [الدراسة المرجعية]

Initial number of clients	5000
Average connected client	0.77
Total Data Rate	247.111 Gbps
Average coverage ratio	0.86
Average block ratio	0.2071

يظهر الشكل (73-3) والجدول (31-3) أنه بحالة عدد مستخدمين 5000 في الدراسة المرجعية انخفضت نسبة التغطية لتصبح بحدود 86% وازداد معدل الاستهلاك إلى قيمة 247Gbps وارتفعت نسبة الحجب إلى قيمة 20.7%، هي

قيم متطابقة لحد كبير مع القيم التي تم استخراجها في بحثنا حيث في سيناريو عدد المستخدمين 5000 في بحثنا حيث انخفضت التغطية لتصبح 85% ومعدل الاستهلاك 247Gbps وبلغت نسبة الحجب 20.5%.

وبين الشكل (74-3) تغير مقاييس الأداء بدلالة الزمن بحالة عدد مستخدمين يساوي 10000. ويُظهر الجدول (32-3) متوسط قيم مقاييس الأداء التي جرى الحصول عليها.



الشكل (74-3) تغير مقاييس الأداء بدلالة الزمن من أجل عدد مستخدمين يساوي 10000 [الدراسة المرجعية]

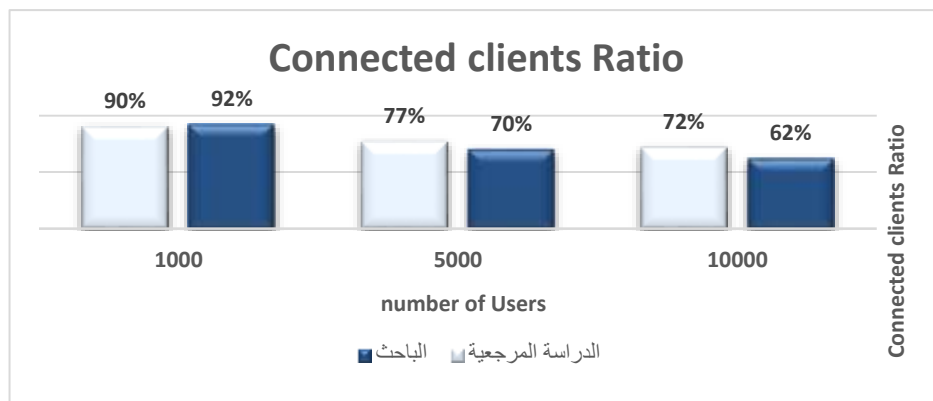
الجدول (32-3) متوسط قيم الأداء من أجل عدد مستخدمين يساوي 10000 [الدراسة المرجعية]

Initial number of clients	10000
Average connected client	0.72
Total Data Rate	400.173 Gbps
Average coverage ratio	0.84
Average block ratio	0.2794

يظهر الشكل (74-3) والجدول (32-3) أنّ الشبكة بحالة عدد مستخدمين 10000 في الدراسة المرجعية تابعت نسبة التغطية فيها الانخفاض لتصبح بحدود 84% وازداد معدل الاستهلاك إلى قيمة 400Gbps وارتفعت نسبة الحجب إلى قيمة 27%، وهي أيضاً قيم متطابقة لحد كبير مع القيم التي تم استخراجها في بحثنا حيث في سيناريو عدد المستخدمين 10000 في بحثنا حيث انخفضت التغطية لتصبح 84% ومعدل الاستهلاك 402Gbps وبلغت نسبة الحجب 22.1%. و أيضاً الاختلاف الضئيل بالقيم يعود إلى التوزيع العشوائي للمستخدمين وبالتالي اختلاف القيم في كل تجربة.

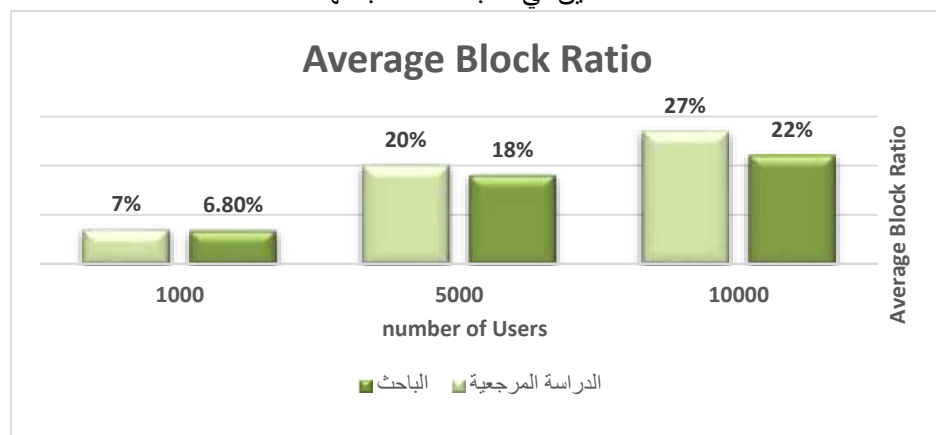
مما سبق نستنتج أن أداء الشبكة القائمة بذاتها في الدراسة المرجعية المعتمدة على نفس الرمز البرمجي المعتمد في بحثنا مع اختلاف بسيط وعند نفس المتوسطات، متوافق بنسبة 98% مع أداء الشبكة القائمة بذاتها في بحثنا، حيث مع زيادة عدد المستخدمين ينخفض عدد المستخدمين المتصلين الذين تستطيع الشبكة توفير موارد لهم، فعند عدد مستخدمين 1000 كانت نسبة عدد المستخدمين المتصلين بالشبكة 90% وعند عدد مستخدمين 5000 بلغت النسبة 77%.

كما يُلاحظ أن الأرقام التي حصلنا عليها منطقية ومتوافقة 98% مقارنةً مع نتائج المحاكاة الناتجة عن الدراسة المرجعية، فعلى سبيل المثال، عند عدد مستخدمين 5000 في بحثنا بلغ عدد المستخدمين المتصلين نحو 70% وعندهم بلغت 77% وهي نسبة منطقية تبعاً لعشوائية توزيع المستخدمين. وتبين الأشكال (75-3) و(76-3) و(77-3) و(78-3) مقارنة بين نتائج بحثنا والدراسة المرجعية وذلك بالنسبة لمقاييس الأداء للشبكة القائمة بذاتها بدلالة عدد المستخدمين.



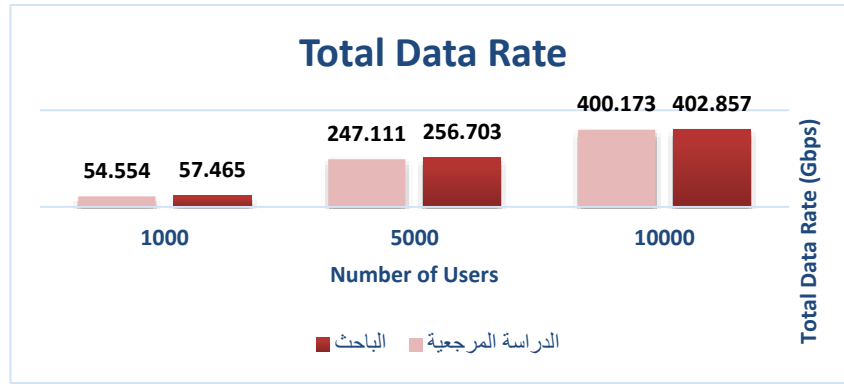
الشكل (75-3) مقارنة بين نتائج مقياس أداء متوسط نسبة المستخدمين المتصلين للباحث والدراسة المرجعية بدلالة عدد

المستخدمين في الشبكة القائمة بذاتها

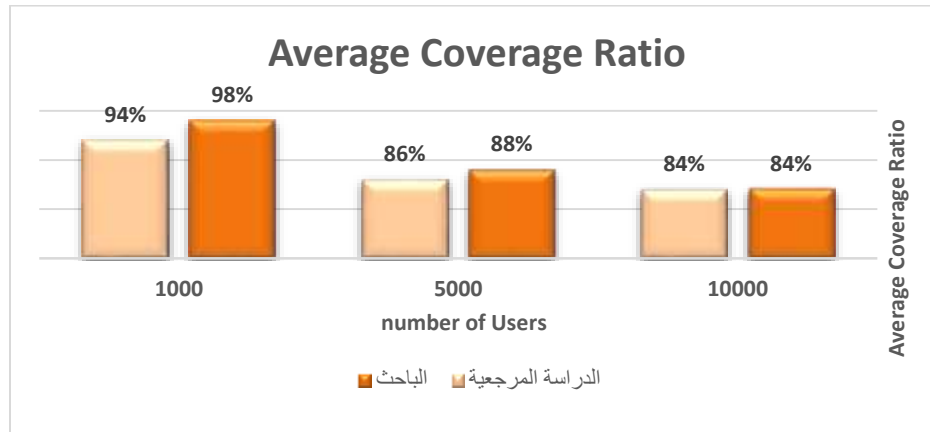


الشكل (76-3) مقارنة بين نتائج مقياس أداء متوسط نسبة الحجب للباحث والدراسة المرجعية بدلالة عدد المستخدمين في

الشبكة القائمة بذاتها



الشكل (77-3) مقارنة بين نتائج مقياس أداء متوسط معدل المعطيات الكلي للباحث والدراسة المرجعية بدلالة عدد المستخدمين في الشبكة القائمة بذاتها



الشكل (78-3) مقارنة بين نتائج مقياس أداء متوسط نسبة التغطية للباحث والدراسة المرجعية بدلالة عدد المستخدمين في الشبكة القائمة بذاتها

ومن الأشكال (75-3) و(76-3) و(77-3) و(78-3) نجد تطابق نتائج المحاكاة في البحث والدراسة المرجعية لحد كبير، حيث عند عدد مستخدمين يساوي 1000 بلغت نسبة المستخدمين المتصلين في دراستنا 92% وفي الدراسة المرجعية 90% ونسبة الحجب في بحثنا 6.8% وفي الدراسة المرجعية 7% ومعدل المعطيات الكلي في بحثنا 402Gbps وفي الدراسة المرجعية 400Gbps، وأما نسبة التغطية 98% في البحث و 94% في الدراسة المرجعية، وقد يعود الاختلاف الطفيف في نتائج مقاييس الأداء بين كلتا عمليتي المحاكاة إلى زمن تشغيل المحاكاة المعتمد أثناء إجراء

المحاكاة ومن ثم اختلاف حركية المستخدمين في الشبكة المدروسة خلال هذا الزمن، حيث في بحثنا تم اعتماد زمن تشغيل محاكاة مساوي لقيمة 100 ثانية عند جميع عدد المستخدمين بينما في الدراسة المرجعية أُعتمد على زمن متغيرٍ متناقص مع زيادة عدد المستخدمين، وأيضاً في الرماز البرمجي للدراسة المرجعية عندما يتم تسجيل المستخدم على أنه محجوب يتم إعادة تصنيفه على أنه متصل عند إعادته محاولة الاتصال، أما في دراستنا عندما يتم تسجيل المستخدم على أنه محجوب تبقى حالته محجوب ولا يتم تسجيله في عداد المستخدمين المتصلين.

6-3 تحليل النتائج العملية والاستنتاجات

استناداً للنتائج التي حصلنا عليها من عملية المحاكاة لكلا نوعي شبكات الجيل الخامس نجد أن:

- تفوقت شبكة الجيل الخامس القائمة بذاتها على الشبكة غير القائمة بذاتها بتحقيقها أكبر عدد للمستخدمين المتصلين وكذلك نسب التغطية وذلك في جميع حالات عدد المستخدمين، ومهما بلغ حجم هذه الشبكة من حيث زيادة عدد المستخدمين تبقى الأفضلية للشبكات القائمة بذاتها. على سبيل المثال نجد أن الشبكة القائمة بذاتها حققت نسبة عدد مستخدمين متصلين 62% مقارنة بمثلتها غير القائمة بذاتها التي حققت عدد للمستخدمين متصلين 32% عند أكبر عدد مستخدمين جرت دراسته 10000 مستخدم والمبيّنة في الشكل (68-3).

- أدت زيادة عدد المستخدمين في الشبكة القائمة بذاتها إلى زيادة نسبة الحجب ولكن بنسب أقل مقارنة مع الشبكة غير القائمة بذاتها، ولهذا تُعد متاحة الشبكة Network Availability بالشبكات القائمة بذاتها أفضل من غير القائمة بذاتها؛ والتي تُعرف بمقياس بقاء الشبكة متاحة أثناء واحدة الزمن. وهذا ما يقود إلى فعالية الشبكة القائمة بذاتها في توزيع الموارد المتاحة بالشبكة بالشكل الأمثل.

وعلى سبيل المثال من الشكل (3-69) حققت الشبكة القائمة بذاتها نسبة حجب للاتصال بالشبكة عند أكبر عدد مستخدمين 22% مقارنة بمثيلتها غير القائمة بذاتها التي كانت نسبة الرفض فيها 31%.

- استهلكت الشبكة القائمة بذاتها عرض مجال أقل مقارنة بالشبكات غير القائمة بذاتها عند نفس عدد المستخدمين باستخدام تقنية التشريح التي سمحت بتخصيص شرائح مختلفة في الخصائص، ومن ثم استثمار الموارد بشكل أفضل وتقليل الهدر بعرض المجال الكلي وتقديم خدمات بجودة أكبر.

نجد في الشكل (3-70) بلغ استهلاك الشبكة القائمة بذاتها عند أكبر عدد مستخدمين 402Gbps التي تقابل نسبة عدد متصلين 72% مقارنة بمثيلتها غير القائمة بذاتها التي كان الاستهلاك فيها لنسبة عدد المتصلين 38% مقدار 232Gbps، فلو فرضنا أن الشبكة غير القائمة بذاتها بلغت نفس النسبة من عدد المستخدمين المتصلين في القائمة بذاتها فإنها ستستهلك معدل أكبر من المعطيات مع ملاحظة أن الخدمات المطلوبة من المستخدمين قد لا تحتاج لمعدل معطيات كبير ولكن عدم المرونة في توزيع الموارد بين المستخدمين يسبب الهدر في الموارد.

- جودة الخدمات المقدمة من قبل الشبكة القائمة بذاتها أكبر من تلك المقدمة من قبل غير القائمة بذاتها، حيث كانت قيمة عرض المجال الترددي المضمون في الشبكات غير القائمة بذاتها 10Mbps قابلة للتناقص مع تزايد عدد المستخدمين لتحسين نسب التغطية كون الشبكة لا تستطيع تمييز الخدمات التي تحتاج لتخصيص عرض مجال ترددي أكبر من غيرها، أي التخصيص بناء على نوعية الخدمة الذي يؤدي إلى توافر الموارد مع زيادة عدد المستخدمين.

الآفاق المستقبلية Future works

يمكن تطوير هذا البحث في عدة محاور منها:

- بناء شبكة شرائحية تدعم آليات التشريح الدينامية Dynamic Network Slicing mechanism القابلة للتكيف مع نوعية الخدمات المطلوبة من قبل المستخدمين، حيث يمكن للشبكة آلياً تعديل مواصفات الشرائح آنياً بناءً على حالة الشبكة ومتطلبات المستخدمين.
- تقييم أداء الشبكة المدروسة اعتماداً على مقاييس أداء إضافية مثل معدل المعطيات المستهلك من كل شريحة على حدة، بحيث يُستفاد منها في تحليل أداء الشبكة القائمة بذاتها.
- تقييم أداء الشبكة المدروسة عند تغيير حجم الشبكة من حيث المساحة المدروسة.
- تقييم أداء الشبكة المدروسة عند تغيير شكل تغطية المحطات القاعدية.
- تقييم تغيير زمن التلبث على نتائج الدراسة.
- دراسة أثر تغيير الاستطاعة المستهلكة على نتائج الدراسة.
- تقييم درجة التعقيد للسيناريوهين المدروسين.

الأبحاث المنشورة Published Papers

جرى قبول المقالة البحثية المعنونة:

تقييم أداء الشبكات غير القائمة بذاتها والقائمة بذاتها في شبكات الجيل الخامس 5G

Performance Evaluation of Traditional and Slice-Based Networks in 5G Networks

- المجلة: جامعة دمشق للعلوم الهندسية

- تاريخ الإيداع: 2024/4/23

- تاريخ القبول: 2024/8/19

قائمة المراجع

- [1] Sundberg, N. (2018, September 10). Setting The Scene For 5G: Opportunities & Challenges. paper version.ITU. https://itu-ilibrary.org/science-and-technology/setting-the-scene-for-5g_pub/811d7a5f-en.
- [2] Barakabitze, A., et al. (2020). 5G Network Slicing using SDN and NFV: A Survey of Taxonomy, Architectures and Future Challenges. *Computer Networks*, 167(3), 106984, 1-40.
- [3] Papa, A., et al. (2019). Optimizing Dynamic RAN Slicing In Programmable 5G Networks. *IEEE International Conference on Communications*, IEEE, 1-7.
- [4] Boutiba, K., et al. (2022). NRflex: Enforcing Network Slicing In 5G New Radio. *Computer Communications*, 181, 284-292.
- [5] Liu, G., et al. (2020). 5G Deployment: Standalone vs. Non-Standalone From the Operator Perspective. *IEEE Communications Magazine*, 58(11), 83-89.
- [6] Pereyra, G., Rattaro, C., & Belzarena, P. (2022). An Open Source Multi-Slice Cell Capacity Framework. *CLEI Electronic Journal*, 25(2), 1-21.
- [7] Zhang, S. (2019). An Overview Of Network Slicing For 5G. *IEEE Wireless Communications*, 26(3), 111-117.
- [8] Kumar, A. (2022, November 19). What Are 5G Standalone (5G SA) and 5G Non-Standalone (5G NSA).Tech analysis. <https://ashok100.in/2022/11/19/what-are-jio-true-5g-and-airtel-5g-plus-what-are-5g-stand-alone-5g-sa-and-5g-non-standalone-5g-nsa-a-tech-analysis/>.
- [9] Chen, W. (2017, March). 5G Service-Guaranteed Network Slicing White Paper. HuaweiTechnologies.<https://www.huawei.com/en/huaweitech/industry-insights/outlook/mobile-broadband/insights-reports/5g-service-guaranteed-network-slicing-whitepaper>.
- [10] DEVOPEDIA. (2024, February 12). 5G Deployment Options.Version 7. <https://devopedia.org/5g-deployment-options>.
- [11] Darah, D. (2024, July 25). 5G NSA vs. SA: How Do The Deployment Modes Differ.TechTarget. <https://www.techtarget.com/searchnetworking/feature/5G-NSA-vs-SA-How-does-each-deployment-mode-differ>.

- [12] Smart Edge Open. (2020). Edge Cloud Deployment with 3GPP 5G Non-Standalone. https://smart-edge-open.github.io/ido-specs/doc/reference-architectures/core-network/smartedge-open_5g_nsa/.
- [13] Wang, M. (2020). 5G Implementation Guidelines: SA Option 2. GSMA. <https://www.gsma.com/futurenetworks/wp-content/uploads/2020/06/5G-SA-Option-2-ImplementationGuideline-v1.3>.
- [14] Airtel. (2023, June 12). What Is The Differences Between 5G Networking SA and NSA. Airtel India. <https://www.airtel.in/blog/prepaid/what-is-the-difference-between-5g-networking-sa-and-nsa/>.
- [15] Yasar, K., & Burke, J. (2023, December). Enterprise 5G: Guide To Planning, Architecture And Benefits (Network Slicing). TechTarget. <https://www.techtarget.com/searchnetworking/Enterprise-5G-Guide-to-planning-architecture-and-benefits>.
- [16] Li, X., Samaka, M., Chan, H. A., Bhamare, D., Gupta, L., Guo, C., & Jain, R. (2017). Network slicing for 5G: Challenges and opportunities. IEEE Internet Computing, 21(5), 20-27.
- [17] Trick, C. (2022, October 27). What is Network Slicing, and How Does It Work With 5G. Trento Systems. <https://www.trentonsystems.com/en-us/resource-hub/blog/what-is-network-slicing-5g>.
- [18] Farcasiu, G., et al. (2024). Python. Python.org. Version 2, <https://doc.python.org/3/c-api/index.html>.
- [19] Dilmac, A., & Gure, M. (2020). SliceSim: A Simulation Suite For Network Slicing in 5G. GitHub. <https://github.com/rohan-chandrashekar/5G-Network-Slicing>.
- [20] Falow, M., et al. (2021). Network Slicing For 5G. Yarmouk Private University. Burke, J. (2023). 5G standalone (5G SA). Techtarget.
- [21] Rodriguez, J. (2016). Distributed Cognitive RAT Selection In 5G Heterogeneous Networks: A Machine Learning Approach. University Of New Mexico-UNM.
- [22] Tombaz, S. (2023, April 24). Non-standalone and Standalone: Two Standards-based Paths To 5G. Ericsson. <https://www.ericsson.com/en/blog/2023/4/standalone-and-non-standalone-5g-nr-two-5g-tracks>.

- [23] Wang, M. (2019, March 28). 5G Implementation Guidelines: NSA Option 3. GSMA. https://www.gsma.com/solutions-and-impact/technologies/networks/gsma_resources/5g-implementation-guidelines-nsa-option-3/.
- [24] Sphinx., et al. (2020). Python. PyPI.org. <https://pypi.org/project/Sphinx>.
- [25] Thelander, M. (2019). A Global Perspective Of 5G Network Performance. Signals Research Group. <https://signalsresearch.com/issue/a-global-perspective-of-5g-network-performance>.
- [26] Khanfouci, M. (2017, June). Distributed mobility management based on centrality for dense 5G networks. In 2017 European Conference on Networks and Communications. IEEE ,1-6.
- [27] Giotopoulou, P., (2015). The Evolution Of Mobile Communications: Moving From 1G to 5G, And From Human-To-Human To Machine-To-Machine Communications. National And Kapodistrian University Of Athens.

الملحق

Appendice

أدوات لغة بايثون المستخدمة في المحاكاة

تتوفر مجموعة من المكتبات في المحاكى VS Code المستخدم في هذا البحث التي تسمح لنا بإجراء عمليات المحاكاة باستخدام لغة البرمجة Python، ومن هذه المكتبات الرئيسية [24]:

- الأداة SimPy: هو إطار عمل لمحاكاة الأحداث المنفصلة discrete events يعتمد على لغة بايثون المعيارية. وتعرف العملية في مكتبة SimPy بواسطة وظائف مولد بايثون Python ويمكن، على سبيل المثال، استخدامها لنمذجة المكونات النشطة مثل الزبائن clients أو المركبات أو الوكلاء agents، كما توفر أنواعاً مختلفة من الموارد المشتركة لنمذجة نقاط الازدحام ذات السعة المحدودة مثل عدادات الخروج للمخدمات. [24]

- الأداة Kiwisolver: وهي تنفيذ فعال بلغة C++ لخوارزمية حل قيود كاسوري cassowary. وهذه الأداة ليست إعادة هيكلة للمحلل بلغة C++ الأصلي. ولقد صممت الأداة كيوي Kiwi أيضاً لنفس الغاية بحيث تتميز بخفة الوزن والسرعة. تراوح سرعة الحل بأداة كيوي Kiwi من عشر مرات إلى خمسمائة مرة سرعة الحل بالأداة كاسوري cassowary الأصلي مع تحسين حالات الاستخدام النموذجية بمقدار أربعين مرة. ويكون معدل توفير الذاكرة ثابتاً أكبر من خمس مرات. بالإضافة إلى الحل بلغة C++ ، يأتي الأداة كيوي Kiwi مع روابط لغة بايثون Python مضمنة ضمن الإصدار Python 3.6 ومابعده [24].

-المكتبة ماتبلوتيب Matplotlib: هي مكتبة شاملة لإنشاء تصورات ثابتة constant image ومتحركة وتفاعلية بلغة بايثون، وتنتج المكتبة Matplotlib أرقاماً بجودة النشر في مجموعة متنوعة من التنسيق المطبوعة والبيئات التفاعلية عبر المنظومات الأساسية. ويمكن استخدام المكتبة ماتبلوتيب Matplotlib في برنامج لغة بايثون Python النصي، وبايثون Python وبايثون التفاعلي (IPython shell Interactive Python) ، ومخدمات الويب، والعديد من مجموعات أدوات واجهة المستخدم البيانية [24].

- الأداة Kdtree: عبارة عن بنية معطيات لتقسيم الفضاء والتي تنظم بكفاءة نقاط الحبر ومساحة الأبعاد. وتسمح لتنفيذ شجرة بحث اثنائية binary متعددة الأبعاد[24].

- الأداة Numpy: جرى إنشاؤه عام 2005 وتستعمل للعمل مع المصفوفات، كما أنّ لديها وظائف للعمل في مجال الجبر الخطي، وتحويل فورييه، والمصفوفات. وهي مشروع مفتوح المصدر يمكن استخدامه بحرية [24].

- الأداة Pillow: مبنية على مكتبة صور بايثون (PIL) Python Image Library ، وتُعدّ هذه المكتبة واحدة من الوحدات المهمة لمعالجة الصور في بايثون، وتوفّر هذه الأداة دعماً شاملاً لتنسيق الملفات [24].

- المكتبة الألوان العشوائية (راندوم كلر) Randomcolor: وهي لتوليد ألوان عشوائية جذابة وخط كميات متفاوتة من اللون الأحمر والأزرق والأخضر معاً، وثمة 256 خياراً مختلفاً للكمية لكل لون [24].

- المكتبة تعلّم ساكييت Scikit-learn: وهي مكتبة توفّر تعلّم آلة مفتوحة المصدر العديد من خوارزميات التعلّم بلا إشراف. وتُستخدم لتعلّم الآلة (Machine Learning (ML) والتتقيب في المعطيات (Data Mining (DM) [24].

- الأداة Scipy: وتُستعمل في حلّ المسائل العلمية والرياضية، وهي امتداد لمكتبة نمباي NumPy وتسمح للمستخدم بمعالجة المعطيات وتصورها باستخدام مجموعة واسعة من الأوامر عالية المستوى. وهي مخصّصة للرياضيات والعلوم والهندسة [24].

- المكتبة سيكس Six: وظيفتها توفير مساعدة لتسوية الاختلافات بين إصدارات بايثون بهدف كتابة رماز برمجي بايثون متوافق مع إصداري بايثون (الثانية والثالثة) [24].

- المكتبة سيكلر Cycler: وظيفتها توفير فئة قابلة للجمع composable تستخدم لبناء دورات طرز-Style Cycles[22].

المكونات الأساسية للرماز البرمجي المُحاكي لشبكتي الجيل الخامس

قمنا بالاعتماد على رماز برمجي جاهز [19] لبرمجية سلايس SliceSim، والتي تعتمد على لغة بايثون لتنفيذ الرماز وإظهار نتائجه، حيث يتكون من محطات قاعدية وزبائن يمكن لسيناريوهات جيل خامس الاعتماد عليه في التحليل، ويتضمن هذا الرماز البرمجي المكونات الآتية: [19]

- قسم المحطة القاعدية Base Station

لتعريف المحطة القاعدية بعرض المجال الذي تتمتع به capacity_bandwidth، ومساحة التغطية coverage التي تخدمها، ويُضاف إليهما في سيناريو الشبكة القائمة بذاتها الشرائح التي تحتوي عليها slices. [7]

- قسم الزبائن Client

يُعرّف تبعاً لموقعه داخل المنطقة المدروسة (X,Y)، ومخطط الحركة mobility_pattern، والتردد المستخدم usage_freq، وفي سيناريو الشبكة القائمة بذاتها يُضاف دليل الشريحة المشترك فيها subscribed_slice_index، ومتغير جمع الإحصائيات stat_collector.

في هذه الفئة نقوم بتعريف الزبون تبعاً لقربه من المحطات القاعدية والمحطة القاعدية التي يتصل بها. ويجري التحقق ما إذا كان متصلاً بالشبكة أم غير متصل، وزمن الاتصال، وزمن انقطاع الاتصال، وعدد الطلبات التي يرسلها، وإجمالي الاستخدام. ثمة أربع خطوات في الدورة:

- الخطوة الأولى (00. القفل): يجري التحقق من حالة الاتصال ومقدار الاستهلاك المتبقي المسموح به وضبط حالة المستخدم بناءً عليه (فصله أو توصيله بشريحة معينة في حالة الشبكة القائمة بذاتها أو البدء في حساب استخدامه إذا أراد الاتصال).

- الخطوة الثانية (0.25 الإحصائيات): جمع إحصائيات الزبائن.

- الخطوة الثالثة (0.50 التحرير): يُختبر زمن الاتصال وحدّ الاستهلاك الإجمالي.

- الخطوة الرابعة (0.75 الحركية): التحقّق من حركية المستخدم وتغيير موقع إحداثياته واتخاذ الإجراءات المناسبة في

حال انتقاله من محطة قاعدية إلى أخرى، وإذا ترك تغطية المحطة القاعدية يجري فصل الاتصال بتجهيزة الزبون.

وَيُناقش في قسم الزبائن حالة الاستخدام كالاتي:

• التعليمة connect(self): ربط الزبون.

• التعليمة disconnect(self): فصل الزبون.

• التعليمة start_consume(self): بدء حساب الاستهلاك.

• التعليمة Release_consume(self): تحرير الموارد.

• التعليمة assign_closest_base_station(self, exclude): يأخذ الرقم التعريفي للمحطة القاعدية الأساسية التي

يتصل بها المستخدم ويحسب المسافة بين المستخدم والمحطات القاعدية الأخرى لتحديد أقرب محطة من موقعه.

- قسم الحاوية Container

يحتوي على سعة Capacity المحطة القاعدية. حيث يقوم بتحديد المحطة القاعدية المتصل بها الزبون وحساب السعة

الموجودة بها والسعة التي يريد الزبون استخدامها، وإضافة السعة المستخدمة من قبله عند انتهاء الجلسة للسعة الإجمالية.

- قسم التغطية Coverage

يأخذ الموقع المركزي للمحطة القاعدية ونصف قطرها، ويحسب المسافة الغاوصية Gaussian distance بناءً عليه.

هذا القسم له الوظيفة الآتية:

الوظيفة `get_gaussian_distance (self, p)`: المتغير `p` هو زوج من الإحداثيات `(x,y)` وتستخدمه الدالة لحساب المسافة الغاوسية.

- قسم الموزع Distributer

يقوم بتوزيع الزبائن بشكل عشوائي وتقسيم المساحة بتحديد لإحداثيات `(x,y)` لكل مستخدم.

- قسم الشرائح Slices

تُعرف بوساطة اسم الشريحة، ونسبة الموارد التي تحصل عليها من المحطة القاعدية، وعدد المستخدمين المتصلين، ومستخدم المعطيات لمشاركتها مع أقرب محطة قاعدية (`user_share`)، وعرض المجال الترددي المضمون والحد الأقصى لعرض المجال الترددي.

ولهذا القسم وظيفتان:

- الوظيفة `get_consumable_share(self)`: حساب الحصة المستهلكة.

- الوظيفة `is_avaliable(self)`: التحقق من توافر عرض المجال الذي يحتاجه المستخدم اللاحق إذا كان أقل من المجال الترددي المضمون فيعيد صح `True` وإلا يعيد `False`.

-قسم الإحصائيات Stats

يتعامل مع كل المحطات القاعدية `base_station` والزبائن `Clients` وهو يحتوي على الوظائف الآتية:

- الوظيفة `get_stats(self)`: لإظهار الإحصائيات: إجمالي نسبة المستخدمين المربوطين

(`total_connected_users_ratio`) وإجمالي عرض المجال المستخدم (`total_used_bw`) ومتوسط عدد الزبائن

بالشريحة (`avg_slice_client_count`) ونسبة التغطية (`coverage_ratio`) وعدد الكتل (`block_count`)

- الوظيفة collect(self): تستدعي قسم المستخدم وتأخذ المعطيات المحفوظة في الخطوة الثانية (إحصائيات 0.25).

- الوظيفة get_total_connected_clients_ratio(self): تستدعي قسم المحطة القاعدية وقسم المستخدم لحساب

نسبة المستخدم المربوط في كل شريحة وكل محطة قاعدية.

- الوظيفة get_total_used_bw(self): تستدعي قسم المحطة القاعدية وتعيد إجمالي عرض المجال المستخدم.

- الوظيفة get_avg_slice_client_count(self): تستدعي قسم المحطة القاعدية وقسم الشرائح لحساب متوسط

عدد الزبائن في كل شريحة.

- الوظيفة incr_block_count(self, client): زيادة عدد الكتل عند اتصال الزبون الجديد.

- الوظيفة is_client_in_coverage(self, client): للتحقق من وجود الزبون في نطاق التغطية.

- قسم الرسم البياني Graphic

مدخلاته هي عدد الزبائن والمحطات القاعدية. حيث لمحاكاة شبكة الجيل الخامس غير القائمة بذاتها/القائمة بذاتها

يحدد حجم الخريطة المراد رسمها، ثم يتم اختيار ألوان عشوائية ليتم بوساطتها رسم المدخلات، ويتم تحديد مواقع

المحطات القاعدية من خلال قسم المحطة القاعدية، والزبائن من قسم الزبائن، ويستدعي قسم الإحصائيات لرسم

مخططات الإخراج التي تشير إلى حالة الشبكة مع جميع المسميات المناسبة لعرض المعطيات.

Syrian Arab Republic
Ministry of Higher Education and Scientific Research
Damascus University
Faculty of Mechanical and Electrical Engineering
Department of Electronics and Communication Engineering



Performance Comparison Between Traditional and Slice-Based Networks in 5G Networks

A Dissertation Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master in Advanced Communications Engineering

Prepared by
Eng. Bayan Helo

Supervised by
Dr. Eng. Nidal Zaidan

Academic Year

2024-2025