

تقييم مقارن لأداء شبكات الجيل الرابع (4G/LTE) في مدينة الزاوية استنادًا إلى مؤشرات
جودة الخدمة وجودة الإشارة (دراسة ميدانية)

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol39-2-bd15>

Received	2026/09/20	تم استلام الورقة العلمية في
Accepted	2026/10/15	تم قبول الورقة العلمية في
Published	2026/10/16	تم نشر الورقة العلمية في

تقييم مقارن لأداء شبكات الجيل الرابع (4G/LTE) في مدينة الزاوية استنادًا إلى مؤشرات جودة الخدمة وجودة الإشارة (دراسة ميدانية)

ناجي بلعيد خليفة الغليظ

كلية التربية ناصر، جامعة الزاوية، ليبيا

najyalghlyd@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0007-9082-6736>

الملخص

هدفت الدراسة إلى مقارنة أداء شبكتي الجيل الرابع (4G/LTE) لدى ليبيا والمدار الجديد في خمسة مواقع مختارة بمدينة الزاوية باستخدام خمسة مؤشرات لجودة الخدمة وثلاثة لجودة الإشارة. جُمعت 360 قراءة خلال أربع فترات يومية في ثلاثة أيام، ولُخصت في 120 متوسط جلسة و 60 زيارة متناظرة. قورنت جلستا المشغلين داخل كل زيارة، ثم حُللت فروق الزيارات على مستوى المواقع لمراعاة تكرار القياس، مع فحص الحساسية بنموذج مختلط وتصحيح قيم الدلالة بطريقة Holm للمؤشرات الثمانية. بلغ متوسط التنزيل 3.63 Mbps لدى المدار الجديد مقابل 3.50 Mbps لدى ليبيا، بينما سجلت ليبيا ارتفاعاً أعلى وزمن استجابة وتذبذباً أقل. وكان فرق زمن الاستجابة (ليبيا ناقص المدار الجديد) -2.750 ms، بفاصل ثقة 95% من -3.999 إلى -1.501 ms وقيمة p مصححة قدرها 0.029؛ ولم تبلغ بقية الفروق الدلالة بعد التصحيح. وصفيًا، سجلت الفترة المسائية أضعف أداء لمؤشرات الخدمة الخمسة، وتغير اتجاه بعض فروق المشغلين بين المواقع، وضعفت ارتباطات SINR بالخدمة بعد مراعاة عوامل القياس. تقتصر النتائج على النقاط والأيام المدروسة ولا تقدر أداء الشبكتين في أنحاء المدينة؛ وتوصي الدراسة بتوسيع القياسات وتوثيق خصائص الخلايا وخادم الاختبار في حملات لاحقة.

الكلمات المفتاحية: شبكات الجيل الرابع، جودة الخدمة، جودة الإشارة، القياسات الميدانية، التباين المكاني والزمني، مدينة الزاوية.

تقييم مقارن لأداء شبكات الجيل الرابع (4G/LTE) في مدينة الزاوية استنادًا إلى مؤشرات
جودة الخدمة وجودة الإشارة (دراسة ميدانية)

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol39-2-bd15>

Comparative Evaluation of 4G/LTE Network Performance in Zawiya City Based on Quality of Service and Signal Quality Indicators: A Field Study

Naja Bileid Khaleefah Alghaleeth

Faculty of Education – Nasser, University of Zawia, Libya

najyalghlyd@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0007-9082-6736>

Abstract

This study compared the 4G/LTE performance of Libyana and Almadar Aljadid at five selected locations in Zawiya City using five quality-of-service and three signal-quality indicators. Across four daily periods on three days, 360 readings were summarized as 120 session means and 60 matched visits. Within-visit operator differences were summarized at the location level to account for repeated measurements; a mixed-effects model assessed sensitivity, and Holm adjustment covered eight indicators. Mean download speed was 3.63 Mbps for Almadar Aljadid versus 3.50 Mbps for Libyana, which recorded higher mean upload speed and lower mean latency and jitter. The latency difference (Libyana minus Almadar Aljadid) was -2.750 ms (95% CI: -3.999 to -1.501 ms; Holm-adjusted $p = 0.029$); no other indicator reached significance after adjustment. Descriptively, the evening period showed the poorest performance across the five service indicators, some operator differences changed direction across locations, and SINR–service associations weakened after adjustment for measurement factors. The findings are limited to the measured locations, dates, and conditions and do not estimate citywide performance. Future campaigns should sample more locations and dates and record cell configuration and the test server.

Keywords: 4G/LTE networks, quality of service, signal quality, field measurements, spatial and temporal variation, Zawiya City.

تقييم مقارن لأداء شبكات الجيل الرابع (4G/LTE) في مدينة الزاوية استنادًا إلى مؤشرات
جودة الخدمة وجودة الإشارة (دراسة ميدانية)

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol39-2-bd15>

1. المقدمة

أصبحت شبكات النطاق العريض المتنقل مكونًا أساسيًا في خدمات الاتصالات، مع تزايد الاعتماد على الإنترنت المتنقل في التعليم والعمل والوصول إلى التطبيقات الرقمية، وقد أسهمت تقنية التطور طويل الأمد (LTE) المستخدمة في شبكات الجيل الرابع في تحسين معدلات نقل البيانات وكفاءة استخدام الموارد الراديوية، ومع ذلك، فإن القدرات النظرية للشبكة لا تعكس بالضرورة مستوى الخدمة الذي يحصل عليه المستخدم، إذ يختلف الأداء الفعلي باختلاف ظروف التغطية والتشغيل ومكان القياس ووقته، وتبرز لذلك أهمية القياسات الميدانية في وصف أداء الشبكات التجارية ورصد التفاوت في الخدمة، بما يكمل المعلومات المستمدة من المواصفات التقنية وبيانات التغطية (Umoh et al., 2023). يتطلب تقييم أداء شبكات 4G/LTE استخدام مؤشرات متعددة تصف جوانب الاتصال المختلفة. فإلى جانب سرعة التنزيل، توفر سرعة الرفع وزمن الاستجابة (Latency) والتذبذب في زمن الاستجابة (Jitter) وفقدان الحزم (Packet Loss) معلومات عن مستوى جودة الخدمة. كما تساعد مؤشرات الطبقة الراديوية، المتمثلة في القدرة المستقبلية للإشارة المرجعية (RSRP)، وجودة الإشارة المرجعية المستقبلية (RSRQ)، ونسبة الإشارة إلى التداخل والضوضاء (SINR)، على توصيف ظروف الإشارة المصاحبة للقياس، ويسمح الجمع بين هاتين المجموعتين بدراسة العلاقة بين خصائص الاتصال الراديوي والأداء المسجل، دون اختزال جودة الشبكة في قوة الإشارة أو سرعة التنزيل وحدهما (Imoize et al., 2020).

تكتسب المقارنة بين المشغلين أهمية خاصة عندما تشمل مواقع وأوقاتًا متعددة؛ لأن المتوسط العام قد يخفي اختلافات محلية في الأداء. وعلى المستوى الليبي، تناولت دراسة سابقة جودة خدمة GPRS لدى ليبيا والمدار الجديد، وقدم تقرير لتجربة المستخدم مقارنة بينهما شملت نتائج وطنية خاصة باتصال 4G، إلى جانب تحليل لطرابلس (Aburkhiss et al., 2015; Fenwick, 2020). ومع اختلاف التقنية ونطاق القياس وطريقة جمع البيانات، تظل الحاجة قائمة إلى وصف فروق الأداء بين المشغلين داخل نقاط محددة بمدينة الزاوية، عبر زيارات متتالية تجمع مؤشرات جودة الخدمة والإشارة.

تقييم مقارن لأداء شبكات الجيل الرابع (4G/LTE) في مدينة الزاوية استناداً إلى مؤشرات
جودة الخدمة وجودة الإشارة (دراسة ميدانية)

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol39-2-bd15>

بناءً على هذه الفجوة، تهدف الدراسة إلى مقارنة أداء شبكتي LTE/4G لدى ليبيا والمدة الجديد في خمسة مواقع بالزاوية عبر أربع فترات يومية وثلاثة أيام، باستخدام خمسة مؤشرات لجودة الخدمة وثلاثة لجودة الإشارة. وتتمثل إضافتها في تقديم مقارنة محلية مبنية على 60 زيارة متناظرة، تُقدّر فيها فروق المشغلين داخل الزيارة، ثم يُراعى تكرار القياس عند اختبار متوسط الفروق على مستوى المواقع وعرض فترات الثقة وقيم الدلالة المصححة. وتصف الدراسة كذلك تغير الفروق بحسب الموقع والفترة، وتستكشف العلاقة بين الإشارة والخدمة؛ وتظل استنتاجاتها مقيدة بالنقاط والأيام وظروف القياس المشمولة.

2. الدراسات السابقة

تناولت الدراسات السابقة تقييم أداء شبكات الهاتف المحمول من خلال القياسات الميدانية، مع اختلاف نطاقها الجغرافي، ومؤشرات الأداء المستخدمة، وعدد المشغلين، وظروف تنفيذ الاختبارات، ويمكن تمييز اتجاهين متكاملين في هذه الدراسات: المقارنة بين الشبكات والمشغلين باستخدام مؤشرات الخدمة، وتحليل خصائص الإشارة الراديوية وعلاقتها بمعدلات نقل البيانات، ويتيح الجمع بين هذين الاتجاهين فهماً أشمل للأداء المسجل، مع ضرورة مراعاة اختلاف تصميم القياس عند تفسير النتائج والمقارنة بينها.

في السياق الليبي، قاس Aburkhiss وزملاؤه أداء خدمة GPRS عبر شبكتي ليبيا والمدار الجديد بمؤشرات شملت معدل النقل والتأخير وفقدان الحزم، وهو نطاق تقني يختلف عن 4G (Aburkhiss et al., 2015). كما حلل تقرير Fenwick (2020) تجربة مستخدمي المشغلين خلال 90 يوماً في ليبيا، وعرض مؤشرات على المستوى الوطني، بما فيها سرعات خاصة باتصال 4G، ونتائج لطرابلس. ويفيد التقرير في وضع المقارنة المحلية ضمن سياق ليبي أوسع، لكنه يعتمد بيانات تجربة مستخدمي على نطاق أوسع ويختلف في تصميمه وزمنه عن القياسات الثابتة والمتابعة للمشغلين داخل الزيارة الواحدة في نقاط الزاوية.

في مجال المقارنات الميدانية، تناولت دراسة Shayea وزملائه أداء خدمات النطاق العريض المتنقل لشبكات الجيلين الثالث والرابع في مناطق حضرية بأربع ولايات ماليزية، وشملت القياسات ثلاثة مشغلين، ونُفذت باستخدام اختبارات القيادة الميدانية (Drive

تقييم مقارن لأداء شبكات الجيل الرابع (4G/LTE) في مدينة الزاوية استنادًا إلى مؤشرات
جودة الخدمة وجودة الإشارة (دراسة ميدانية)

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol39-2-bd15>

Test) خلال شهرين، واعتمد التقييم على التغطية والسرعة والتأخير ومؤشرات جودة تجربة تصفح الويب وبث الفيديو، وأظهرت النتائج تفوقًا عامًا للجيل الرابع على الجيل الثالث في الخدمات المدروسة، وتبرز أهمية هذه الدراسة في اتساع نطاق المقارنة وتعدد مؤشرات التقييم، بينما يرتبط تطبيق نتائجها بالخدمات والمناطق وظروف القياس التي شملتها، وهو ما يستدعي إجراء تقييمات محلية عند دراسة شبكات تعمل في بيئات مختلفة (Shayea et al., 2021).

وفي دراسة لشبكة LTE حية متعددة المواقع، جمع Sezgin وزملاؤه قياسات من طبقات الشبكة ومن طرف المستخدم، شملت زمن التأخير ومعدل النقل والانتقال بين الخلايا (Sezgin et al., 2018).

وجمعت دراسة El-Saleh وزملائه بين قياسات جودة الإشارة ومؤشرات الخدمة عند تقييم خمسة مشغلين في مدينة Cyberjaya الماليزية، وشملت بيانات داخلية وخارجية لشبكات الجيلين الثالث والرابع، وتضمنت المؤشرات معدلات التنزيل والرفع، وزمن الاستجابة، وفقدان الحزم، والانتقال بين الخلايا، إلى جانب جودة الإشارة، وبلغ أعلى متوسط للتنزيل والرفع في الاختبارات الخارجية 14.3 و 7.1 Mbps على التوالي، بينما سجلت القياسات داخل المباني متوسطًا عامًا لمعدل النقل يقارب 2 Mbps، وتوضح هذه النتائج أهمية تحديد بيئة الاختبار عند تفسير الأداء، كما تدعم الجمع بين المؤشرات الراديوية والخدمية بدل الاكتفاء بمؤشر منفرد (El-Saleh, Alhammadi, et al., 2023).

وفي سلطنة عُمان، حلل El-Saleh وزملاؤه أداء شبكات الجيلين الثالث والرابع لدى مشغلين في أربع مدن، باستخدام اختبارات قيادة شملت جودة الإشارة ومعدل النقل وزمن الاستجابة والانتقال بين الخلايا (El-Saleh et al., 2022).

وتناولت دراسة أخرى قياسات داخل المباني وخارجها في خمس مدن عُمانية، باستخدام مؤشرات للإشارة ومعدل النقل وزمن الاستجابة والانتقال بين الخلايا لدى مشغلين (El-Saleh, Al Jahdhami, et al., 2023).

وفي بيئة صناعية داخلية، قاس Polak وزملاؤه تغطية شبكتي 4G و 5G في مواقع وأوقات مختلفة داخل مصنع، وأظهروا ارتباط القيم المسجلة بموضع جهاز القياس وخصائص البيئة. (Polak et al., 2024).

تقييم مقارن لأداء شبكات الجيل الرابع (4G/LTE) في مدينة الزاوية استنادًا إلى مؤشرات جودة الخدمة وجودة الإشارة (دراسة ميدانية)

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol39-2-bd15>

وفي بيئة عربية، خللت دراسة Shakir وزملائه مؤشرات أداء شبكات 4G/LTE لثلاثة مشغلين في مدينة النجف بالعراق، اعتمادًا على قياسات ميدانية عند تردد 2100 MHz وعرض نطاق 20 MHz، وركزت الدراسة على مؤشرات RSRP و RSRQ و SINR و RSSI ومعدل التنزيل، مع تحليل توزيعاتها والعلاقات بينها، وتتمثل صلتها بالدراسة الحالية في استخدام المؤشرات الراديوية لتوصيف أداء الشبكات ومقارنته بين المشغلين. كما يبرز توثيق التردد وعرض النطاق فيها أهمية بيان الخصائص التقنية المصاحبة للقياس، لأن المقارنة بين المشغلين تحتاج إلى مراعاة ظروف التشغيل التي جُمعت فيها البيانات. (Shakir et al., 2023)

وفي جدة، استخدمت الحمراي وورغي نظم المعلومات الجغرافية للتنبؤ بتغطية شبكة 4G لمشغل واحد في حي النزهة، ثم قارنتا خرائط التنبؤ بنتائج اختبار ميداني للتغطية (الحمراي وورغي، 2020).

أما دراسة Garba وزملائه، فقد قدمت مجموعة بيانات لقياسات شبكة 4G/LTE تابعة لمشغل واحد في منطقة سوق Sabon-Gari بمدينة Kano النيجيرية، وجمعت البيانات باستخدام تطبيق G-NetTrack Pro خلال ثلاثة أسابيع، في فترتين صباحية ومساءية، أثناء التنقل على مسار داخل منطقة الدراسة، واهتم التحليل بالتغير في خصائص الإشارة ومعدلات النقل عبر المسار وأوقات القياس، وتفيد الدراسة في إبراز قيمة البيانات الميدانية التفصيلية في رصد التباين المكاني والزمني، إلا أن اقتصارها على مشغل واحد يجعلها مختلفة عن المقارنات المباشرة بين المشغلين، كما تختلف ظروف القياس المتحرك فيها عن القياسات الثابتة المعتمدة في الدراسة الحالية. (Garba et al., 2023)

وفي سياق القياسات الثابتة، أتاح Raida وزملاؤه مجموعة بيانات لقياسات تنزيل LTE جُمعت داخل مبنى في منطقة حضرية كثيفة، بهدف تحليل تغير مؤشرات الأداء عبر الزمن. (Raida et al., 2020)

ووسعت دراسة Shayea وزملائه نطاق التقييم ليشمل مناطق حضرية وحضرية كثيفة في ماليزيا وسنغافورة وتايلاند، واعتمدت على اختبارات قيادة ميدانية خلال شهرين، مع تقييم التغطية والسرعة والتأخير وجودة تجربة بث الفيديو، وأظهرت النتائج أداءً أفضل للجيل الرابع مقارنة بالجيل الثالث، مع اختلاف مقدار التحسن بين المناطق، إذ تراوح التحسن

تقييم مقارن لأداء شبكات الجيل الرابع (4G/LTE) في مدينة الزاوية استنادًا إلى مؤشرات
جودة الخدمة وجودة الإشارة (دراسة ميدانية)

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol39-2-bd15>

في زمن الاستجابة بين نحو 58.04% و 89.90%، ويشير هذا التفاوت إلى ارتباط نتائج
المقارنة بالبيئة والخدمة وظروف الاختبار، ومن ثم يمكن الاستفادة من منهج التقييم وتفسير
الأنماط في دراسات أخرى، دون اعتبار القيم المسجلة معيارًا مباشرًا لجميع الشبكات
(Shayea et al., 2024).

وفي نيجيريا، قيمت دراسة Abdullahi و Abdulhamid أداء أربعة مشغلين لشبكات
4G/LTE في Jos و Lafia و Abuja، باستخدام اختبارات قيادة ومؤشرات شملت سرعة
الشبكة وفقدان الحزم والتأخير والتغطية واستمرارية الخدمة وقوة الإشارة، وسجل مشغل
MTN أعلى متوسط للسرعة بلغ 9.543 Mbps، وأقل متوسط للتأخير بلغ 25.921
ms، إلى جانب تفوقه في بعض المؤشرات الأخرى، وتدعم الدراسة أهمية التقييم متعدد
المؤشرات عند المقارنة بين المشغلين، مع الإقرار بحدود تتعلق برصد التغيرات الآنية،
وتلنقي مع الدراسة الحالية في المقارنة الميدانية بين الشبكات، بينما تختلف عنها في
النطاق الجغرافي والمؤشرات وتفاصيل تنفيذ القياسات (Abdullahi & Abdulhamid, 2025).

ومن ناحية الخصائص التقنية، بحثت دراسة Yuhaneef وزملائه العلاقة بين التأخير
والتذبذب وفقدان الحزم ومعدل النقل في شبكات 4G/LTE عند ترددي 2100 و 2300
MHz، واعتمدت قياسات في ظروف تشغيل مختلفة، وأشارت إلى ميل الأداء عند تردد
2100 MHz إلى النقص ضمن الاختبارات المنفذة، وتلفت هذه الدراسة الانتباه إلى أهمية
توثيق التردد المستخدم عند تفسير فروق الأداء، وإلى أن مؤشرات جودة الخدمة ترتبط
ببعضها ضمن ظروف تقنية محددة، ويختلف تركيزها على المقارنة بين الترددات عن
تركيز الدراسة الحالية على الفروق المرصودة بين المشغلين والمواقع والفترات (Yuhaneef
et al., 2025).

تختلف الدراسات المستعرضة في التقنية والمجال والمؤشرات وتصميم القياس، ما يحد من
مقارنة أرقامها مباشرة. فعلى المستوى الليبي، درس بحث Aburkhiss وزملائه (2015)
خدمة GPRS، وعرض تقرير (Fenwick 2020) مؤشرات 4G على نطاق أوسع.
وجمعت دراسات ميدانية أخرى مؤشرات الخدمة والإشارة في مدن وببئات مختلفة (EI-

تقييم مقارن لأداء شبكات الجيل الرابع (4G/LTE) في مدينة الزاوية استنادًا إلى مؤشرات جودة الخدمة وجودة الإشارة (دراسة ميدانية)

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol39-2-bd15>

(Saleh et al., 2022). ولا تجيب هذه الأعمال مباشرة عن فروق المشغلين في نقاط الزاوية الخمس والفترات الأربع ضمن زيارات متناظرة. تعالج الدراسة الفجوة عبر 60 زيارة متناظرة في خمسة مواقع وثلاثة أيام وأربع فترات، مع خمسة مؤشرات للخدمة وثلاثة للإشارة. وتحلل فروق المشغلين على مستوى المواقع مع بيان أحجامها وفواصل ثقتها وقيم الدلالة المصححة، وتعرض تباينها مكانيًا وزمنيًا، بما في ذلك تغير اتجاه بعضها بين المواقع.

3. المنهجية

3.1 تصميم الدراسة ومواقع القياس

اعتمدت الدراسة على تصميم ميداني رسدي مقارن لتقييم أداء شبكات الجيل الرابع (4G/LTE) لدى مشغلي ليبيا والمدينة الجديدة في خمسة مواقع بمدينة الزاوية، وشملت المواقع ميدان الشهداء-السوق (L1)، ومحيط مدخل جامعة الزاوية (L2)، والحرشة بالقرب من الطريق الساحلي (L3)، وجودائ (L4)، والمطر (L5)، واستخدمت نقاط القياس نفسها خلال أيام الدراسة، بما يسمح بوصف التباين في الأداء بين المواقع ومقارنة المشغلين في كل منها.

أُجريت القياسات خلال ثلاثة أيام غير متتالية، هي الأحد 8 مارس، والثلاثاء 10 مارس، والجمعة 13 مارس 2026، ونُفذت الجولات في المواقع الخمسة خلال الفترات الأربع في كل يوم.

وُزعت القياسات على فترات صباحية وظهرية ومساءية وليلية، ويعرض الجدول (1) أدنى وأعلى وقت تسجيل في كل فترة عبر أيام الدراسة.

الجدول (1): الفترات اليومية ونطاق أوقات القياس المسجلة

رمز الفترة	الفترة	نطاق أوقات القياس المسجلة
T1	الصباحية	08:10–10:59
T2	الظهرية	12:55–15:50
T3	المساءية	18:00–20:52

تقييم مقارن لأداء شبكات الجيل الرابع (4G/LTE) في مدينة الزاوية استنادًا إلى مؤشرات
جودة الخدمة وجودة الإشارة (دراسة ميدانية)

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol39-2-bd15>

رمز الفترة	الفترة	نطاق أوقات القياس المسجلة
T4	الليالية	21:05-23:56

3.2 تصميم القياسات ووحدات البيانات

تضمن تصميم القياس ثلاث قراءات متتالية لكل مشغل في كل موقع ويوم وفترة زمنية، وتمثل القراءة سجلًا واحدًا لمؤشرات الدراسة الثمانية، بينما تمثل جلسة المشغل مجموعة القراءات الثلاث الخاصة بالمشغل نفسه في الموقع واليوم والفترة ذاتها. أما الزيارة فتمثل تنفيذ جلستين متتابعتين للمشغلين في الموقع نفسه.

بلغ العدد الكلي للقراءات 360 قراءة، وفق التوزيع الآتي:

$$5 \text{ مواقع} \times \text{مشغلان} \times 4 \text{ فترات} \times 3 \text{ أيام} \times 3 \text{ قراءات} = 360 \text{ قراءة.}$$

وبحساب متوسط القراءات الثلاث داخل كل جلسة، تكونت قاعدة التحليل من 120 متوسط جلسة، بواقع 60 جلسة لكل مشغل. كما بلغ عدد الزيارات 60 زيارة، أُنحت تكوين 60 زوجًا متناظرًا من جلسات المشغلين بحسب الموقع واليوم والفترة.

استُخدم متوسط الجلسة وحدةً لتلخيص القراءات الثلاث، والزيارة وحدةً لمقارنة المشغلين في الموقع واليوم والفترة نفسها، وقد أُجري اختبار المشغلين بالتتابع داخل الزيارة، وتكررت الزيارات في المواقع نفسها عبر الأيام والفترات.

3.3 أدوات القياس وضبط الاختبار

استُخدم هاتف Samsung Galaxy A24 4G، طراز SM-A245F، يعمل بنظام Android 14، لتنفيذ قياسات المشغلين، وتم تشغيل بيانات شريحة واحدة في كل مرة، والتحقق من اتصالها بشبكة LTE قبل بدء الاختبار، ثم التبديل إلى الشريحة الأخرى والانتظار حتى استقرار الاتصال، واستُخدم وضع تفضيل LTE/4G، مع إيقاف Wi-Fi وVPN والتتزيلات والتحديثات والمزامنة غير الضرورية أثناء القياس.

استُخدم تطبيق Speedtest by Ookla لقياس سرعة التنزيل والرفع وزمن الاستجابة والتذبذب وفقدان الحزم. كما استُخدم تطبيق Network Cell Info Lite لتسجيل مؤشرات جودة الإشارة، وأُجريت القياسات خارج المباني، مع تثبيت الهاتف على ارتفاع يقارب 1.3 متر وبعيدًا قدر الإمكان عن العوائق المباشرة.

تقييم مقارن لأداء شبكات الجيل الرابع (4G/LTE) في مدينة الزاوية استنادًا إلى مؤشرات جودة الخدمة وجودة الإشارة (دراسة ميدانية)

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol39-2-bd15>

نصّ بروتوكول القياس على إجراء اختبارات السرعة باستخدام خادم ثابت في طرابلس، ليبيا، للمشغلين كليهما، للحد من أثر اختلاف خادم الاختبار على المقارنة. ولا يبيّن ملف القراءات اسم الخادم أو معرفه أو الخادم المختار في كل قراءة؛ لذا لا يمكن من السجلات المتاحة التحقق لاحقًا من هوية الخادم أو ثبات اختياره أثناء الحملة.

لم تتضمن السجلات تردد LTE أو عرض نطاق القناة، أو معرف الخلية (Cell ID) أو رمزها الفيزيائي (PCI)، أو حالة تجميع الحوامل، كما لم تُوثّق خصائص الشريحة والباقة لكل مشغل. ولذلك تعذر إدخال هذه الخصائص في التحليل، ولا تسمح النتائج بإسناد الفروق المرصودة إلى أي منها.

3.4 مؤشرات تقييم الأداء

شملت الدراسة خمسة مؤشرات لجودة الخدمة، هي سرعة التنزيل وسرعة الرفع بوحدة ميجابايت في الثانية (Mbps)، وزمن الاستجابة والتذبذب في زمن الاستجابة بوحدة المللي ثانية (ms)، وفقدان الحزم بالنسبة المئوية، وتدل القيم الأعلى لسرعتي التنزيل والرفع على أداء أفضل، بينما يدل انخفاض زمن الاستجابة والتذبذب وفقدان الحزم على تحسن المؤشر المعني، وعند مقارنة فقدان الحزم، عبّر عن الفرق المطلق بالنقاط المئوية لتمييزه عن التغير النسبي.

وشملت مؤشرات جودة الإشارة القدرة المستقبلية للإشارة المرجعية (RSRP) بوحدة dBm، وجودة الإشارة المرجعية المستقبلية (RSRQ) بوحدة dB، ونسبة الإشارة إلى التداخل والضوضاء (SINR) بوحدة dB، وتمثل القيم الأقل سلبية في RSRP و RSRQ مستويات أعلى للمؤشرين، بينما تعكس القيم الأعلى لـ SINR نسبة أفضل للإشارة المفيدة إلى التداخل والضوضاء، واستُخدمت هذه المؤشرات لتوصيف الإشارة المصاحبة لقياسات الخدمة، دون افتراض أنها تفسر منفردة جميع اختلافات الأداء.

3.5 إجراءات التنفيذ ومراجعة السجلات

نُفذت ثلاث قراءات لكل مشغل بفواصل يقارب ثلاث دقائق، وبلغ الفاصل المسجل بين آخر قراءة للمشغل الأول وأول قراءة للمشغل الثاني نحو ست دقائق، وتتأوب المشغل الذي يبدأ القياس بين الزيارات، بحيث بدأت 30 زيارة بليبانا و 30 زيارة بالمدار الجديد، وتوزع ترتيب البدء بالتساوي داخل كل موقع، بواقع ست زيارات لكل مشغل، وداخل كل

تقييم مقارن لأداء شبكات الجيل الرابع (4G/LTE) في مدينة الزاوية استنادًا إلى مؤشرات جودة الخدمة وجودة الإشارة (دراسة ميدانية)

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol39-2-bd15>

يوم، بواقع عشر زيارات لكل مشغل. وظل ترتيب المواقع ثابتًا في الجولات، بدءًا من L1 وانتهاءً بـ L5، مع فواصل بين بدايات المواقع المتتالية تراوحت بين 34 و 38 دقيقة، وبدأت زيارة L5 بعد بداية زيارة L1 بفواصل تراوح بين 142 و 144 دقيقة في الجولات الاثنيتي عشرة؛ لذلك لا تسمح البيانات بفصل الفروق المرتبطة بالموقع فصلاً كاملاً عن تغير ظروف الشبكة أثناء الجولة، وتُفسّر المقارنات بين المواقع ضمن تسلسل القياس المنفذ. تحققت مراجعة البيانات من اكتمال المؤشرات الثمانية في القراءات الـ 360، ووجود ثلاث قراءات لكل جلسة ومشغلين في كل زيارة، وعدم تكرار السجلات بحسب اليوم والفترة والموقع والمشغل ورقم القراءة، وشمل التحليل جميع القراءات المحفوظة في الملف.

3.6 معالجة البيانات والتحليل الإحصائي

حُسب المتوسط الحسابي للقراءات الثلاث لكل مؤشر داخل جلسة المشغل، واستُخدمت متوسطات الجلسات في التحليل الوصفي والمقارن، وشملت الإحصاءات المتوسط والانحراف المعياري والوسيط والربيعين الأول والثالث، وحُسبت الملخصات بحسب المشغل والموقع والفترة واليوم، وأُجريت الحسابات قبل التقريب النهائي للعرض، وحُفظت دقة القراءات الأصلية (منزلتان عشريتان) عند تجميعها، ثم عوملت قيم الجلسات المتساوية حسابيًا على أنها رتب متعادلة.

للمقارنة بين المشغلين، حُسب الفرق داخل كل زيارة بطرح متوسط جلسة المدار الجديد من متوسط جلسة ليبيا، وتشير القيمة الموجبة إلى ارتفاع المؤشر لدى ليبيا، ويُفسر اتجاه الأفضلية وفق طبيعة المؤشر، وعُرِضت الفروق بوحداتها الأصلية، مع تلخيصها بحسب المواقع والفترات والأيام. كما وُصف اتجاه الفروق والأنماط الزمنية في كل يوم من أيام القياس الثلاثة.

وللاستدلال بشأن متوسط فرق المشغلين، حُسب متوسط فروق الزيارات الاثنيتي عشرة في كل موقع، فتكونت خمس قيم على مستوى المواقع. وفُتّر متوسطها وفاصل ثقته 95% واختُبر مقابل الصفر باختبار t ثنائي الطرف بدرجات حرية تساوي 4، بحيث لا يُعامل زيارات الموقع المتكررة على أنها وحدات مستقلة. وعُدَّ الفرق بوحدته الأصلية تقديرًا لحجم الأثر. شملت عائلة الاختبارات مؤشرات الدراسة الثمانية، مع تصحيح قيم p بطريقة Holm عند مستوى دلالة 0.05. وتُعرض فترات الثقة 95% لكل مؤشر على حدة دون تصحيح لتعدد الاختبارات.

تقييم مقارن لأداء شبكات الجيل الرابع (4G/LTE) في مدينة الزاوية استنادًا إلى مؤشرات
جودة الخدمة وجودة الإشارة (دراسة ميدانية)

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol39-2-bd15>

ولفحص حساسية التقديرات، استُخدم نموذج خطي مختلط لفروق الزيارات، مع أثر عشوائي للموقع وتأثيرات ثابتة لليوم والفترة الزمنية والمشغل الذي بدأ القياس، وقدرت مكونات التباين بطريقة الاحتمال الأقصى المقيد (REML). وقورنت نتائج بنموذج يضيف أثرًا عشوائيًا للجولة (اليوم × الفترة)، وبمتوسطات الفروق بعد حذف موقع واحد كل مرة. كما استُخدم اختبار الإشارة ثنائي الطرف لفروق المواقع الخمسة فحصًا إضافيًا لاتجاه فرق زمن الاستجابة. ويظل الاستدلال مشروطًا بافتراضات التحليل وبالمواقع والأيام التي شملتها الحملة.

حُسب معامل ارتباط Spearman بين مؤشرات الإشارة الثلاثة ومؤشرات جودة الخدمة الخمسة باستخدام متوسطات الجلسات، بوصفه مقياسًا وصفيًا للعلاقات المجمع، وأجري تحليل حساسية باستخدام الارتباط الجزئي على الرتب، إذ حُولت قيم كل متغير إلى رتب، ثم أُزيلت منها الفروق الإضافية المرتبطة بالموقع والفترة واليوم والمشغل باستخدام انحدار خطي بمتغيرات ثنائية، وحُسب معامل Pearson بين بواقي الرتب، ويهدف هذا الإجراء إلى فحص تغير الارتباط بعد مراعاة هذه العوامل، دون اعتباره إثباتًا للسببية أو معالجة كاملة لاعتماد القياسات.

عُرِضت فروق المشغلين وصفًا واستدلالًا بالطريقة السابقة، بينما عُرِضت معاملات الارتباط بوصفها علاقات استكشافية دون قيم احتمالية؛ لأن اختبارها على أساس استقلال الجلسات الـ 120 لا يلزم تكرار القياسات. وأُجريت الحسابات باستخدام Python ومكتبات NumPy وSciPy وpandas.

4. النتائج

يعرض هذا القسم نتائج تقييم أداء شبكتي لبيانا والمدار الجديد في المواقع الخمسة المشمولة بالدراسة، بالاعتماد على مؤشرات جودة الخدمة وجودة الإشارة. شملت قاعدة البيانات 360 قراءة لُخصت في 120 متوسط جلسة، بواقع 60 جلسة لكل مشغل و60 زيارة متناظرة. استُخدم تحليل متوسطات المواقع للاستدلال بشأن الفروق العامة بين المشغلين، بينما عُرِضت الفروق بحسب الموقع والفترة والعلاقات الارتباطية في إطارها الوصفي والاستكشافي، ضمن النطاق المكاني والزمني للدراسة.

تقييم مقارن لأداء شبكات الجيل الرابع (4G/LTE) في مدينة الزاوية استناداً إلى مؤشرات جودة الخدمة وجودة الإشارة (دراسة ميدانية)

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol39-2-bd15>

4.1 الوصف العام للبيانات ومؤشرات الأداء

تضمنت كل جلسة ثلاث قراءات للمشغل نفسه في الموقع واليوم والفترة ذاتها، وحُسبت الإحصاءات الوصفية من متوسطات الجلسات، بحيث أسهم كل موقع وكل فترة وكل يوم بالعدد نفسه من الجلسات لكل مشغل، ويعرض الجدول (2) المتوسط الحسابي والانحراف المعياري والوسيط والربيعين الأول والثالث لمؤشرات الدراسة الثمانية.

الجدول (2): الإحصاءات الوصفية لمؤشرات جودة الخدمة وجودة الإشارة حسب المشغل

المؤشر	ليبيانا: المتوسط $\pm$ الانحراف المعياري	ليبيانا: الوسيط والربيعان	المدار الجديد: المتوسط $\pm$ الانحراف المعياري	المدار الجديد: الوسيط والربيعان
التنزيل (Mbps)	3.50 ± 1.38	3.45 [2.33, 4.60]	3.63 ± 1.33	3.73 [2.46, 4.73]
الرفع (Mbps)	1.72 ± 0.46	1.68 [1.39, 2.07]	1.58 ± 0.37	1.62 [1.30, 1.87]
زمن الاستجابة (ms)	111.12 ± 28.21	104.50 [89.67, 127.58]	113.87 ± 28.58	105.00 [92.58, 132.00]
التنذب (ms)	17.16 ± 7.30	15.23 [11.40, 21.81]	17.55 ± 7.32	15.62 [11.86, 21.88]
فقدان الحزم (%)	0.784 ± 0.503	0.633 [0.361, 1.245]	0.770 ± 0.509	0.615 [0.386, 1.133]
RSRP (dBm)	-91.78 ± 6.86	-91.00 [-96.67, -85.58]	-91.79 ± 5.71	-91.83 [-95.67, -86.92]
RSRQ (dB)	-13.79 ± 2.08	-13.28 [-15.53, -12.04]	-13.77 ± 1.72	-13.48 [-15.06, -12.58]
SINR (dB)	9.51 ± 3.75	9.58 [7.01, 12.37]	9.40 ± 3.35	9.63 [7.24, 12.02]

ملاحظة: عدد الجلسات 60 لكل مشغل. يمثل Q1 و Q3 الربيعين الأول والثالث، ويصف الانحراف المعياري تشتت متوسطات الجلسات، ولا يمثل خطأً معيارياً أو فاصل ثقة. سجل المدار الجديد متوسطاً أعلى لسرعة التنزيل بلغ Mbps 3.63، مقابل Mbps 3.50 لدى ليبيانا، وظهر الاتجاه نفسه في الوسيط، وفي المقابل، سجلت ليبيانا متوسطاً أعلى لسرعة الرفع بلغ Mbps 1.72، مقابل Mbps 1.58 لدى المدار الجديد. كما كانت قيم

تقييم مقارن لأداء شبكات الجيل الرابع (4G/LTE) في مدينة الزاوية استنادًا إلى مؤشرات جودة الخدمة وجودة الإشارة (دراسة ميدانية)

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol39-2-bd15>

المتوسط والوسيط لكل من زمن الاستجابة والتذبذب أقل لدى ليبيا، بينما كان متوسط فقدان الحزم أقل قليلاً لدى المدار الجديد.

وأظهرت مؤشرات جودة الإشارة تقارباً في المتوسطات العامة، إذ بلغت قيم RSRP نحو -91.78 dBm و -91.79 dBm ، وقيم RSRQ نحو -13.79 dB و -13.77 dB لدى ليبيا والمدار الجديد على التوالي، وبلغ متوسط SINR نحو 9.51 dB لدى ليبيا و 9.40 dB لدى المدار الجديد، ومع ذلك، لا يعني تقارب المتوسطات تطابق التوزيعات أو تساوي الأداء في المواقع والفترات المختلفة، فقد أظهرت مؤشرات الإشارة تشتتاً بين الجلسات لدى المشغلين، وكان انحرافها المعياري أعلى لدى ليبيا.

وبوجه عام، تبين الإحصاءات الوصفية أن الفروق في المستوى العام تختلف باختلاف المؤشر، وأن متوسطاً واحداً لا يكفي لتحديد أفضلية شاملة لأحد المشغلين. كما أن التشتت المسجل بين الجلسات يستدعي استكمال المقارنة على مستوى الزيارات المتناظرة، ثم بحسب المواقع والفترات والأيام.

4.2 الفروق المرصودة بين أداء ليبيا والمدار الجديد

اعتمدت المقارنة على 60 زوجاً من الجلسات المتناظرة بحسب الموقع واليوم والفتر الزمنية، وحُسب الفرق داخل كل زوج وفق الصيغة:

$$\Delta = \text{متوسط جلسة ليبيا} - \text{متوسط جلسة المدار الجديد}$$

وبذلك تشير القيمة الموجبة إلى ارتفاع المؤشر لدى ليبيا، بينما تشير القيمة السالبة إلى انخفاضه لديها، ويختلف تفسير الأفضلية وفق طبيعة المؤشر؛ فارتفاع سرعتي التنزيل والرفع يمثل أداءً أفضل، في حين يكون انخفاض زمن الاستجابة والتذبذب وفقدان الحزم أفضل. ويعرض الجدول (3) متوسط فروق الأزواج لجميع الزيارات ولكل يوم على حدة، ثم يعرض الجدول (4) تقديرات الفروق على مستوى المواقع وفترات الثقة وقيم الدلالة.

الجدول (3): متوسط الفروق بين المشغلين في الزيارات المتناظرة وعلى مستوى أيام القياس

المؤشر ووحدة الفرق	جميع الزيارات	8 مارس 2026	10 مارس 2026	13 مارس 2026
التنزيل (Mbps)	-0.127	-0.152	-0.135	-0.093
الرفع (Mbps)	+0.134	+0.136	+0.136	+0.131

تقييم مقارن لأداء شبكات الجيل الرابع (4G/LTE) في مدينة الزاوية استنادًا إلى مؤشرات جودة الخدمة وجودة الإشارة (دراسة ميدانية)

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol39-2-bd15>

المؤشر ووحدة الفرق	جميع الزيارات	8 مارس 2026	10 مارس 2026	13 مارس 2026
زمن الاستجابة (ms)	-2.750	-2.100	-3.083	-3.067
التذبذب (ms)	-0.388	-0.020	-0.610	-0.533
فقدان الحزم (نقطة منوية)	+0.014	+0.021	+0.038	-0.018
RSRP (dB)	+0.011	-0.133	0.000	+0.167
RSRQ (dB)	-0.017	-0.045	-0.050	+0.045
SINR (dB)	+0.106	+0.128	-0.045	+0.235

ملاحظة: حُسب المتوسط العام من 60 فرقًا زوجيًا، والمتوسط اليومي من 20 فرقًا زوجيًا. استُخدمت القيم غير المقربة في الحسابات، ثم قُرِبت النتائج للعرض، ويُعبر عن فرق RSRP بوحدة dB، بينما تُعرض مستويات RSRP الأصلية بوحدة dBm.

الجدول (4): متوسط فروق المشغلين وفترات الثقة وقيم الدلالة للمؤشرات الثمانية

المؤشر ووحدة الفرق	متوسط الفرق	فاصل الثقة 95%	p الخام	p بعد Holm
التنزيل (Mbps)	-0.127	-0.418 – +0.165	0.2945	1.0000
الرفع (Mbps)	+0.134	+0.015 – +0.253	0.0350	0.2450
زمن الاستجابة (ms)	-2.750	-3.999 – -1.501	0.0036	0.0290
التذبذب (ms)	-0.388	-0.788 – +0.013	0.0547	0.3281
فقدان الحزم (نقطة منوية)	+0.014	-0.044 – +0.071	0.5463	1.0000
RSRP (dB)	+0.011	-1.779 – +1.801	0.9871	1.0000
RSRQ (dB)	-0.017	-0.612 – +0.579	0.9418	1.0000
SINR (dB)	+0.106	-0.525 – +0.737	0.6648	1.0000

ملاحظة: الفرق = متوسط ليبيانا - متوسط المدار الجديد. حُسب الاختبار ثنائي الطرف من خمسة متوسطات للمواقع، بواقع 12 زيارة متتالية لكل موقع ودرجات حرية تساوي

تقييم مقارن لأداء شبكات الجيل الرابع (4G/LTE) في مدينة الزاوية استنادًا إلى مؤشرات جودة الخدمة وجودة الإشارة (دراسة ميدانية)

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol39-2-bd15>

4. فترات الثقة 95% خاصة بكل مؤشر وغير مصححة للتعدد، وقيم p المصححة وفق Holm للاختبارات الثمانية. يعبر فرق فقدان الحزم بالنقاط المؤوية وفرق RSRP بوحدة dB.

بلغ متوسط فرق التنزيل 0.127 Mbps، بما يشير إلى ارتفاع المتوسط لدى المدار الجديد، واستمر هذا الاتجاه في الأيام الثلاثة، مع انخفاض مقدار الفرق من نحو 0.152 Mbps في اليوم الأول إلى 0.093 Mbps في اليوم الثالث. أما الرفع، فبلغ متوسط الفرق 0.134+ Mbps لصالح ليبيا، وكانت الفروق اليومية متقاربة، وتراوح بين نحو 0.131 و 0.136 Mbps، وتكرر اتجاه الفرق في المتوسطات اليومية، مع احتمال اختلافه بين الزيارات والمواقع.

وفي مؤشرات التأخير، كان متوسط زمن الاستجابة لدى ليبيا أقل بمقدار 2.750 ms، وتكرر اتجاه الانخفاض في الأيام الثلاثة، وبلغ متوسط الانخفاض في التذبذب 0.388 ms، إلا أن مقداره اختلف بين الأيام، إذ اقتصر على 0.020 ms في اليوم الأول، مقابل 0.610 و 0.533 ms في اليومين الثاني والثالث، ومن ثم، كان اتجاه الفرق متكررًا، بينما تفاوت مقدار الفرق بين الأيام.

وتغير اتجاه الفرق في فقدان الحزم، إذ سجلت ليبيا متوسطًا أعلى في اليومين الأول والثاني، وأقل في اليوم الثالث، مع فرق عام بلغ نحو 0.014 نقطة مئوية. كما تغير اتجاه الفروق اليومية في مؤشرات جودة الإشارة، رغم تقارب متوسطاتها العامة، ويبين ذلك أن جمع القياسات قد يخفي اختلافات في اتجاه المقارنة بين ظروف القياس، وهو ما يستدعي عرض التباين المكاني والزمني بصورة منفصلة.

في التحليل على مستوى المواقع، بلغ فرق زمن الاستجابة 2.750 ms (فاصل الثقة 95%: 3.999- إلى 1.501 ms)، وكانت قيمة p الخام 0.0036 والمصححة بطريقة Holm 0.0290، وهو المؤشر الوحيد الذي بلغ مستوى 0.05 بعد التصحيح. وسجل الرفع فرقًا مقداره 0.134+ Mbps (فاصل الثقة 95%: 0.015+ إلى 0.253 Mbps؛ p الخام = 0.0350)، إلا أن p المصححة بلغت 0.2450. ولم تبلغ فروق المؤشرات الستة الأخرى الدلالة بعد التصحيح، ولا يفهم من ذلك تساوي أداء المشغلين فيها.

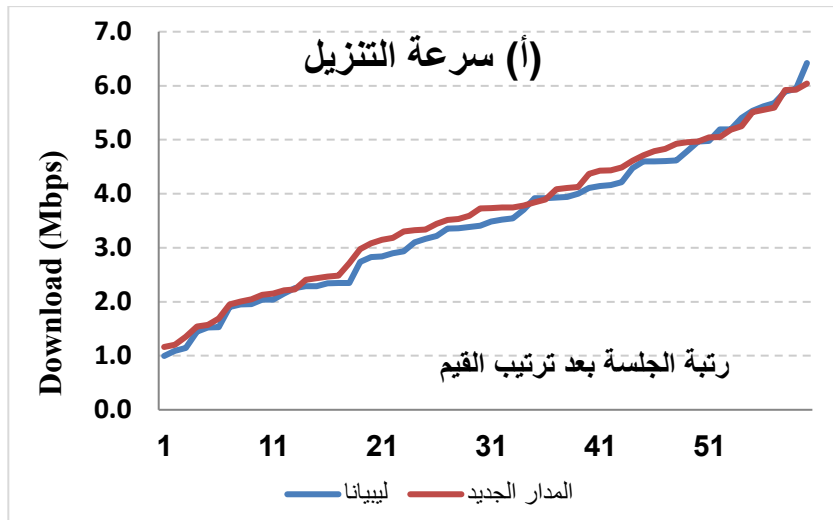
تقييم مقارن لأداء شبكات الجيل الرابع (4G/LTE) في مدينة الزاوية استنادًا إلى مؤشرات جودة الخدمة وجودة الإشارة (دراسة ميدانية)

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol39-2-bd15>

أعطى النموذج المختلط الاساسي تقديرات الفروق العامة وأخطاءها المعيارية نفسها تقريبًا، وظلت إشارة فرق زمن الاستجابة سالبة عند استبعاد أي موقع. غير أن اختبار الإشارة ثنائي الطرف لمتوسطات المواقع الخمسة أعطى $p = 0.0625$ ، وفقدت الدلالة المصححة ثباتها عند حذف بعض المواقع. لذلك تُفسر نتيجة زمن الاستجابة بتحفظ تبعًا لقلة المواقع وافتراسات الاختبار، دون تعميم أفضلية تشغيلية لأحد المشغلين.

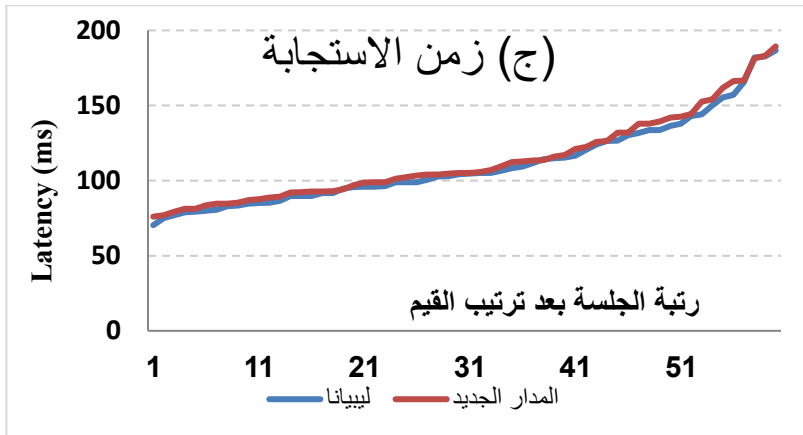
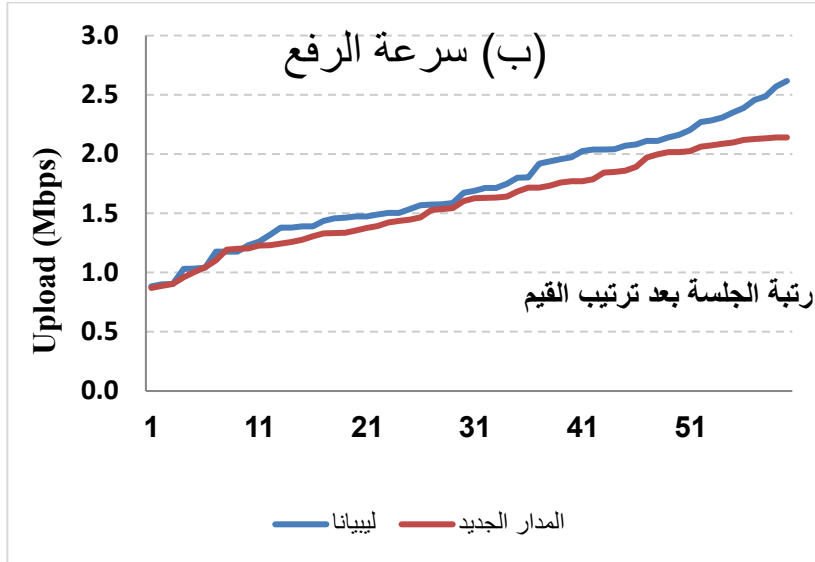
ومن الناحية العملية، بلغت الفروق العامة نحو 0.13 Mbps في التنزيل، و 0.13 Mbps في الرفع، و 2.75 ms في زمن الاستجابة، وأقل من 0.4 ms في التذبذب، وتمثل هذه القيم فروقًا مقاسة بوحداتها الأصلية، لكنها لا تكفي وحدها لإثبات تحسن محسوس في تجربة المستخدم، إذ لم تشمل الدراسة اختبار أداء تطبيقات محددة أو تقييم رضا المستخدمين.

ولعرض توزيع القيم لدى المشغلين، يوضح الشكل (1) متوسطات الجلسات المرتبة تصاعديًا لسرعة التنزيل والرفع وزمن الاستجابة، ويكمل هذا العرض الإحصاءات الوصفية من خلال إظهار مستويات القيم وانتشارها، وقد رُتبت قيم كل مشغل بصورة مستقلة، ولذلك لا تمثل النقاط المتقابلة عند المرتبة نفسها زوجًا من الزيارات المتتالية، ولا يمثل المحور الأفقي تسلسلاً زمنيًا للقياسات.



تقييم مقارن لأداء شبكات الجيل الرابع (4G/LTE) في مدينة الزاوية استنادًا إلى مؤشرات
جودة الخدمة وجودة الإشارة (دراسة ميدانية)

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol39-2-bd15>



الشكل (1): متوسطات الجلسات المرتبة تصاعديًا لسرعة التنزيل والرفع وزمن الاستجابة لدى
ليبiana والمدار الجديد.

4.3 التغير الزمني في أداء الشبكتين

وُصف التغير الزمني في الأداء باستخدام متوسطات الجلسات خلال الفترات الصباحية
والظهرية والمسائية والليلية، وتضمنت كل فترة 30 جلسة، بواقع 15 جلسة لكل مشغل،

تقييم مقارن لأداء شبكات الجيل الرابع (4G/LTE) في مدينة الزاوية استناداً إلى مؤشرات جودة الخدمة وجودة الإشارة (دراسة ميدانية)

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol39-2-bd15>

موزعة بالتساوي على المواقع الخمسة والأيام الثلاثة. ويعرض الجدول (5) المتوسطات والانحرافات المعيارية لمؤشرات جودة الخدمة وجودة الإشارة بحسب الفترة، بوصفها ملخصات وصفية لم تُجر لها اختبارات مستقلة لدلالة الفروق الزمنية. الجدول (5): الإحصاءات الوصفية لمؤشرات الأداء بحسب الفترة الزمنية

المؤشر	الصباحية	الظهرية	المسائية	الليلية
التنزيل (Mbps)	4.24 ± 0.85	3.35 ± 0.62	1.83 ± 0.44	4.82 ± 0.93
الرفع (Mbps)	1.83 ± 0.31	1.64 ± 0.30	1.17 ± 0.20	1.96 ± 0.35
زمن الاستجابة (ms)	97.36 ± 11.16	112.09 ± 11.80	152.62 ± 19.73	87.92 ± 10.37
التذبذب (ms)	12.96 ± 1.73	17.50 ± 1.91	28.55 ± 2.96	10.41 ± 1.63
فقدان الحزم (%)	0.452 ± 0.189	0.767 ± 0.210	1.528 ± 0.243	0.360 ± 0.174
RSRP (dBm)	-91.67 ± 6.42	-91.68 ± 6.40	-91.96 ± 6.31	-91.83 ± 6.32
RSRQ (dB)	-13.31 ± 1.85	-13.87 ± 1.76	-14.65 ± 1.89	-13.28 ± 1.87
SINR (dB)	10.17 ± 3.49	9.48 ± 3.40	7.59 ± 3.32	10.58 ± 3.36

ملاحظة: القيم تمثل المتوسط $\pm$ الانحراف المعياري لمتوسطات الجلسات، وعدد الجلسات 30 لكل فترة. حُسبت النتائج من القيم غير المقربة.

أظهرت المتوسطات نمطاً زمنياً متسقاً في مؤشرات جودة الخدمة. فقد سجلت الفترة الليلية أعلى متوسط للتنزيل، تلتها الصباحية ثم الظهرية، بينما سجلت المسائية أدنى متوسط، وبلغ انخفاض متوسط التنزيل في المساء نحو 62.1% مقارنة بالليل، استناداً إلى القيم غير المقربة، وظهر الترتيب نفسه في سرعة الرفع، إذ بلغ المتوسط نحو 1.96 Mbps ليلاً مقابل 1.17 Mbps مساءً.

وفي المقابل، ارتفع متوسط زمن الاستجابة من 87.92 ms في الفترة الليلية إلى 152.62 ms في المسائية، بزيادة تقارب 73.6%. كما ارتفع التذبذب من 10.41 إلى 28.55 ms، وفقدان الحزم من 0.360% إلى 1.528%، وبذلك اقترنت الفترة المسائية بانخفاض معدلات النقل وارتفاع مؤشرات التأخير وفقدان الحزم في المتوسطات المجمعة.

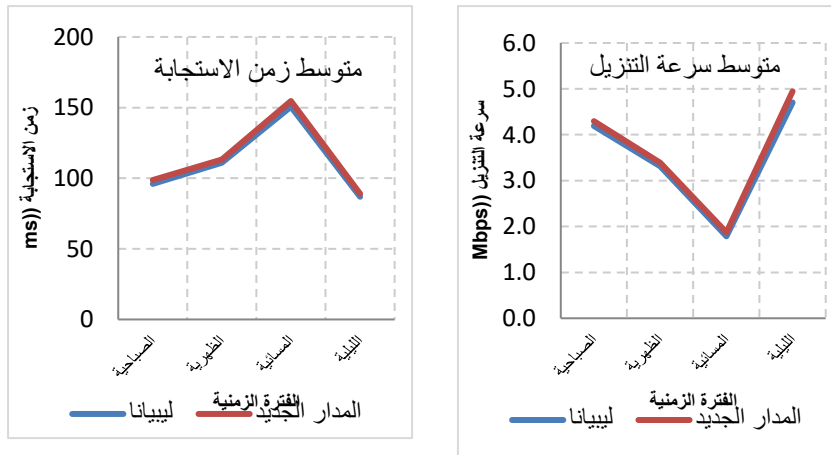
تقييم مقارن لأداء شبكات الجيل الرابع (4G/LTE) في مدينة الزاوية استنادًا إلى مؤشرات جودة الخدمة وجودة الإشارة (دراسة ميدانية)

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol39-2-bd15>

ولفحص تكرار هذا النمط، حُسبت المتوسطات لكل يوم بصورة منفصلة، وظلت الفترة المسائية الأضعف والليلية الأفضل في مؤشرات جودة الخدمة الخمسة خلال الأيام الثلاثة. فعلى سبيل المثال، تراوح متوسط التنزيل المسائي بين نحو 1.73 و 1.91 Mbps، مقابل 4.69-4.97 Mbps ليلاً، وتراوح متوسط زمن الاستجابة المسائي بين 146.43 و 158.93 ms، مقابل 84.87-90.63 ms ليلاً، ويشير ذلك إلى تكرار اتجاه التغير داخل أيام الدراسة، مع اختلاف مقداره.

أما مؤشرات الإشارة، فقد أظهرت تقارباً في متوسط RSRP بين الفترات، إذ لم يتجاوز الفرق بين أعلى متوسط وأدناه نحو 0.29 dB، وفي المقابل، سجلت الفترة المسائية أقل متوسط لكل من RSRQ و SINR، مقابل قيم أعلى في الفترة الليلية، ويصف هذا التزامن اختلافاً في جودة الإشارة المصاحبة للأداء، لكنه لا يحدد السبب التشغيلي للتراجع المسائي، لعدم قياس حمل الخلايا أو عدد المستخدمين.

ويعرض الشكل (2) تغير متوسط التنزيل وزمن الاستجابة لكل مشغل بحسب الفترة الزمنية، وتوضح المقارنة تشابه اتجاه التغير لدى الشبكتين، مع انخفاض التنزيل وارتفاع زمن الاستجابة مساءً، وتحسن المؤشرين ليلاً.



الشكل (2): متوسط سرعة التنزيل وزمن الاستجابة بحسب الفترة الزمنية لدى Libiana والمدار الجديد.

تقييم مقارن لأداء شبكات الجيل الرابع (4G/LTE) في مدينة الزاوية استنادًا إلى مؤشرات جودة الخدمة وجودة الإشارة (دراسة ميدانية)

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol39-2-bd15>

4.4 التباين المكاني في أداء الشبكتين

حُسبت الإحصاءات الوصفية بحسب مواقع القياس الخمسة، بالاعتماد على 24 جلسة في كل موقع، بواقع 12 جلسة لكل مشغل، وتمثل هذه القيم ملخصًا للفترة الأربعة والأيام الثلاثة في الموقع المعني، ويعرض الجدول (6) مستويات مؤشرات الأداء وتشتتها بين الجلسات.

الجدول (6): الإحصاءات الوصفية لمؤشرات الأداء بحسب موقع القياس

المؤشر	1L ميدان الشهداء	L2جامعة الزاوية	3L الحرشة	4L جودانم	5L المطرد
التنزيل (Mbps)	4.35 ± 1.48	4.07 ± 1.31	3.73 ± 1.13	3.16 ± 1.07	2.51 ± 0.90
الرفع (Mbps)	1.99 ± 0.39	1.86 ± 0.36	1.69 ± 0.33	1.46 ± 0.28	1.25 ± 0.24
زمن الاستجابة (ms)	100.71 ± 24.82	102.82 ± 21.98	107.22 ± 23.00	118.21 ± 27.47	133.53 ± 31.55
التذبذب (ms)	15.48 ± 7.11	15.93 ± 6.67	16.62 ± 6.82	18.43 ± 7.44	20.32 ± 7.80
فقدان الحزم (%)	0.651 ± 0.457	0.632 ± 0.466	0.659 ± 0.461	0.821 ± 0.461	1.122 ± 0.533
RSRP (dBm)	-83.68 ± 0.71	-86.78 ± 0.86	-91.69 ± 0.88	-95.71 ± 0.82	-101.06 ± 1.11
RSRQ (dB)	-11.60 ± 0.68	-12.32 ± 0.60	-13.56 ± 0.63	-14.82 ± 0.63	-16.58 ± 0.73
SINR (dB)	13.79 ± 1.33	11.96 ± 1.35	9.66 ± 1.19	7.45 ± 1.15	4.41 ± 1.30

ملاحظة: القيم تمثل المتوسط ± الانحراف المعياري لمتوسطات الجلسات، وعدد الجلسات 24 لكل موقع. تمثل المواقع نقاط قياس محددة، ولا تمثل متوسطات لجميع أجزاء المناطق التي تحمل أسماءها.

سجل ميدان الشهداء أعلى متوسط للتنزيل بلغ 4.35 Mbps، تلاه موقع جامعة الزاوية ثم الحرشة وجودانم، بينما سجل المطرد أدنى متوسط بلغ 2.51 Mbps، وظهر الترتيب نفسه في الرفع، الذي انخفض متوسطه من 1.99 Mbps في L1 إلى 1.25 Mbps

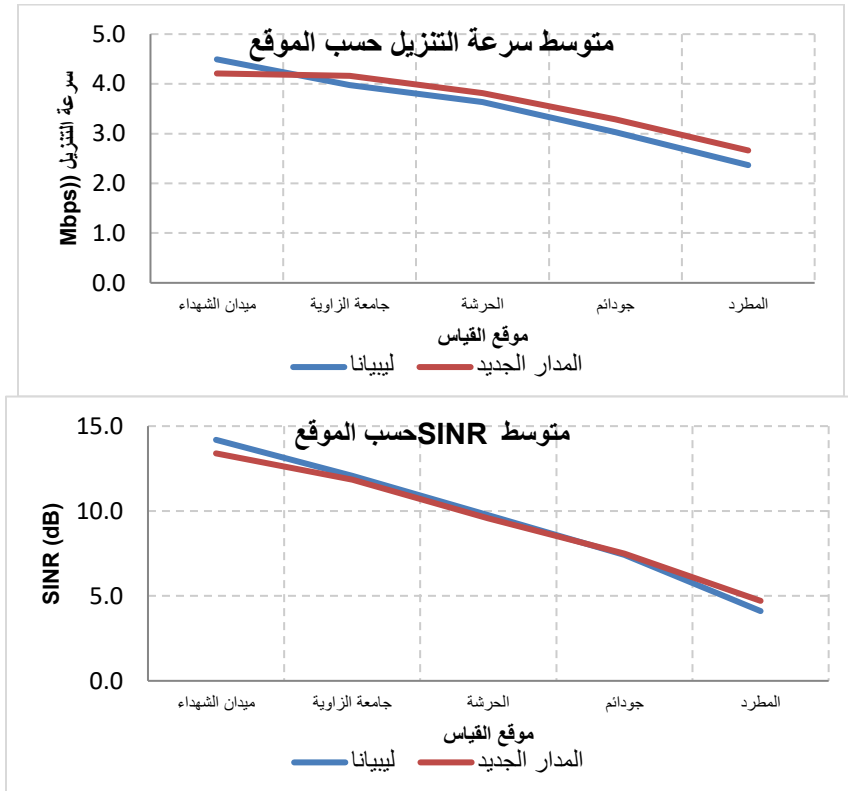
تقييم مقارن لأداء شبكات الجيل الرابع (4G/LTE) في مدينة الزاوية استنادًا إلى مؤشرات
جودة الخدمة وجودة الإشارة (دراسة ميدانية)

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol39-2-bd15>

في L5 ، وفي الاتجاه المقابل، ارتفع متوسط زمن الاستجابة من 100.71 إلى 133.53 ms، والتذبذب من 15.48 إلى 20.32 ms بين الموقعين نفسيهما. لم يتبع فقدان الحزم الترتيب نفسه بصورة كاملة، فقد كان متقاربًا بين المواقع الثلاثة الأولى، وسجل أدنى متوسط في L2 بقيمة 0.632%، ثم ارتفع إلى 0.821% في L4 و1.122% في L5 ، ويبين ذلك أن ترتيب المواقع وفق الأداء قد يختلف بحسب المؤشر، رغم تسجيل L4 و L5 للمتوسطات نقل أقل وزمن استجابة أعلى من المواقع الثلاثة الأولى. وفي مؤشرات الإشارة، انخفض متوسط RSRP من -83.68 dBm في L1 إلى -101.06 dBm في L5 ، بفارق يقارب 17.38 dB. كما انخفض متوسط RSRQ من -11.60 إلى -16.58 dB ، و SINR من 13.79 إلى 4.41 dB، واقتربت هذه الفروق في المتوسطات المكانية بانخفاض سرعاتي النقل وارتفاع مؤشرات التأخير. ويعرض الشكل (3) متوسط التنزيل و SINR لكل مشغل في المواقع الخمسة، بما يتيح مقارنة اتجاه التغير المكاني بصورة منفصلة للشبكتين، وتمثل رموز المواقع فئات لنقاط القياس، ولا تعبر المسافات بينها على المحور الأفقي عن المسافات الجغرافية الفعلية.

تقييم مقارن لأداء شبكات الجيل الرابع (4G/LTE) في مدينة الزاوية استنادًا إلى مؤشرات
جودة الخدمة وجودة الإشارة (دراسة ميدانية)

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol39-2-bd15>



الشكل (3): متوسط سرعة التنزيل و SINR بحسب موقع القياس لدى ليبيا والمدار الجديد.

وتُفسر هذه النتائج باعتبارها فروقًا مرصودة ضمن تسلسل الزيارات المنفذ. فقد قيس L1 أولاً و L5 أخيراً في جميع الجولات، ولذلك لا تسمح البيانات بفصل الاختلاف المكاني تماماً عن تغير ظروف الشبكة أثناء الانتقال بين المواقع داخل الفترة الزمنية نفسها.

4.5 اختلاف الفروق بين المشغلين بحسب الموقع والفترة الزمنية

لبيان مدى تغير المقارنة بين المشغلين، لُخصت فروق الجلسات المتناظرة بحسب الموقع والفترة، واستُخدم تعريف الفرق نفسه المعتمد في القسم 4.2، وهو متوسط جلسة ليبيا ناقص متوسط جلسة المدار الجديد، ويعرض الجدول (7) متوسط الفروق في كل موقع.

تقييم مقارن لأداء شبكات الجيل الرابع (4G/LTE) في مدينة الزاوية استنادًا إلى مؤشرات جودة الخدمة وجودة الإشارة (دراسة ميدانية)

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol39-2-bd15>

الجدول (7): متوسط فروق المشغلين بحسب موقع القياس

المؤشر ووحدة الفرق	L1	L2	L3	L4	L5
التنزيل (Mbps)	+0.284	-0.187	-0.178	-0.257	-0.295
الرفع (Mbps)	+0.269	+0.197	+0.089	+0.077	+0.039
زمن الاستجابة (ms)	-4.472	-2.806	-2.222	-2.028	-2.222
التذبذب (ms)	-0.803	-0.267	-0.619	+0.011	-0.261
فقدان الحزم (نقطة مئوية)	+0.058	-0.003	-0.045	-0.005	+0.063
RSRP (dB)	+0.917	+1.167	+1.056	-1.194	-1.889
RSRQ (dB)	+0.353	+0.247	+0.386	-0.447	-0.622
SINR (dB)	+0.797	+0.231	+0.178	-0.072	-0.603

ملاحظة: حُسب متوسط كل موقع من 12 فرقًا زوجيًا. تشير الإشارة الموجبة إلى ارتفاع المؤشر لدى لبيانا، والسالبة إلى انخفاضه لديها، ويُفسر اتجاه الأفضلية وفق طبيعة المؤشر.

تغير اتجاه فرق التنزيل بين المواقع، فقد سجلت لبيانا متوسطًا أعلى في L1 بفارق 0.284 Mbps، بينما سجل المدار الجديد متوسطًا أعلى في المواقع الأربعة الأخرى، وكان أكبر فرق لصالح المدار الجديد في L5، بنحو 0.295 Mbps، ومن ثم، فإن ارتفاع متوسط التنزيل العام لدى المدار الجديد لا يعني ارتفاعه في جميع المواقع.

أما الرفع، فظل متوسطه أعلى لدى لبيانا في المواقع الخمسة، مع تفاوت مقدار الفرق من نحو 0.269 Mbps في L1 إلى 0.039 Mbps في L5، وسجلت لبيانا متوسط زمن استجابة أقل في جميع المواقع، بينما كان متوسط التذبذب أقل لديها في أربعة مواقع، ومتقاربًا جدًا بين المشغلين في L4، حيث بلغ الفرق نحو 0.011 ms.

وفي مؤشرات الإشارة الثلاثة، كانت المتوسطات أعلى لدى لبيانا في L1 و L2 و L3، وتحول الاتجاه لصالح المدار الجديد في L4 و L5، ويساعد تعاكس اتجاه الفروق بين المواقع على تفسير تقارب المتوسطات العامة لمؤشرات الإشارة عند تجميع القياسات، دون أن يعني ذلك تطابق ظروف الإشارة بين المشغلين داخل كل موقع.

تقييم مقارن لأداء شبكات الجيل الرابع (4G/LTE) في مدينة الزاوية استنادًا إلى مؤشرات
جودة الخدمة وجودة الإشارة (دراسة ميدانية)

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol39-2-bd15>

ويعرض الجدول (8) متوسط الفروق بين المشغلين بحسب الفترة الزمنية، بالاعتماد على
15 فرقًا زوجيًا في كل فترة.

الجدول (8): متوسط فروق المشغلين بحسب الفترة الزمنية

المؤشر ووحدة الفرق	الصباحية	الظهرية	المسائية	الليلية
التنزيل (Mbps)	-0.108	-0.070	-0.086	-0.243
الرفع (Mbps)	+0.150	+0.129	+0.071	+0.187
زمن الاستجابة (ms)	-2.622	-2.222	-4.044	-2.111
التذبذب (ms)	-0.382	-0.244	-0.531	-0.393
فقدان الحزم (نقطة منوية)	+0.028	+0.038	-0.019	+0.008
RSRP (dB)	+0.044	-0.200	+0.222	-0.022
RSRQ (dB)	+0.127	-0.107	+0.004	-0.091
SINR (dB)	+0.011	+0.062	+0.207	+0.144

ملاحظة: تمثل القيم متوسط الفرق بين ليبيا والمدار الجديد، محسوبًا من 15 زيارة
متناظرة لكل فترة.

ظل متوسط التنزيل أعلى لدى المدار الجديد في الفترات الأربع، وكان أكبر فرق في الفترة
الليلية، وفي المقابل، بقي متوسط الرفع أعلى لدى ليبيا، وزمن الاستجابة والتذبذب أقل
لديها في جميع الفترات، وكان أكبر انخفاض في متوسط زمن الاستجابة لدى ليبيا في
الفترة المسائية، بنحو 4.044 ms، بينما تراوح الانخفاض في الفترات الأخرى بين نحو
2.11 و 2.62 ms.

وتغير اتجاه الفروق بحسب الفترة في فقدان الحزم و RSRP و RSRQ، بينما ظل متوسط
SINR أعلى لدى ليبيا بفروق تراوحت بين 0.011 و 0.207 dB، وتصف هذه النتائج
اتجاهات المتوسطات داخل كل فترة، ولا تعني ثباتها في جميع الزيارات الفردية.

ويُظهر تفصيل الفروق بحسب الموقع والفترة تغير اتجاه المقارنة في التنزيل وبعض
مؤشرات الإشارة، وهو ما لا يظهر في المتوسط العام وحده. وهذه الفروق ملخصات

تقييم مقارن لأداء شبكات الجيل الرابع (4G/LTE) في مدينة الزاوية استنادًا إلى مؤشرات جودة الخدمة وجودة الإشارة (دراسة ميدانية)

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol39-2-bd15>

وصفية للمواقع والفترات المقاسة، ولم تُجر اختبارات مستقلة لدلالاتها داخل كل موقع أو فترة.

4.6 العلاقة بين جودة الإشارة وجودة الخدمة

حُسبت معاملات ارتباط Spearman بين مؤشرات الإشارة الثلاثة ومؤشرات جودة الخدمة الخمسة باستخدام متوسطات الجلسات الـ 120، ويعرض الجدول (9) العلاقات المجمعة عبر المشغلين والمواقع والفترات والأيام، بوصفها مقاييس لاتجاه الارتباط وقوته داخل البيانات.

الجدول (9): معاملات ارتباط Spearman المجمعة بين مؤشرات جودة الإشارة وجودة الخدمة

مؤشر الإشارة	التنزيل	الرفع	زمن الاستجابة	التذبذب	فقدان الحزم
RSRP	0.486	0.630	-0.433	-0.305	-0.372
RSRQ	0.698	0.804	-0.651	-0.541	-0.612
SINR	0.730	0.835	-0.689	-0.579	-0.634

ملاحظة: عدد الجلسات 120. تمثل القيم معاملات ارتباط وصفية، ولا تتضمن تصنيفًا للدلالة الإحصائية، وتشير القيم الأعلى في RSRP و RSRQ إلى قيم أقل سلبية. ارتبطت مؤشرات الإشارة الثلاثة ارتباطًا موجبًا بسرعتي التنزيل والرفع، وسالبًا بزمن الاستجابة والتذبذب وفقدان الحزم، وسجل SINR أقوى الارتباطات المجمعة بالقيمة المطلقة مع مؤشرات الخدمة الخمسة، يليه RSRQ ثم RSRP، وكانت أقوى علاقة مجمعة بين SINR والرفع بمعامل بلغ 0.835، بينما بلغ ارتباطه بالتنزيل 0.730. وفي مؤشرات التأخير وفقدان الحزم، بلغ ارتباط SINR بزمن الاستجابة -0.689، وبالذبذب -0.579، وبفقدان الحزم -0.634، وتشير هذه القيم إلى اقتران ارتفاع SINR بمستويات أقل لهذه المؤشرات ضمن البيانات المجمعة، دون تحديد اتجاه سببي للعلاقة.

ولفحص مدى تغير هذه العلاقات بعد مراعاة عوامل التصميم، أُجري تحليل الارتباط الجزئي على الرتب، بإزالة الفروق الإضافية المرتبطة بالموقع والفترة واليوم والمشغل من

تقييم مقارن لأداء شبكات الجيل الرابع (4G/LTE) في مدينة الزاوية استناداً إلى مؤشرات جودة الخدمة وجودة الإشارة (دراسة ميدانية)

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol39-2-bd15>

رتب المتغيرات، ثم حساب الارتباط بين بواقي الرتب، ويعرض الجدول (10) نتائج هذا التحليل الاستكشافي.

الجدول (10): الارتباطات الجزئية على الرتب بعد ضبط الموقع والفترة واليوم والمشغل

مؤشر الإشارة	التنزيل	الرفع	زمن الاستجابة	التذبذب	فقدان الحزم
RSRP	0.307	0.269	-0.209	-0.227	-0.021
RSRQ	0.431	0.352	-0.257	-0.238	-0.351
SINR	0.489	0.478	-0.419	-0.361	-0.237

ملاحظة: تمثل القيم معاملات Pearson بين بواقي رتب المتغيرات بعد الضبط الإضافي للعوامل المحددة، وهي نتائج استكشافية لتحليل الحساسية، ولا تمثل تقديرات لتأثيرات سببية أو معالجة كاملة لاعتماد القياسات.

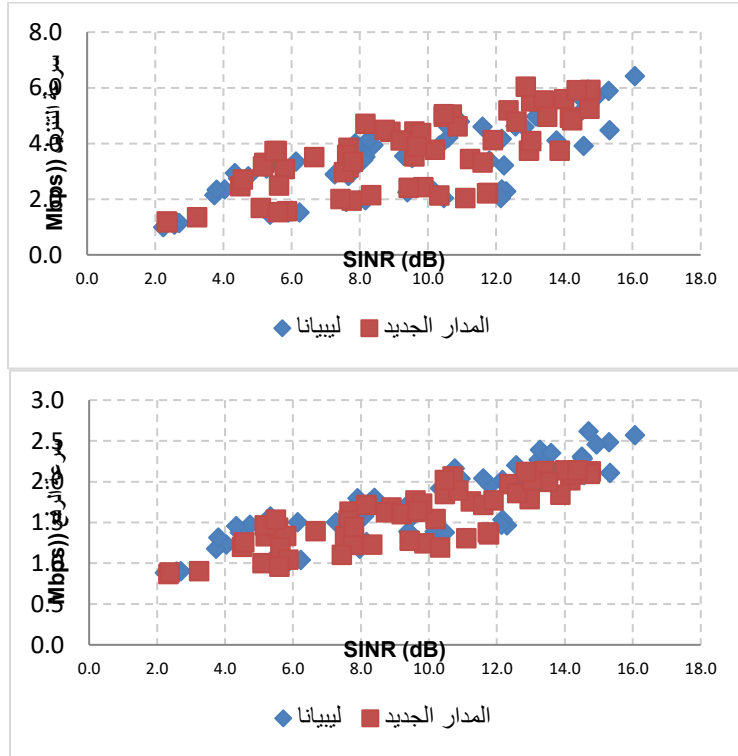
انخفضت القيم المطلقة للارتباطات بعد الضبط، مع بقاء اتجاهاتها. فقد انخفض ارتباط SINR بالتنزيل من 0.730 إلى 0.489، وبالرفع من 0.835 إلى 0.478. كما انخفضت القيمة المطلقة لارتباطه بزمن الاستجابة من 0.689 إلى 0.419، وبالتذبذب من 0.579 إلى 0.361، وتوضح هذه المقارنة تغير مقدار الارتباط عند مراعاة الموقع والفترة واليوم والمشغل.

وظل SINR صاحب أقوى ارتباط جزئي بالقيمة المطلقة مع التنزيل والرفع وزمن الاستجابة والتذبذب. أما فقدان الحزم، فقد كان ارتباطه الجزئي بـ RSRQ أقوى من ارتباطه بـ SINR، بقيمتي -0.351 و -0.237 على التوالي، بينما اقترب ارتباطه الجزئي بـ RSRP من الصفر، ولذلك يقتصر وصف SINR بأنه الأكثر ارتباطاً بجميع مؤشرات الخدمة على التحليل المجمع، ولا يمتد إلى جميع نتائج التحليل المعدل.

ويعرض الشكل (4) مخططات الانتشار بين SINR وسرعتي التنزيل والرفع على مستوى الجلسات، لتوضيح العلاقات المجمع قبل الضبط، وتمثل كل نقطة قيمة SINR ومعدل النقل من الجلسة نفسها، ولا يعرض الشكل الارتباطات الجزئية الواردة في الجدول (10).

تقييم مقارن لأداء شبكات الجيل الرابع (4G/LTE) في مدينة الزاوية استناداً إلى مؤشرات
جودة الخدمة وجودة الإشارة (دراسة ميدانية)

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol39-2-bd15>



الشكل (4): العلاقة المجمع بين SINR وسرعتي التنزيل والرفع في جلسات قياس شبكتي ليبيا والمدار الجديد.

تُظهر هذه الارتباطات تلازم مؤشرات الإشارة والخدمة بين الجلسات المقاسة، وتتغير قوتها عند مراعاة الموقع والفترة واليوم والمشغل، وتبقى العلاقات المرصودة ارتباطية ضمن الحملة الميدانية.

5. مناقشة النتائج

أظهرت النتائج أن المقارنة بين شبكتي ليبيا والمدار الجديد تختلف باختلاف مؤشر الأداء وظروف القياس. فقد سجل المدار الجديد متوسطاً أعلى للتنزيل، بينما سجلت ليبيا متوسطاً أعلى للرفع ومتوسطين أقل لزمن الاستجابة والتذبذب، وتكرر اتجاه هذه الفروق في المتوسطات اليومية خلال الأيام الثلاثة، دون أن يعني ذلك ثبات الأفضلية في جميع

تقييم مقارن لأداء شبكات الجيل الرابع (4G/LTE) في مدينة الزاوية استنادًا إلى مؤشرات جودة الخدمة وجودة الإشارة (دراسة ميدانية)

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol39-2-bd15>

المواقع والزيارات، وتدعم هذه النتيجة تقييم الشبكات باستخدام مجموعة من المؤشرات، لأن ارتفاع سرعة التنزيل لا يضمن أفضلية مماثلة في الرفع أو التأخير أو فقدان الحزم، ويتفق هذا التوجه مع التقييم متعدد المؤشرات الذي اعتمدته دراسة Abdullahi و Abdulhamid (2025) عند مقارنة أداء مشغلي شبكات LTE/4G في نيجيريا.

وتحتاج الفروق بين المشغلين إلى تفسير يتناسب مع مقدارها الفعلي وعدم اليقين المصاحب لها. فقد بلغ الفرق العام في التنزيل نحو 0.127 Mbps لصالح المدار الجديد، وفي الرفع نحو 0.134 Mbps لصالح ليببانا، بينما انخفض زمن الاستجابة لديها بمقدار 2.750 ms والتذبذب بنحو 0.388 ms. وبعد مراعاة تكرار الزيارات داخل المواقع وتصحيح الاختبارات الثمانية، اقتصر الفرق الدال في التحليل المعتمد على زمن الاستجابة (p المصححة = 0.0290). ولم تثبت الفروق الأخرى دلالة بعد التصحيح، كما أن مقدار فرق زمن الاستجابة لا يثبت وحده تحسنًا محسوسًا في تجربة المستخدم؛ فذلك يعتمد على التطبيق وظروف الاستخدام ولم يُختبر مباشرة في هذه الدراسة. ويستدعي صغر عدد المواقع وحساسية النتيجة لطريقة الاختبار قراءةً مقيدةً بنطاق حملة القياس.

وكان التغير الزمني من أبرز الأنماط المرصودة، إذ انخفضت معدلات النقل وارتفعت مؤشرات التأخير وفقدان الحزم في الفترة المسائية مقارنة بالليلية، وتكرر هذا الترتيب في المتوسطات اليومية، ولم يُقَسَّ حمل الخلايا أو عدد المستخدمين، لذلك يبقى التفسير التشغيلي لهذا النمط مفتوحًا. كما أن تقارب متوسطات RSRP المجمعة بين الفترات، مقابل تغير متوسطات RSRQ و SINR، لم يصاحبه تقارب مماثل في مؤشرات جودة الخدمة، وتتصل هذه الملاحظة بما عرضته دراسة Garba وزملائه من تغير خصائص الإشارة ومعدلات النقل عبر أوقات القياس ومساره، مع اختلاف تصميمها المتحرك عن القياسات الثابتة في الدراسة الحالية. (Garba et al., 2023)

وأظهر التحليل المكاني اختلافًا في مستويات الأداء بين نقاط القياس، حيث اقترنت المتوسطات الأعلى للإشارة في ميدان الشهداء ومحيط جامعة الزاوية بمعدلات نقل أعلى نسبيًا، بينما سجل المطرد معدلات أقل ومؤشرات تأخير أعلى. غير أن هذه المقارنة تصف النقاط المقاسة ولا تمثل تقييمًا شاملاً للمناطق المحيطة بها. كذلك ظل ترتيب زيارة المواقع ثابتًا، بما يسمح بتداخل الفروق المكانية مع تغير ظروف الشبكة أثناء الفترة نفسها،

تقييم مقارن لأداء شبكات الجيل الرابع (4G/LTE) في مدينة الزاوية استنادًا إلى مؤشرات
جودة الخدمة وجودة الإشارة (دراسة ميدانية)

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol39-2-bd15>

وقد رصدت دراسة Shayea وزملائه تفاوتًا بين المناطق التي قاستها، باستخدام تصميم
قياس مختلف (Shayea et al., 2024).

وكشفت فروق المشغلين بحسب الموقع عن معلومات لا تظهر من المتوسط العام. فقد
ارتفع متوسط التنزيل لدى ليببانا في ميدان الشهداء، بينما ارتفع لدى المدار الجديد في
المواقع الأخرى. كما انعكس اتجاه فروق مؤشرات الإشارة بين المواقع الثلاثة الأولى
والموقعين الآخرين، وهو ما أسهم في تقارب المتوسطات المجمعة، وتوضح هذه النتيجة
أن المتوسط العام قد يخفي فروقًا متعاكسة، وأن تفسير المقارنة يحتاج إلى تحديد الموقع
والمؤشر معًا.

وأظهر تحليل الارتباط المجمع أن SINR سجل أقوى العلاقات بالقيمة المطلقة مع
مؤشرات الخدمة الخمسة. لكن هذه العلاقات ضعفت بعد مراعاة الفروق الإضافية المرتبطة
بالموقع والفترة واليوم والمشغل، فانخفض ارتباطه بالتنزيل من 0.730 إلى 0.489، وبالرفع
من 0.835 إلى 0.478. كما أصبح ارتباط RSRQ بفقدان الحزم أقوى من ارتباط
SINR به في التحليل المعدل، ويعني ذلك أن ترتيب المؤشرات وقوة علاقاتها يتأثران
بطريقة التحليل، فلا يصح تقديم SINR بوصفه أفضل مؤشر بصورة مطلقة، ويتفق هذا
التحفظ مع التمييز المنهجي بين العلاقات المجمعة والعلاقات داخل البيانات المتكررة،
التي قد تختلف في قوتها وتفسيرها (Bakdash & Marusich, 2017).

ومن الناحية التطبيقية، تدعم النتائج استخدام مؤشرات الإشارة إلى جانب مؤشرات الخدمة
لتحديد الحالات التي تستحق فحصًا فنيًا إضافيًا. إلا أن تشخيص أسباب انخفاض الأداء
يتطلب معلومات عن الترددات والخلايا والموارد الراديوية وظروف التشغيل، ولم تتضمنها
بيانات هذه الدراسة، وتبرز أهمية هذه التفاصيل في دراسة Shakir وزملائه التي وثقت
التردد وعرض النطاق عند مقارنة مؤشرات الإشارة والتنزيل بين المشغلين. لذلك يمكن أن
توجه نتائج الدراسة الحالية أولويات القياس والمتابعة، لكنها لا تكفي لتحديد تدخل تقني
بعينه، مثل زيادة السعة أو تعديل التغطية، دون فحوص إضافية (Shakir et al., 2023).

تقييم مقارن لأداء شبكات الجيل الرابع (4G/LTE) في مدينة الزاوية استناداً إلى مؤشرات
جودة الخدمة وجودة الإشارة (دراسة ميدانية)

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol39-2-bd15>

6. حدود الدراسة

تقتصر نتائج الدراسة على خمس نقاط قياس وثلاثة أيام في مارس 2026، لذا تصف الأداء في هذه النقاط والتواريخ ولا تقدر أداء الشبكتين في أنحاء المدينة أو المواسم الأخرى. كما أجريت القياسات خارج المباني باستخدام هاتف واحد، ولا تمتد النتائج مباشرة إلى البيئات الداخلية أو الأجهزة المختلفة.

تُعدت جلستا المشغلين بالتتابع في كل زيارة، وظل ترتيب المواقع ثابتاً في جميع الجولات، لذلك قد تتداخل فروق الأداء مع تغير أحوال الشبكة داخل الفترة. كذلك فإن تلخيص القراءات الثلاث في متوسط جلسة لا يزيل اعتماد الزيارات المتكررة للمواقع نفسها؛ ولهذا استند اختبار الفروق العامة إلى خمسة متوسطات موقعية. ويحد عدد المواقع من دقة تقدير عدم اليقين؛ فقد أعطى اختبار الإشارة لفروق زمن الاستجابة قيمة p مقدارها 0.0625، رغم بلوغ الفرق الدلالة في الاختبار المعلمي المصحح، وهو ما يوجب التحفظ عند تفسير الاستدلال.

تحدّ البيانات التقنية المتاحة من تفسير أسباب الفروق؛ إذ لم تُسجل ترددات LTE وعرض القناة ومعرّفات الخلايا وحالة تجميع الحوامل أو خصائص الشرائح والباقات أثناء القياس. كما لم تُحفظ هوية خادم اختبار السرعة أو الخادم المختار لكل قراءة، رغم النص في البروتوكول على استخدام خادم ثابت في طرابلس. ولذلك لا يمكن التحقق من تكافؤ هذه العوامل بين المشغلين أو اختبار أثرها في المؤشرات المقاسة.

7. الاستنتاج

أظهرت الدراسة اختلاف متوسطات أداء شبكتي ليبيا والمدار الجديد بحسب المؤشر والموقع والفترة الزمنية ضمن القياسات المنفذة في خمسة مواقع بمدينة الزاوية خلال ثلاثة أيام. فقد سجل المدار الجديد متوسطاً أعلى لسرعة التنزيل، بينما سجلت ليبيا متوسطاً أعلى للرفع ومتوسطين أقل لزمن الاستجابة والتذبذب. وبعد مراعاة تكرار الزيارات وتصحيح الاختبارات الثمانية، بلغ فرق زمن الاستجابة وحده الدلالة في التحليل المعتمد لصالح ليبيا (متوسط الفرق -2.750 ms؛ p المصححة = 0.0290)، مع حساسية هذه

تقييم مقارن لأداء شبكات الجيل الرابع (4G/LTE) في مدينة الزاوية استنادًا إلى مؤشرات
جودة الخدمة وجودة الإشارة (دراسة ميدانية)

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol39-2-bd15>

النتيجة لقلة المواقع وطريقة الاختبار. ولا تكفي الفروق المرصودة لترتيب المشغلين على مستوى المدينة أو لإثبات أثر محسوس في استخدام التطبيقات. وسجلت الفترة المسائية أدنى معدلات النقل وأعلى مستويات التأخير والتذبذب وفقدان الحزم، مقابل أداء أفضل في الفترة الليلية، وتكرر هذا النمط في الأيام الثلاثة. كما ظهرت فروق بين المواقع، وانعكس اتجاه المقارنة بين المشغلين في التنزيل وبعض مؤشرات الإشارة، وتشير النتائج إلى أهمية عرض الأداء بحسب ظروف القياس، لأن المتوسطات العامة قد تخفي اختلافات محلية، مع مراعاة احتمال تداخل الموقع مع وقت القياس نتيجة ثبات ترتيب الزيارات.

وأظهرت الارتباطات المجمعة اقتران تحسن مؤشرات الإشارة بارتفاع معدلات النقل وانخفاض مؤشرات التأخير وفقدان الحزم، وكان SINR الأكثر ارتباطاً بمؤشرات الخدمة الخمسة في التحليل المجمع، إلا أن قوة العلاقات انخفضت بعد مراعاة الموقع والفترة واليوم والمشغل، ولم يحتفظ بترتيبه الأول في جميع العلاقات المعدلة، ويقتصر تفسير هذه العلاقات على الجلسات المقاسة وظروفها.

تتمثل مساهمة الدراسة في توثيق مقارنة ميدانية محلية لشبكتي الجيل الرابع عبر 60 زيارة متناظرة، تجمع مؤشرات جودة الخدمة والإشارة وتعرض أحجام الفروق وعدم اليقين المصاحب لها بعد مراعاة تكرار القياس، مع إظهار اختلاف الفروق بحسب الموقع والفترة وتغير اتجاه بعضها بين المواقع. وتوفر النتائج أساساً لتصميم حملات قياس أوسع وأكثر ضبطاً في مدينة الزاوية.

8. التوصيات

استناداً إلى النتائج وحدود الدراسة، توصي الدراسة الجهات المعنية بتقييم شبكات الهاتف المحمول بالاعتماد على مجموعة متكاملة من مؤشرات جودة الخدمة وجودة الإشارة، وعرض النتائج بحسب الموقع والفترة الزمنية، إلى جانب المتوسطات العامة. كما ينبغي تفسير الفروق بوحداتها الأصلية وربط أهميتها العملية بمتطلبات التطبيقات، دون الاكتفاء بترتيب المشغلين وفق سرعة التنزيل.

تقييم مقارن لأداء شبكات الجيل الرابع (4G/LTE) في مدينة الزاوية استنادًا إلى مؤشرات
جودة الخدمة وجودة الإشارة (دراسة ميدانية)

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol39-2-bd15>

ويوصى بإجراء قياسات تحقق إضافية في نقاط القياس التي سجلت أداءً أضعف، ولا سيما نقطة المطرد، وفي الفترة المسائية، وينبغي أن تشمل هذه المتابعة قياس حمل الخلايا والموارد الراديوية المتاحة، للتمييز بين الأسباب المحتملة لانخفاض الأداء قبل تحديد التدخلات الفنية المناسبة.

ولتحسين قابلية تكرار القياس، يوصى بتوثيق إحداثيات النقاط، ومعرفة الخلايا، والترددات وعرض النطاق، وحالة تجميع الحوامل، وخصائص الجهاز والشرائح والباقات، وإصدارات التطبيقات وإعداداتها. كما ينبغي تثبيت خادم Speedtest وتسجيل اسمه ومعرفة والخدام المختار لكل اختبار، والاحتفاظ بسجلات الاختبارات الأصلية مع توثيق المحاولات الفاشلة وأسباب أي استبعاد.

وفي الحملات اللاحقة، يوصى بتوسيع عدد المواقع والأيام وتحديد معايير اختيارها مسبقًا، وتنوع ترتيب زيارة المواقع للحد من تداخله مع وقت القياس، ويمكن استخدام أجهزة متماثلة لإجراء قياسات متزامنة للمشغلين، مع التحقق من أثر الجهاز وتبادل الشرائح بين الأجهزة وفق بروتوكول محدد.

وأخيرًا، يوصى بتخطيط التحليل الإحصائي بالتزامن مع تصميم جمع البيانات، بما يراعي القياسات المتكررة ويوفر عددًا مناسبًا من الوحدات المستقلة. كما يُقترح توسيع التقييم ليشمل البيانات الداخلية وأداء تطبيقات محددة، والتحقق من العلاقات بين الإشارة والخدمة في بيانات إضافية قبل استخدامها للتنبؤ أو تعميمها على ظروف تشغيل أخرى.

المراجع

الحراني، ن. س.، وورغي، س. ا. (2020). التنبؤ بتغطية أبراج شبكة الاتصالات اللاسلكية 4G للمشغل "أ" باستخدام نظم المعلومات الجغرافية في مدينة جدة: دراسة حالة حي النزهة. مجلة العلوم الطبيعية والحياتية والتطبيقية، 4(2)، 1-18.

<https://doi.org/10.26389/AJSRP.R050420>.

Abdullahi, J., & Abdulhamid, A. A. (2025). Evaluating 4G network performance in North-Central Nigeria: A drive test-based assessment of key performance indicators. International Journal of Research and Scientific Innovation, 12(3), 305–323.

تقييم مقارن لأداء شبكات الجيل الرابع (4G/LTE) في مدينة الزاوية استنادًا إلى مؤشرات
جودة الخدمة وجودة الإشارة (دراسة ميدانية)

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol39-2-bd15>

<https://doi.org/10.51244/IJRSI.2025.12030020>

- Aburkhis, M., Shrena, I., Yakhlef, S., & Abushofa, A. (2015). Measurement of GPRS performance over Libyan GSM networks: Experimental results. *International Journal of Scientific Research in Science, Engineering and Technology*, 1(5), 30–38.
<https://doi.org/10.32628/IJSRSET151488>
- Bakdash, J. Z., & Marusich, L. R. (2017). Repeated measures correlation. *Frontiers in Psychology*, 8, Article 456.
<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.00456>
- El-Saleh, A. A., Al Jahdhami, M. A., Alhammadi, A., Shamsan, Z. A., Shayea, I., & Hassan, W. H. (2023). Measurements and analyses of 4G/5G mobile broadband networks: An overview and a case study. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2023, Article 6205689.
<https://doi.org/10.1155/2023/6205689>
- El-Saleh, A. A., Alhammadi, A., Shayea, I., Alsharif, N., Alzahrani, N. M., Khalaf, O. I., & Aldhyani, T. H. H. (2022). Measuring and assessing performance of mobile broadband networks and future 5G trends. *Sustainability*, 14(2), 829.
<https://doi.org/10.3390/su14020829>
- El-Saleh, A. A., Alhammadi, A., Shayea, I., Hassan, W. H., Honnurvali, M. S., & Daradkeh, Y. I. (2023). Measurement analysis and performance evaluation of mobile broadband cellular networks in a populated city. *Alexandria Engineering Journal*, 66, 927–946.
<https://doi.org/10.1016/j.aej.2022.10.052>
- Fenwick, S. (2020, October). *Libya: Mobile network experience report*. Opensignal.
<https://insights.opensignal.com/reports/2020/10/libya/mobile-network-experience>
- Garba, S. A., Ambursa, F. U., Baguda, Y. S., & Shehu, M. A. (2023). Exploring wireless connectivity and network performance: A dataset of 4G LTE user equipment measurements. *Science World Journal*, 18(4), 558–566.
<https://doi.org/10.4314/swj.v18i4.4>

تقييم مقارن لأداء شبكات الجيل الرابع (4G/LTE) في مدينة الزاوية استنادًا إلى مؤشرات
جودة الخدمة وجودة الإشارة (دراسة ميدانية)

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol39-2-bd15>

- Imoize, A. L., Orolu, K., & Atayero, A. A.-A. (2020). Analysis of key performance indicators of a 4G LTE network based on experimental data obtained from a densely populated smart city. *Data in Brief*, 29, 105304. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2020.105304>
- Polak, L., Kufa, J., Sotner, R., & Fryza, T. (2024). Measurement and analysis of 4G/5G mobile signal coverage in a heavy industry environment. *Sensors*, 24(8), 2538. <https://doi.org/10.3390/s24082538>
- Raida, V., Svoboda, P., & Rupp, M. (2020). Real world performance of LTE downlink in a static dense urban scenario—An open dataset. In *2020 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM)* (pp. 1–6). IEEE. <https://doi.org/10.1109/GLOBECOM42002.2020.9348204>
- Sezgin, G., Coskun, Y., Basar, E., & Karabulut Kurt, G. (2018). Performance evaluation of a live multi-site LTE network. *IEEE Access*, 6, 49690–49704. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2868385>
- Shakir, Z., Mjhool, A. Y., Al-Thaedan, A., Al-Sabbagh, A., & Alsabah, R. (2023). Key performance indicators analysis for 4G-LTE cellular networks based on real measurements. *International Journal of Information Technology*, 15(3), 1347–1355. <https://doi.org/10.1007/s41870-023-01210-0>
- Shayea, I., Azmi, M. H., Ergen, M., El-Saleh, A. A., Han, C. T., Arsad, A., Rahman, T. A., Alhammadi, A., Daradkeh, Y. I., & Nandi, D. (2021). Performance analysis of mobile broadband networks with 5G trends and beyond: Urban areas scope in Malaysia. *IEEE Access*, 9, 90767–90794. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3085782>
- Shayea, I., Benlakehal, M. E., Azmi, M. H., Han, C. T., Arsad, A., & Abd Rahman, T. (2024). Outdoor mobile broadband performance analysis in Malaysia, Singapore, and Thailand. *Results in Engineering*, 23, 102691. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102691>



تقييم مقارن لأداء شبكات الجيل الرابع (4G/LTE) في مدينة الزاوية استنادًا إلى مؤشرات
جودة الخدمة وجودة الإشارة (دراسة ميدانية)

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol39-2-bd15>

- Umoh, V. B., Ekpe, U. M., Davidson, I. E., & Akpan, J. (2023). Mobile broadband adoption, performance measurements and methodology: A review. *Electronics*, 12(7), 1630. <https://doi.org/10.3390/electronics12071630>
- Yuhanef, A., Aulia, S., & Indriani, L. (2025). Quality of service optimization for 4G LTE upload and download throughput. *International Journal of Informatics and Communication Technology*, 14(3), 1024–1033. <https://doi.org/10.11591/ijict.v14i3.pp1024-1033>