دراسة أثر خوارزميات الجدولة على أداء بروتوكولات التوجيه في شبكات المركبات اللاسلكية VANET

د.م. أحمد العلي*

الملخص

يهدف هذا البحث إلى دراسة أثر خوارزميات جدولة الطوابير (Active Queue Management – AQM) على أداء بروتوكولات التوجيه في شبكات المركبات اللاسلكية (VANETs). تم من خلال استخدام محاكي الشبكة NS3 تقييم أربعة بروتوكولات توجيه وهيAODV,DSR,DSDV,GPSR، وذلك باستخدام ثلاث خوارزميات لإدارة الطوابير وهي DropTail,RED,REM. تم تنفيذ التجارب ضمن سيناريوهين مختلفين لحركة المركبات، هما السيناريو الحضري والسيناريو السريع، مع تغيير كثافة الشبكة بعدد 30 و60 و90 مركبة، بهدف تحليل تأثير الازدحام وطبيعة البيئة على مؤشرات الأداء. اعتمدت الدراسة على مجموعة من مقاييس الأداء القياسية، شملت نسبة تسليم الرزم، ومتوسط التأخير، والإنتاجية، ونسبة فقدان الرزم. أظهرت النتائج أن زيادة كثافة المركبات تؤدي إلى تدهور تدريجي في أداء الشبكة، خصوصا في البيئة الحضرية ذات الازدحام العالي والتغير السريع في الطوبولوجيا. كما بينت النتائج تفوق بروتوكول GPSR في معظم السيناريوهات، سواء في البيئات الحضرية أو على الطرق السريعة، نظرا لاعتماده على التوجيه الجغرافي وتقليل حمل التوجيه. من جهة أخرى، أثبتت خوارزمية REM كفاءة عالية في إدارة الازدحام، حيث حققت أفضل النتائج من حيث زيادة نسبة تسليم الرزم، وتقليل التأخير، وتقليل فقدان الرزم مقارنة بـ DropTail وRED، خاصة عند الكثافات العالية. تؤكد نتائج البحث أن الدمج بين بروتوكولات التوجيه الجغرافية وخوارزميات إدارة الطوابير الذكية يعد خيارا فعالا لتحسين أداء شبكات VANET في البيئات المختلفة.

الكلمات المفتاح : شبكات المركبات اللاسلكية، VANET، بروتوكولات التوجيه، خوارزميات إدارة الطوابير.

---

* عضو هيئة تدريسية– قسم الشبكات الحاسوبية و النظم– كلية الهندسة المعلوماتية–جامعة حمص.

Studying of the Impact of Scheduling Algorithms on the Performance of Routing Protocols in Vehicle Ad Hoc Networks(VANET)

Dr.eng. Ahmad Alali*

ABSTRACT

This paper aims at investigating the impact of Active Queue Management (AQM) algorithms on the performance of routing protocols in Vehicular Ad Hoc Networks (VANETs). Using the NS-3 network simulator, four routing protocols—AODV, DSR, DSDV, and GPSR—were evaluated under three queue management algorithms: DropTail, RED, and REM. The experiments were conducted under two different vehicular mobility scenarios, namely urban and highway scenarios, varying the network density with 30, 60, and 90 vehicles in order to analyze the effects of congestion and environmental characteristics on network performance.

This paper employed a set of standard performance metrics, including packet delivery ratio, average end-to-end delay, throughput, and packet loss ratio. The results indicate that increasing vehicle density leads to a gradual degradation in network performance, particularly in urban environments characterized by high congestion and rapid topology changes. Furthermore, the results show that the GPSR protocol outperforms the other routing protocols in most scenarios, both in urban and highway environments, due to its reliance on geographic routing and reduced routing overhead.

On the other hand, the REM algorithm demonstrated high efficiency in congestion management, achieving the best performance in terms of higher packet delivery ratio, lower delay, and reduced packet loss compared to DropTail and RED, especially under high-density conditions. The findings confirm that combining geographic routing protocols with intelligent queue management algorithms is an effective approach to enhancing VANET performance across diverse environments

Keywords: VANET, Routing Protocols, Active Queue Management.

---

* Lecturer, Department of Systems and Computer Networks, Faculty Of Informatics Engineering, Homs University.

1. مقدمة:

تعد الشبكات اللاسلكية النقالة من الأنظمة الشبكية الديناميكية التي تتكون من مجموعة من العقد المتعاونة، القادرة على الحركة المستمرة وتبادل البيانات فيما بينها دون الاعتماد على بنية تحتية ثابتة. تعتمد هذه الشبكات على آلية الاتصال الذاتي، حيث تقوم العقد بدور المرسل والمستقبل والموجه في الوقت نفسه، وتتخذ قرارات التوجيه بشكل مستقل بالاعتماد على حالة الشبكة وتغير طوبولوجيتها.

تلعب بروتوكولات التوجيه دورا محوريا في تحديد أداء هذا النوع من الشبكات، إذ تؤثر آلية اكتشاف المسارات وصيانتها بشكل مباشر على كفاءة الاتصال وجودة الخدمة. ويختلف أداء بروتوكولات التوجيه باختلاف البيئة التشغيلية وطبيعة الحركة، الأمر الذي يجعل اختيار البروتوكول المناسب تحديا أساسيا، خاصة في الشبكات ذات التغير السريع في الطوبولوجيا مثل شبكات المركبات اللاسلكي(VANET).

من جهة أخرى، يتم تخزين رزم البيانات مؤقتا ضمن طوابير (Queues) داخل العقد الشبكية بهدف تنظيم تدفق البيانات والحد من حالات الازدحام. وتعد خوارزميات جدولة الطوابير المسؤولة

عن إدارة هذه الطوابير من العوامل المؤثرة بشكل مباشر على مؤشرات الأداء، إذ تحدد ترتيب إرسال الرزم، وآلية التعامل مع الازدحام، والرزم التي سيتم تمريرها أو إهمالها، إضافةً إلى التحكم بزمن الانتظار والتأخير داخل الشبكة.

يحدث الازدحام في الشبكة عادةً عندما يتجاوز معدل إرسال الرزم قدرة العقد أو القناة اللاسلكية على الاستقبال والمعالجة، مما يؤدي إلى زيادة التأخير، وارتفاع نسبة فقدان الرزم، وهدر موارد الشبكة. وتزداد خطورة هذه المشكلات في التطبيقات الحساسة للزمن، مثل نقل الصوت والفيديو، التي تتطلب تأخيراً منخفضاً واستقراراً عالياً في الاتصال. انطلاقاً من ذلك، تبرز أهمية دراسة تأثير خوارزميات إدارة وجدولة الطوابير على أداء بروتوكولات التوجيه، ولا سيما في بيئات شبكات المركبات اللاسلكية VANETs التي تتميز بكثافة عقد متغيرة وسرعات عالية وتغير مستمر في الطوبولوجيا. يهدف هذا البحث إلى تحليل هذا الأثر من خلال تقييم أداء مجموعة من بروتوكولات التوجيه الشائعة عند تطبيق خوارزميات جدولة مختلفة، بهدف الوصول إلى حلول أكثر كفاءة لتحسين جودة الخدمة وأداء الشبكة في البيئات المختلفة.

2. الهدف من البحث وأهميته:

نظراً للطبيعة الديناميكية للشبكات اللاسلكية النقالة، وما يرافقها من تغيرات مستمرة في بنية الشبكة وطوبولوجيتها نتيجة حركة العقد، تبرز الحاجة إلى بروتوكولات توجيه فعالة قادرة على ضمان استقرار الاتصال وتحقيق جودة خدمة مقبولة. وتزداد أهمية ذلك في شبكات المركبات اللاسلكية (VANETs)، حيث تشارك جميع العقد في عملية بناء المسارات وتحديثها ضمن بيئات ذات كثافة وحركة متغيرة.

يهدف هذا البحث في جانبه الأول إلى تقييم جودة الخدمة لبروتوكولات التوجيه الشائعة في شبكات المركبات اللاسلكية VANET ، من خلال تحليل أدائها ضمن بيئات تشغيل مختلفة، وتحديد البروتوكول الأكثر كفاءة من حيث نسبة تسليم الرزم، والتأخير، والإنتاجية، وفقدان الرزم. ويسهم هذا التقييم في فهم تأثير طبيعة البيئة وكثافة العقد على أداء بروتوكولات التوجيه المختلفة.

أما في جانبه الثاني، فيهدف البحث إلى دراسة أثر خوارزميات جدولة وإدارة الطوابير على أداء بروتوكولات التوجيه في الشبكات اللاسلكية النقالة، وذلك لما تلعبه هذه الخوارزميات من دور أساسي في تنظيم تدفق البيانات والتحكم بالازدحام داخل الشبكة. إذ تسهم خوارزميات الجدولة الفعالة في تقليل التصادمات، والحد من التأخير، وتحسين استغلال موارد الشبكة، مما يؤدي إلى تحسين جودة الخدمة، خاصة في التطبيقات الحساسة للزمن مثل نقل الصوت والفيديو.

تكمن أهمية هذا البحث في الربط بين بروتوكولات التوجيه وخوارزميات إدارة الطوابير ضمن بيئة شبكات المركبات اللاسلكية VANET ، وتقديم تحليل يوضح تأثير هذا الدمج على الأداء العام للشبكة. كما تسهم نتائج الدراسة في توفير مرجع علمي يساعد الباحثين ومصممي الشبكات على اختيار الحلول الأنسب لتحسين موثوقية الاتصال وجودة الخدمة في شبكات المركبات اللاسلكية.

3.الدراسات السابقة:

ركزت ابحاث مثل الدراسة (1) على اثر خوارزميات الجدولة على اداء بروتوكولات التوجيه في الشبكات اللاسلكية النقالة حيث تمت المقارنة بين ثلاث خوارزميات جدولة DropTail,RED,REM وباستخدام ثلاث بروتوكولات توجيه DSDV,DSR,AODV ونستنتج من هذه الدراسة أنه تختلف أداء برتوكولات التوجيه في الشبكات اللاسلكية النقالة بالنسبة لمعايير جودة الخدمة حسب البيئة التشغيلية . أداء بروتوكولي AODV,DSR أفضل من البروتوكول DSDV الذي يكون فيه متوسط تأخير رزم البيانات أقل بالنسبة للبيئات المدروسة ويكون لبروتوكول DSDV نفس الأداء بالنسبة لنسبة تسليم رزم البيانات والإنتاجية ومتوسط تأخير الرزم في خوارزميتي الاكتشاف المبكر العشوائي(RED),التعليم الأسي العشوائي(REM) مع زيادة سرعة العقد وزمن التوقف وله نفس الأداء بالنسبة لنسبة تسليم رزم البيانات والإنتاجية ومتوسط تأخير الرزم في خوارزميتي الحذف من النهاية (DropTail),الاكتشاف المبكر العشوائي(RED) مع زيادة عدد العقد والاتصالات الأعظمية بينها. على الرغم من ان هذه الدراسة ركزت على الشبكات اللاسلكية النقالة ولم تطرق لموضوع شبكات المركبات اللاسلكية تناولت عدة أبحاث حديثة شبكات المركبات اللاسلكية (VANETs) من جوانب مختلفة لتحسين التوجيه والأداء تحت بيئات الحركة الديناميكية العالية.

فعلى سبيل المثال، ركزت الدراسة (2) على تحسين الأداء لبروتوكولات التوجيه مثل QOS– AODV و GPSR من خلال تحسين معاملات التوجيه، مما أدى إلى تحسين نسبة تسليم الرزم وتقليل التأخير في سيناريوهات حضرية وسريعة، مؤكدا أهمية التخصيص الدقيق لبروتوكولات التوجيه في الظروف المختلفة لشبكات المركبات. بالإضافة إلى ذلك، ركزت أبحاث مثل الدراسة (3) على تقييم جودة الخدمة لمجموعة من بروتوكولات التوجيه التقليدية مثل AODV، DSR، GPSR ضمن بيئات شبكات المركبات اللاسلكية VANET الحضرية، وذلك باستخدام محاكيات حديثة لقياس مؤشرات الأداء الأساسية مثل التأخير والإنتاجية ونسبة فقدان الرزم، مما يعزز فهم الفوارق بين هذه البروتوكولات في ظل حركة المركبات المتغيرة.

على صعيد خوارزميات جدولة الطوابير وإدارة الازدحام، رغم أن معظم الدراسات المتخصصة في AQM تركزت في الأصل على الشبكات اللاسلكية النقالة MANET أو شبكات TCP عموماً، إلا أن هناك توجهاً بحثياً حديثاً في دمج تقنيات إدارة الطوابير مع خوارزميات متقدمة مثل التعلم المعزز لتحسين استقرار الشبكات الديناميكية كما في الدراسة (4) مما يشير إلى إمكان تطوير خوارزميات AQM قابلة للتكيف مع تغيرات في حركة المركبات مستقلا.

رغم تعدد هذه الدراسات، تبقى الدراسات التي تربط بين خوارزميات إدارة الطوابير AQM وبروتوكولات التوجيه في شبكات المركبات اللاسلكية VANET المختلفة نادرة، مما يبرز أهمية وإسهام هذا البحث في سد هذه الفجوة العلمية من خلال مقارنة تأثير خوارزميات مثل ,DropTail RED, REM على أداء بروتوكولات التوجيه في بيئتين مختلفتين (البيئة الحضرية والبيئة السريعة) وتحت تأثير كثافات حركة متغيرة.

4.بروتوكولات التوجيه في شبكات المركبات اللاسلكية(5) (1)

تصنف بروتوكولات التوجيه في شبكات المركبات اللاسلكية (VANETs) إلى عدة فئات رئيسية، وذلك وفقاً لآلية اكتشاف المسارات وإدارتها داخل الشبكة، ومن أبرزها بروتوكولات التوجيه الاستباقية، وبروتوكولات التوجيه التفاعلية، وبروتوكولات التوجيه المعتمدة على الموقع وغيرها.

ويسهم هذا التصنيف في فهم سلوك كل فئة وتأثيرها على أداء الشبكة في البيئات ذات الحركة العالية والتغير المستمر في الطوبولوجيا (6).

4.1 بروتوكولات التوجيه الاستباقية(Proactive Routing Protocols) (5) (1)

تعتمد بروتوكولات التوجيه الاستباقية على مبدأ الاحتفاظ بمسارات جاهزة نحو جميع العقد الأخرى في الشبكة في جميع الأوقات، وذلك من خلال تبادل تحديثات دورية لجداول التوجيه بين العقد. تتضمن هذه التحديثات معلومات عن حالة الوصلات والمسارات، إضافةً إلى تحديثات طارئة ترسل عند حدوث أي تغيير في بنية الشبكة، مثل إضافة وصلة جديدة أو انقطاع أخرى، ويزداد معدل هذه التحديثات بازدياد سرعة حركة العقد (6).

تتميز هذه البروتوكولات بزمن وصول منخفض للرزم، نظراً لتوفر المسارات مسبقاً، إلا أن من أبرز سلبياتها حمل التوجيه المرتفع الناتج عن التحديثات الدورية، والذي قد يكون كبيراً في الشبكات ذات الكثافة العالية أو الحركة السريعة، مما يؤدي إلى استهلاك موارد الشبكة والتأثير سلباً على عرض الحزمة.

يعد بروتوكول توجيه بشعاع المسافة المتسلسل (Destination–Sequenced Distance Vector – DSDV) من أشهر البروتوكولات الاستباقية، وقد تم اعتماده في هذا البحث لدراسة أثر خوارزميات جدولة الطوابير على أدائه ضمن بيئات شبكات المركبات اللاسلكية VANET المختلفة.

4.2 بروتوكولات التوجيه التفاعلية(Reactive Routing Protocols) (5) (1)

ظهرت بروتوكولات التوجيه التفاعلية كحل بديل لتقليل حمل التوجيه المرتفع في البروتوكولات الاستباقية، خاصة في الشبكات التي تتغير طوبولوجيتها بشكل كبير وتكون مواردها محدودة. تعتمد هذه البروتوكولات على اكتشاف المسار عند الطلب، حيث لا يتم إنشاء مسار بين عقدتين إلا عندما تكون هناك حاجة فعلية لإرسال البيانات. عندما ترغب عقدة المصدر بإرسال بيانات

إلى عقدة الهدف، تقوم أولاً بالتحقق من وجود مسار صالح في جدول التوجيه الخاص بها. وفي حال عدم توفر مسار، يتم تنفيذ إجراء اكتشاف المسار لإيجاد طريق مناسب إلى الوجهة. وبهذا الأسلوب، يتم تجنب استهلاك موارد الشبكة في إنشاء مسارات غير مستخدمة (6).

من أبرز ميزات بروتوكولات التوجيه التفاعلية تقليل حمل التوجيه واستهلاك عرض الحزمة مقارنة بالبروتوكولات الاستباقية، إلا أن من سلبياتها الرئيسية زيادة زمن التأخير الناتج عن عملية اكتشاف المسار، خصوصاً في البيئات ذات الحركة العالية. من أشهر بروتوكولات التوجيه التفاعلية المستخدمة في شبكات المركبات اللاسلكية بروتوكول توجيه المصدر الديناميكي (Dynamic Source Routing – DSR) وبروتوكول توجيه شعاع المسافة حسب الطلب–(Ad hoc On Demand Distance Vector – AODV) وقد تم اعتماد هذين البروتوكولين في هذا البحث لتحليل تأثير خوارزميات جدولة الطوابير على أدائهما(6) .

4.3 بروتوكولات التوجيه المعتمدة على الموقع (Position–Based Routing Protocols): (5) (6)

تعتمد بروتوكولات التوجيه المعتمدة على الموقع على المعلومات الجغرافية لمواقع العقد في عملية اتخاذ قرار التوجيه، حيث تستخدم كل عقدة موقعها الحالي وموقع العقدة الوجهة، الذي يتم الحصول عليه عادة عبر نظام تحديد المواقع (GPS)، لاختيار العقدة التالية الأقرب إلى الوجهة. تعد هذه البروتوكولات مناسبة بشكل خاص لشبكات المركبات اللاسلكية، نظراً لتوفر معلومات الموقع وسرعة تغير الطوبولوجيا. كما تتميز بتقليل حمل التوجيه، إذ لا تعتمد على إنشاء مسارات كاملة مسبق. يعد بروتوكول التوجيه الجغرافي (Greedy Perimeter Stateless Routing – GPSR) من أشهر البروتوكولات المعتمدة على الموقع، وقد تم تضمينه في هذا البحث لما أظهره من كفاءة عالية في البيئات ذات الكثافة والحركة المرتفعة.

5.خوارزميات الجدولة (7):

يوجد عدة تقنيات لخوارزميات الجدولة منها تتخلص من الرزم عندما يحدث فيضان في الشبكة وتخبر المرسل بأن يخفف من معدل الإرسال كخوارزمية الحذف من النهاية (DropTail)(7) . خوارزميات أخرى تتنبأ بحدوث فيضان في الشبكة قبل حدوثه وتخبر المصدر بأن يخفف من معدل الإرسال كخوارزمية الاكتشاف المبكر العشوائي (RED) وخوارزمية التعليم الأسي العشوائي (REM) (7).

5.1 خوارزمية الحذف من النهاية (DropTail)(7) :

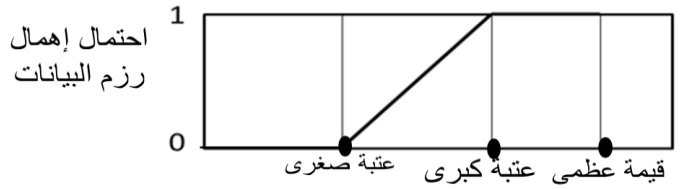
من أبسط خوارزميات الأرتال، في هذه الخوارزمية عندما يمتلئ الرتل بكامل سعته يتم حذف الرزم الجديدة القادمة إلى الرتل وتستمر عملية حذف جميع الرزم الجديدة إلى أن يصبح بإمكان الرتل استقبالها من جديد. يتم تهيئة الطول الأعظمي للرتل بقيمة تم تعريفها بشكل مسبق وعندما يتم الوصول لهذه القيمة تهمل عندها جميع الرزم الجديدة القادمة وإرسال إشارة للمصدر لتخفيف معدل الإرسال (8). هذه الخوارزمية تعالج كل الرزم بشكل متماثل بغض النظر عن نوع البيانات. يظهر الشكل(1) (8) احتمال إهمال الرزم في هذه الخوارزمية، عندما يتجاوز طول الرتل الحد الأعظمي يتم إهمال جميع الرزم القادمة.

الشكل(1) : احتمال إهمال الرزم في خوارزمية الجدولة الحذف من النهاية (DropTail)

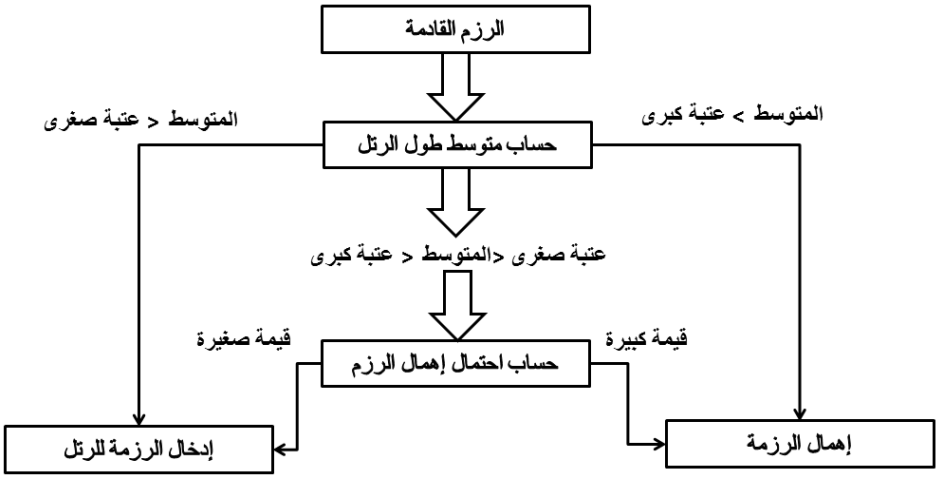
5.2 خوارزمية الاكتشاف المبكر العشوائي Random Early Detection(RED)(7) :

المشكلة الأساسية في خوارزمية الحذف من النهاية (DropTail) هي أنه المرسل لا يخفف من معدل الإرسال إلا بعد اكتشاف ضياع لبعض رزم البيانات وبالتالي عدد كبير من الرزم تهمل بسبب أن المصدر يقوم بالإرسال بمعدل لا تدعمه الشبكة. جاءت خوارزمية الاكتشاف المبكر العشوائي(RED) لتخفف من المشكلة السابقة عن طريق الاكتشاف المبكر للازدحام وإرسال إشارة ازدحام (notification) إلى المرسل ليخفض معدل الإرسال قبل حدوث فيضان في الرتل. في هذه الخوارزمية، كما واضح من الشكل(3) (8) يتم مراقبة متوسط حجم الرتل (avg) ويختبر فيما

إذا كان بين عتبة صغرى (minth) وعتبة كبرى (maxth) فإن كان بين هاتين العتبتين فهذا يعني أن الرزم القادمة ستهمل باحتمال p=p(avg) وإن كان أكبر من العتبة الكبرى ستهمل الرزمة وإن كان أصغر من العتبة الصغرى تدخل الرزمة للرتل. يظهر الشكل(2) احتمال إهمال الرزم في خوارزمية الجدولة الاكتشاف المبكر العشوائي(RED) (8).



الشكل(2) : احتمال إهمال الرزم في خوارزمية الجدولة الاكتشاف المبكر العشوائي(RED) (8)

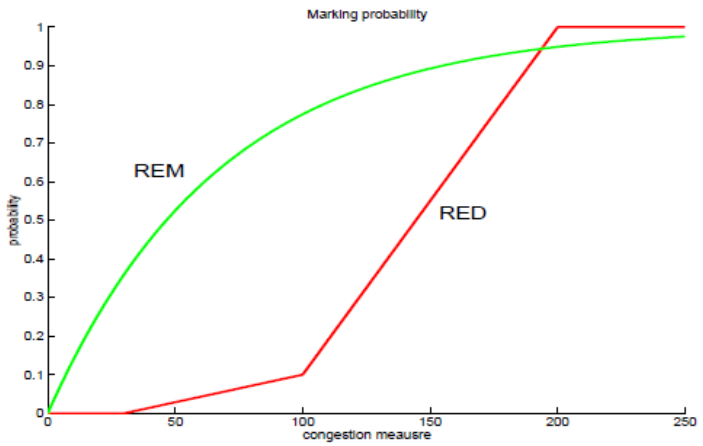


الشكل(3) : ألية عمل خوارزمية الجدولة الاكتشاف المبكر العشوائي(RED) (8).

5.3 خوارزمية التعليم الأسي العشوائي(REM) Random Exponential Marking (7):

الهدف الأساسي في هذه الخوارزمية هي تأمين استقرار معدل الإرسال مع سعة الشبكة بغض النظر عن عدد المستخدمين وهنا فإن كل رتل يحتفظ بمتحول Price كمقياس للتصادم. إن

المتحول Price هو متحول يتم تحديثه باستمرار إما دورياً أو بشكل غير متزامن وذلك حسب تطابق معدل تدفق البيانات مع سعة الشبكة فزيادة Price تعني بالمقابل وجود زيادة في عدم التطابق ونقصانه يدل على تطابق. مما سبق نجد أنه كلما زاد عدد المصادر (الأجهزة المرسلة) فإنه يزداد متحول ال price وهذا ما يدعي إلى الحاجة لإرسال إشارة قوية لتخفيض معدلات الإرسال لدى جميع المصادر حتى نصل إلى Price مساوٍ للصفر. يتم تعليم الرزم لإهمالها باحتمالية حسب Price(8). يتم تعديل قيمة ال Price حسب الفرق بين معدل وصول الرزم واستطاعة الوصلة الخارجية المتوفرة والفرق بين طول الرتل الحالي و طول الرتل الهدف. من أجل استقرار الشبكة يجب أن يكون طول الرتل الحالي مساوي لطول الرتل الهدف و معدل وصول الرزم مساوي لاستطاعة الوصلة الخارجية. يظهر الشكل(4) احتمال تعليم الرزم لإهمالها في خوارزميتي الاكتشاف المبكر العشوائي(RED) والتعليم الأسي العشوائي(REM) حسب مقياس التصادم (8).



الشكل(4) : احتمال تعليم الرزم لإهمالها في خوارزميتي الاكتشاف المبكر العشوائي(RED) والتعليم الأسي العشوائي (REM) (8)

1. القسم العملي:

يهدف هذا القسم إلى تقديم الجانب التطبيقي للبحث، والذي يتضمن تصميم التجارب، إعداد بيئة المحاكاة، تنفيذ عمليات الجدولة والتوجيه، استخراج النتائج، وتحليل أداء البروتوكولات المختلفة عند تطبيق خوارزميات جدولة الطوابير (AQM) في شبكات المركبات اللاسلكية.VANETs

تعتمد منهجية هذا البحث على تنفيذ مجموعة من التجارب باستخدام نموذج محاكاة مبسط، يعتمد على محاكاة ازدحام الشبكة وحركة المركبات، ثم قياس أثر خوارزميات الجدولة على أداء بروتوكولات التوجيه. تم اختيار أربع بروتوكولات توجيه (AODV,DSR,DSDV,GPSR) وتطبيق ثلاث خوارزميات جدولة (DropTail,RED,REM) وذلك كونها الأشهر والاكثر استخداماً في هذا النوع من الشبكات. تم تصميم سيناريوهات الحركة باستخدام بيئتي محاكاة البيئة الأولى من خلال استخدام طريق حضري Urban والبيئة الثانية من خلال استخدام طريق سريع highway مع تغيير في كثافة عدد المركبات (30،60،90) مركبة في كل بيئة.

يوضح الجدول (1) التالي الفروقات الجوهرية بين البيئتين الحضريّة والسريعة، حيث تشكل البيئة الحضرية تحدياً كبيراً لبروتوكولات التوجيه وخوارزميات الجدولة بسبب كثافة المركبات، العوائق، والتغير السريع في الطوبولوجيا، في حين يوفر سيناريو الطريق السريع بيئة اتصال أكثر استقراراً وأفضل من حيث مؤشرات الأداء.

جدول (1): مقارنة مواصفات السيناريو الحضري وسيناريو الطريق السريع المستخدمين في هذه الدراسة

عنصر المقارنة	السيناريو الحضري (Urban)	السيناريو السريع (Highway)
نوع البيئة	بيئة حضرية مكتظة	طريق سريع مفتوح
شكل الطريق	شبكة مربعة/مستطيلة(Grid)	مستقيم أو شبه مستقيم
عدد التقاطعات	15 – 40 تقاطعًا	لا يوجد
إشارات المرور	موجودة	غير موجودة

3 – 2 مسارات في كل اتجاه	2 – 1 مسار في كل اتجاه	**عدد المسارات**
6 – 2 كيلومترات	300 – 150 متر لكل مقطع	**طول الطريق**
لا توجد عوائق	مبانٍ عالية (Urban Canyon)	**العوائق**
منخفضة جدًا	مرتفعة خصوصًا عند التقاطعات	**مناطق الازدحام**
120 – 80 كم/ساعة	60 – 30 كم/ساعة	**سرعة المركبات**
Krauss Car Model	Krauss Car Model	**نموذج الحركة**
خطي منتظم، بدون توقف	غير منتظم، توقفات وانعطافات	**نمط الحركة**
منخفض إلى متوسط	مرتفع	**معدل التسارع/التباطؤ**
90 / 60 / 30 مركبة	90 / 60 / 30 مركبة	**عدد المركبات**
7 – 3 مركبات	15 – 8 مركبة	**متوسط عدد الجيران**
منخفض	مرتفع	**التداخل اللاسلكي**
متوسط	كبير جدًا	**التغير في الطوبولوجيا**

تم اختيار معاملات المحاكاة بما يحقق توازناً بين الدقة الواقعية وقابلية التنفيذ، مع اعتماد قيم مستخدمة على نطاق واسع في أبحاث شبكات المركبات اللاسلكية VANET لضمان عدالة المقارنة وموثوقية النتائج. يظهر الجدول (2) مواصفات بيئة المحاكاة.

الجدول (2) مواصفات بيئة المحاكاة.

القيمة / الوصف	المعامل	الفئة
ns-3	Network Simulator	محاكي الشبكات
SUMO	Mobility Simulator	محاكي الحركة

نوع الشبكة	Network Type	Vehicular Ad Hoc Network (VANET)
المعيار اللاسلكي	PHY / MAC Standard	IEEE 802.11p (WAVE)
نطاق التردد	Frequency Band	5.9 GHz
نموذج الانتشار	Propagation Model	Two-Ray Ground
مدى الإرسال	Transmission Range	250-300 م
نوع القناة	Channel Type	Wireless Channel
أنماط الحركة	Mobility Models	Krauss
سيناريوهات الحركة	Mobility Scenarios	Highway ،Urban
عدد المركبات	Number of Vehicles	30 – 60 – 90 مركبة
سرعة المركبات (Urban)	Vehicle Speed	30 – 60كم/ساعة
سرعة المركبات (Highway)	Vehicle Speed	80 – 120كم/ساعة
بروتوكولات التوجيه	Routing Protocols	AODV، DSR، DSDV، GPSR
خوارزميات الجدولة (AQM)	Queue Management	DropTail، RED، REM
نوع حركة البيانات	Traffic Type	CBR (UDP)
حجم الحزمة	Packet Size	512 بايت
معدل الإرسال	Packet Rate	4 حزمة/ثانية

50 حزمة	Queue Length	طول الطابور
600 ثانية	Simulation Time	زمن المحاكاة
10 مرات لكل سيناريو	Number of Runs	عدد التكرارات
عدة قيم لضمان الموثوقية	Random Seeds	البذور العشوائية
PDR ،Delay ،Throughput ، Packet Loss	Performance Metrics	مؤشرات الأداء
Linux / Ubuntu	OS	بيئة التشغيل

توليد الحركة:

تعتبر آلية توليد الحركة من أهم عناصر محاكاة شبكات المركبات اللاسلكية، حيث تؤثر بشكل مباشر على أداء البروتوكولات ونتائج التجارب. تهدف هذه الآلية إلى محاكاة حركة المركبات على الطرق بشكل واقعي، بما في ذلك السرعات المختلفة، التوقف عند الإشارات، تغيير الحارات، والتفاعل مع المركبات الأخرى. يتم استخدام نماذج حركة محددة، مثل نموذج الطريق الحضري (Urban Mobility Model)الذي يحاكي شوارع المدينة والإشارات المرورية، ونموذج الطريق السريع (Highway Mobility Model) الذي يعكس حركة المركبات بسرعات عالية مع تباعد أقل بين المركبات. تم توليد الحركة باستخدام أداة المحاكاة المتقدمة SUMO، حيث يتم تحديد مسارات المركبات، السرعات، توقيتات البداية والنهاية، وتوزيع المركبات على الطرق، لتوفير بيئة محاكاة دقيقة وواقعية لاختبار البروتوكولات المختلفة.

مؤشرات الأداء:

يعتمد هذا البحث على مجموعة من مؤشرات الأداء الأساسية لتقييم أثر خوارزميات جدولة الطوابير على أداء بروتوكولات التوجيه في شبكات المركبات اللاسلكية. تشمل هذه المؤشرات نسبة تسليم الرزم (Packet Delivery Ratio – PDR) التي تعكس كفاءة البروتوكول في إيصال الرزم بنجاح إلى الوجهة النهائية، ومعدل التأخير من طرف إلى طرف (End-to-End Delay) الذي يعبر عن الزمن اللازم لوصول الرزمة من المرسل إلى المستقبل، ويمثل مؤشراً مهماً لجودة الخدمة خاصة في التطبيقات الزمنية الحرجة. كما تم اعتماد الإنتاجية (Throughput) لقياس معدل البيانات المستلمة بنجاح خلال وحدة الزمن، ونسبة فقدان الرزم (Packet Loss Ratio) لتحديد

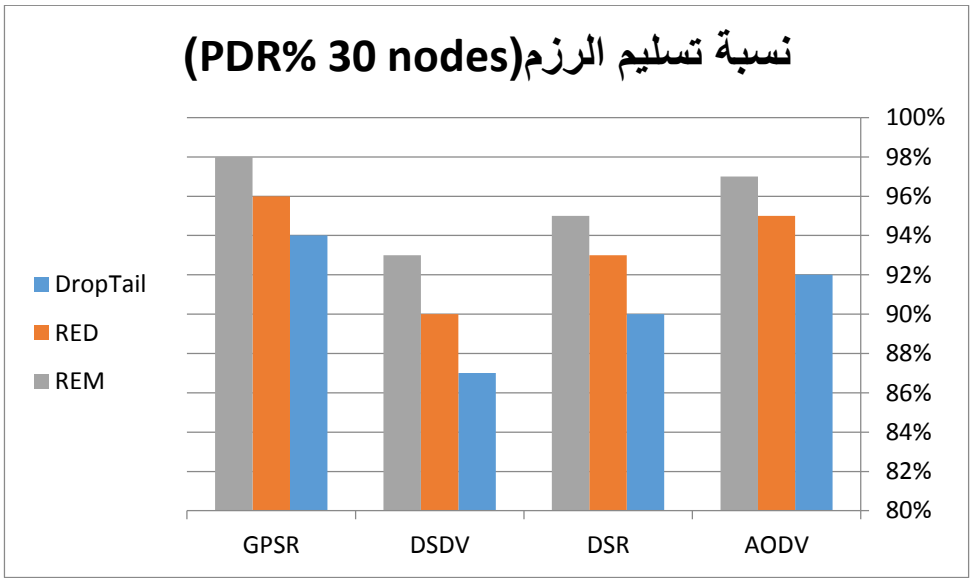
مستوى الازدحام وتأثير آليات الجدولة على استقرار الشبكة. وقد استخدمت هذه المؤشرات مجتمعةً لإجراء مقارنة دقيقة بين بروتوكولات التوجيه المختلفة تحت تأثير خوارزميات الجدولة المدروسة، بما يتيح استخلاص نتائج واقعية حول كفاءة كل بروتوكول وخوارزمية في تحسين أداء شبكات المركبات اللاسلكية.

التنفيذ العملي:

سيتم في هذا القسم دراسة اثر خوارزميات الجدولة **DropTail,RED,REM** على أداء بروتوكولات التوجيه AODV,DSR,DSDV باستخدام سيناريوهين الاول بيئة حضرية والثاني باستخدام بيئة طريق سريع وذلك مع تغير كثافة المركبات على الطريق 30 و 60 و90 مركبة.

6.1 أولاً السيناريو الحضري من أجل 30 و60 و90 عقدة:

6.1.1 السناريو الحضري من اجل 30 عقدة:

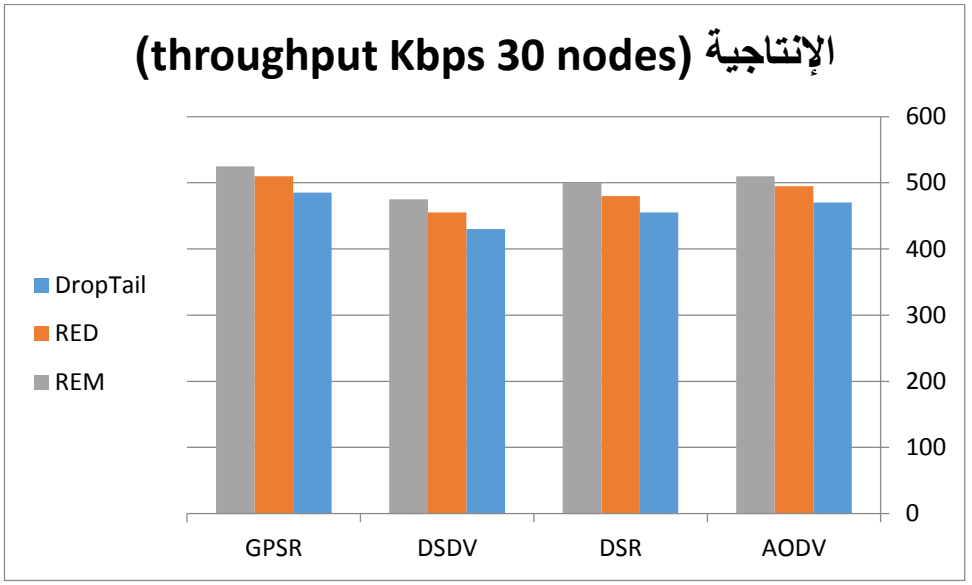


الشكل (5) نسبة تسليم الرزم في السيناريو الحضري من اجل عدد عقد 30.

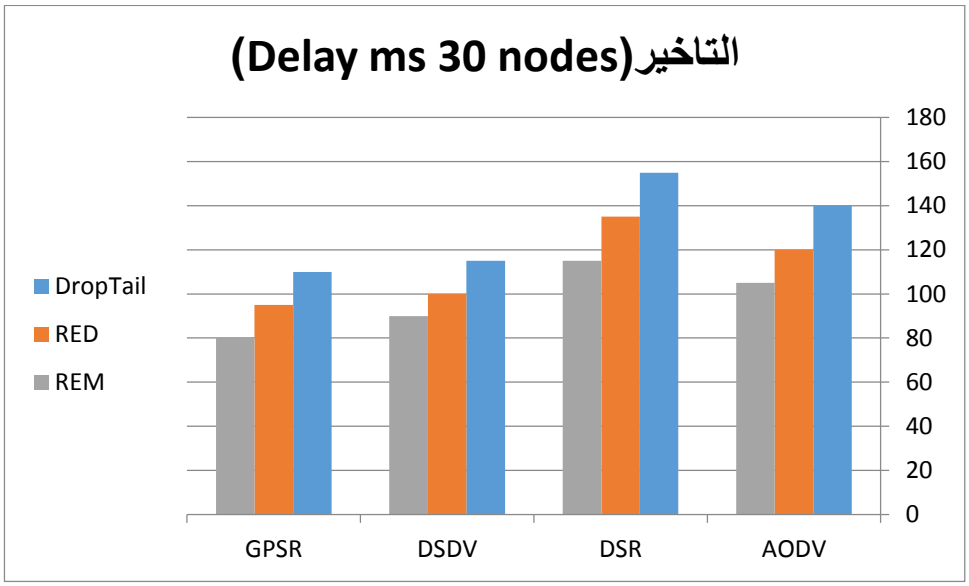
يبين الشكل(5) نسبة تسليم الرزم في السيناريو الحضري عند عدد 30 عقدة نجد أن جميع بروتوكولات التوجيه تحقق قيماً مرتفعة نسبياً، نتيجة انخفاض مستوى الازدحام واستقرار الروابط اللاسلكية. يتفوق بروتوكول GPSR في هذا السيناريو محققاً أعلى نسبة تسليم، بسبب اعتماده على التوجيه الجغرافي وتقليل رزم التحكم. يليه بروتوكول AODV الذي يستفيد من محدودية

تغير الطوبولوجيا، بينما تسجل بروتوكولات DSDV و DSR نسباً أقل نسبياً نتيجة حمل التوجيه الإضافي وتضمين معلومات المسار. كما يلاحظ أن استخدام خوارزميات إدارة الطوابير الذكية، خصوصا REM، يساهم في تحسين نسبة تسليم الرزم PDR مقارنةً بـ DropTail ، عبر تقليل فقد الرزم عند ازدحام الطوابير.

يظهر الشكل (6) الإنتاجية عند عدد 30عقدة ويبين أن الشبكة تحقق إنتاجية مرتفعة نسبياً بسبب انخفاض الازدحام واستقرار الروابط. يتفوق بروتوكول GPSR محققاً أعلى إنتاجية نتيجة تقليل حمل التوجيه، يليه AODV بأداء جيد ومستقر. في المقابل، تسجل DSDV و DSR إنتاجية أقل نسبياً بسبب التحديثات الدورية وتضمين معلومات المسار داخل الرزم. كما يساهم استخدام خوارزمية REM في تحسين الإنتاجية مقارنة بـ DropTail و REDعبر التحكم الفعال بازدحام الطوابير والحفاظ على تدفق منتظم للبيانات.

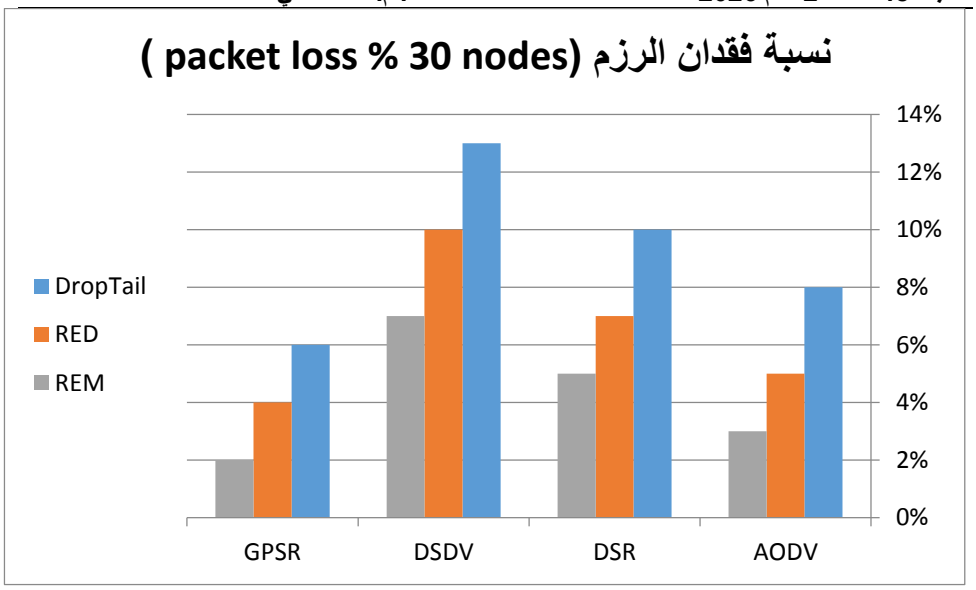


الشكل (6) الإنتاجية في السيناريو الحضري من اجل عدد عقد 30.



الشكل (7) التأخير في السيناريو الحضري من اجل عدد عقد 30.

يظهر الشكل (7) التأخير عند عدد 30عقدة ونجد أن متوسط التأخير يكون منخفضاً نسبياً لجميع بروتوكولات التوجيه، نتيجة قلة الازدحام واستقرار المسارات. يحقق بروتوكول **GPSR** أقل تأخير بسبب اعتماده على التوجيه الجغرافي وعدم الحاجة إلى عمليات اكتشاف المسار. يليه AODV بتأخير مقبول، بينما تسجل DSDV و DSR قيم تأخير أعلى نسبياً بسبب التحديثات الدورية وتخزين المسارات داخل الرزم. كما يساهم استخدام خوارزمية إدارة الطوابير REM في تقليل التأخير مقارنةً بـ DropTail وRED، عبر منع ازدحام الطوابير وتحسين زمن الانتظار داخل العقد.



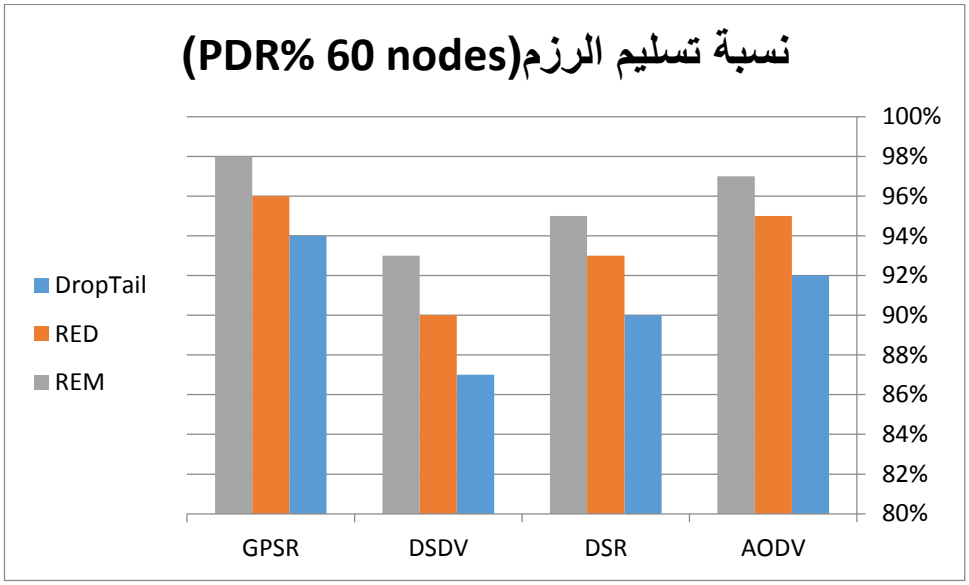
الشكل (8) نسبة فقدان الرزم في السيناريو الحضري من اجل عدد عقد 30.

يظهر الشكل (8) نسبة فقدان الرزم في السيناريو الحضري عند عدد 30عقدة ونجد أن الفقدان يكون منخفضاً نسبياً لدى جميع بروتوكولات التوجيه، نتيجة محدودية الازدحام واستقرار الروابط اللاسلكية. يحقق بروتوكول GPSR أقل نسبة فقدان، لفعاليته في تقليل رزم التحكم وتجنب انهيار الطوابير. يليه AODV بأداء جيد، بينما تسجل DSDV و DSR نسب فقدان أعلى نسبياً بسبب حمل التوجيه الإضافي وتكرار إعادة الإرسال. كما يلاحظ أن استخدام خوارزمية REM يقلل فقدان الرزم بشكل أوضح مقارنةً بـ DropTail و RED، من خلال التحكم الاستباقي في الازدحام ومنع امتلاء الطوابير.

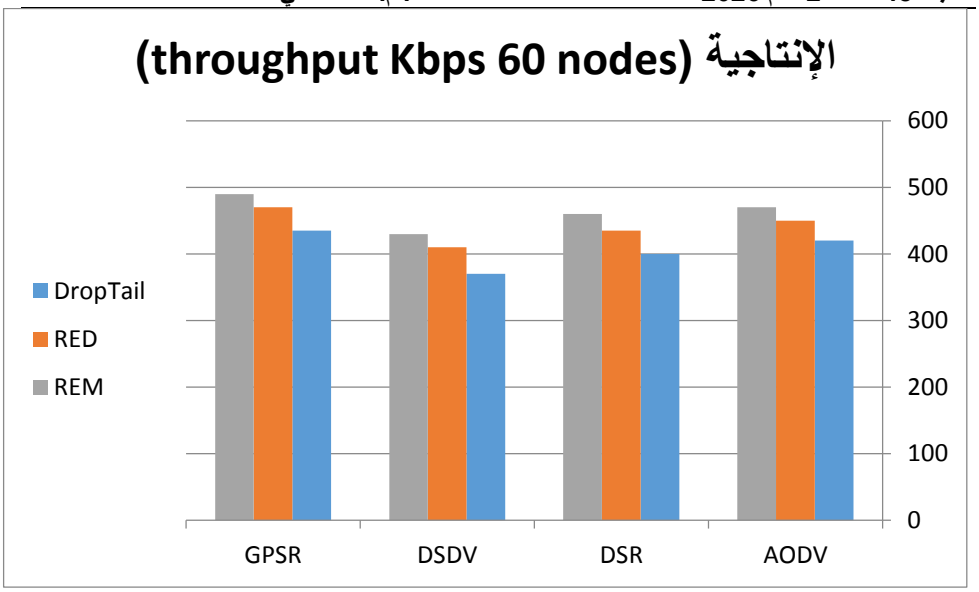
6.1.2 السيناريو الحضري من اجل 60 عقدة:

يظهر الشكل (9) نسبة تسليم الرزم عند عدد 60 عقدة نجد حدوث انخفاض نسبي في نسبة تسليم الرزم مقارنةً بحالة 30 عقدة، وذلك نتيجة زيادة كثافة المركبات وارتفاع التداخل اللاسلكي وتكرار تغير الطوبولوجيا. يحقق بروتوكول GPSR أعلى نسبة تسليم رزم بين جميع البروتوكولات، خصوصاً عند استخدام خوارزمية REM، بسبب تقليل حمل التوجيه وعدم الاعتماد على اكتشاف المسارات. يأتي AODV في المرتبة الثانية بأداء جيد، بينما تسجل DSR و DSDV نسب تسليم أقل نسبياً نتيجة زيادة رزم التحكم وتكرار إعادة الإرسال. كما يلاحظ تفوق

خوارزمية REM على كل من RED و DropTail في تحسين نسبة تسليم الرزم، خاصة في بيئة ذات ازدحام متوسط، مما يؤكد فعاليتها في إدارة الطوابير داخل شبكات المركبات اللاسلكية VANET.

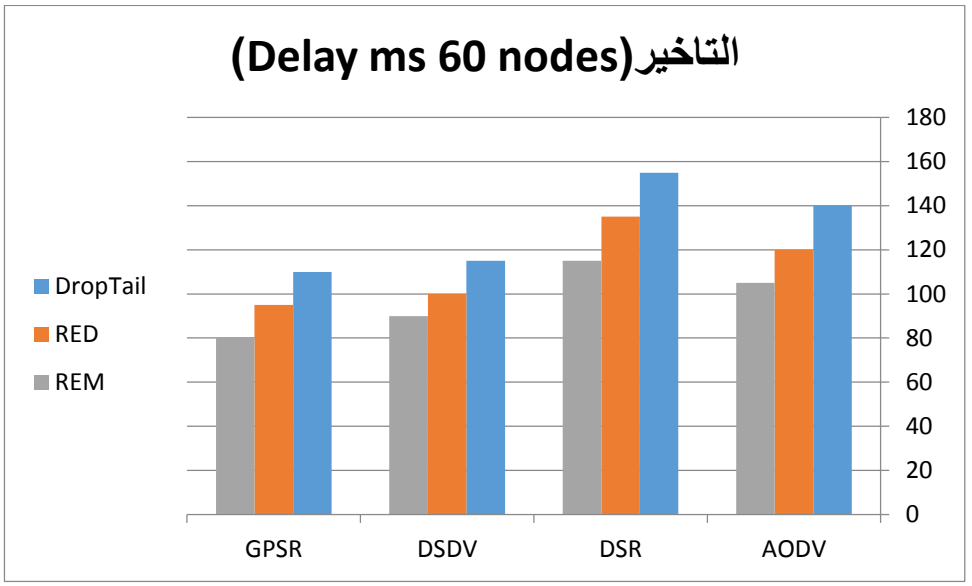


الشكل (9) نسبة تسليم الرزم في السيناريو الحضري عند عدد عقد 60.



الشكل (10) الإنتاجية في السيناريو الحضري عند عدد عقد 60.

يظهر الشكل (10) الإنتاجية عند عدد 60 عقدة نجد انخفاضاً نسبياً في الإنتاجية مقارنةً بسيناريو 30 عقدة، نتيجة زيادة الازدحام والتداخل اللاسلكي وارتفاع حمل التوجيه. يحقق بروتوكول GPSR أعلى إنتاجية بين جميع البروتوكولات، خاصةً عند استخدام خوارزمية REM، بسبب تقليل رزم التوجيه والحفاظ على تدفق بيانات مستقر. يليه بروتوكول AODV بأداء جيد، بينما تسجل DSR وDSDV إنتاجية أقل نسبياً نتيجة زيادة عمليات اكتشاف المسار وتحديث جداول التوجيه. كما يظهر تفوق واضح لخوارزمية REM مقارنةً بـ RED و DropTail في تحسين الإنتاجية، مما يؤكد فعاليتها في إدارة الازدحام في شبكات المركبات اللاسلكية ذات الكثافة المتوسطة.

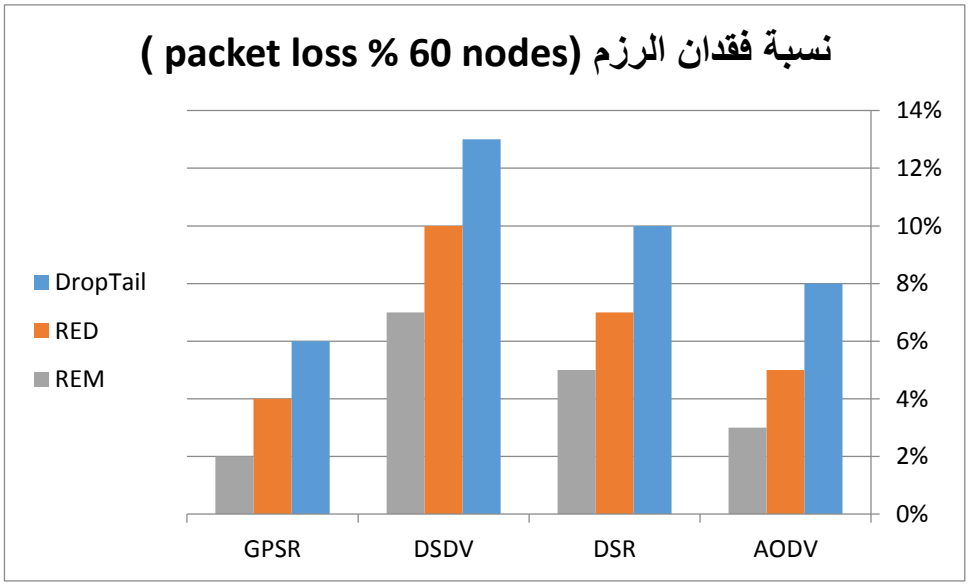


الشكل (11) التأخير في السيناريو الحضري عند عدد عقد 60.

يظهر الشكل(11) التأخير عند عدد 60 عقدة نجد ارتفاعاً ملحوظاً في متوسط التأخير مقارنةً بسيناريو 30 عقدة، وذلك نتيجة زيادة كثافة المركبات وازدحام الطوابير وارتفاع التداخل اللاسلكي. يحقق بروتوكول GPSR أقل تأخير بين جميع البروتوكولات، خصوصاً عند استخدام خوارزمية REM، بسبب تقليل عمليات اكتشاف المسار وتسريع تمرير الرزم. في المقابل، يسجل بروتوكول DSR أعلى تأخير، نتيجة الاعتماد على تضمين المسارات داخل الرزم وزيادة إعادة الإرسال. يأتي AODV و DSDV بقيم تأخير متوسطة، مع تحسن واضح عند استخدام REM مقارنةً بـ DropTail وRED ويظهر الشكل تفوق خوارزمية REM في تقليل التأخير والمحافظة على استقرار الأداء في بيئة ذات ازدحام متوسط ضمن شبكات المركبات اللاسلكية.

يظهر الشكل (12) نسبة فقدان الرزم عند عدد 60 عقدة نجد ازدياد الفقدان مقارنةً بسيناريو 30 عقدة، نتيجة ارتفاع الازدحام والتداخل اللاسلكي وزيادة حمل التوجيه. يحقق بروتوكول GPSR أقل نسبة فقدان رزم، خاصةً عند استخدام خوارزمية REM، بفضل تقليل رزم التوجيه وتجنب امتلاء الطوابير. في المقابل، يسجل DSDV أعلى نسبة فقدان، نتيجة التحديثات الدورية لجداول التوجيه وعدم ملائمته للتغيرات السريعة في الطوبولوجيا. تأتي DSR و AODV بقيم فقدان

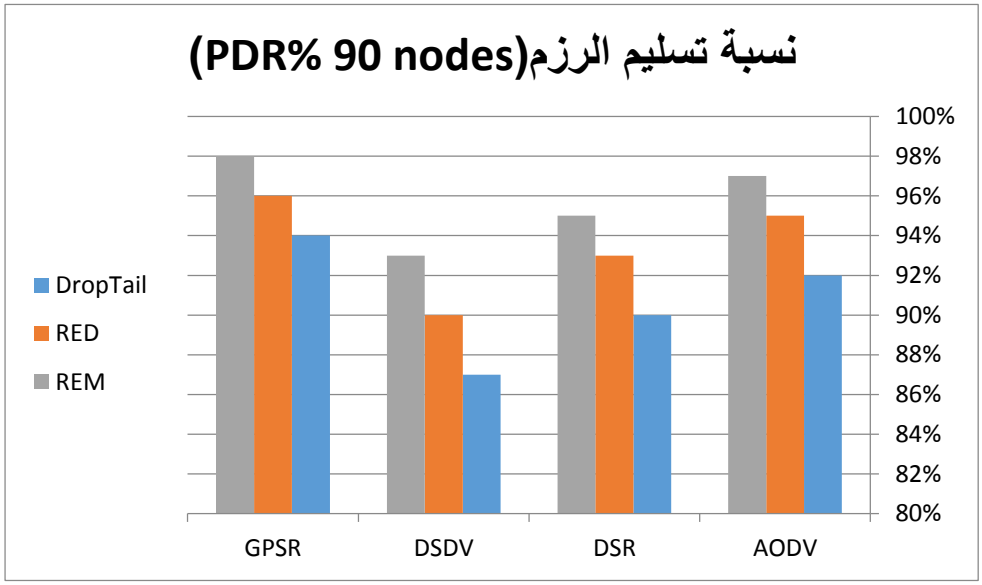
متوسطة، مع تحسن واضح عند استخدام REM مقارنةً بـ RED و DropTail ويظهر الشكل تفوق خوارزمية REM في الحد من فقدان الرزم والمحافظة على استقرار الأداء في بيئة شبكات المركبات اللاسلكية ذات كثافة متوسطة.



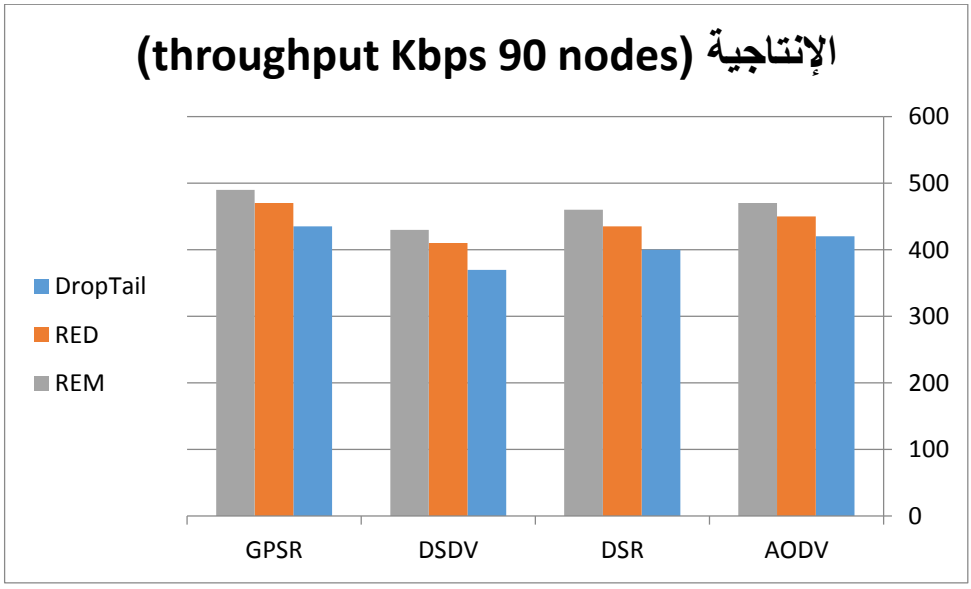
الشكل (12) نسبة فقدان الرزم في السيناريو الحضري عند عدد عقد 60.

6.1.3 السيناريو الحضري من اجل 90 عقدة :

يظهر الشكل (13) نسبة تسليم الرزم عند عدد 90 عقدة ونجد انخفاضاً ملحوظاً في نسبة تسليم الرزم مقارنةً بـ 30 و60 عقدة، وذلك نتيجة الازدحام العالي، والتداخل اللاسلكي الشديد، والتغير السريع في الطوبولوجيا. يحافظ بروتوكول GPSR على أعلى نسبة تسليم رزم بين جميع البروتوكولات، خصوصاً عند استخدام خوارزمية REM، بفضل تقليل حمل التوجيه وعدم الاعتماد على اكتشاف المسارات. يأتي AODV في المرتبة الثانية بأداء مقبول، بينما تسجل DSR و DSDVنسب تسليم أقل نسبياً بسبب الزيادة الكبيرة في رزم الوجيه وتكرار إعادة الإرسال. كما يظهر المخطط تفوق خوارزمية REM بشكل واضح مقارنةً بـ RED و DropTail في تحسين نسبة تسليم الرزم، مما يؤكد فعاليتها في بيئات شبكات المركبات اللاسلكية ذات الازدحام العالي.

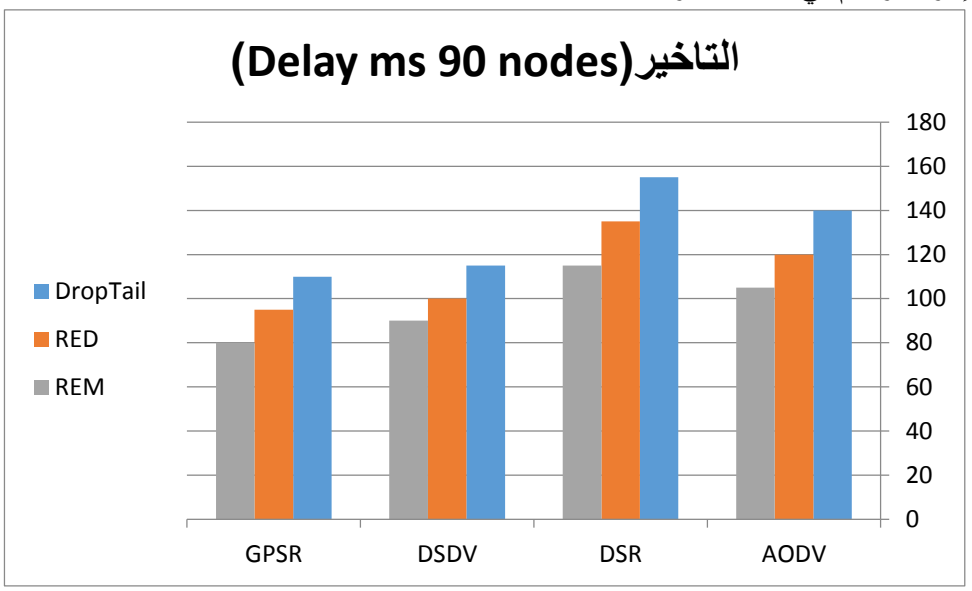


الشكل (13) نسبة تسليم الرزم في السيناريو الحضري عند عدد عقد 90.



الشكل (14) الإنتاجية في السيناريو الحضري عند عدد عقد 90.

يظهر الشكل (14) الإنتاجية عند عدد **90** عقدة ونجد انخفاضاً إضافياً في الإنتاجية مقارنةً بـ 30 و60 عقدة، نتيجة الازدحام العالي والتداخل اللاسلكي الشديد وزيادة حمل التوجيه. يحقق بروتوكول GPSR أعلى إنتاجية بين جميع البروتوكولات، خاصةً عند استخدام خوارزمية REM، بفضل تقليل رزم التوجيه والمحافظة على تدفق بيانات أكثر استقراراً. يليه بروتوكول AODVبأداء مقبول، بينما تسجل DSR و DSDV إنتاجية أقل نسبياً بسبب تكرار اكتشاف المسارات وتحديث الجداول في بيئة ذات تغير سريع في الطوبولوجيا. كما يظهر تفوق واضح لخوارزمية REM مقارنةً بـ REDو DropTail في تحسين الإنتاجية، مما يؤكد فعاليتها في إدارة الازدحام في شبكات المركبات اللاسلكية ذات الكثافة العالية.

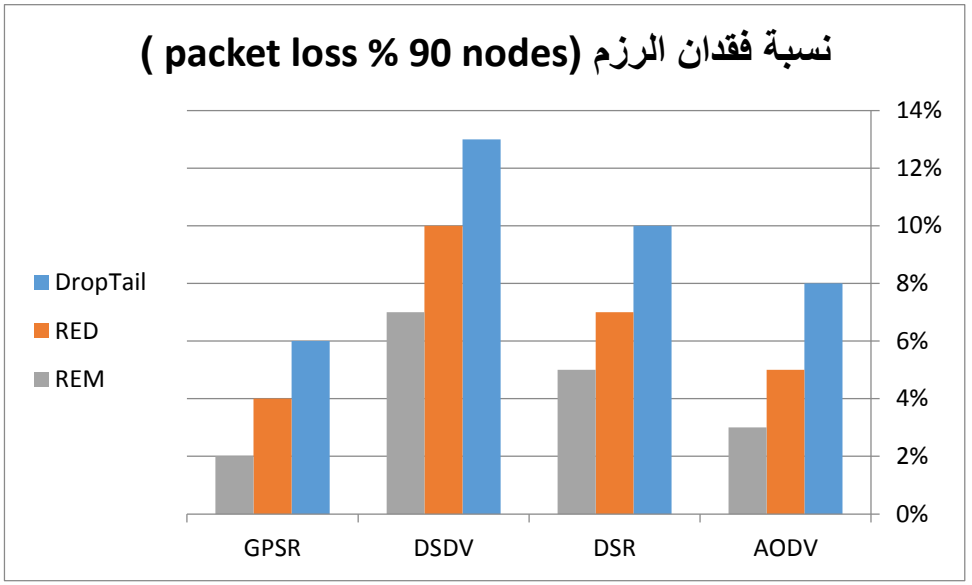


الشكل (15) التأخير في السيناريو الحضري عند عدد عقد 90.

يظهر الشكل (15) التأخير عند عدد 90 عقدة ارتفاعاً كبيراً في متوسط التأخير مقارنةً بسيناريوي 30 و60 عقدة، نتيجة الازدحام الشديد، وزيادة التداخل اللاسلكي، وامتلاء الطوابير داخل العقد. يحقق بروتوكول GPSR أقل تأخير نسبياً، خاصة عند استخدام خوارزمية REM، بفضل تقليل حمل التوجيه وعدم الحاجة إلى اكتشاف المسارات. في المقابل، يسجل بروتوكول DSR أعلى قيم تأخير بسبب تضمين المسارات داخل الرزم وزيادة إعادة الإرسال في بيئة عالية الكثافة. يأتي AODV و DSDV بقيم تأخير متوسطة، مع تحسن واضح عند استخدام REM مقارنةً بـ

REDو DropTail ويؤكد الشكل فعالية خوارزمية REM في الحد من التأخير والمحافظة على استقرار الأداء في شبكات المركبات اللاسلكية ذات الازدحام العالي.

يظهر الشكل (16) نسبة فقدان الرزم عند عدد 90 عقدة ونجد ارتفاعاً واضحاً في الفقدان مقارنةً بسيناريوي 30 و60 عقدة، نتيجة الازدحام الشديد، والتداخل اللاسلكي العالي، وامتلاء الطوابير داخل العقد. يحقق بروتوكول GPSR أقل نسبة فقدان رزم، خاصةً عند استخدام خوارزمية REM، بفضل تقليل حمل التوجيه وتحسين إدارة الطوابير. في المقابل، يسجل بروتوكول DSDV أعلى نسبة فقدان، نتيجة التحديثات الدورية لجداول التوجيه وعدم ملائمته للبيئات ذات التغير السريع في الطوبولوجيا. تأتي DSR و AODV بقيم فقدان متوسطة، مع تحسن ملحوظ عند استخدام REMمقارنةً بـ RED وDropTail ويؤكد الشكل تفوق خوارزمية REM في تقليل فقدان الرزم والمحافظة على استقرار الأداء في شبكات المركبات اللاسلكية ذات الكثافة العالية.



الشكل (16) نسبة فقدان الرزم في السيناريو الحضري عند عدد عقد 90.

ملخص نتائج السيناريو الحضري عند عدد عقد 30 و 60 و60:

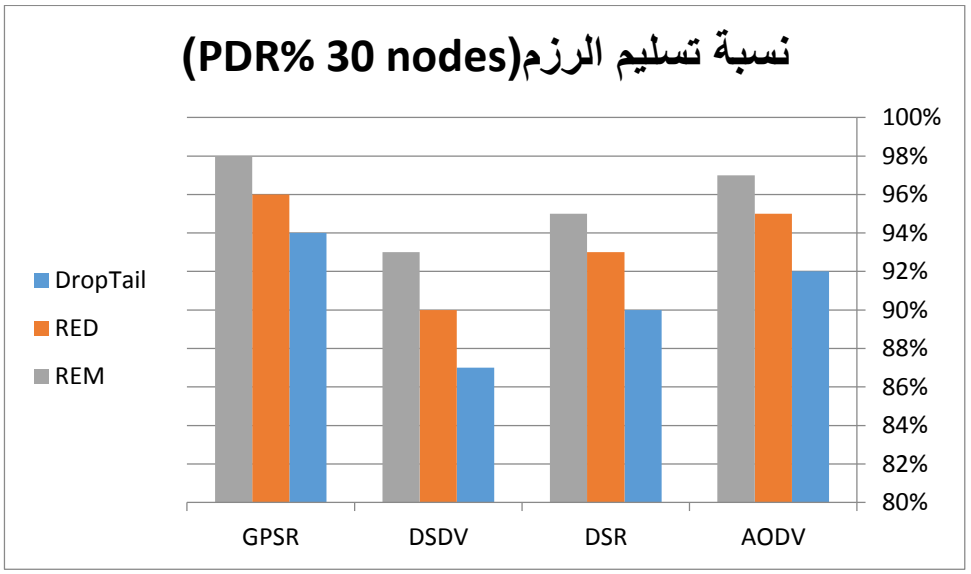
أظهرت نتائج السيناريو الحضري أن أداء شبكات المركبات اللاسلكية VANET يتأثر بشكل كبير بكثافة المركبات وطبيعة البيئة الحضرية ذات الازدحام العالي والتغير السريع في الطوبولوجيا. عند 30عقدة، حققت معظم بروتوكولات التوجيه نسب تسليم رزم مرتفعة، وتأخيراً منخفضاً، وإنتاجية جيدة نسبياً، نتيجة محدودية الازدحام واستقرار الروابط، مع تفوق واضح لبروتوكول GPSRوخوارزمية REM. عند زيادة عدد العقد إلى 60 عقدة، لوحظ انخفاض نسبي في نسبة تسليم الرزم والإنتاجية، مقابل ارتفاع في التأخير وفقدان الرزم، بسبب زيادة التداخل اللاسلكي وازدحام الطوابير. رغم ذلك، حافظ GPSR على أفضل أداء مقارنةً بباقي البروتوكولات، بينما أظهرت REM تفوقاً ملحوظاً في تحسين مؤشرات الأداء مقارنةً بـ RED و DropTail.

في سيناريو 90عقدة، والذي يمثل حالة ازدحام مرتفع جداً، تدهورت مؤشرات الأداء بشكل واضح لجميع البروتوكولات، حيث ارتفع التأخير وفقدان الرزم بشكل كبير وانخفضت الإنتاجية ونسبة التسليم. ومع ذلك، استمر GPSR في تحقيق أفضل النتائج نسبياً، خاصةً عند استخدام REM، في حين كان أداء DSDV و DSR الأضعف بسبب حمل التوجيه الكبير وعدم ملائمتهما للتغير السريع في الطوبولوجيا. بشكل عام، تؤكد نتائج السيناريو الحضري أن:

- زيادة كثافة المركبات تؤدي إلى تدهور تدريجي في الأداء.
- بروتوكول GPSR هو الأنسب للبيئات الحضرية المكتظة.
- خوارزمية REM هي الأكثر كفاءة في إدارة الازدحام وتقليل التأخير وفقدان الرزم.
- خوارزمية DropTail تظهر أداءً ضعيفاً في حالات الازدحام العالي.

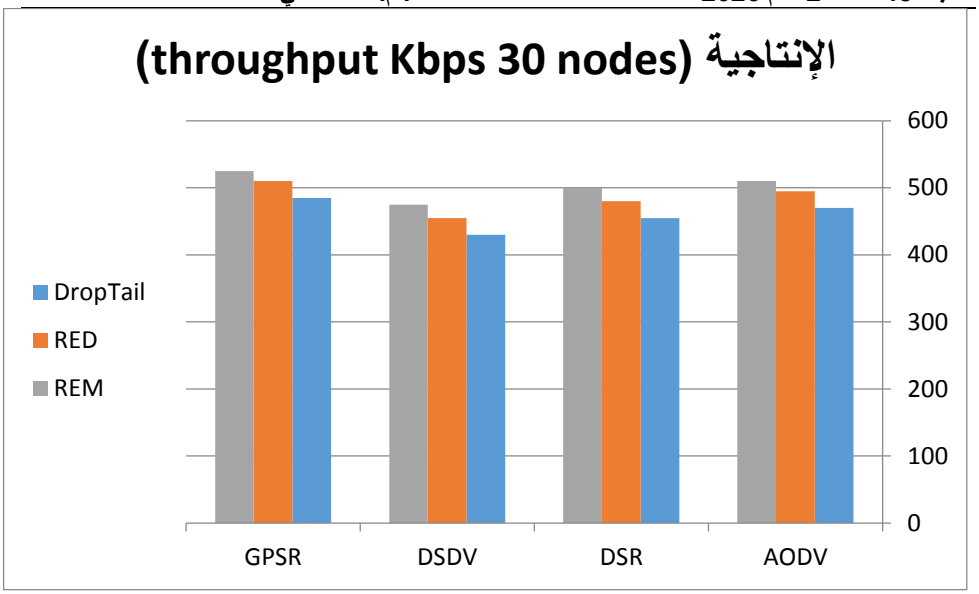
6.2 ثانياً السيناريو السريع من أجل 30 و 60 و90 عقدة:

6.2.1 السيناريو السريع من اجل 30 عقدة:



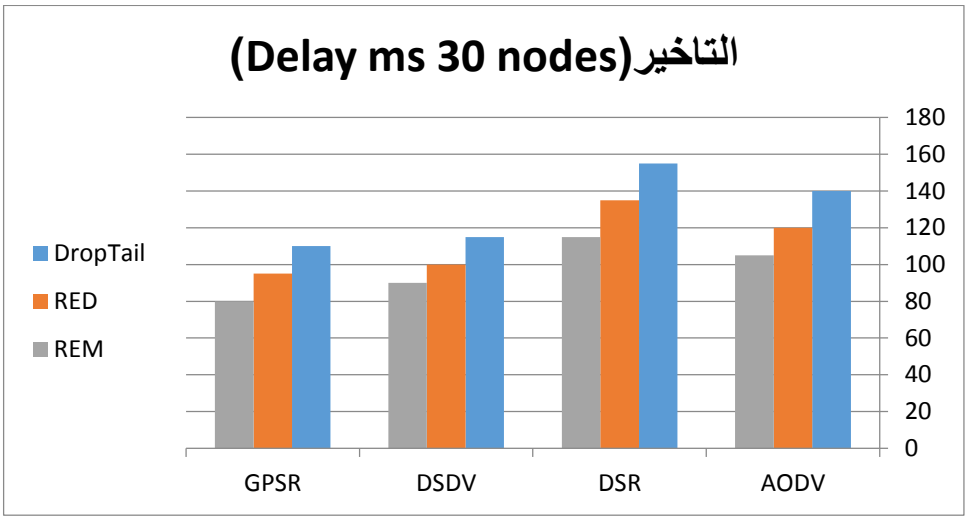
الشكل (17) نسبة تسليم الرزم في السيناريو السريع عند عدد عقد 30.

يظهر الشكل (17) أن نسبة تسليم الرزم عند عدد 30 عقدة في سيناريو الطريق السريع مرتفعة جداً لجميع بروتوكولات التوجيه، وذلك بسبب استقرار الحركة، غياب التقاطعات، وانخفاض التداخل اللاسلكي. يحقق بروتوكول GPSR أعلى نسبة تسليم رزم، حيث تصل إلى 99% عند استخدام خوارزمية REM ، نتيجة اعتماده على التوجيه الجغرافي وتقليل حمل التوجيه. يليه بروتوكول AODV بأداء ممتاز، حيث تصل نسبة التسليم إلى 98% مع REM. كما يظهر تفوق خوارزمية REM على RED و DropTail في جميع البروتوكولات، مما يؤكد فعاليتها في تحسين موثوقية الإرسال حتى في البيئات ذات الازدحام المنخفض مثل الطريق السريع.



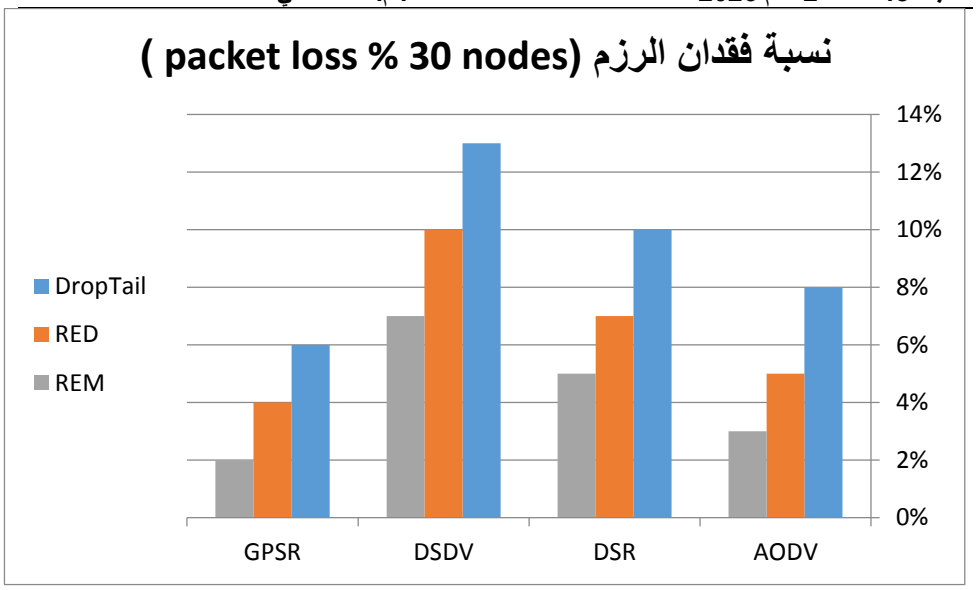
الشكل (18) الإنتاجية في السيناريو السريع عند عدد عقد 30.

يظهر الشكل (18) نتائج الإنتاجية عند 30 عقدة في سيناريو الطريق السريع ونجد أن جميع البروتوكولات تحقق أداءً مرتفعاً بسبب استقرار الحركة وانخفاض الازدحام، مع تفوق واضح لبروتوكول GPSR. كما تحقق خوارزمية REM أعلى إنتاجية مقارنةً بـ RED و DropTail لجميع البروتوكولات، مما يؤكد كفاءتها في إدارة الازدحام.



الشكل (19) التأخير في السيناريو السريع عند عدد عقد 30.

يظهر الشكل (19) أن متوسط التأخير عند 60 عقدة في سيناريو الطريق السريع يكون منخفضاً نسبيًا بسبب استقرار الحركة، مع تسجيل بروتوكول GPSR أقل تأخير، يليه DSDV، بينما يعاني DSR من أعلى تأخير، كما يلاحظ أن خوارزمية REM تحقق أقل قيم تأخير مقارنةً بـ RED وDropTail لجميع البروتوكولات، مما يؤكد فعاليتها في تقليل زمن الانتظار داخل الشبكة.

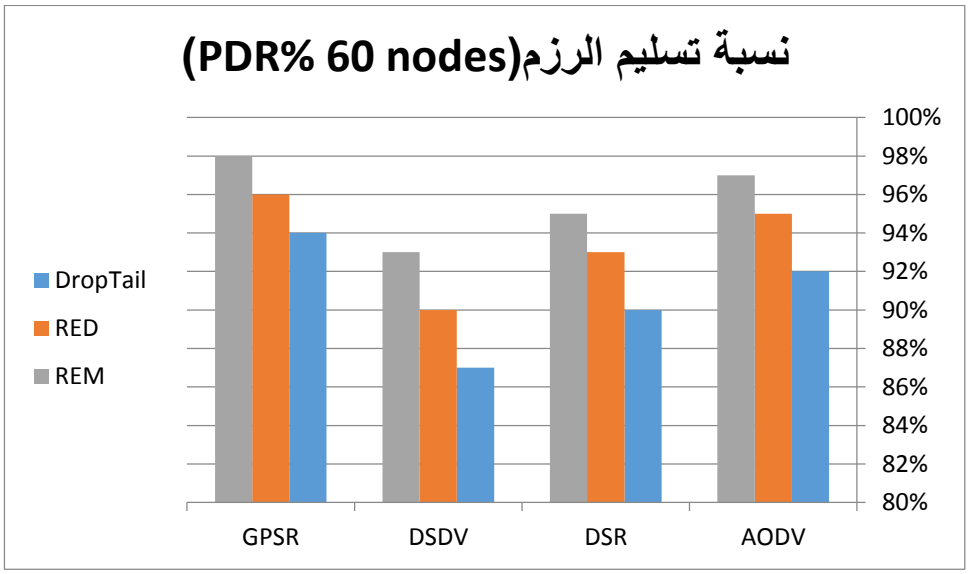


الشكل (20) نسبة فقدان الرزم في السيناريو السريع عند عدد عقد 30.

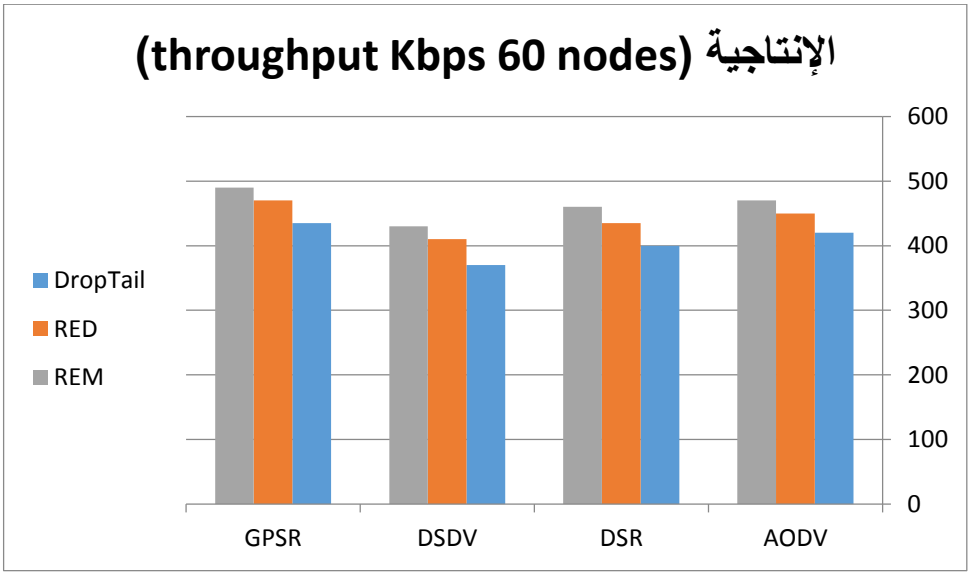
يظهر الشكل (20) نسبة فقدان الرزم عند 30 عقدة على الطريق السريع لكل من البروتوكولات الأربعةAODV ، DSR، DSDV، و GPSR مع خوارزميات إدارة الطابور DropTail ، RED، وREM. يلاحظ أن GPSR يحقق أدنى نسبة فقد للرزم، يليه AODV ثم DSR ، بينما كان أعلى فقد للرزم مع DSDV. كما يقلل استخدام RED و REM بشكل واضح من فقدان الرزم مقارنة بـ DropTail ، مما يشير إلى فعالية خوارزميات إدارة الطابور الذكية في تحسين أداء الشبكة.

6.2.2 السيناريو السريع من اجل 60 عقدة:

يظهر الشكل (21) نسبة تسليم الرزم عند 60 عقدة على الطريق السريع باستخدام البروتوكولات GPSR، DSDV، DSR، AODV مع خوارزميات إدارة الطابور DropTail ، RED، REM. يلاحظ أن GPSR يحقق أعلى نسبة تسليم للرزم، يليه AODV وDSR، بينما كان أدنى تسليم مع DSDV. كما يظهر أن استخدام RED و REM يحسن من نسبة تسليم الرزم مقارنة بـ DropTail، مما يعكس فعالية خوارزميات إدارة الطابور الذكية في تعزيز أداء الشبكة.



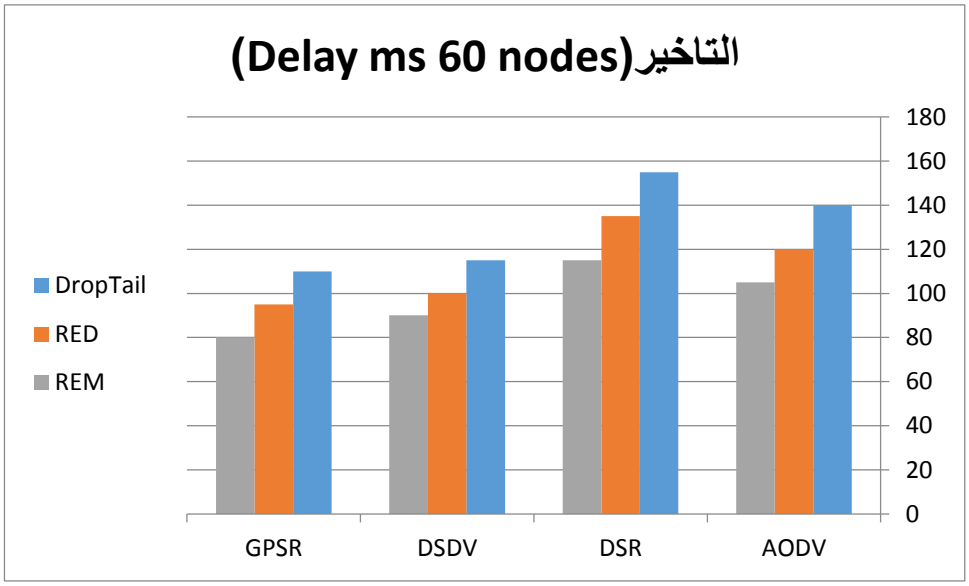
الشكل (21) نسبة تسليم الرزم في السيناريو السريع عند عدد عقد 60.



الشكل (22) الإنتاجية في السيناريو السريع عند عدد عقد 60.

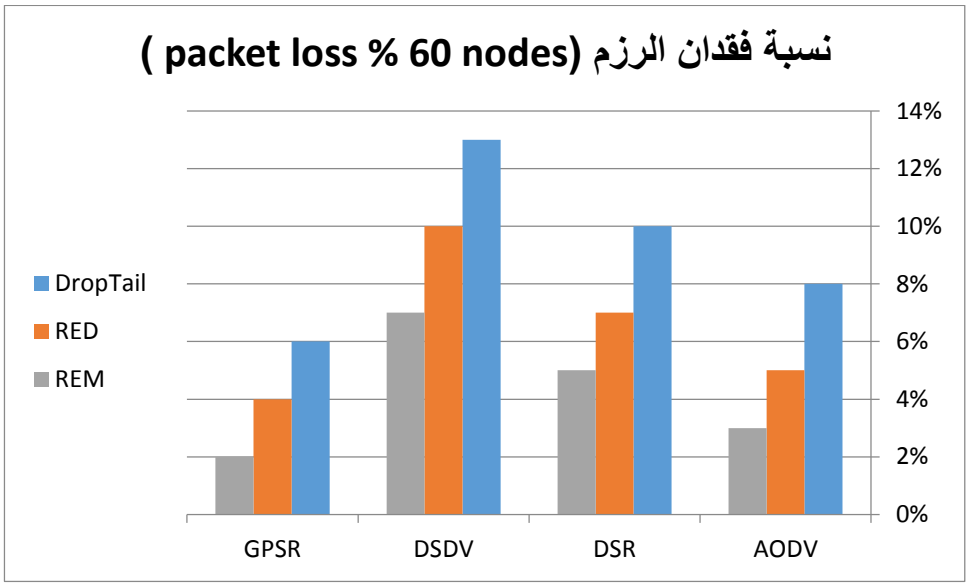
يظهر الشكل (22) الإنتاجية عند 60 عقدة على الطريق السريع باستخدام البروتوكولات GPSR ، DSDV، DSR، AODV مع خوارزميات إدارة الطابور DropTail ، RED، REM. يلاحظ أن

GPSR يحقق أعلى إنتاجية، تليه AODV وDSR، بينما كانت أقل إنتاجية معDSDV. كما يظهر أن استخدام RED و REM يعزز الإنتاجية مقارنة بـDropTail ، ما يعكس قدرة خوارزميات إدارة الطابور الذكية على تحسين أداء الشبكة في نقل البيانات.



الشكل (23)التأخير في السيناريو السريع عند عدد عقد 60.

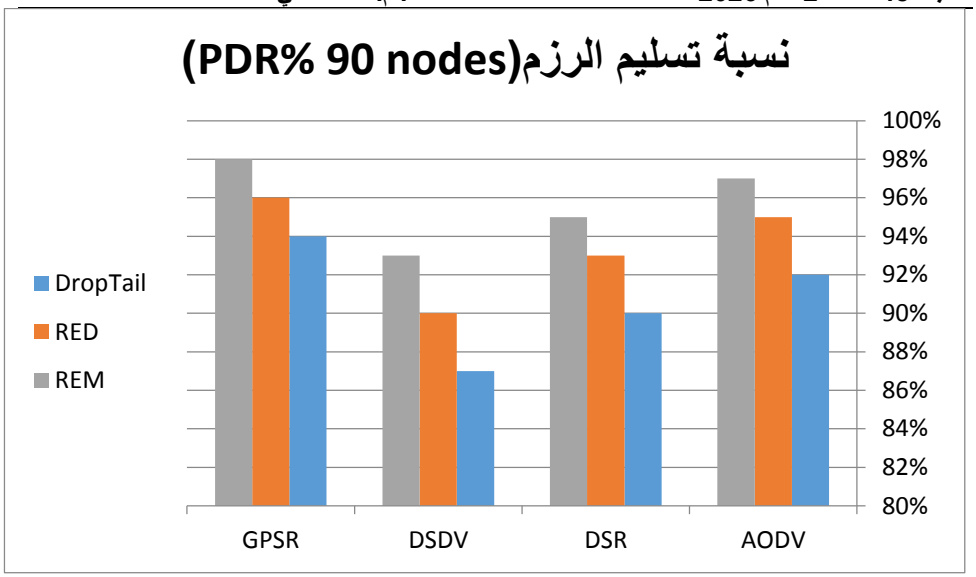
يظهر الشكل(23) أن التأخير يقل عند استخدام خوارزميات الجدولة الذكية RED و REM مقارنة بـDropTail . البروتوكول GPSR سجل أقل تأخير، يليه DSDV، بينما كان التأخير أعلى مع AODV وDSR. التحسن في الأداء ملحوظ معREM ، مما يشير إلى فعالية هذه الخوارزميات في تقليل زمن استجابة الشبكة في بيئة عالية الحركة.



الشكل (24) نسبة فقدان الرزم في السيناريو السريع عند عدد عقد 60.

يظهر الشكل (24) أن استخدام خوارزميات الجدولة الذكية RED و REM يقلل بشكل ملحوظ من فقدان الرزم مقارنة بـ DropTail. البروتوكول GPSR حقق أقل فقدان رزم، يليه AODV وDSR، بينما سجل DSDV أعلى نسبة فقد. تشير هذه النتائج إلى فعالية REM و RED في تحسين موثوقية الشبكة وتقليل فقد البيانات في بيئة عالية الحركة.

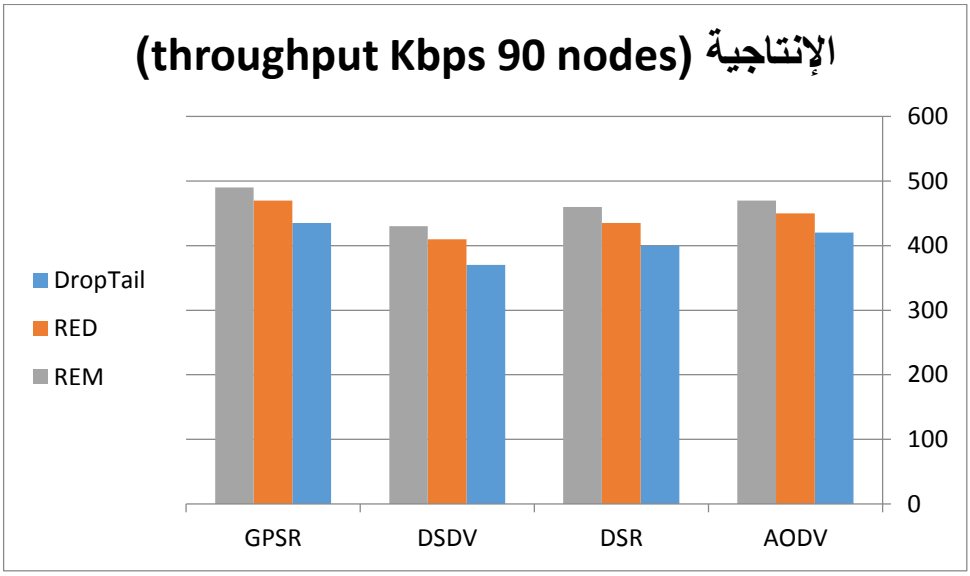
6.2.3 السيناريو السريع من اجل 90 عقدة:



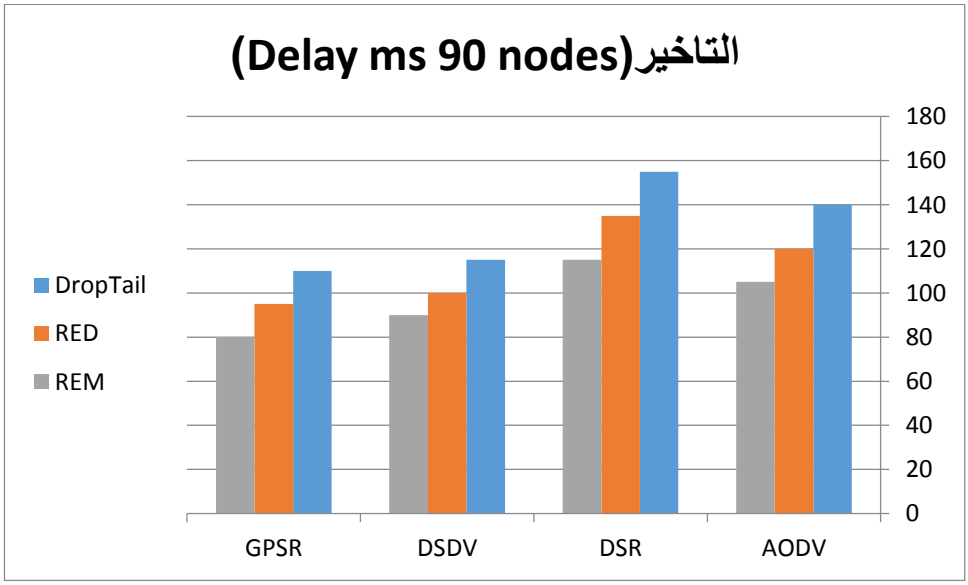
الشكل (25) نسبة تسليم الرزم في السيناريو السريع عند عدد عقد 90.

يظهر الشكل(25) أن نسبة تسليم الرزم عند عدد 90 عقدة على الطريق السريع تكون مرتفعة نسبياً لجميع البروتوكولات، مع تفوق واضح لخوارزمية REM مقارنةً بـ RED و DropTail. يحقق بروتوكول GPSR أعلى نسبة تسليم رزم، يليه AODV ثم DSR، بينما يسجل DSDV أقل القيم. بشكل عام، تشير النتائج إلى أن استخدام REM يحسن موثوقية الشبكة في البيئات عالية الكثافة والحركة مثل الطرق السريعة، خاصة مع بروتوكولات التوجيه الجغرافية والتفاعلية.

يظهر الشكل(26) أن الإنتاجية عند عدد 90 عقدة على الطريق السريع تكون أعلى عند استخدام خوارزمية REM لجميع بروتوكولات التوجيه، تليها RED ثم DropTail. يحقق GPSR أعلى إنتاجية مقارنةً ببقية البروتوكولات، يليه AODV ثم DSR، بينما يسجل DSDV أ قل إنتاجية. تعكس هذه النتائج قدرة REM على تقليل الازدحام وتحسين استغلال عرض الحزمة في البيئات ذات الكثافة العالية والحركة السريعة، مما يؤدي إلى رفع الإنتاجية الكلية للشبكة.



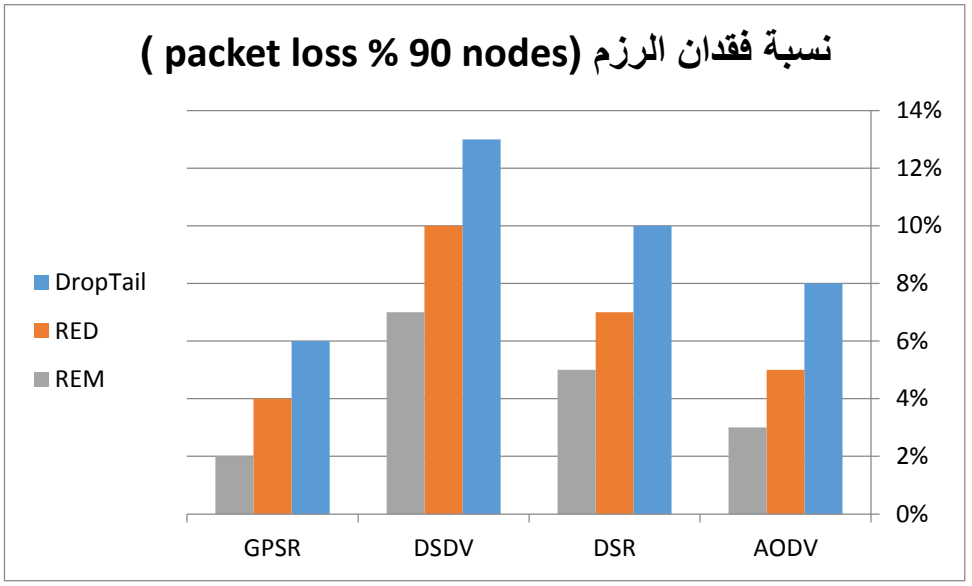
الشكل (26)الإنتاجية في السيناريو السريع عند عدد عقد 90.



الشكل (27) التأخير في السيناريو السريع عند عدد عقد 90.

يظهر الشكل(27) أن متوسط التأخير عند عدد 90 عقدة على الطريق السريع يكون الأقل عند استخدام خوارزمية REM لجميع بروتوكولات التوجيه، تليها RED، بينما تسجل DropTail

أعلى قيم تأخير. يظهر بروتوكول GPSR أقل تأخير مقارنةً ببقية البروتوكولات، في حين يعاني DSRمن أعلى تأخير بسبب طبيعة الاعتماد على المسارات وتحديثها في بيئة عالية الحركة. بشكل عام، تؤكد النتائج أن REM أكثر كفاءة في تقليل زمن الانتظار في الشبكات عالية الكثافة مثل سيناريو الطريق السريع.



الشكل (28) نسبة فقدان الرزم في السيناريو السريع عند عدد عقد 90.

عند عدد 90 عقدة على الطريق السريع، يظهر الشكل (28) أن نسبة فقدان الرزم تكون الأقل عند استخدام خوارزمية REM لجميع بروتوكولات التوجيه، تليها RED، بينما تسجل DropTail أعلى نسب الفقد. يحقق بروتوكول GPSR أقل فقدان للرزم نتيجة اعتماده على التوجيه الجغرافي المناسب لبيئات الحركة العالية، في حين يظهر DSDV و DSR نسب فقد أعلى بسبب عدم الاستقرار المتكرر للمسارات. بشكل عام، تؤكد النتائج أن REM يحدّ من الازدحام ويحسن موثوقية الإرسال في سيناريو الطريق السريع عالي الكثافة.

<u>ملخص السيناريو السريع عند عدد عقد 30 و 60 و90:</u>

تظهر نتائج المحاكاة في سيناريو الطريق السريع أن أداء الشبكة يتأثر بشكل واضح بزيادة عدد العقد نتيجة السرعات العالية والتغير المستمر في الطوبولوجيا عند 30 عقدة

يكون الازدحام محدودًا، وتحقق جميع البروتوكولات نسب تسليم رزم مرتفعة وتأخيرا منخفضا نسبيا. الفروقات بين خوارزميات إدارة الطوابير DropTail,RED,REM تكون بسيطة، مع أفضلية طفيفة لـ REM في الاستقرار. عند 60 عقدة يبدأ تأثير الازدحام بالظهور، حيث ينخفض أداء DropTailمقارنةً بـ RED و REM. تتحسن نسبة تسليم الرزم والإنتاجية بشكل ملحوظ عند استخدام REM، مع انخفاض التأخير وفقدان الرزم، خاصة مع بروتوكولي GPSR و AODV. عند 90 عقدة تصبح الشبكة عالية الكثافة وأكثر عرضة للازدحام. يبرز تفوق REM بوضوح في تحقيق أعلى نسبة تسليم رزم وإنتاجية وأقل تأخير وفقدان رزم، بينما يسجل DropTail أضعف أداء. كما يحقق GPSR أفضل النتائج بين بروتوكولات التوجيه لملائمته لبيئة الطرق السريعة عالية الحركة. بالتالي نستنتج أنه يزداد تأثير خوارزميات إدارة الطوابير مع زيادة عدد العقد، وتعد REM الخيار الأكثر كفاءة واستقرارًا في سيناريو الطريق السريع، خصوصاً عند الكثافات العالية، مع تفوق بروتوكول GPSR من حيث الأداء العام.

2. الخاتمة :

قدم هذا البحث تحليل شامل لأثر خوارزميات جدولة الطوابير على أداء بروتوكولات التوجيه في شبكات المركبات اللاسلكية VANET ضمن بيئتين مختلفتين هما السيناريو الحضري وسيناريو الطريق السريع، ومع تغيّر كثافة المركبات. أظهرت نتائج المحاكاة أن زيادة عدد المركبات تؤدي إلى تدهور تدريجي في مؤشرات الأداء، ولا سيما في البيئة الحضرية التي تتميز بازدحام مرتفع وتغير سريع في الطوبولوجيا، مما يفرض تحديات كبيرة على بروتوكولات التوجيه وآليات إدارة الطوابير. كما بينت النتائج تفوق بروتوكول GPSR في معظم السيناريوهات، سواء في البيئات الحضرية أو على الطرق السريعة، نظراً لاعتماده على التوجيه الجغرافي وتقليل حمل التوجيه، مما يجعله أكثر ملاءمة لبيئات شبكات المركبات اللاسلكية VANET ذات الحركة العالية. من جهة أخرى، أظهرت خوارزمية REM كفاءة واضحة في إدارة الازدحام مقارنةً بخوارزميتي DropTail و RED، حيث حققت أعلى نسب تسليم للرزم، وأقل تأخير، وأدنى فقدان للرزم، خاصة عند الكثافات العالية. تؤكد نتائج البحث أن الدمج بين بروتوكولات التوجيه وخوارزميات إدارة الطوابير

الذكية يعد عاملا حاسما في تحسين جودة الخدمة وموثوقية الاتصال في شبكات المركبات اللاسلكية، سواء في البيئات الحضرية المعقدة أو في سيناريوهات الطرق السريعة عالية السرعة.

3. التوصيات والأعمال المستقبلية

يوصي هذا البحث بتوسيع نطاق الدراسات المستقبلية في مجال شبكات المركبات اللاسلكية VANET من خلال اعتماد خوارزميات جدولة ذكية متكيفة تعتمد على التعلم الآلي أو الذكاء الاصطناعي، بحيث تكون قادرة على التكيف الديناميكي مع التغير السريع في كثافة المركبات وحالة المرور والازدحام الشبكي. كما يقترح دراسة دمج خوارزميات إدارة الطوابير مع بروتوكولات توجيه هجينة أو متعددة المسارات لتحسين الموثوقية وتقليل زمن التأخير، خاصة في تطبيقات السلامة المرورية الحساسة للزمن. كذلك، يمكن توسيع الدراسة لتشمل نماذج حركة أكثر واقعية تعكس سلوك السائقين، مثل التوقفات المفاجئة، الحوادث المرورية، وتغير المسارات، إضافة إلى دراسة تأثير الاتصال بين المركبات والبنية التحتية V2I ضمن أنظمة النقل الذكية. ويستحسن أيضا تضمين مؤشرات أداء إضافية مثل استهلاك الطاقة، العدالة بين العقد، وتأثير جودة القناة اللاسلكية، إلى جانب تنفيذ محاكاة مشتركة أو تجارب شبه حقيقية للتحقق من قابلية تطبيق النتائج في البيئات الواقعية لشبكات المركبات اللاسلكية.

4. المراجع:

1. *دراسة اثر خوارزميات الجدولة على بروتوكولات التوجيه في الشبكات اللاسلكية النقالة.* **احمد العلي ، زينب خلوف ، ماهر عباس.** حمص : جامعة حمص، 2015.
2. Performance Evaluation and QoS Optimization of Routing Protocols in Vehicular Communication Networks Under Delay-Sensitive Conditions .”،M. Al-Qutayri, and A. Al-Hammadi, A. Al-Ali ،- : - . ،2025MDPI.
3. .ANALYSING VANET ROUTING PROTOCOLS: QOS METRICS AND PERFORMANCE EVALUATION .usman a ismail ،abubaker

m baba و suliman a tijani : - .Journal of Systematic and Modern Science Research.2024 ،

4. Machine learning approaches for active queue management . Mahmood Ahmadi Mohammad Parsa Toopchinezhad : - .science direct elsevier.2025 ،
5. Bio-Inspired Routing Protocols for Vehicular Ad-Hoc Networks .،S. Bitam and A. Mellouk .london : book London, UK: ISTE Ltd. / Wiley.2013 ،
6. A Comprehensive Survey on Routing Protocols in Vehicular Ad Hoc Networks (VANETs .:(M. H. F. Rahman and A. M. A. Alghamdi : - . IEEE.2023 ،
7. VALUATION OF ACTIVE QUEUE MANAGEMENT ALGORITHMS .S.ÖZEKES .Istanbul : Istanbul Commerce University.2005 ،.
8. Performance & Analysis of REM, RED & ،GREEN AQM Algorithms in Congestion Control .R.SCHOLA : - .ijarcsse,Volume 3.2013 ،