# Improving The Performance Of Software-Defined Networks (SDN) With Indefinite Architectures Based On Hybrid Edge Nodes

**Dr. Jamal Khalifeh***
**Malaz Abdullah****

**(Received 2 / 7 / 2024. Accepted 24 / 11 / 2024)**

## □ ABSTRACT □

Software-defined networking (SDN) architectures and applications have revolutionized the way wired networks are built and operated. However, their implementation in wireless environments still faces many obstacles. While we can implement centralized control in wired networks, wireless networks suffer from the difficulties of accessing and managing resources under centralized control. In reality, this is even more difficult in networks with constantly changing structures.

Networks with changing architectures depend on diverse that differ in their structure, operation, and capabilities, including mobile devices of various types. At the same time, these networks need to provide flexibility in providing resources and services to end users. Since some links between end nodes are wireless in nature, unstable, and have a low rate. Reconnecting components to the controller and thus to each other, when these links are interrupted, especially when the path is multi-hop, will be difficult, if not impossible, because collecting the necessary statistical data to reconnect will be slow.

This research seeks to use SDN to solve the problem of networks with changing architectures that are exposed to the possibility of frequent failure of network links. Given the increasing growth of the capabilities of the end devices and the network's use of these capabilities provided by the end devices, the interest in spreading the functions of the network control plane at its edges, gives it a great potential to control and invest its resources better. In this context, a method has been proposed to make SDN more suitable for the environment of these networks by combining the central control of SDN and the distributed control that uses traditional protocols, in a hybrid design that takes the best of both models. That is, providing a general view of the network and the possibility of programming SDN on the one hand and using the robustness of traditional routing protocols on the other hand. Therefore, this research has been interested in proposing a mechanism for the operation of the hybrid node so that it can work as an SDN node or a traditional node, depending on the network condition and the availability of communication between its nodes. This takes into account the improvement of performance according to the parameters generally used in such cases.

**Keywords**: SDN, OLSR, hybrid node, networks with indefinite architectures, Open vSwitch.

**Copyright** **:**Tishreen University journal-Syria, The authors retain the copyright under a CC BY-NC-SA 04

* **Professor, Communication & Electronic Department, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.**
** **Ph.D. Student, Communication & Electronic Department, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.**

# تحسين أداء الشبكات المعرفة برمجيا ذات البنى غير المحددة اعتماداً على العقد الطرفية الهجينة

**د. جمال خليفة***

**ملاذ عبد الله** **

**(تاريخ الإيداع 2 / 7 / 2024. قُبِل للنشر في 24/ 11 / 2024)**

## □ ملخّص □

أحدثت بنى وتطبيقات الشبكات المعرفة برمجيا SDN ثورة في طريقة بناء الشبكات السلكية وتشغيلها. ولكن تطبيقها في الأوساط اللاسلكية مازال يصطدم بالكثير من المعوقات. ففي حين يمكننا تطبيق التحكم المركزي في الشبكات السلكية، فإن الشبكات اللاسلكية تعاني صعوبة الوصول إلى الموارد وإدارتها في ظل التحكم المركزي. وهذا الأمر يزداد صعوبة في الشبكات ذات البنى المتغيرة بشكل دائم.

تعتمد الشبكات ذات البنى المتغيرة على أجهزة متنوعة ومختلفة في بنيتها وعملها وإمكاناتها بما في ذلك الأجهزة المحمولة على اختلاف أنواعها. وتحتاج هذه الشبكات في نفس الوقت إلى تأمين المرونة في توفير الموارد والخدمات لمستخدمي الطرفيات. ولكون بعض الوصلات بين العقد الطرفية ذات طبيعة لاسلكية، وغير مستقرة، وذات معدل منخفض. فإن إعادة ربط المكونات بالمتحكم وبالتالي ببعضها سيما حين كون المسار متعدد القفزات، حين حدوث انقطاع في هذه الروابط، سيكون صعبا، إن لم يكن مستحيلا، وذلك لأن جمع المعطيات الاحصائية اللازمة لإعادة الربط سيكون بطيئا.

يسعى هذا البحث إلى استخدام SDN لحل مشكلة الشبكات المتغيرة البنية التي تتعرض إلى احتمال الفشل المتكرر لوصلات الشبكة. ونظرًا للنمو المتزايد لإمكانات الأجهزة الطرفية واستخدام الشبكة لهذه الإمكانات التي توفرها الأجهزة الطرفية، فإن الاهتمام بنشر وظائف مستوى التحكم بالشبكة عند أطرافها، يتيح لها إمكانية كبيرة لضبط واستثمار مواردها بشكل أفضل. وقد تم في هذا السياق اقتراح طريقة لجعل SDN أكثر ملاءمة لبيئة هذه الشبكات من خلال الجمع بين تحكم الـ SDN المركزي والتحكم الموزع الذي يستخدم البروتوكولات التقليدية، وذلك في تصميم هجين يأخذ أفضل ما في النموذجين. أي اتاحة الرؤية العامة للشبكة وإمكانية برمجة SDN من ناحية واستخدام متانة بروتوكولات التوجيه التقليدية من ناحية أخرى. ولهذا فقد اهتم هذا البحث باقتراح آلية عمل العقدة الهجينة بحيث تستطيع العمل كعقدة SDN أو عقدة تقليدية، وذلك حسب حالة الشبكة ومدى توفر الاتصال بين عقدها. وذلك بما يراعي تحسن الأداء وفقا للبارامترات المستخدمة عموما في مثل هذه الحالات.

**الكلمات المفتاحية:** SDN ،OLSR، عقدة هجينة، شبكات ذات بنى غير محددة، Open vSwitch, OpenFlow.

**حقوق النشر** : مجلة جامعة تشرين- سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص CC BY-NC-SA 04

*أستاذ- قسم هندسة الاتصالات والالكترونيات- كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية- جامعة تشرين- اللاذقية- سورية.

** طالب دكتوراه- قسم هندسة الاتصالات والالكترونيات- كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية- جامعة تشرين- اللاذقية- سورية.

## مقدمة:

أتاحت تقنية الشبكات المعرفة برمجيا SDN الطريق أمام إدارة الشبكة بشكل أكثر سهولة ودقة بالاعتماد على الصياغة البرمجية الفعالة للشبكة. ويستخدم OpenFlow [1] كمتحكم أساسي في مثل هذه شبكات، وذلك للاتصال بين مستوى التحكم ومستوى البيانات الخاص بأجهزة الشبكة. حيث يتيح هذا البروتوكول تنفيذ تحكم مركزي لتوجيه تطبيقات مستوى البيانات المنتشرة والمختلفة. وهذا يعني فصل وظائف التحكم في الشبكة، مستوى التحكم، عن أجهزة توجيه البيانات، أي مستوى البيانات، وتحويلها الشبكة إلى كيان متحكم به مركزياً، وقابل للبرمجة منطقيًا. ويسمح هذا البروتوكول بتسريع ادخال التقنيات الحديثة في خدمات الشبكة، حيث أنه من السهل تصميم نماذج برمجية أولية لها. وقد سمح ذلك بتقديم خدمات أكثر مرونة للمستخدمين [2,3] . اهتمت الغالبية العظمى من دراسات SDN بالبنى التحتية السلكية لمراكز البيانات وشبكات مزودي خدمة الإنترنت [4, 5, 6] .

يزداد نشر بروتوكولات التحكم حاليًا في مجموعة واسعة من الشبكات مثل شبكات الحرم الجامعي وشبكات مراكز البيانات والشبكات واسعة النطاق وشبكات الدخول اللاسلكي وما إلى ذلك. وقد نشأت نتيجة لذلك حاجة ماسة إلى الاهتمام بتطبيق بروتوكولات تحكم SDN في الشبكات اللاسلكية وعلى وجه الخصوص في الشبكات اللاسلكية ذات البنى غير المحددة [7, 8, 9] . وقد شكل التطور المطرد للأجهزة المحمولة دافعا لمحاولة استخدامها في مثل هذه الشبكات كأجهزة اتصال من جهة ونقاط دخول إلى الشبكة، هذا إضافة إلى استخدامها كأجهزة لاستضافة برامج التحكم المتعلقة باستخدامات شبكات SDN. أي أنه أصبح من الممكن استخدام مثل هذه الأجهزة المتطورة لتعمل على مستوى التحكم ومستوى البيانات بدافع من تطور بنيتها وإمكاناتها. ولكن الدراسات التي تعنى بإمكانات استخدام هذه التقنية في الشبكات اللاسلكية والمحمولة وذات البنى العشوائية المتغيرة باستمرار تواجه تحديا في التغلب على معيقات تغلغل SDN في مثل هذه الشبكات التي أصبحت تشكل البنية الأساسية للطرفيات التي يعتمد عليها المستخدمون في الدخول إلى الخدمات الأساسية لهذه الشبكات. ومن هذه المعوقات المستوى العالي من التقلب وصعوبة إنشاء الاتصال الموثوق بين مستويات التحكم والبيانات. فعلى سبيل المثال، عندما تفقد وحدة تحكم SDN الاتصال بالعقد المتنقلة، يكون من الصعب جدا إعادة إنشاء هذا الاتصال. وقد يضطرنا ذلك إلى استخدام سياسات التوجيه القديمة القائمة على بروتوكولات توجيه تقليدية، والتي تعطي أداء دون المستوى المطلوب بشكل واضح. وحتى في حال كون الوصول إلى وحدة التحكم ممكنا، فقد تستغرق تحديثات الشبكة المتكررة وقتًا طويلاً ويؤدي إلى زيادة الحمل على وحدة التحكم والقنوات التي تصل إليها. ويعود ذلك أساسا إلى مركزية جميع وظائف التحكم في الشبكة في وحدة تحكم SDN.

## أهمية البحث وأهدافه:

تنبع أهمية هذا البحث من الاهتمام المتزايد بتطبيق تقنية الشبكات المعرفة برمجيا SDN في الشبكات ذات البنى المغيرة ديناميكيا مثل الشبكات التكتيكية العسكرية وشبكات التواصل أثناء الكوارث الطبيعية أو في الأتمتة الصناعية والتي تحتوي على طرفيات متحركة بشكل دائم، مما يخلق مشاكل وصعوبات في تطبيق تقنية SDN بالشكل التقليدي. كل ذلك يجعل الاهتمام منصبا في الآونة الأخيرة لإيجاد حلول للمشاكل الناجمة عن استخدام مثل هذه البنى المتغيرة والتي تعتمد في حلها على استخدام التحكم الهجين الذي يجمع بين ميزات SDN وميزات التوجية التقليدي ذي التحكم الموزع.

## طرائق البحث ومواده:

تعتمد طريقة البحث على نماذج توصيف الحالة واجراء دراسة مرجعية لبيان أهمية البحث والمشكلة المطروحة، واقتراح آلية جديدة للدمج بين التحكم المركزي القائم على استخدام SDN والتحكم الموزع القائم على استخدام بروتوكولات التوجيه التقليدية. ومن ثم تقييم النتائج ومقارنتها من خلال المحاكاة باستخدام Mininet-WiFi لتوضيح أهمية الحل المقترح وذلك من خلال الخطوات التالية

- دراسة موقع البحث ضمن الدراسات والأبحاث التي تهتم بالجدولة الزمنية لتحسين أداء الشبكة.
- اقتراح آلية هجينة جديدة للدمج بين التحكم القائم على SDN المركزي والتحكم الموزع.
- اختبار المقترح بوضع سيناريوهات مناسبة وتشغيل نموذج المحاكاة باستخدام Mininet-WiFi
- استخلاص النتائج والتوصيات.

### 1-دراسة مرجعية

نشأت الحاجة إلى الاعتماد على النهج الهجين في توجيه البيانات في الشبكات انطلاقا من الرغبة في استخدام الإمكانات الواسعة التي تقدمها المركزية المعتمدة على تطبيق SDN واللجوء إلى استخدام البروتوكولات الموزعة حين تعذر استخدام قواعد الـ SDN. ففي حين أن المركزية تعمل بشكل جيد ومستقر في الشبكات السلكية الثابتة نسبيًا إلا أنها قد تسبب بعض المشاكل في الشبكات اللاسلكية والمتنقلة هذا من ناحية. ومن ناحية أخرى فإن الاعتماد على بروتوكولات التوجيه الموزعة التقليدية مثل AODV و OLSR، يعمل بشكل جيد في شبكات الهاتف الشبكات اللاسلكية والمتنقلة [1, 10] ، حيث يمكن استخدام هذه البروتوكولات لاكتشاف الشبكة وتوجيهها في حالة وجود أعطال في الشبكة وقابلية التنقل، مما يوفر بنية شبكة قوية، إلا أن القيد الأساسي لها مقارنة بـ SDN هو افتقارها إلى رؤية عامة وشاملة للشبكة وكذلك غياب قابلية التكوين المرن لتحقيق سياسات الشبكة الشاملة. وانطلاقا مما سبق اتجهت الأبحاث مؤخرا إلى البحث عن حلول لتصميم بنى شبكية تجمع بين فوائد الرؤية الشاملة وقابلية التأقلم مع المتغيرات الشبكية برمجيا، التي توفرها الـ SDN والإمكانات التي توفرها بروتوكولات التوجيه الموزعة سيما حينما يتعذر الوصول إلى الخدمات التي تقدمها متحكمات الـ SDN.

ويتمثل أحد أهم التحديات التي تعيق نشر بروتوكولات SDN في الشبكات اللاسلكية هو أن البرامج المتاحة لها مثل Open vSwitch و ofsoftswitch13 مصممة للشبكات السلكية. وهي تدعم جزئيًا بروتوكولات MAC اللاسلكية [11] . وينتج ذلك عن المستوى العالي من التقلب وصعوبة إنشاء اتصال موثوق بين مستويات التحكم والبيانات. على سبيل المثال، إذا فقدت وحدة تحكم SDN الاتصال بالعقد المتنقلة، فسيكون من المستحيل إعادة تكوينها، مما يؤدي إلى سياسات توجيه قديمة دون المستوى الأمثل المطلوب. وحتى إذا كان من الممكن الوصول إلى وحدة التحكم، فقد تستغرق تحديثات الشبكة المتكررة في شبكة الهاتف المحمول وقتًا طويلاً وتؤدي إلى زيادة التحميل على وحدة التحكم. وتعود المشاكل المذكورة أعلاه بشكل أساسي إلى تمركز جميع وظائف التحكم في الشبكة في وحدة تحكم SDN.

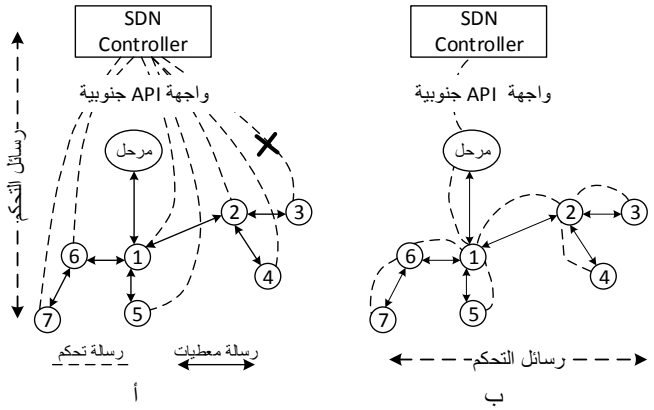
تعتمد الشبكات الهجينة، وعلى الأخص، في أطرافها على مجموعة من العقد اللاسلكية كنقاط الدخول اللاسلكية وأجهزة الموبايل التي تتنقل بشكل دائم، مشكلة بنى شبكية تتغير باستمرار، وبشكل ديناميكي مما يعيق تواصل كل أجزاء الشبكة ببعضها البعض. تسمح مثل هذه البنى الحديثة للتجهيزات الشبكية بتوزيع جزء كبير من وظائف وخدمات تخزين البيانات ومعالجتها باستخدام الموارد الشبكية التي أصبح بالإمكان توضعها في أقصى حدود الشبكة، أي على مقربة من المستخدمين النهائيين في هذه البنى، مثل تلك التي تعتمد على الحوسبة الضبابية وعلى الحوسبة المتنقلة للأجهزة

الطرفية. يسمح ذلك بتجاوز مشكلات التأخير الأساسية الناجمة عن استخدام التجهيزات السحابية المركزية التقليدية [11] وتعد مثل هذه البنى أساسية في الحالات التي تنشأ عن الكوارث أو في الشبكات العسكرية التكتيكية، وفي شبكات WiFi المستخدمة في قيادة أجهزة الخدمات الصناعية المتنقلة في ساحات العمل وبين خطوط الإنتاج وفي شبكات الأجيال القادمة وشبكات IoT بشكل عام [12] .

تظل إدارة الموارد في مثل هذه البنى مهمة معقدة للغاية، لا سيما عند الحاجة إلى دعم مجموعة متنوعة من الخدمات بمتطلبات حسابية أو تخزينية أو متطلبات اتصالات مختلفة [13] . ولتسهيل إدارة الموارد، يمكننا الاستفادة من التقنيات والبرمجيات الجديدة المتوفرة في SDN فقد اعتمدت بعض الأبحاث على نهج منتشر للتحكم بدلا من أن تعتمد نهجًا مركزيًا في ذلك، أي يمكنها الانتقال إلى نهج قائم على توزيع ونشر هذه المهام في الأجهزة الطرفية بالقرب من الموارد المطلوب ادارتها. مما يوفر إدماج هذه التجهيزات المتنقلة مع السحابة تسهيلات للوصول إلى السحابة من الأجهزة المحمولة الحديثة، سيما في حالات فشل جهاز واحد أو أكثر من الوصول إلى الإنترنت [12, 13] .

وعلى الرغم من أن جهود تطبيق شبكات SDN بدأت أساسا في الشبكات السلكية. على سبيل المثال مراكز البيانات وشبكات مزودي خدمة الإنترنت [14]، كما أنها لاقت اهتماما لا بأس به في الشبكات الضوئية [15] فإن الأبحاث قد بدأت حديثا نحو تعزيز امتدادها إلى الشبكات اللاسلكية والمتنقلة. من المفهوم جيدًا الآن أن SDN يمكنها تسهيل الإدارة الدقيقة لموارد عقد البنية التحتية اللاسلكية مثل نقاط دخول شبكة الوصول الراديوي [16] والمحطات الأساسية [17] . ومع ذلك، فإن تطبيق مفاهيم SDN في الشبكات اللاسلكية ذات البنية التحتية المحدودة أو الضعيفة، مثل الشبكات ذات البنى العشوائية المتغيرة باستمرار، لم تتم محاولته إلا مؤخرًا.

اهتم الباحثون في [18, 19, 20, 21, 22] بجدوى وفوائد تطبيق SDN وتحسين أدائها على شبكات لاسلكية ذات بنى متغيرة ديناميكيا. بالمقارنة مع أحدث بروتوكولات التوجيه الموزعة، على سبيل المثال، AODV وOLSR، وتوصلت هذه الأبحاث إلى أن النهج القائم على SDN لهذه الشبكات يوفر إنتاجية أعلى واستجابة أسرع للفشل وإطالة ملحوظة لعمر الشبكة، ولكنه يحمل في طياته في نفس الوقت تحديات جديدة. إذ لم يتم أساسا في الواقع، تصميم بنية SDN لاستيعاب متطلبات بيئة الشبكة في مثل هذه البنى. وقد لجأ البحث [23] إلى التبادل المستمر للطوبولوجيا ورسائل التحكم في جدول التوجيه بين وحدة التحكم وعقد مستوى البيانات (إعادة التوجيه). لكي تعمل SDN بشكل صحيح في مثل هذه البيئات، وبرزت خلال ذلك الحاجة لمواجهة التحديات الناجمة عن انخفاض معدلات البيانات للقنوات اللاسلكية والمشاكل المتأصلة المتمثلة في طبيعة الاتصال غير الموثوق في مثل هذه الشبكات. تكون وحدة تحكم SDN الموجودة في خادم مركزي، كما في الشكل(1-أ) مثلا، غير قادرة على الوصول إلى الأجهزة المحمولة التي تبتعد عن الجهاز المستخدم كمرحل. وبالتالي، سيكون من المستحيل إعادة تكوينها، مما يؤدي إلى انقطاعات تضطرنا إلى استخدام سياسات الشبكة القديمة.




**الشكل (1): سير رسائل التحكم في آ التحكم المركزي والتحكم الموزع ب**

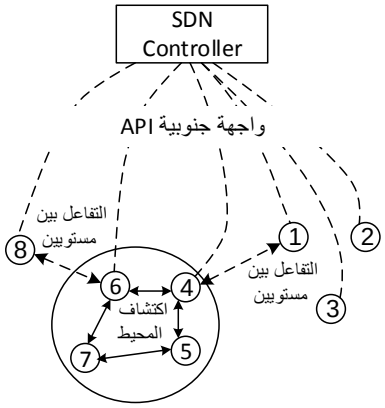
إحدى الطرق التي تم استخدامها على نطاق واسع لدعم عمليات الشبكة في المناطق التي لا تحتوي على بنية تحتية محددة هي نشر بروتوكولات الشبكة مثل AODV وOLSR، على سبيل المثال لا الحصر [24] . على الرغم من أن هذه البروتوكولات تفتقر إلى التحكم المركزي وقابلية البرمجة لـ SDN، إلا أنها تعتمد على أنظمة التوجيه الموزعة التي ثبت أنها فعالة وقابلة للتكيف مع تغييرات الشبكة مثل حالات الفشل أو في حالات إنشاء روابط جديدة. على سبيل المثال، في الشكل 1 (ب)، حيث تقوم الأجهزة التي تستخدم مثل هذه البروتوكولات بنشر رسائل التحكم لبعضها البعض مثل قائمة العقد المجاورة وحالة استخدام الطاقة والموضع الطوبولوجي للعقدة. وبهذه الطريقة، تتمكن الأجهزة من اكتشاف مسارات توجيه بديلة بطريقة موزعة وإعادة تأسيس الاتصال عند حدوث التغييرات في بنية الشبكة.

وقد اتجهت الأبحاث في حل مشاكل مثل هذه الحالات، إلى طرح مسائل التصميم الهجين المعتمد على الفصل الصارم بين مستويات التحكم والبيانات في SDN وتقسيم التحكم في الشبكة بين وحدة تحكم SDN والأجهزة المحمولة في مستوى البيانات. وهذا يعني أننا نسمح للأجهزة المحمولة باتخاذ قرارات إعادة توجيه البيانات الخاصة بها بطريقة موزعة، دون إشراك وحدة تحكم SDN. وقد اهتمت بعض الأعمال مسألة التحكم الهجين القائم على الاستفادة من إمكانات وحدة التحكم SDN المركزية، وإمكانات التوجيه التقليدي الموزع. حيث قامت الأبحاث [25, 26, 27] ببحث ذلك ولكن ليس في سياق شبكات الهاتف المحمول. وبرزت في سياق ذلك الحاجة إلى معرفة مدى تأثير التواجد المشترك لمستويين تحكم مختلفين في نفس الشبكة، على سبيل المثال، مستوى التحكم المعتمد على شبكة SDN مركزية ومستوى تحكم قائم على استخدام البروتوكولات الموزعة القائمة على استخدام بروتوكول موزع ومدى المخاطر التي يشكلها على التوجيه الخالي من الأخطاء، مثل حلقات إعادة التوجيه والثقوب السوداء [28]. ولذلك نحتاج إلى الجمع بين مستويي التحكم بطريقة تضمن وصول الحزم إلى وجهتها في وقت معقول وبدون أخطاء. ويمكن هنا تلخيص الطرق المتبعة للتهجين بين الطرق التي تعتمد على النهج المركزي القائم على استخدام SDN وبين الطرق التي تعتمد على مستويات التحكم الموزعة.

**الطريقة الأولى: الانتقال الديناميكي إلى بروتوكول موزع.**

في هذه الطريقة، يمكن لجزء من العقد في شبكة SDN أن ينتقل ديناميكيًا إلى بروتوكول IP موزع، على سبيل المثال، AODV أو OLSR متجاوزًا قواعد إعادة توجيه SDN. أي أنه يتم استخدام بروتوكول توجيه موزع، كنسخة احتياطية. وهذا يعني أنه بدلاً من استخدام وحدة التحكم عن بعد لتحديث سياسات الشبكة في جميع الأوقات، يمكن للعقد المتنقلة

أن تنتقل ديناميكيًا من SDN إلى بروتوكول التوجيه الموزع. بالعودة إلى (الشكل 1) قد تفقد العقد 3 الاتصال مؤقتًا بوحدة تحكم SDN بسبب إمكانية التنقل وضعف جودة القناة. للحفاظ على الاتصال بجيرانها وإنشاء مسارات توجيه، يمكن لهذه العقد تشغيل عملية اكتشاف الجوار بطريقة موزعة. عندما تتغير الظروف، على سبيل المثال، يصبح الاتصال بوحدة التحكم أكثر استقرارًا، ويمكن تكوين العقد مرة أخرى بواسطة وحدة التحكم والانتقال مرة أخرى إلى SDN. عيب هذا الأسلوب هو أن عمليات اكتشاف المحيط وحساب مسار التوجيه تستغرق عادةً وقتًا للتنفيذ، وبالتالي قد تؤدي إلى بطء تحديثات الشبكة.



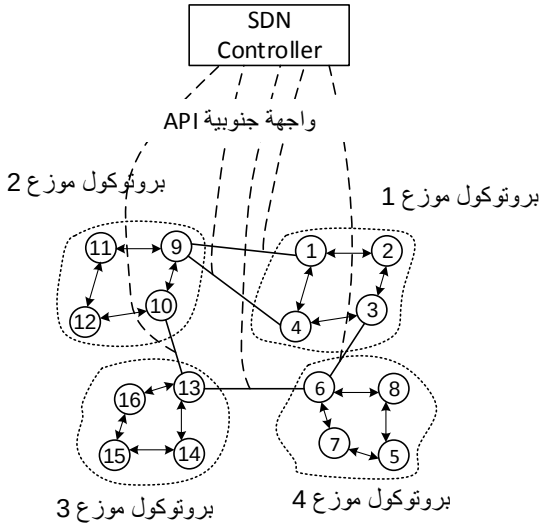

**الشكل ( 2 ): اكتشاف المحيط حين استخدام التحكم الموزع**

عمدت بعض الدراسات إلى تسريع تحديثات الشبكة وذلك من خلال جعل العقد المتنقلة تنفذ البروتوكولات الموزعة وجمع البيانات الخاصة بذلك قبل وقت طويل من حدوث الترحيل. لذلك، عند وقت الترحيل، ستكون قائمة العقد المجاورة ومسارات التوجيه المعنية معروفة بالفعل ومتاحة للاستخدام بواسطة البروتوكول الموزع. يمكن هنا تحديد العقد الموجودة في منطقة معينة والتي تحدث فيها تغييرات متكررة في الشبكة لتعمل بهذه الطريقة كما في الشكل (2). وبحكم طبيعته، سوف يتكيف البروتوكول الموزع مع هذه التغييرات بشكل أسرع مما تفعله وحدة تحكم SDN البعيدة. ومع ذلك، فإن تحديد أي جزء معين من الشبكة سيتم ترحيله ومتى، وكذلك كيفية تفاعل العقد التي تقوم بتشغيل بروتوكول موزع مع العقد المجاورة لها التي تقوم بتشغيل بروتوكول SDN بقيت كمشكلة دون حل. كما أنه وعلى الرغم من أن هذا النهج من شأنه أن يقلل التأخير، إلا أنه سيؤدي أيضًا إلى نفقات عامة كبيرة لأنه سيغمر الشبكة بفائض من رزم البيانات الضرورية لاكتشاف المسارات. وسنكون مضطرين للاختيار بين التأخير واستهلاك عرض النطاق الترددي والتي يمكن ضبطها من خلال طريقة جدولة تنفيذ التحكم الموزع. هذا إضافة هذا إضافة إلى أن التعايش بين مستويي تحكم مختلفتين في نفس الشبكة، على سبيل المثال، شبكة SDN مركزية وعنوان IP موزع، يشكل مخاطر على التوجيه الخالي من الأخطاء، مثل حلقات إعادة التوجيه [28].

**الطريقة الثانية: التحكم الهرمي القائم على التجمعات.**

هنا يتم تشغيل مستويين من التحكم، حيث يتم تشكيل شبكة الأطراف ذات البنى المتغيرة ديناميكيا إلى تجمعات Clusters، وتشغيل بروتوكول موزع لكل تجمع بشكل مستقل عن الباقي. ستقوم البروتوكولات الموزعة بإدارة توجيه حركة المرور داخل التجمعات أي داخل المستوى الأول من التسلسل الهرمي أي السماح للعقد القريبة بالعمل معًا كمجموعة وتحديد المسارات بشكل مستقل عن العقد الأخرى وذلك كما في الشكل (3). بينما ستكون وحدة تحكم SDN المركزية مسؤولة عن توجيه حركة المرور في الشبكة الكلية بين التجمعات، أي المستوى الثاني من التحكم في هذه

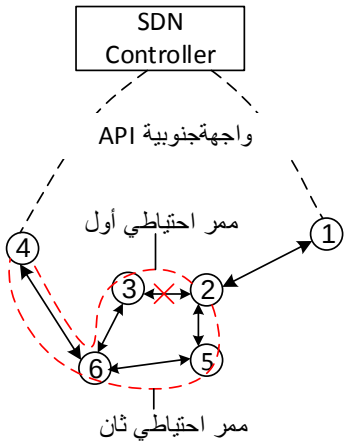
البنية المعتمدة على التسلسل الهرمي. وقد أثبتت هذه الطريقة فعاليتها في تحسين قابلية التوسع بالاستفادة من قوة بروتوكولات التوجيه الموزعة حين التجميع [29, 30]. تم تطبيق نفس المفهوم بنجاح على شبكات مزودي خدمة الإنترنت (ISP) باستخدام بروتوكولي OSPF و BGP [31]. وبالرغم من التحسن الملموس في أداء مثل هذه الشبكات حين استخدامها لهذه الطريقة، إلا أنها تواجه تحديا ينشأ في الواقع مع نمو هذه الشبكات، حيث أنها تصدم بواقع يتعلق بزيادة الحجم واختلاف الملكية الإدارية وما ينشأ عنه من تعدد الأنظمة المستقلة والمختلفة في مثل هذه الشبكات. حيث تقوم كل مجموعة بتشغيل البروتوكول الموزع الخاص بها والذي يكون مسؤولاً عن توجيه حركة المرور داخل المجموعة، أو إلى العقد الحدودية للمجموعات المجاورة. ومن البديهي أنه كلما زادت أحجام المجموعة، زادت إمكانية معالجة تغييرات الشبكة محليًا بواسطة البروتوكولات الموزعة. ويزيد من ذلك أنه لا يمكن لوحدة التحكم المركزية في SDN التأثير إلا على توجيه حركة المرور عبر مجموعات متعددة. وسيكون علينا المقايضة هنا بين مقايضة بين القدرة على التحكم والمتانة. حيث لا بد من تحديد عدد وشكل المجموعات قبل حدوث تغييرات الشبكة. وسيكون من المهم تحديد عدد المجموعات الجزئية في الشبكة وما هو حجمها وكم مرة يجب الانتقال وتحت أي ظروف يجب تحديث حل التجميع وهذه من المسائل التي لم تجد إجابة في مثل هذه الأبحاث.




**الشكل (3): التحكم باستخدام التجمعات**

**الطريقة الثالثة: توزيع قواعد SDN الاحتياطية.**

في هذه الطريقة، يتم بشكل مسبق توزيع نسخة من قواعد إعادة توجيه SDN الاحتياطية على العقد المتنقلة لتحديد كيفية تغيير سلوك إعادة التوجيه إذا تغيرت ظروف الشبكة كما في الشكل (4). يمكن للعقدة المتنقلة استخدام منطق التحكم المحلي الخاص بها لتقرر اتباع القاعدة الاحتياطية بدلا من القواعد الأساسية من خلال مراقبتها لظروف الشبكة. وهنا يتم السماح للعقدة بالتواصل أيضًا مع العقد الأخرى لمزامنة رؤيتها للشبكة وتنسيق قراراتها معها [32]. يتمثل التحدي في تحقيق هذا المخطط في أن موارد التخزين وعرض النطاق الترددي وإمكانات الحوسبة للعقد المتنقلة تكون محدودة عادةً، وبالتالي قد لا يكون من الممكن دعم جميع سيناريوهات فشل الشبكة المحتملة. تتطلب جميع الطرق المذكورة أعلاه منا تخفيف مفهوم SDN الرئيسي لعقد مستوى البيانات "الغبية" تمامًا والتي تتبع تعليمات وحدة التحكم فقط. وبدلاً من ذلك، نحتاج إلى دفع مستوى معين من منطق التحكم إلى العقد المتنقلة.




**الشكل (4): توزيع قواعد التحكم الاحتياطية**

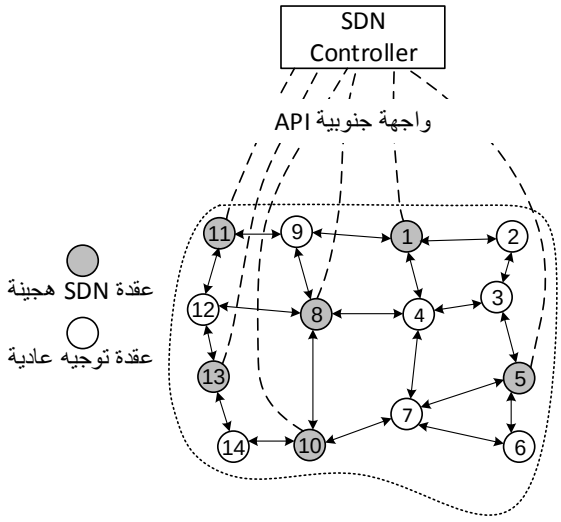
مع تزويد العقد بهذه الإمكانية، يمكن للعقد المتنقلة أن تقرر تشغيل البروتوكولات الموزعة بشكل مستقل، أو بالتنسيق مع وحدة تحكم SDN المركزية. كما يمكن للعقدة أيضًا تخزين قواعد إعادة توجيه النسخ الاحتياطي وتنشيطها ديناميكيًا بمعزل عن التعليمات الآتية لوحدة التحكم وذلك استجابةً للتغيرات السريعة في الشبكة.

لقد تم في [32] اعتماد هذه الطريقة الهجينة في الشبكات السلكية، لكن المشكلة تصبح أكثر صعوبة في الشبكات اللاسلكية المتغيرة البنية بشكل ديناميكي. تقوم وحدة تحكم SDN في الشكل (4) بشكل استباقي بحساب وتخزين قاعدة إعادة توجيه النسخ الاحتياطي في العقدة 1 لتقديم المشورة حول كيفية التغلب على فشل الارتباط بالعقدة 2. في الواقع، تدعم امتدادات OpenFlow التي تم تطويرها مؤخرًا مثل هذه الوظائف. على وجه التحديد، يسمح OpenState [33] لعقد مستوى البيانات بالاحتفاظ بمعلومات حول حالة روابط الشبكة ومقارنة الحزم للحصول على القرار الصحيح.

من سيئات هذه الطريقة أننا بحاجة إلى التأكيد على أن عدد حالات فشل الارتباط المحتملة ومسارات التوجيه الاحتياطية يتزايد بشكل كبير مع حجم الشبكة. ولذلك، قد نحتاج إلى تخزين عدد كبير جدًا من قواعد النسخ الاحتياطي لدعم الشبكة في كافة حالات الفشل. وفي الوقت نفسه، يكون حجم ذاكرة العقد المتنقلة محدودًا، وبالتالي قد لا يكون كافيًا لتخزين جميع القواعد [34].

**الطريقة الرابعة: تخصيص عدد من العقد الطرفية لتعمل كعقد هجينة أي تجمع ما بين إمكانات التوجيه وفق قواعد الـ SDN وتخصيص عدد آخر للعمل بالشكل التقليدي بشكل مسبق.**

تعتمد هذه الطريقة على دراسة مسبقة لواقع الشبكة ومدى تغير بنيتها ومن ثم تخصيص العقد الهجينة لتعمل إما كعقد SDN وإما كعقد توجيه تقليدية وتختلف نسبة كل منها في الشبكة حسب التطبيق والتوزيع وتوفر الإمكانات [35] كما في الشكل (5). ويتم تخصيص وظائف العقد الهجينة مركزيا حسب حالة الشبكة وتوافر الاتصال بين العقد. وعلى الرغم من تفوق هذه الطريقة على سابقاتها من حيث تقليل حالات الانقطاع ومن حيث التأخير الزمني إلا أنها تعاني من إمكانية انقطاع الاتصال بين العقد الهجينة والمتحكم المركزي بسبب التغير الدائم لموقع هذه العقد مما يؤثر على وظيفة هذه العقد في ربط أطراف الشبكة وانقطاع التواصل مع بعضها بسبب ذلك.



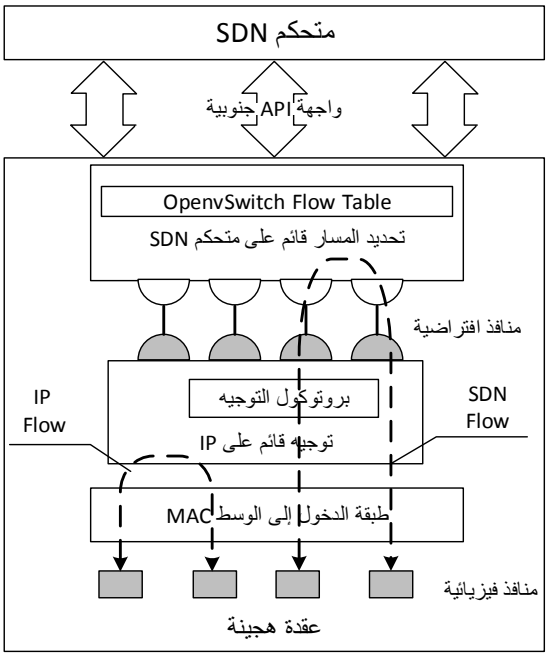

**الشكل (5): الجمع بين العقد الهجينة والعقد العادية**

## 5- الطريقة المقترحة:

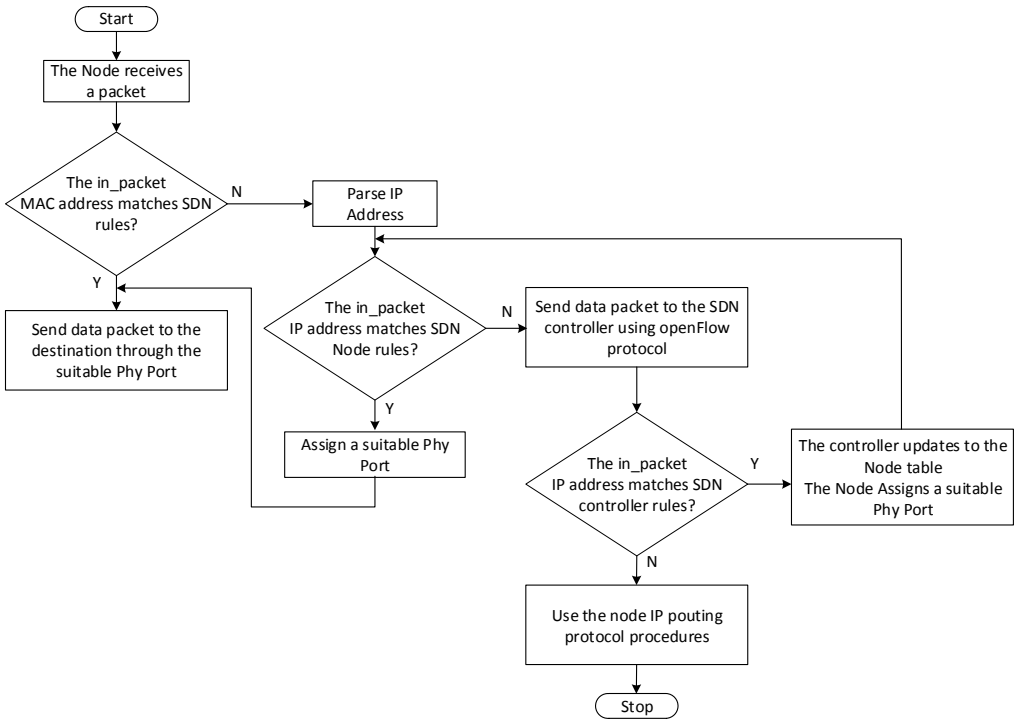
تعتمد الطريقة المقترحة على الإمكانات الكبيرة المتوافرة في الأجهزة المستخدمة القابلة للحمل والتنقل كالهواتف الذكية سواء من حيث حجم الذواكر أو قدرة المعالجات أو القدرة التخزينية. إضافة إلى معدلات الارسال العالية التي توفرها. وبدلا من تخصيص عقد هجينة وعقد تقليدية وزيادة عدد إحداها على الأخرى بشكل مسبق، حسب التطبيقات والحالة والتوزع، فإننا نقترح استخدام أجهزة المستخدمين بإمكاناتها كعقد هجينة قادرة على الانتقال في عملها حين انقطاع الاتصال مع المتحكم إلى عقد تقليدية والعودة إلى التحكم المركزي حين توفر الاتصال معه، وذلك إضافة إلى عملها كطرفية للدخول إلى خدمات الشبكة أو توفيرها.

في مثل هذه الحالة سيكون بالإمكان للطرفية التي تلعب دور العقدة بين مستخدم قريب وبين الشبكة المركزية أن تغير وظيفتها بناء على الموضع والحالة وتوافر الاتصال، وذلك دون انتظار تخصيص الوظيفة بشكل مركزي. وهذا يسمح بتقليل زمن التأخير في نقل الرسائل على مستوى التحكم وعلى مستوى البيانات.

تمتلك العقدة الهجينة إمكانية استخدام أحد جدولين، جدول لتحديد التدفقات المرتبطة بعملها كعقدة SDN وجدول لتحديد القفزة التالية بناء على بروتوكول التوجيه المستخدم كما في الشكل (6) الذي يبين بنية العقدة الهجينة في الطريقة المقترحة. حيث يتم استخدام الجدول الأول لإدخالات إعادة توجيه OpenFlow ويستخدم الثاني لإدخالات إعادة التوجيه المعتمدة على البروتوكولات التقليدية IP. تقوم كل عقدة هجينة بإعادة توجيه رسائل OpenFlow باستخدام البرنامج OpenVSwitch [36]. يتضمن أيضًا برنامج إعادة توجيه قائم على IP يقوم بتشغيل بروتوكول توجيه OLSR القياسي [37]. يعمل OpenVSwitch على ربط OpenFlow وبروتوكولات التوجيه القياسية باستخدام واجهات الشبكة الافتراضية لاستغلال قدرة شبكات IP على توجيه الحزم باستخدام أقصر مسار.




**الشكل (6): بنية العقدة الهجينة في الطريقة المقترحة**




**الشكل (7): مخطط تحديد الخطوة التالية للتعامل مع الرزمة الأولى في التدفق الجديد**

عندما تتعامل الطرفية التي تعمل كعقدة هجينة أو أي عقدة هجينة أخرى مع تدفق جديد تقوم بمعالجة الرزمة الأولى لتحديد الخطوة التالية التي سيتم إعادة توجيهها إليها، كما هو موضح في الشكل(7).

**6- اختبار الطريقة المقترحة**

تم الاعتماد على برنامج Mininet-WiFi [38] لاختبار هذا المقترح ومقارنته بالطرق الأخرى السابقة جرى نشر عدد متغير من العقد على مساحات متغيرة (20 (200m*200m), 40, 60 (300m*300), 80,100 (500m*500m)). وبعد ذلك نفذت المحاكاة لإرسال رزم UDP بين الطرفيات القابلة للتحرك لمدة 100 ثانية بمعدل ثابت وفقا للجدول (1). وتم في كل مرة أخذ قيم البارامترات المحددة من أجل 10 قياسات مختلفة وحساب القيمة المتوسطة لها من أجل كل توزع. وهذه البارامترات هي: متوسط إنتاجية UDP ، ومتوسط التأخير من طرف إلى طرف، ومتوسط نسبة إسقاط الحزمة، ومتوسط الحمل الزائد الناجم عن كل سيناريو. وقد أعدت المحاكاة لتعمل وفق البارامترات المبينة في الجدول (1)

كما تم اختيار بارامتر آخر للمقارنة وهو الزمن بين بداية انشاء الاتصال بين عقدتين طرفيتين وبين إتمام هذا الاتصال في كل مرة نحتاج فيها لإنشاء هذا الاتصال عبر عقد الشبكة سواء في أول مرة يتم فيها هذا الاتصال أو في حالة إعادة الارتباط. وقد تم حساب هذا الزمن من أجل السيناريوهات المختلفة عند عدد من العقد 100 عقدة باعتبار أن هذا العدد يعطي احتمالا أكبر لفشل الاتصال بين البنى الأخرى ذات الأعداد الأقل للعقد، انطلاقا من أن احتمال الفشل يزداد مع زيادة عدد العقد وزيادة مساحة النشر. وفي كل مرة تم أخذ قيم هذا الزمن 120 مرة ورسم مخطط التوزع التراكمي CDF لهذا الزمن من أجل كل السيناريوهات. وقد تم أخذ هذا العدد من المرات كي يعطي مخطط CDF تصورا مفيدا لقيم هذا الزمن.

**الجدول (1): بارامترات المحاكاة المستخدمة.**

| المحاكي | Mininet-WiFi |
|---|---|
| بروتوكول التوجيه | OLSR |
| زمن المحاكاة | 100 S |
| الدخول اللاسلكي | WiFi 802.11n |
| عدد العقد ومساحة النشر | 20 (200m*200m), 40, 60 (300m*300), 80,100 (500m*500m) |
| حركة العقد | عشوائية |
| سرعة الحركة | 2 m/s ~10m/s |
| معدل النقل | 5 Mbps |
| نمط النقل | Constant Bit Rate (CBR) UDP |
| حجم الرزمة | 1024 Bytes |
| معدل ارسال رسائل التعارف "Hello" | Every 2 S |
| معدل ارسال رسائل التحكم من العقدة | Every 3 S |
| زمن Timeout للمسارات غير المستعملة | 10 s |

تم استخدام بروتوكول OLSR وقد كان من الممكن استخدام بروتوكول آخر مثل DSR, AODV أوDSDV ولكن تم استخدام هذا البروتوكول لكونه يناسب بشكل أفضل من غيره التغير الكبير في الحركية [39]. كما جرى إعداد الشبكة

لتعمل وفق سيناريوهات تحاكي الطرق الموضحة أعلاه بما فيها الطريقة المقترحة، إضافة إلى تطبيق الـ SDN التقليدية، وهذه السيناريوهات هي:

**السيناريو الأول:**

يتم تنفيذ هذا السيناريو لحساب بارامترات المقارنة المعتمدة وذلك في حال استخدام شبكة SDN تقليدية ذات تحكم مركزي غير هجين. وسيتم اللجوء إلى نتائج هذا السيناريو لمقارنة أداء جميع الطرق الأخرى المعتمدة على التحكم الهجين بنتائج هذا السيناريو ومعرفة ما يقدمه كل سيناريو من تحسين على كل من هذه البارامترات.

**السيناريو الثاني**

يختبر هذا السيناريو مدى التحسين الحاصل عند استخدام التحكم المركزي لشبكة SDN أساسا والانتقال إلى الديناميكي إلى بروتوكول موزع في حال فشل اتصال العقد بالمتحكم الرئيس. أي أنه يختبر مدى التحسن في أداء الشبكة وفقا للبارامترات المعتمدة من خلال تطبيق السيناريو الثاني.

**السيناريو الثالث**

يعتمد على اتباع التحكم الهرمي القائم على التجمعات، أي على وجود مستويين من التحكم، تحكم مركزي أساسي حيث تتم تهيئة وحدة التحكم المركزية لتوجيه حركة المرور بين التجمعات التي تشكل المستوى الثاني من البنية الهرمية. يعمل المستوى الثاني أساسا باستخدام بروتوكول OLSR القياسي، وقد تم اللجوء إلى نفس النهج وطريقة المحاكاة المعتمدة في [29, 30] . مع مراعاة توزع العقد والطرفيات المستخدم في بقية السيناريوهات المختلفة من أجل الحصول على نتائج مقارنة ذات دلالة مفيدة.

**السيناريو الرابع.**

يقوم على توزيع قواعد SDN الاحتياطية في العقد الطرفية. وهذا النهج هو المعتمد في [32,34] ، وقد تم استخدام ما تم استخدامه في هذه الأعمال مع مراعاة استخدام نفس حجم وتوزع عقد الشبكة المستخدمان في السيناريوهات السابقة.

**السيناريو الخامس:**

حيث تم تخصيص عدد من العقد الطرفية بشكل مسبق وثابت لتعمل كعقد هجينة أي تجمع ما بين إمكانات التوجيه وفق قواعد الـ SDN، وتخصيص عدد آخر للعمل بالشكل التقليدي بشكل مسبق أيضا. وقد تم في هذا السيناريو تخصيص 50% من العقد لتعمل كعقد هجينة والباقي لتعمل كعقد تعتمد التوجيه التقليدي، وذلك لأن هذا الخيار أعطى في [35] أفضل النتائج مقارنة بنسب التوزيع الأخرى.

**السيناريو السادس:**

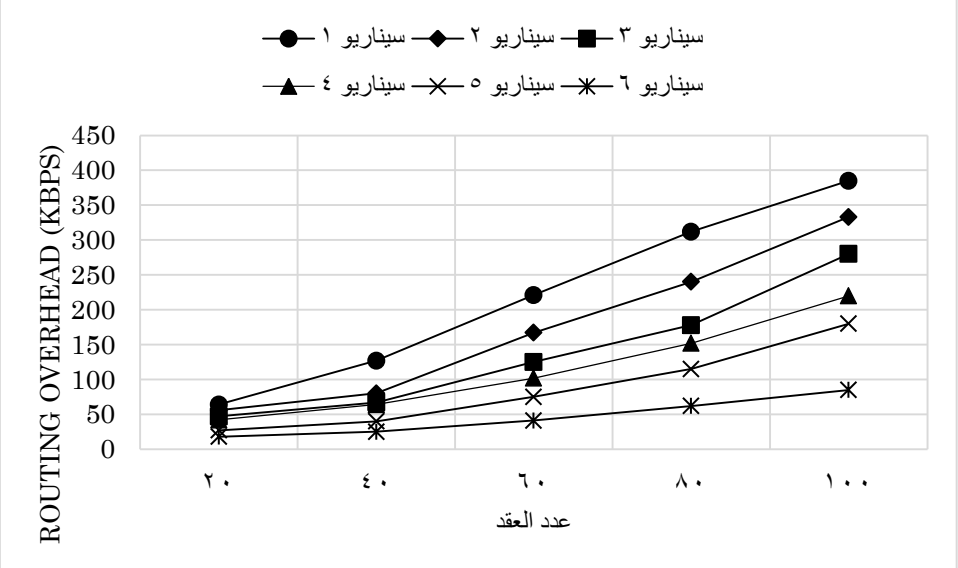
يعتمد على استخدام الطريقة المقترحة، والتي تتلخص بترك العقدة الهجينة تحدد طريقة عملها كعقد SDN أو كعقدة تقليدية حسب مدى توفر الاتصال بالمتحكم المركزي. وتم اعداد هذا السيناريو باستخدام نفس عدد العقد والتوزع المستخدم في السيناريوهات السابقة وذلك للحصول على مقارنات مفيدة لأداء هذا السيناريو مع ما سبقه من أجل بارامترات الأداء المختلفة.

## النتائج والمناقشة:

### التحسن وفقاً للحمل الإضافي الناتج عن التوجيه:

يحدث حمل التوجيه بسبب إرسال رزم تحكم إضافية لتسليم رزم البيانات بنجاح. إنها نسبة العدد الإجمالي لرزم التحكم في التوجيه المرسلة من قبل جميع العقد إلى عدد رزم البيانات المستلمة في العقدة الوجهة. وباعتبار أن حجم الرزم متساوٍ فقد أخذنا الحجم بـ Kbps.

تبين النتائج التي حصلنا عليها، والتي يبينها الشكل (8)، أن الطريقة المقترحة تقدم تحسناً ملموساً يظهر بانخفاض الحمل الإضافي الناجم عن التوجيه بنسبة 54% وذلك مقارنة مع أقرب السيناريوهات المقترحة وهو السيناريو الخامس بينما تكون نسبة التحسن أعلى بكثير مقارنة مع السيناريو الأول الذي يمثل تطبيق SDN الأساسية. وهذا الأمر يحقق وفراً إضافيا في عرض الحزمة يمكن استخدامه في نقل بيانات إضافية مما يؤثر إيجاباً على أداء الشبكة ككل. سيما مع زيادة عدد العقد وازدياد مساحة النشر

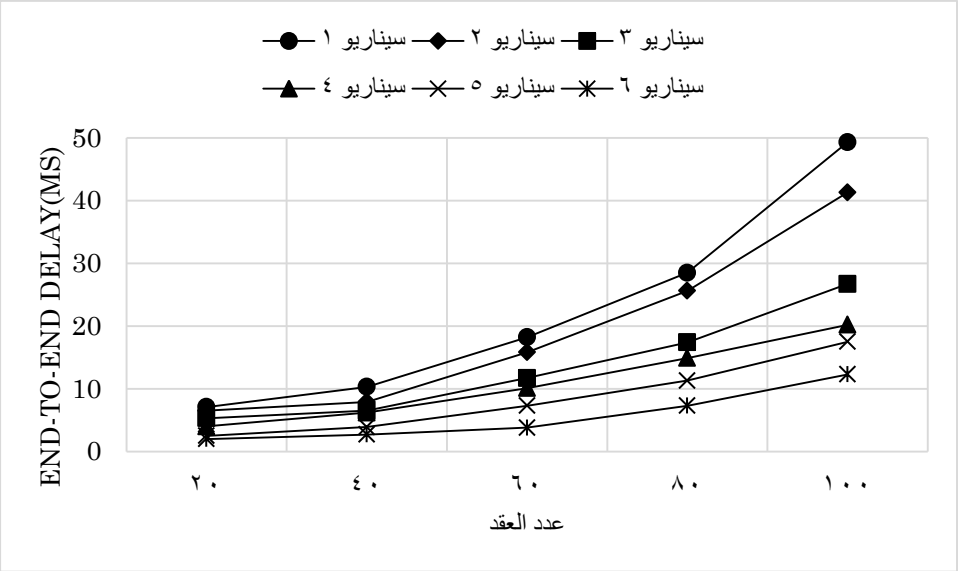



**الشكل (8): المقارنة بين الطرق المدروسة وفقاً للحمل الإضافي الناتج عن التوجيه**

### التحسن وفقا لمعيار التأخير الزمني من طرف إلى طرف:

يصف التأخير من طرف إلى طرف التأخير الحاصل عند إرسال رزمة من العقدة المصدر إلى العقدة الوجهة وعادة تعبر الرزمة عدة عقد عبر عدة قفزات. وهو يشير على وجه التحديد، إلى فرق الزمن بين الوقت الذي تمت جدولة إرسال الحزمة فيه إلى المصدر والوقت الذي يتم فيه استلام الحزمة بالكامل في الوجهة. ويتضمن التأخير من طرف إلى طرف أيضًا التأخير الناتج عن عمليات إعادة إرسال الحزمة. يعد التأخير من طرف إلى طرف مقياسًا مهمًا لجودة الخدمة للتطبيقات ذات الأهمية الزمنية، والتي يتم استخدامها من قبل الأجهزة الطرفية مثل الأتمتة الصناعية والتواصل خلال الحالات الطارئة وانترنت الأشياء.

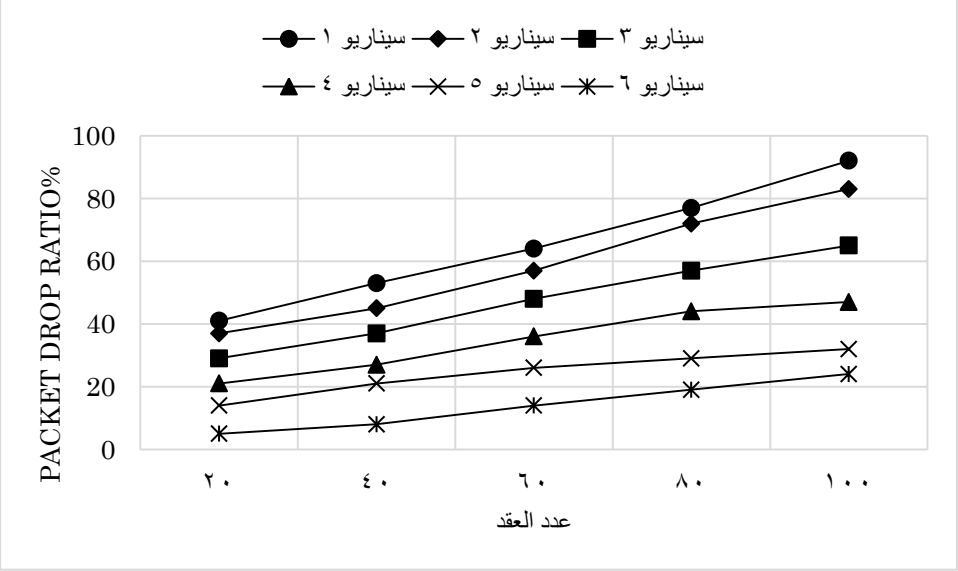
تشير النتائج التي حصلنا عليها والتي يبين الشكل (9) مخططاتها إلى أن الطريقة المقترحة تقدم تحسنا ملموسا على هذا البارامتر يظهر من انخفاض مخطط التأخير للسيناريو السادس الممثل للطريقة المقترحة بنسبة 56% عن مخطط السيناريو الأقرب إليه وأن هذا الفرق يصبح ملموساً أكثر كلما زاد عدد العقد.




**الشكل (9) : المقارنة بين الطرق المدروسة وفقاً لمعيار التأخير الزمني من طرف إلى طرف**

**التحسن وفقا لمعيار نسبة إسقاط الرزم:**

يشير اسقاط الرزمة إلى فشل الرزمة في الوصول إلى وجهتها على الشبكة. غالبًا ما يكون اسقاط الرزم نتيجة لازدحام الشبكة وينتج عادةً عن إسقاط الرزم أو تجاهلها أو تسليمها بشكل خاطئ أو التخلص منها. تعد نسبة اسقاط الرزم معيارا مهما لتقييم أداء الشبكة حيث يتناسب عكسيا مع هذا الأداء. إذا كانت نسبة اسقاط الرزم عالية، فهذا يعني أن أداء الشبكة قد انخفض. ويتم تعريفه على أنه جزء من العدد الإجمالي للحزم التي يرسلها المرسل ولكن لم يتم استلامها في الوجهة. وقد تم حسابه كنسبة لعدد الرزم غير الواصلة إلى وجهتها إلى العدد الكلي للرزم التي تم إرسالها.




**الشكل (10): : المقارنة بين الطرق المدروسة وفقاً لنسبة اسقاط الرزم**

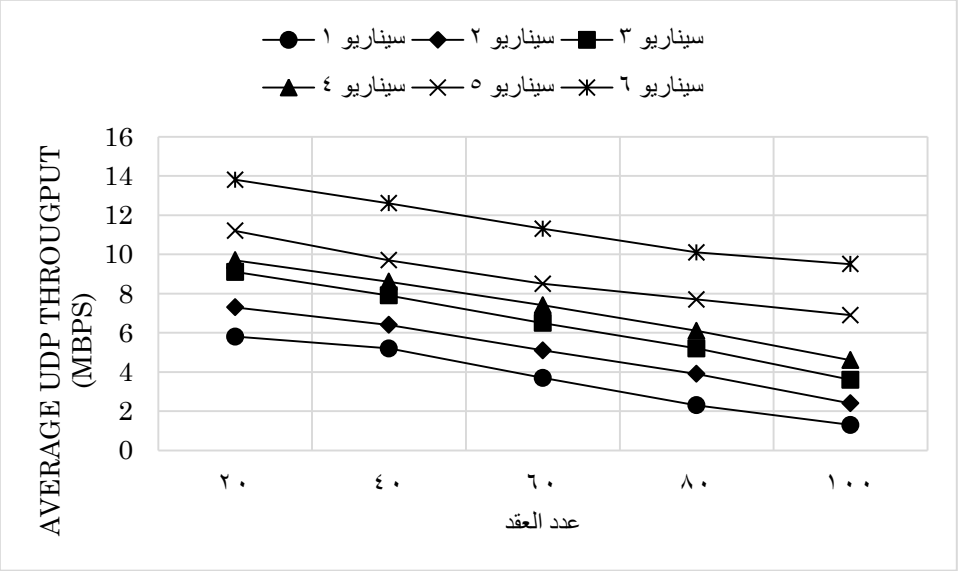
يبين الشكل (10) النتائج التي حصلنا عليها ويتضح منها مدى التحسن الذي يقدمه الاقتراح المقدم مقارنة بأقرب النتائج منه، أي بالسيناريو الخامس والذي بدوره أظهر تحسناً ملحوظا مقارنة بالسيناريوهات الأخرى. وهنا أيضا يظهر أنه كلما زاد عدد العقد أي كلما اقتربت البنية من الواقع العملي للتطبيقات المذكورة سابقاً، أي انترنت الأشياء وشبكات التحكم الصناعي الهجينة والشبكات التكتيكية العسكرية وشبكات إدارة الكوارث كلما ظهرت أفضلية الاقتراح المقدم.

**التحسن وفقا لمعيار الانتاجية:**

الإنتاجية هي المعدل الذي يمكن من خلاله نقل البيانات عبر عقد الشبكة، وتعبر عن كمية البيانات التي يتم نقلها بنجاح من جهة إلى أخرى في فترة زمنية معينة. يتم قياس الإنتاجية الشبكة عادةً بالبت في الثانية.

ويبين الشكل (11) متوسط إنتاجية UDP لكل سيناريو، استنادًا إلى عدد عقد الشبكة. تظهر النتائج بوضوح أن الاقتراح المقدم يتفوق على السيناريوهات الأخرى التي تمثل بقية الطرق المشار إليها سابقاً.

ويرتبط تحسين الأداء هذا ارتباطًا مباشرًا بالمراقبة المستمرة لبنية الشبكة وحالة العقد. تتيح المراقبة المستمرة لطوبولوجيا الشبكة إعادة الحساب السريع للمسارات الجديدة لتدفقات حركة المرور المستمرة للشبكة. وهذا يدل على أن الاقتراح المقدم يستجيب بشكل أسرع من بقية الطرق للتغيرات الهيكلية المستمرة في مثل هذه الشبكات ويضمن المسارات المثلى، من حيث عدد القفزات، في أي وقت محدد، مما يؤدي بدوره إلى تحقيق الأداء الأمثل من حيث الإنتاجية.

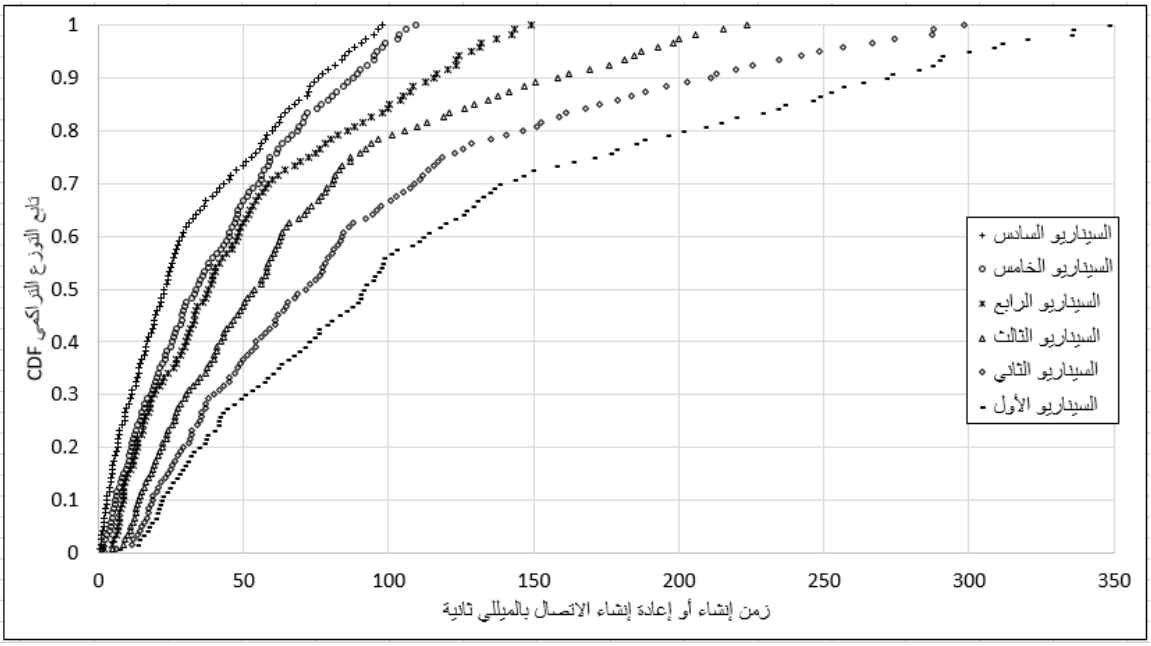



**الشكل (11): : المقارنة بين الطرق المدروسة وفقاً للإنتاجية**

**التحسن وفقا لمعيار الزمن اللازم لإنشاء الاتصال أو إعادة إنشاء الاتصال المقطوع:**

قد تكون بعض الوصلات بين العقد الطرفية ذات طبيعة لاسلكية، وغير مستقرة، وذات معدل منخفض. وحينما يحدث انقطاع في هذه الروابط فإن إعادة جمع المعطيات الاحصائية اللازمة لإعادة ربطها بالمتحكم وبالتالي بالشبكة سيكون بطيئا، وبالتالي فإن إعادة ربط العقد التي تتعرض للفصل من خلال مسار متعدد القفزات سيكتسب تأخيرا زمنيا. أي أن استراتيجية تشغيل وحدات التحكم في شبكة الأطراف يؤثر بشكل كبير على التأخير الممكن بسبب إدارة الشبكة.

وبدراسة مخطط CDF لزمن انشاء أو إعادة إنشاء الاتصال الذي تم إنشاؤه من أجل السيناريوهات كلها فإن النتائج الممثلة في مخططات الشكل (12) الذي يعبر عن التأخير الزمني في انشاء الاتصال أو إعادة إنشاءه بعد انقطاعه، تشير إلى تفوق الحل المقترح على الحلول المطروحة في الأعمال المذكورة. حيث يتفوق على السيناريو الخامس وهو أقرب الحلول بنسبة لا بأس بها، وهذا يعني أن الشبكة وفق هذا السيناريو أكثر قدرة على التعافي بعد الانقطاع أو الفشل في إقامة الاتصال أو في الاستمرار به وهذا النموذج مفيد جدا لتطبيقات الشبكات ذات البنية غير المحددة. وأن هذه الطريقة تقدم حلا أسرع بنسبة 20% تقريبا من أفضل الحلول السابقة.




**الشكل (12): المقارنة بين الطرق المدروسة وفقاً لمعيار الزمن اللازم لإنشاء الاتصال أو إعادة إنشاء الاتصال المقطوع**

## الاستنتاجات والتوصيات:

اقترح هذا البحث بنية توجيه قوية لشبكات SDN الهجينة والشبكات الشبكية اللاسلكية. الهدف الرئيسي من هذا البحث هو الحصول على طريقة أفضل لتطبيق SDN في البيئات اللاسلكية ذات البنى المتغيرة وغير المحددة مسبقا وذلك وفقا للحالة الآنية الشبكة استنادًا إلى استخدام عقد هجينة تأخذ بالاعتبار التعايش الأمثل بين تقنية SDN والتوجيه التقليدي بهدف الحصول على المرونة لتحقيق إمكانية التشغيل البيني السلس بين SDN والعقد القديمة. والتحقق من إمكانية أن تساعد بروتوكولات التوجيه التقليدية البنى القائمة على SDN في تجاوز المشكلات التي تنشأ عن استخدام SDN في الشبكات المتغيرة البنية. تسطيع العقدة الطرفية التي تلعب دور الوسيط بين مستخدم قريب وبين الشبكة المركزية أن تغير وظيفتها بناء على الموضع والحالة وتوافر الاتصال، وذلك دون انتظار تخصيص الوظيفة بشكل مركزي. وقد أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن الاقتراح المقدم يعطي تحسنا ملموسا وفقا لمعايير الأداء المختلفة بما في ذلك متوسط إنتاجية UDP، والتأخير من طرف إلى طرف، ونسبة إسقاط الحزمة، وحمل التوجيه الإضافي وزمن إنشاء الاتصال أو إعادة انشائه حين الانقطاع.

## References:


1 Zhang, Y. Research on Traffic Monitoring for Abnormal Intrusion in Campus Network under OpenFlow Network Structure. International Journal of Network Security, 26(1), 92-97. https://doi.org/10.6633/IJNS.2024-01_26(1).12.

2 Babayigit, Bilal, Banu Ulu, and Mohammed Abubaker. "Survey Studies of Software-Defined Networking: A Systematic Review and Meta-analysis." Engineering Journal 27, no. 10 (2023): 33-66.

3 Khalifa, Jamal; Safwan Kasem. 2017. Improving the Performance of the Protocol of AODV in The Networks of Used Wireless Sensors in Detecting Forest Fires. Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies, Engineering Series, Vol. 39, No. 1, P.1-17.

4 Michael Oladipo Akinsanya, Cynthia Chizoba Ekechi, & Chukwuekem David Okeke, "Theoretical underpinnings and practical implications of sd-wan technologies in telecommunications", Computer Science & IT Research Journal, Volume 5, Issue 4, April 2024.

5 M. Alkubeily, S. A. Sakulin, B. Hasan and H. M. Fardoun, "Reducing Delay for Delay-Sensitive Applications in Smart Home Networks Using Openflow Protocol," 2023 5th International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE), Moscow, Russian Federation, IEEE Xplore: 17 April ,2023. pp. 1-5, doi: 10.1109/REEPE57272.2023.10086840.

6 B. Hasan, and M. Alkubeily," Improving the Quality of Service parameters in Internet of Things Networks Using OpenFlow protocol", AL-Baath university, vol.45, 2023.

7 P. H. L. Rettore, P. Zißner, R. R. F. Lopes, J. Loevenich and P. Sevenich, "Adaptive QoS Mechanisms for Control and Data Planes of Software-Defined Tactical Networks," 2024 International Conference on Military Communication and Information Systems (ICMCIS), Koblenz, Germany, 2024, pp. 1-10, doi: 10.1109/ICMCIS61231.2024.10540703..

8 M. -H. Hung, C. -C. Teng, C. -P. Chuang, C. -S. Hsu, J. -W. Gong and M. -C. Chen, "A SDN Controller Monitoring Architecture for 5G Backhaul Networks," 2022 23rd Asia-Pacific Network Operations and Management Symposium (APNOMS), Takamatsu, Japan, 2022, pp. 1-4, doi: 10.23919/APNOMS56106.2022.9919988.

9 Wazirali, Raniyah & Ahmad, Rami & Alhiyari, Suheib. (2021). SDN-OpenFlow Topology Discovery: An Overview of Performance Issues. Applied Sciences. 11. 6999. 10.3390/app11156999.

10 Konstantinos Poularakis, Qiaofeng Qin, Kelvin Marcus, Kevin Chan (ARL), Kin Leung, Leandros Tassiulas. Hybrid SDN Control in Mobile Ad Hoc NetworksPermalink. 2019 IEEE International Conference on Smart Computing (SMARTCOMP)

11 Koulouras, Ioannis, Ilias Bobotsaris, Spiridoula V. Margariti, Eleftherios Stergiou, and Chrysostomos Stylios. 2023. "Assessment of SDN Controllers in Wireless Environment Using a Multi-Criteria Technique" Information 14, no. 9: 476. https://doi.org/10.3390/info14090476

12 T. Alam, M. Benaida, "The Role of Cloud-MANET Framework in the Internet of Things (IoT), " International Journal of Online Engineering, Vol. 14(12), pp. 97-111 -2018

13 Zhou, B., Dastjerdi, A.V., Calheiros, R.N., Srirama, S.N. and Buyya, R., "A context sensitive offloading scheme for mobile cloud computing service," 2015 IEEE 8th International Conference in Cloud Computing", pp. 869-876, 2015.
14 K. Poularakis, G. Iosifidis, G. Smaragdakis, L. Tassiulas, "One Step at a Time: Optimizing SDN Upgrades in ISP Networks", *Infocom*, 2017.
15 Khalifa, J; Jnoud, A; Hasan, Y. Merging the Level Of Controlling the Automatically Switched Optical Networks (ASON\GMPLS in the Software-defined Networking) Tuj-eng. ( OpenFlow SDN\) (Internet) 2 December, 2020. Certified 22 June.
16 X. Foukas, D. Nikaein, M.M. Kassem, M.K. Marina, K. Kontovasilis, "FlexRAN: A Flexible and Programmable Platform for Software Defined Radio Access Networks", *ACM CoNEXT*, 2016.
17 Ali, Jehad & Lee, Gyu-min & Roh, Byeong-hee & Ryu, Dong & Park, Gyudong. Software-Defined Networking Approaches for Link Failure Recovery: A Survey. Sustainability. 2020-12. 4255. 10.3390/su12104255.
18 K. Poularakis, G. Iosifidis, L. Tassiulas, "SDN-enabled Tactical Ad Hoc Networks: Extending Programmable Control to the Edge", *IEEE Communications Magazine*, 2018.
19 I. Zacarias, L.P. Gaspary, A. Kohl, R.Q.A. Fernandes, J.M. Stocchero, E.P. de Freitas, "Combining Software-Defined and Delay-Tolerant Approaches in Last-Mile Tactical Edge Networking", *IEEE Communications Magazine*, 2017.
20 K. Poularakis, Q. Qin, E. Nahum, M. Rio, L. Tassiulas, "Bringing SDN to the Mobile Edge", *DAIS Workshop*, 2017.
21 H.C. Yu, G. Quer, R.R. Rao, "Wireless SDN Mobile Ad Hoc Network: from Theory to Practice", *in Proc. IEEE ICC*, 2017.
22 Huang, G., Ullah, I., Huang, H. *et al.* Predictive mobility and cost-aware flow placement in SDN-based IoT networks: a Q-learning approach. *J Cloud Comp* **13**, 26 (2024). https://doi.org/10.1186/s13677-024-00589-w.
23 J. Loo, J. Lloret, J. H. Ortiz, "Mobile Ad Hoc Networks: Current Status and Future Trends", *Boca Raton, FL, USA: CRC*, 2011.
24 Abbott, R., Albergo, M.S., Botev, A. et al. Aspects of scaling and scalability for flow-based sampling of lattice QCD. Eur. Phys. J. A 59, 257 (2023). https://doi.org/10.1140/epja/s10050-023-01154-w.
25 Sharma, Aakanksha, Venki Balasubramanian, and Joarder Kamruzzaman. 2023. "A Novel Dynamic Software-Defined Networking Approach to Neutralize Traffic Burst" Computers 12, no. 7: 131. https://doi.org/10.3390/computers12070131.
26 K. Zheng, L. Wang, B. Yang, Y. Sun, S. Uhlig, "LazyCtrl: A scalable Hybrid Network Control Plane Design for Cloud Data Centers", *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, vol. 28, no. 1, pp. 115-127*, 2017.
27 S. Vissicchio, L. Cittadini, O. Bonaventure, G. G. Xie, L. Vanberer, "On the Co-Existence of Distributed and Centralized Routing ControlPlanes", *in Proc. IEEE Infocom*, 2015.
28 Amin, Rashid & Shah, Nadir & Mehmood, Waqar. Enforcing optimal ACL policies using K-partite graph in hybrid SDN. Electronics. (2019) 8. 604. 10.3390/electronics8060604.
29 S. Banerjee, S. Khuller, "A Clustering Scheme for Hierarchical Control in multi-hop Wireless Networks", *in Proc. IEEE Infocom*, 2001.
30 X. Niu, Z. Tao, G. Wu, C. Huang, L. Cui, "Hybrid Cluster Routing: An Efficient Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks", *in Proc. ICC*, 2006.

31 B. Quoitin, C. Pelsser, L. Swinnen, O. Bonaventure, S. Uhlig, "Interdomain Traffic Engineering with BGP", *IEEE Communications Magazine, vol. 41, no. 5, pp. 122-128*, 2003.

32 A. Capone, C. Cascone, A.Q.T. Nguyen, B. Sansò, "Detour Planning for Fast and Reliable Failure Recovery in SDN with OpenState", *in Proc. DRCN*, 2015.

33 G. Bianchi, M. Bonola, A. Capone, and C. Cascone, "OpenState: Programming Platform-independent Stateful OpenFlow Applications Inside the Switch", *ACM Sigcomm Computer Communication Review, vol. 44, no. 2, pp. 44-51*, 2014.

34 X.N. Nguyen, D. Saucez, C. Barakat, T. Turletti, "Rules Placement Problem in OpenFlow Networks: A Survey", *IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 18, no. 2, pp. 1273-1286*, 2016.

35 Mukhtiar Bano, Amir Qayyum, Rao Naveed Bin Rais, Syed Sherjeel A. Gilani. "Soft-Mesh: A Robust Routing Architecture for Hybrid SDN and Wireless Mesh Networks.". IEEE Access 9, 87715-87730.

36 https://www.openvswitch.org/

37 S. Rabia, S. I. I, G. Lilia and K. Benjamin, "SDMANET: Enhancing MANETs with Hybrid Protocols through SDN Integration," 2024 International Conference on Artificial Intelligence, Computer, Data Sciences and Applications (ACDSA), Victoria, Seychelles, 2024, pp. 1-8, doi: 10.1109/ACDSA59508.2024.10467333.

38 Fontes, Ramon & Afzal, Samira & Brito, Samuel & Santos, Mateus & Esteve Rothenberg, Christian. (2015). Mininet-WiFi: Emulating software-defined wireless networks. 10.1109/CNSM.2015.7367387.

39 Mohapatra, Sampad & Kanungo, Priyadarshi. Performance analysis of AODV, DSR, OLSR and DSDV routing protocols using NS2 simulator. Procedia Engineering. 30. 69-76. 10.1016/j.proeng.2012.01.835.