Journal of Insights in Basic and Applied Sciences
مجلة رؤى في العلوم الأساسية والتطبيقية
ISSN: 3106-1737
Volume 2, Issue 3, 2026, Pages: 549-568
Journal homepage: https://jibas.com.ly/index.php/jibas/en

Performance Evaluation of the Rapid Spanning Tree Protocol (RSTP) Versus the Traditional Spanning Tree Protocol (STP) for Loop Prevention, Convergence Time Reduction, and Network Stability in Local Area Networks

Aziza Lamien Helal *
Department of Computer Science, Faculty of Science, University of Tobruk, Tobruk, Libya

تحليل كفاءة البرتوكول السريع Rapid spanning tree (RSTP) في الشبكات المحلية بالمقارنة مع البروتوكول التقليدي Spanning tree protocol (STP) في منع الحلقات التكرارية وتقليل الزمن المستغرق في إيجاد المسار البديل واستقرار الشبكة.

اعزيزة لامين هلال*
قسم علوم الحاسب، كلية العلوم، جامعة طبرق، طبرق، ليبيا

*Corresponding author: aziza.lamien@tu.edu.ly

Received: June 26, 2026	Accepted: July 25, 2026	Published: August 22, 2026

Copyright: © 2026 by the authors. This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Abstract

The purpose of this study is to compare the performance, convergence time, network stability, and loop problem-solving capabilities of the Spanning Tree Protocol (STP) with the Rapid Spanning Tree Protocol (RSTP) both theoretically and practically. The importance of this research arises from the necessity to implement effective protocols that guaranty uninterrupted connectivity and reduce network outages in contemporary networks, especially within educational settings that depend on redundant pathways to sustain service availability. The research utilized a descriptive-analytical methodology for the theoretical section and an experimental methodology for the practical section. A simulation network was constructed via Cisco Packet Tracer, comprising several switches linked by redundant connections to establish a looping network setting for assessing the efficacy of both protocols. Multiple failure scenarios, such as the severance of a principal connection, were executed to assess the network's recovery duration and evaluate its behavior in each circumstance. The results revealed that although STP is effective in preventing network loops, it suffers from a relatively long convergence time, ranging from 30 to 50 seconds, which results in temporary network disruption. In contrast, RSTP demonstrated superior performance by restoring network connectivity within only 1 to 5 seconds through advanced mechanisms that enable rapid switching to backup paths. Furthermore, the findings showed that RSTP significantly improves network stability and minimizes the impact of failures on end users, making it more suitable for networks that require high reliability and stable performance. Based on these findings, the study recommends adopting RSTP instead of STP in the design of modern networks, particularly in educational institutions and environments where continuous service availability is essential.

Keywords: Local Area Networks, Spanning Tree Protocol, Rapid Spanning Tree Protocol , Convergence time , Loop, Cisco Packet Tracer.

الملخص
تهدف هذه الدراسة إلى إجراء مقارنة نظرية وعملية بين بروتوكول الشجرة الممتدة (Spanning Tree Protocol – STP) وبروتوكول السريع للشجرة الممتدة (Rapid Spanning Tree Protocol – RSTP)، وذلك من حيث الأداء ، وزمن التقارب ، واستقرار الشبكة ، والقدرة على معالجة مشكلة الحلقات (Loops) في الشبكات المحلية (LAN). وتنبع أهمية هذه الدراسة من الحاجة إلى استخدام بروتوكولات فعالة تضمن استمرارية الاتصال وتقليل زمن الانقطاع في الشبكات الحديثة ، خاصة في البيئات التعليمية التي تعتمد على وجود مسارات احتياطية. اعتمدت الدراسة على المنهج الوصفي التحليلي في الجانب النظري ، بالإضافة إلى المنهج التجريبي في الجانب العملي، حيث تم تصميم شبكة محاكاة باستخدام برنامج Cisco Packet Tracer تتكون من عدة محولات وروابط متعددة بهدف إنشاء بيئة تحتوي على حلقات لاختبار أداء البروتوكولين. وتم تنفيذ مجموعة من سيناريوهات الأعطال ، مثل انقطاع أحد الروابط الرئيسية ، مع قياس زمن استعادة الاتصال وتحليل سلوك الشبكة في كل حالة. أظهرت النتائج أن بروتوكول STP، على الرغم من فعاليته في منع الحلقات ، يعاني من بطء واضح في زمن التقارب ، حيث يتراوح بين 30 إلى 50 ثانية ، مما يؤدي إلى انقطاع مؤقت في الاتصال. في المقابل ، أثبت بروتوكول RSTP كفاءة أعلى، حيث تمكن من استعادة الاتصال خلال فترة زمنية قصيرة تتراوح بين 1 إلى 5 ثوانٍ فقط ، بفضل استخدامه لآليات متقدمة تتيح التحول السريع إلى المسارات الاحتياطية. كما بينت الدراسة أن استخدام RSTP يساهم في تحسين استقرار الشبكة وتقليل تأثير الأعطال على المستخدمين ، مما يجعله أكثر ملائمة للشبكات التي تتطلب موثوقية عالية وأداءً مستقرًا. وبناءً على ذلك ، توصي الدراسة باعتماد بروتوكول RSTP في تصميم الشبكات الحديثة بدلاً من STP، خاصة في المؤسسات التعليمية والبيئات التي تعتمد على استمرارية الخدمة.

الكلمات المفتاحية :الشبكات المحلية، بروتوكول الشجرة STP، بروتوكول الشجرة السريع RSTP، زمن التقارب ، الحلقات الشبكية، Cisco Packet Tracer.

1-المقدمة

تُعتبر الشبكات من الأسس الحيوية في عالم التكنولوجيا الحديثة، حيث تمثل مجموعة من الأنظمة والتقنيات التي تسمح بتبادل المعلومات والموارد بين الأجهزة المختلفة بطريقة منظمة وفعّالة. وقد أصبحت الشبكات عنصرًا أساسيًا في مختلف المجالات مثل التعليم، والاتصالات، والصناعة، والخدمات، والإدارة. يمكن تعريف الشبكة على أنها مجموعة من الأجهزة مثل الحواسيب والطابعات والخوادم وأجهزة التوجيه (Routers) والمحولات (Switches) تكون متصلة مع بعضها البعض عبر وسائط اتصال مختلفة، بحيث يمكن لهذه الأجهزة تبادل البيانات والمعلومات ومشاركة الموارد فيما بينها. قد تكون الشبكة ضمن نطاق جغرافي محدود مثل شبكة محلية داخل مؤسسة أو منزل ، وتسمى شبكة محلية (LAN – Local Area Network) ، أو قد تمتد لمسافات طويلة لتربط بين مدن أو دول مختلفة ، وتسمى شبكة واسعة (WAN – Wide Area Network)، مثل شبكة الإنترنت.

1.2 أنواع الشبكات

يمكن تصنيف شبكات الحاسوب حسب النطاق الجغرافي الذي تغطيه إلى عدة أنواع رئيسية ، وهي:

الشبكة المحلية (LAN Local Area Network)
وهي شبكة تغطي مساحة جغرافية صغيرة مثل منزل أو مكتب أو مدرسة أو جامعة ، وتتميز بسرعة نقل بيانات عالية وتكلفة منخفضة نسبيًا.

الشبكة الواسعة (WAN – Wide Area Network)
وهي شبكة تغطي مساحة جغرافية كبيرة قد تشمل مدنًا أو دولًا أو قارات ، وتُعد شبكة الإنترنت أكبر مثال على هذا النوع من الشبكات.

الشبكة الشخصية (PAN – Personal Area Network)
وهي شبكة صغيرة جدًا تُستخدم لربط الأجهزة الشخصية مثل الهاتف المحمول والحاسوب المحمول والسماعات الذكية ضمن نطاق قصير.

شبكة المدن ((MAN – Metropolitan Area Network
وهي شبكة تغطي مساحة جغرافية أكبر من الشبكة المحلية وأصغر من الشبكة الواسعة ، مثل شبكة تربط عدة مؤسسات داخل مدينة واحدة.

1.3 مكونات الشبكة وإعداداتها

تتكون شبكة الحاسوب من عدة عناصر أساسية تعمل معًا لضمان نقل البيانات بشكل صحيح وآمن، ومن أهم هذه المكونات:

الأجهزة (Hardware)

تشمل جميع المعدات المستخدمة في الشبكة مثل:

- أجهزة الحاسوب
- الخوادم (Servers)
- أجهزة التوجيه (Routers)
- المحولات (Switches)
- الكابلات (Cables) في حالة الشبكات السلكية
- نقاط الوصول اللاسلكية (Access Points)

البروتوكولات (Protocols)

وهي مجموعة من القواعد التي تحدد كيفية إرسال واستقبال البيانات عبر الشبكة. ومن أشهر هذه البروتوكولات:

بروتوكول الإنترنت (IP – Internet Protocol)

بروتوكول التحكم في النقل (TCP – Transmission Control Protocol)

الأمن (Security)

يُعد أمن الشبكات من العناصر المهمة لحماية البيانات من الوصول غير المصرح به ، ويشمل ذلك:

الجدران النارية (Firewalls)، التشفير (Encryption) , وأنظمة كشف الاختراق

1.4فوائد الشبكات

توفر شبكات الحاسوب العديد من الفوائد التي جعلتها ضرورية في جميع المؤسسات ، ومن أهم هذه الفوائد:

مشاركة الموارد : تسمح الشبكات بمشاركة الملفات والطابعات والبرامج بين المستخدمين.

تحسين الاتصال : تسهل الشبكات التواصل بين الأفراد من خلال البريد الإلكتروني وتطبيقات المراسلة ومؤتمرات الفيديو.

الإدارة المركزية : تتيح إمكانية إدارة الأجهزة والبرامج من مكان واحد ، مما يسهل عملية الصيانة والدعم الفني.

الوصول عن بُعد : تمكن المستخدمين من الوصول إلى البيانات والأنظمة من أي مكان عبر الإنترنت.

1.5 التحديات التي تواجه الشبكات

رغم الفوائد الكبيرة للشبكات، إلا أنها تواجه بعض التحديات ، من أهمها:

الأمن: مثل الفيروسات والبرمجيات الخبيثة والهجمات الإلكترونية.

الاعتمادية: الحاجة إلى استمرار عمل الشبكة بدون انقطاع.

التكامل: صعوبة توافق الأجهزة والبرامج المختلفة داخل الشبكة.

1.6 مشكلة البحث

تتمثل مشكلة البحث في أن البروتوكول التقليدي STP رغم فعاليته في منع الحلقات التكرارية ، إلا أنه بطيء في معالجة التغييرات داخل الشبكة ، مما يؤدي إلى تأخير في إعادة الاتصال بين الأجهزة. هذا التأخير غير مقبول في بيئات العمل التي تتطلب استمرارية عالية للخدمة. لذلك يسعى هذا البحث إلى دراسة مقارنة بين STP وRSTP من حيث الأداء ، وزمن الاستقرار وكفاءة العمل وذلك لمعرفة مدى التحسين الذي يقدمه البروتوكول السريع (RSTP) في حل المشكلات التي يعاني منها STP.

1.7 أهداف البحث

يهدف هذا البحث إلى:

1. توضيح آلية عمل كل من بروتوكول STP وRSTP في الشبكات المحلية.
2. بيان الفروقات التقنية بين البروتوكولين من حيث الأداء وسرعة الاستقرار.
3. تحليل كيفية قيام RSTP بحل مشكلات البطء والتأخير الموجودة في STP.
4. تنفيذ تجربة عملية باستخدام برامج المحاكاة مثل Cisco Packet Tracer لإثبات الفروقات من خلال القياس الفعلي.
5. تقديم توصيات باستخدام البروتوكول الأنسب في بيئات الشبكات الحديثة.

1.8 أهمية البحث

تكمن أهمية هذا البحث في أنه يساعد طلاب ومهندسي الشبكات على فهم دور البروتوكولات في تحقيق استقرار الشبكات ومنع حدوث الحلقات الشبكية ، كما أنه يوضح التحسينات الكبيرة التي قدّمها RSTP مقارنة بـ STP.
ويُعد هذا الموضوع من المواضيع الأساسية في مجال تصميم وإدارة الشبكات المحلية (LAN Design and Management)، كما أنه يُسهم في رفع كفاءة الشبكات المستخدمة في المؤسسات التعليمية والعملية على حد سواء.

1.9 حدود البحث

يركز هذا البحث على المقارنة بين بروتوكولي STP وRSTP فقط ضمن بيئة الشبكات المحليةLANs)) باستخدام المفاتيح (Switches) كأجهزة أساسية لطبقة الربط (Data Link Layer) ، دون التطرق إلى البروتوكولات الأحدث مثل MSTP (Multiple Spanning Tree Protocol) بروتوكول الشجرة المتعدد.

2. Previous Studies الدراسات السابقة

مع التقدم المذهل في شبكات الحاسوب وزيادة الاعتماد عليها في المؤسسات التعليمية والتجارية والخدمية ، أصبحت كفاءة واستقرار الشبكات من أهم العوامل التي تضمن استمرار العمل دون انقطاع. وتُعد شبكات الإيثرنت (Ethernet Networks) من أكثر أنواع الشبكات المحلية استخدامًا حول العالم ، لما تتميز به من سهولة في التركيب وانخفاض في التكلفة وسرعة في الأداء. إلا أن التوسع في ربط المحولات (Switches) ضمن الشبكة يؤدي أحيانًا إلى ظهور مشاكل في التكرار(Redundancy) ينتج عنها حلقات شبكية ((Loops تسبب تعطّل الشبكة وازدحام البيانات ، وقد تؤدي إلى توقف الخدمة بالكامل. ولحل هذه المشكلة، تم تطوير بروتوكول الشجرة الممتدةSpanning Tree Protocol - STP)) الذي يعمل على منع تكوين الحلقات من خلال تحديد المسارات الفعّالة داخل الشبكة وتعطيل المسارات الزائدة. ورغم أن هذا البروتوكول قد مثّل نقلة نوعية في تحسين أداء الشبكات المحلية، إلا أنه يعاني من بطء في عملية الاستقرار**(Convergence)** بعد حدوث أي تغيير في البنية الشبكية، مما يؤدي إلى توقف مؤقت في الاتصال بين الأجهزة. ومع الحاجة إلى بروتوكول أسرع وأكثر كفاءة، تم تطوير البروتوكول السريع للشجرة الممتدةRapid Spanning Tree Protocol - RSTP**)**) الذي يُعد نسخة مطوّرة من STP، حيث تم تصميمه لتقليل زمن الانتقال بين الحالات المختلفة للمنافذ، وبالتالي تسريع عملية استعادة الاتصال عند حدوث أي خلل أو تغيير في الشبكة.

الشبكة المحلية Local Area Network (LAN)

الشبكة المحلية (Local Area Network – LAN) هي شبكة حاسوبية تتكون من مجموعة من الأجهزة المتصلة ببعضها ضمن نطاق جغرافي محدود، مثل المنزل أو المكتب أو مبنى واحد أو مجموعة مبانٍ متقاربة. وتتميز الشبكات المحلية بسرعة نقل البيانات العالية ، وانخفاض تكلفة الإنشاء وسهولة الإدارة والصيانة مقارنةً بأنواع الشبكات الأخرى.

في بدايات ظهور الشبكات كانت تتكون من عدد محدود من الأجهزة ، قد لا يتجاوز عشرة أجهزة متصلة مع بعضها ، بالإضافة إلى جهاز طباعة مشترك. وقد عُرف هذا النوع من التشبيك باسم شبكة النطاق المحلي (LAN). ومع تطور التقنيات الحديثة أصبحت الشبكات المحلية قادرة على دعم عدد أكبر بكثير من المستخدمين ، إلا أنها ما زالت تعمل ضمن مساحة جغرافية محدودة. ففي العادة تكون شبكة LAN داخل مكتب واحد أو عدة مكاتب داخل مبنى واحد وتوفر هذه الشبكات سرعات عالية في تبادل البيانات والموارد، بحيث يشعر المستخدم أن الموارد المشتركة موجودة على جهازه الشخصي.

التكرار في الشبكات (Network Redundancy)

يُعدّ التكرار في الشبكات (Network Redundancy) من الركائز الأساسية في تصميم البنية التحتية للشبكات الحديثة ، حيث يهدف إلى تحقيق الاستمرارية العالية للخدمة (High Availability) وتقليل زمن التوقف الناتج عن الأعطال. ويعتمد هذا المفهوم على توفير مسارات وموارد بديلة لنقل البيانات ، بحيث يمكن للشبكة الاستمرار في العمل حتى في حال فشل أحد مكوناتها. ويتخذ التكرار عدة أشكال ، منها تكرار المسارات ، وتكرار الأجهزة ، وتكرار الروابط ، بالإضافة إلى تكرار الخدمات ، حيث يتم توزيع الوظائف على أكثر من عنصر لضمان الاستمرارية. كما تُستخدم مجموعة من البروتوكولات والتقنيات لدعم هذا المفهوم ، مثل بروتوكول الشجرة الممتدة (STP) وبروتوكول الشجرة الممتدة السريع (RSTP)، واللذان يعملان على منع حدوث الحلقات في الشبكة مع الاحتفاظ بمسارات احتياطية ، إضافة إلى بروتوكولات مثل HSRP وVRRP التي تتيح وجود أجهزة احتياطية تتولى العمل تلقائيًا عند فشل الأجهزة الأساسية. وعلى الرغم من الفوائد الكبيرة للتكرار، مثل زيادة الموثوقية وتحسين الأداء ودعم استمرارية الأعمال ، إلا أنه يؤدي في المقابل إلى زيادة التعقيد والتكلفة ، مما قد يرفع من احتمالية الأخطاء البشرية أو البرمجية.

لذلك ، تبرز أهمية تحقيق توازن دقيق بين مستوى التكرار وتعقيد التصميم ، بحيث يتم الوصول إلى شبكة مستقرة وفعّالة دون إدخال عناصر زائدة قد تؤثر سلبًا على أدائها (Faiq (et al., 2024

مشاكل الحلقات في الشبكات المحلية loop

تُعد الحلقات في الشبكات (Network Loops) من أهم المشاكل التي قد تواجه الشبكات المحلية ، خاصة في الشبكات التي تعتمد على وجود أكثر من مسار بين أجهزة التبديل بهدف زيادة الاعتمادية وتوفير مسارات احتياطية. وعلى الرغم من أن وجود مسارات متعددة يساعد على تحسين موثوقية الشبكة ، إلا أنه قد يؤدي إلى حدوث دوران مستمر للبيانات داخل الشبكة في حالة عدم وجود آلية تمنع ذلك ، وهو ما يُعرف بمشكلة الحلقة الشبكية ((Nasr & Ahmed, 2026

تحدث الحلقات عادة في شبكات الطبقة الثانية (2 Layer) التي تستخدم المحولات (Switches)، حيث تقوم هذه الأجهزة بتمرير الإطارات اعتمادًا على عنوان MAC دون وجود حد لعدد المرات التي يمكن أن يمر فيها الإطار داخل الشبكة. وعندما يتم توصيل المحولات بطريقة تسمح بوجود مسار دائري، فإن الإطارات قد تستمر في الدوران داخل الشبكة بشكل لا نهائي، مما يؤدي إلى زيادة الحمل على الشبكة وتدهور أدائها بشكل كبير. ومن أخطر النتائج التي تنتج عن الحلقات في الشبكات ما يُعرف بعاصفة البث (Broadcast Storm)، حيث يتم إرسال عدد كبير جدًا من رسائل البث في وقت قصير، مما يؤدي إلى استهلاك كامل لعرض النطاق الترددي للشبكة. وعندما تحدث عاصفة البث، تصبح الشبكة غير قادرة على نقل البيانات بشكل طبيعي، وقد يتوقف الاتصال بين الأجهزة بشكل كامل. ويرجع ذلك إلى أن المحولات تقوم بإعادة إرسال رسائل البث إلى جميع المنافذ، ومع وجود حلقة في الشبكة فإن هذه الرسائل تستمر في التكرار دون توقف (Tanenbaum & Wetherall 2011,).

بالإضافة إلى عاصفة البث، تسبب الحلقات مشكلة أخرى تُعرف بعدم استقرار جدول عناوين MAC ، حيث تعتمد المحولات على جدول لتخزين عناوين الأجهزة المتصلة بكل منفذ. وعند وجود حلقة في الشبكة ، قد يصل نفس الإطار إلى المحول من أكثر من منفذ ، مما يؤدي إلى تغيير موقع العنوان في الجدول بشكل مستمر، وهو ما يؤدي إلى حالة من عدم الاستقرار تسمى MAC Address Table Instability. وتؤثر هذه المشكلة على قدرة المحول في توجيه الإطارات بشكل صحيح ، مما يؤدي إلى فقدان البيانات أو إرسالها إلى منفذ خاطئ. كما أن الحلقات تؤدي إلى زيادة استخدام المعالج داخل أجهزة التبديل، بسبب العدد الكبير من الإطارات التي يتم معالجتها في وقت قصير. ومع استمرار هذه الحالة ، قد تصل بعض الأجهزة إلى حالة تشبع (Overload)، مما يؤدي إلى توقفها عن العمل أو إعادة تشغيلها تلقائيًا، وهو ما يسبب انقطاعًا في الشبكة يؤثر على المستخدمين والتطبيقات المختلفة. ولمنع حدوث الحلقات في الشبكات ، تم تطوير بروتوكولات خاصة تعمل على تنظيم المسارات بين المحولات ومنع وجود أكثر من مسار نشط في نفس الوقت. ويُعد بروتوكول الشجرة الممتدة (Spanning Tree Protocol – STP) من أهم هذه البروتوكولات ، حيث يقوم بإنشاء هيكل شجري للشبكة يسمح بوجود مسار واحد فقط لنقل البيانات ، بينما يتم تعطيل المسارات الأخرى بشكل مؤقت لتجنب حدوث الحلقات. وقد تم اعتماد هذا البروتوكول ضمن معيار IEEE 802.1D وأصبح جزءًا أساسيًا من عمل المحولات الحديثة (Galea & Pozzuoli, 2003)ومع تطور الشبكات وزيادة الحاجة إلى سرعة الاستجابة ، تم تطوير نسخة محسّنة من هذا البروتوكول تُعرف باسم Rapid Spanning Tree Protocol (RSTP)، والتي توفر سرعة أكبر في استعادة الاتصال عند حدوث تغيير في الشبكة ، وتقلل من زمن الانقطاع الناتج عن إعادة حساب المسارات. ويُعتبر استخدام هذه البروتوكولات ضروريًا في الشبكات الكبيرة مثل شبكات الجامعات والمؤسسات التعليمية التي تعتمد على الاستقرار العالي واستمرارية الخدمة (Systems, 2023).

بناءً على ذلك ، فإن دراسة مشاكل الحلقات في الشبكات وفهم آليات عمل بروتوكولات STP وRSTP تُعد من المواضيع المهمة في مجال شبكات الحاسوب ، حيث تساعد على تصميم شبكات أكثر كفاءة واستقرارًا ، وتقلل من احتمالية حدوث الأعطال التي قد تؤثر على أداء الأنظمة المختلفة.

بروتوكول الشجرة الممتدة spanning tree protocol

يُعد بروتوكول الشجرة الممتدة (Spanning Tree Protocol – STP) أحد أهم البروتوكولات المستخدمة في الشبكات المحلية، حيث تم تطويره لحل مشكلة الحلقات (Loops) التي قد تحدث في شبكات الطبقة الثانية عند استخدام أكثر من مسار بين أجهزة التبديل. وقد تم اعتماد هذا البروتوكول ضمن معيار IEEE 802.1D ليكون آلية قياسية لتنظيم المسارات داخل الشبكة ومنع تكرار الإطارات الذي يؤدي إلى انخفاض الأداء أو توقف الشبكة بالكامل). في الشبكات الحديثة، يتم استخدام أجهزة التبديل (Switches) لربط عدد كبير من الحواسيب والأجهزة الأخرى داخل الشبكة المحلية. ولزيادة موثوقية الشبكة، يتم في كثير من الأحيان إنشاء وصلات إضافية بين المحولات لتوفير مسار احتياطي في حالة فشل المسار الرئيسي. إلا أن وجود أكثر من مسار نشط في نفس الوقت قد يؤدي إلى حدوث حلقات في الشبكة، مما يسبب مشاكل خطيرة مثل عاصفة البث (Broadcast Storm)، وعدم استقرار جدول عناوين MAC، وزيادة الحمل على أجهزة التبديل (Tudoroiu, 2025).

يعمل بروتوكول STP على منع حدوث الحلقات من خلال إنشاء بنية شجرية (Tree Topology) داخل الشبكة، بحيث يتم اختيار مسار واحد فقط لنقل البيانات بين الأجهزة، بينما يتم تعطيل المسارات الأخرى بشكل مؤقت. ويقوم البروتوكول أولاً باختيار جهاز رئيسي في الشبكة يسمى **Root Bridge**، ويتم اختيار هذا الجهاز بناءً على أقل قيمة للأولوية (Priority) وعنوان MAC. بعد ذلك تقوم بقية المحولات بحساب أفضل مسار للوصول إلى الجذر، ويتم تحديد أدوار المنافذ بحيث يتم السماح لبعضها بالعمل بينما يتم وضع البعض الآخر في حالة حظر لمنع تكوين حلقة (Nasr & Ahmed, 2026) . يمر كل منفذ في بروتوكول STP بعدة حالات قبل أن يبدأ في نقل البيانات، وتشمل هذه الحالات: Blocking، Listening، Learning، Forwarding. في حالة Blocking يتم منع إرسال البيانات لمنع حدوث حلقة، بينما في حالة Listening يتم الاستماع إلى رسائل التحكم دون إرسال بيانات، وفي حالة Learning يتم تعلم عناوين MAC ، وأخيرًا في حالة Forwarding يبدأ المنفذ في نقل البيانات بشكل طبيعي. وتستغرق عملية الانتقال بين هذه الحالات وقتًا قد يصل إلى 30 أو 50 ثانية ، وهو ما يُعرف بزمن التقارب (Longo & Redondi, 2023 ,Convergence time).

يعتمد بروتوكول STP على تبادل رسائل خاصة تُعرف باسم **Bridge Protocol Data Units (BPDUs)**، وهي رسائل تُستخدم لتبادل المعلومات بين المحولات من أجل تحديد الجذر واختيار أفضل المسارات داخل الشبكة. ويتم إرسال هذه الرسائل بشكل دوري لضمان استقرار التوبولوجيا واكتشاف أي تغيير يحدث في الشبكة. وعند حدوث تغيير مثل انقطاع أحد الروابط، يقوم البروتوكول بإعادة حساب المسارات وإعادة تحديد أدوار المنافذ، إلا أن هذه العملية قد تستغرق وقتًا طويلاً نسبيًا ، مما يؤدي إلى انقطاع مؤقت في الاتصال (Tanenbaum, Wetherall2011 ،).

على الرغم من أن بروتوكول STP يوفر حلاً فعالًا لمنع الحلقات في الشبكات ، إلا أن بطء استجابته عند حدوث تغيير في التوصيلات يُعد من أهم عيوبه، خاصة في الشبكات الحديثة التي تعتمد على تطبيقات تحتاج إلى اتصال مستمر دون انقطاع. ولهذا السبب تم تطوير نسخة محسّنة من هذا البروتوكول تُعرف باسم RSTP (Rapid Spanning Tree Protocol)، والتي تهدف إلى تقليل زمن التقارب وتحسين استقرار الشبكة (Systems, 2023) . ومع ذلك ، لا يزال بروتوكول STP يُستخدم في العديد من الشبكات التعليمية والتجريبية، كما أنه يُعد الأساس الذي بُنيت عليه البروتوكولات الأحدث، ولذلك فإن فهم آلية عمله يُعتبر خطوة ضرورية لدراسة بروتوكولات منع الحلقات ومقارنة أدائها في البيئات المختلفة.

بروتوكول السريع للشجرة الممتدة (Rapid Spanning Tree Protocol – RSTP)

مع التطور المستمر في شبكات الحاسوب وزيادة الاعتماد على الشبكات المحلية في المؤسسات التعليمية والصناعية ، أصبح من الضروري استخدام بروتوكولات أكثر كفاءة لضمان استقرار الشبكة وسرعة استجابتها عند حدوث الأعطال أو التغييرات في التوصيلات. وقد كان بروتوكول الشجرة الممتدة (STP) هو الحل التقليدي لمنع حدوث الحلقات في الشبكات ، إلا أن بطء زمن التقارب في هذا البروتوكول أدى إلى ظهور الحاجة إلى تطوير بروتوكول أكثر سرعة ومرونة ، وهو ما أدى إلى ظهور البروتوكول السريع للشجرة الممتدة **Rapid Spanning Tree Protocol (RSTP)**، الذي تم اعتماده ضمن معيار IEEE 802.1w (IEEE, 2001). يُعتبر RSTP تطويرًا مباشرًا لبروتوكول STP، حيث يحتفظ بنفس الفكرة الأساسية وهي منع حدوث الحلقات داخل الشبكة من خلال إنشاء بنية شجرية تسمح بوجود مسار واحد نشط بين الأجهزة، بينما يتم تعطيل المسارات الأخرى بشكل احتياطي. إلا أن RSTP يقدم تحسينات كبيرة في طريقة اكتشاف التغييرات في الشبكة وفي سرعة إعادة حساب المسارات ، مما يؤدي إلى تقليل زمن التقارب بشكل كبير مقارنة بالبروتوكول التقليدي (Longo & Redondi, 2023).

يعتمد بروتوكول RSTP على تبادل رسائل التحكم المعروفة باسم **Bridge Protocol Data Units (BPDUs)**، ولكن بخلاف STP، فإن جميع المحولات في RSTP تقوم بإرسال هذه الرسائل بشكل دوري، وليس فقط المحول الجذر. ويساعد ذلك على اكتشاف أي تغيير في التوبولوجيا بسرعة أكبر، مما يسمح للشبكة بالاستجابة بشكل فوري تقريبًا عند حدوث عطل أو انقطاع في أحد الروابط (Tanenbaum,2011 , Wetherall). ومن أهم التحسينات التي قدمها RSTP هو تقليل عدد حالات المنافذ المستخدمة في STP. ففي حين يستخدم STP أربع حالات للمنافذ وهي Blocking وListening وLearning وForwarding، فإن RSTP يستخدم ثلاث حالات فقط وهي Discarding وLearning وForwarding، مما يقلل من الوقت اللازم لانتقال المنفذ إلى حالة العمل. كما أضاف RSTP أدوارًا جديدة للمنافذ مثل **Alternate Port** و**Backup Port**، والتي تسمح بوجود مسارات احتياطية جاهزة للعمل فور حدوث أي خلل في المسار الرئيسي، دون الحاجة إلى إعادة حساب كاملة للشبكة (Nasr & Ahmed, 2026)

يستخدم RSTP أيضًا آلية سريعة تُعرف باسم **Proposal and Agreement**، وهي طريقة تسمح للمحولات بالاتفاق على تفعيل المسار الجديد بسرعة كبيرة دون المرور بجميع المراحل التقليدية التي يستخدمها STP. وبفضل هذه الآلية، يمكن أن يصل زمن التقارب في RSTP إلى أقل من عدة ثوانٍ، وهو ما يجعله مناسبًا للشبكات الحديثة التي تعتمد على تطبيقات حساسة للوقت مثل أنظمة التعليم الإلكتروني، وقواعد البيانات، والخدمات الشبكية التي تحتاج إلى اتصال مستمر دون انقطاع (Cisco (Tudoroiu, 2025). ونظرًا لهذه المزايا، أصبح بروتوكول RSTP من البروتوكولات الأساسية المستخدمة في تصميم الشبكات الحديثة، خاصة في البيئات التي تحتوي على عدد كبير من المحولات والمسارات الاحتياطية. كما أن استخدام برامج المحاكاة مثل Packet Tracer يسمح بدراسة سلوك هذا البروتوكول بشكل عملي وتحليل أدائه مقارنة بالبروتوكول التقليدي STP، مما يساعد على اختيار البروتوكول الأنسب لتحقيق أفضل أداء للشبكة.

تسعى هذه الدراسة إلى تقييم كفاءة بروتوكول (Spanning Tree Protocol (STP مقارنة ببروتوكول (Rapid Spanning Tree Protocol (RSTP في معالجة مشكلة الحلقات في الشبكات المحلية، من خلال تحليل نظري شامل وإجراء تجارب عملية باستخدام برنامج Packet Tracer، وذلك لقياس زمن التقارب واستجابة الشبكة عند حدوث أعطال، بهدف تحديد البروتوكول الأكثر ملاءمة للاستخدام في الشبكات الحديثة التي تتطلب سرعة عالية في الاستجابة واستقرارًا مستمرًا في الاتصال.

3. منهجية الدراسة (Methodology)

اعتمد هذا البحث على منهج البحث التجريبي (Experimental Research)، وذلك نظرًا لأنه يتضمن اختبار بروتوكولين مختلفين في بيئة محاكاة تحت نفس الظروف بهدف مقارنة الأداء وتحديد نقاط القوة والضعف لكل منهما.

1.3 الأجهزة وطريقة الربط

هذا الجزء من البحث سوف يعرض المعدات والبرامج المستخدمة بالإضافة إلى ربط الشبكة وتهيئتها.

أدوات البحث (Research Tools)

تم استخدام برنامج Packet Tracer الإصدار 8.2 المستخدم في المحاكاة ؛ يوفر بيئة مناسبة لمحاكاة بروتوكولات طبقة 2 , كما يتيح اختبار الفشل ، تحليل BPDU، ومراقبة حالة المنافذ.

2.3 خطوات تنفيذ الدراسة العملية (Experimental Procedure)

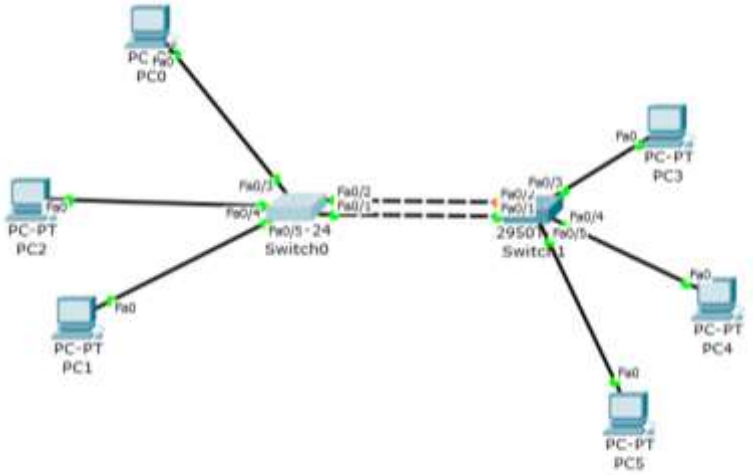
يتكون التطبيق العملي من عدة مراحل منهجية كما يلي:

تصميم الشبكة الأساسية

- إنشاء شبكة مكونة من:
  - عدد 2 مفاتيح (Switches) من نوع 2960.
  - 6 أجهزة حاسوب.
  - وصلات Ethernet بين السويتشات لخلق مسارات متعددة. كما موضح بالشكل 1
  - إعطاء عناوين IP address لكل اجهزة الحاسوب لكي يتم الاتصال بين الأجهزة كما موضح بالجدول (1)

جدول (1) : عناوين الاجهزة

جهاز الحاسوب PC	العنوانIP address
PC1	192.168.1.2
PC2	192.168.1.3
PC3	192.168.1.4
PC4	192.168.1.5
PC5	192.168.1.6
PC6	192.168.1.7



شكل 1. ربط الشبكة المحلية في برنامج المحاكاة

لتحقيق أهداف الدراسة الحالية وإجراء مقارنة دقيقة بين بروتوكول الشجرة الممتدة (STP) والبروتوكول السريع للشجرة الممتدة (RSTP)، تم تنفيذ مجموعة من التجارب العملية باستخدام برنامج **Cisco Packet Tracer**، والذي يُعد من أهم أدوات محاكاة الشبكات المستخدمة في المجال الأكاديمي والتدريبي. يتيح هذا البرنامج تصميم بيئات شبكية افتراضية تحاكي الواقع العملي، مما يسمح باختبار أداء البروتوكولات المختلفة دون الحاجة إلى أجهزة حقيقية (Lamien Helal, 2023) .

3.3 تصميم بيئة التجربة

تم تصميم شبكة محاكاة تتكون من جهازين تبديل (Switches) من نوع 2960، بالإضافة إلى مجموعة من أجهزة الحاسوب المرتبطة بها. وقد تم توصيل المحولات باستخدام عدة روابط بحيث يتم إنشاء أكثر من مسار بين الأجهزة، مما يؤدي إلى تكوين حلقات (Loops) داخل الشبكة كما في الشكل السابق . ويهدف هذا التصميم إلى محاكاة بيئة شبكية واقعية تعتمد على مبدأ التكرار (Redundancy)، حيث توجد مسارات رئيسية وأخرى احتياطية لضمان استمرارية الاتصال في حالة حدوث أعطال.

تم اختيار هذا النوع من الربط Topology لأنه يمثل السيناريو الشائع في الشبكات الجامعية ، حيث يتم ربط المعامل وقاعات الدراسة بعدة محولات لضمان توفر الاتصال بشكل دائم. إلا أن هذا التكرار في التوصيلات قد يؤدي إلى ظهور الحلقات ، وهو ما يتطلب استخدام بروتوكولات مثل STP وRSTP لمعالجتها.

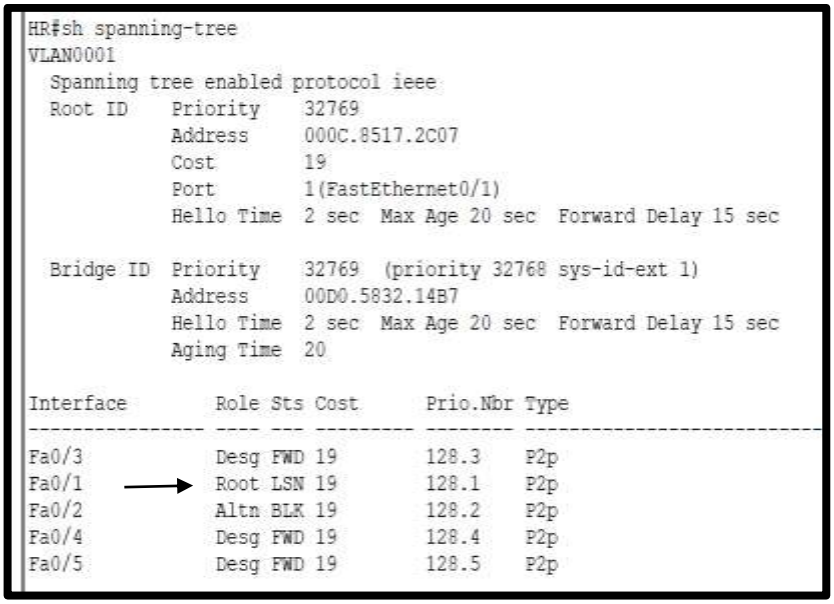
4.3 تنفيذ التجربة باستخدام STP

في المرحلة الأولى من التجربة، تم تفعيل بروتوكول STP باستخدام الوضع الافتراضي، وذلك من خلال أوامر الإعداد داخل واجهة سطر الأوامر (CLI). بعد تشغيل الشبكة، تم مراقبة حالة المنافذ وأدوارها باستخدام الأمر:

Switch1#show spanning-tree

وقد لوحظ أن البروتوكول يقوم بتحديد جهاز Root Bridge، ثم يبدأ في تحديد المسارات الأساسية داخل الشبكة ، مع وضع بعض المنافذ في حالة Blocking لمنع تكوين حلقات. بعد ذلك ، تم تنفيذ سيناريوهات

أعطال مختلفة، مثل قطع أحد الروابط الرئيسية بين المحولات ، وذلك لملاحظة سلوك الشبكة عند فقدان المسار الأساسي. أظهرت النتائج أن البروتوكول يحتاج إلى وقت طويل نسبيًا لإعادة حساب المسارات، حيث تمر المنافذ بعدة مراحل (Listening وLearning) قبل الوصول إلى حالة Forwarding، مما يؤدي إلى انقطاع مؤقت في الاتصال. كما موضح في الاشكال 5,4,3,2

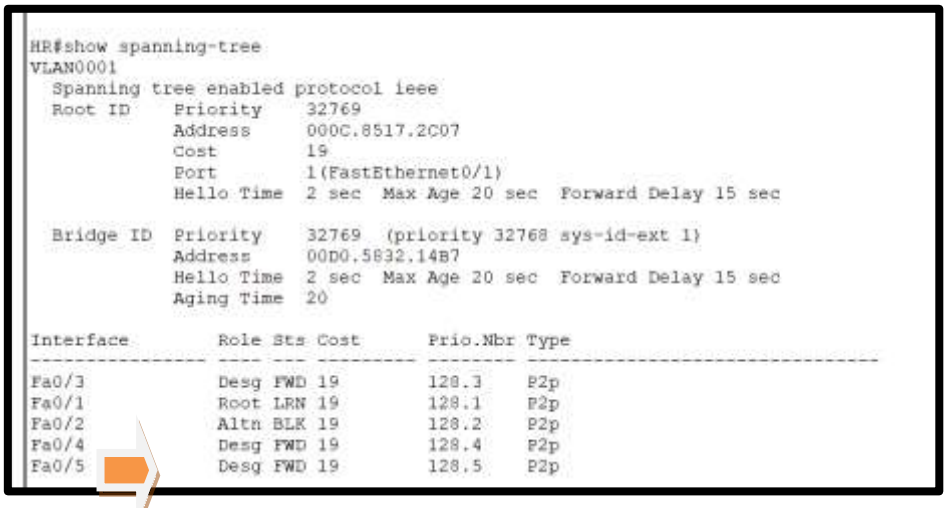


```
HR#sh spanning-tree
VLAN0001
  Spanning tree enabled protocol ieee
  Root ID     Priority    32769
              Address     000C.8517.2C07
              Cost        19
              Port        1(FastEthernet0/1)
              Hello Time  2 sec  Max Age 20 sec  Forward Delay 15 sec

  Bridge ID   Priority    32769  (priority 32768 sys-id-ext 1)
              Address     00D0.5832.14B7
              Hello Time  2 sec  Max Age 20 sec  Forward Delay 15 sec
              Aging Time  20

Interface        Role Sts Cost      Prio.Nbr Type
---------------- ---- --- --------- -------- --------------------------------
Fa0/3            Desg FWD 19        128.3    P2p
Fa0/1            Root LSN 19        128.1    P2p
Fa0/2            Altn BLK 19        128.2    P2p
Fa0/4            Desg FWD 19        128.4    P2p
Fa0/5            Desg FWD 19        128.5    P2p
```

شكل 2: تتبع نتائج قطع احد الكوابل وقياس زمن اعادة الاتصال في شبكة بروتوكول STP الحالة الاولىListening

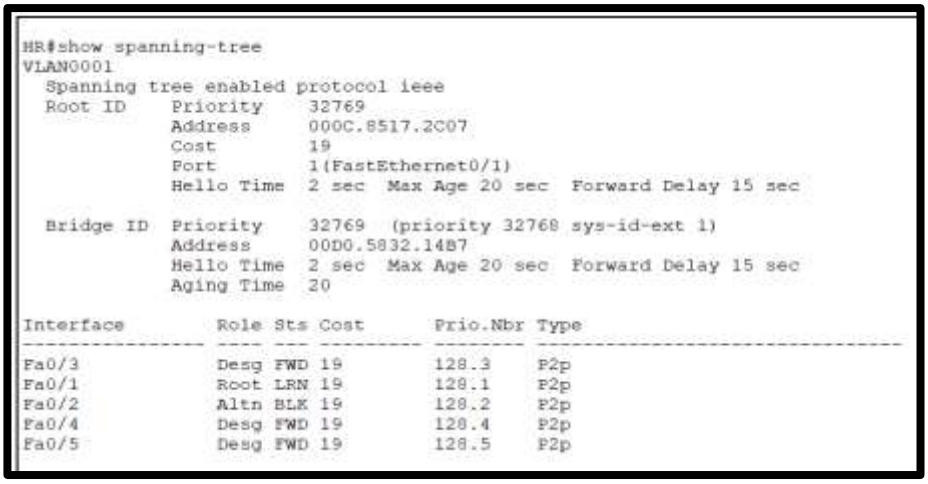


```
HR#show spanning-tree
VLAN0001
  Spanning tree enabled protocol ieee
  Root ID     Priority    32769
              Address     000C.8517.2C07
              Cost        19
              Port        1(FastEthernet0/1)
              Hello Time  2 sec  Max Age 20 sec  Forward Delay 15 sec

  Bridge ID   Priority    32769  (priority 32768 sys-id-ext 1)
              Address     00D0.5832.14B7
              Hello Time  2 sec  Max Age 20 sec  Forward Delay 15 sec
              Aging Time  20

Interface        Role Sts Cost      Prio.Nbr Type
---------------- ---- --- --------- -------- --------------------------------
Fa0/3            Desg FWD 19        128.3    P2p
Fa0/1            Root LRN 19        128.1    P2p
Fa0/2            Altn BLK 19        128.2    P2p
Fa0/4            Desg FWD 19        128.4    P2p
Fa0/5            Desg FWD 19        128.5    P2p
```

شكل 3: تتبع نتائج قطع احد الكوابل وقياس زمن اعادة الاتصال في شبكة بروتوكول STP الحالة الثانيةLearning



```
HR#show spanning-tree
VLAN0001
  Spanning tree enabled protocol ieee
  Root ID     Priority    32769
              Address     000C.8517.2C07
              Cost        19
              Port        1(FastEthernet0/1)
              Hello Time  2 sec  Max Age 20 sec  Forward Delay 15 sec

  Bridge ID   Priority    32769  (priority 32768 sys-id-ext 1)
              Address     00D0.5832.14B7
              Hello Time  2 sec  Max Age 20 sec  Forward Delay 15 sec
              Aging Time  20

Interface        Role Sts Cost      Prio.Nbr Type
---------------- ---- --- --------- -------- --------------------------------
Fa0/3            Desg FWD 19        128.3    P2p
Fa0/1            Root LRN 19        128.1    P2p
Fa0/2            Altn BLK 19        128.2    P2p
Fa0/4            Desg FWD 19        128.4    P2p
Fa0/5            Desg FWD 19        128.5    P2p
```

شكل 4 تتبع نتائج قطع احد الكوابل وقياس زمن اعادة الاتصال في شبكة بروتوكول STP الحالة الثانيةLearning

```
HR#show spanning-tree
VLAN0001
  Spanning tree enabled protocol ieee
  Root ID     Priority    32769
              Address     000C.8517.2C07
              Cost        19
              Port        1(FastEthernet0/1)
              Hello Time  2 sec  Max Age 20 sec  Forward Delay 15 sec

  Bridge ID   Priority    32769  (priority 32768 sys-id-ext 1)
              Address     00D0.5832.14B7
              Hello Time  2 sec  Max Age 20 sec  Forward Delay 15 sec
              Aging Time  20

Interface        Role Sts Cost      Prio.Nbr Type
---------------- ---- --- --------- -------- --------------------------------
Fa0/3            Desg FWD 19        128.3    P2p
Fa0/1            Root FWD 19        128.1    P2p
Fa0/2            Altn BLK 19        128.2    P2p
Fa0/4            Desg FWD 19        128.4    P2p
Fa0/5            Desg FWD 19        128.5    P2p
```

شكل5. تتبع نتائج قطع احد الكوابل وقياس زمن اعادة الاتصال في شبكة بروتوكول STP الحالة الاخيرةForwarding وإقفال المسار البديل

5.3 تنفيذ التجربة باستخدام RSTP

في المرحلة الثانية، تم تفعيل بروتوكول RSTP باستخدام الأمر:

S1#configure terminal

S1(config)# spanning-tree mode rapid-pvst

مع الحفاظ على نفس طريقة الربط المستخدمة في اختبار STP، وذلك لضمان دقة المقارنة. تم إعادة تنفيذ نفس سيناريوهات الأعطال، مثل فصل أحد الكابلات أو تعطيل منفذ رئيسي. أظهرت النتائج أن RSTP يستجيب بسرعة كبيرة للتغيرات في الشبكة، حيث يتم تفعيل المسارات الاحتياطية بشكل فوري تقريبًا دون الحاجة إلى المرور بجميع المراحل التقليدية. كما لوحظ أن المنافذ الاحتياطية (Alternate Ports) تكون جاهزة للعمل مباشرة عند حدوث أي خلل. كما موضح في شكل 6

```
HR#sh spanning-tree
VLAN0001
  Spanning tree enabled protocol rstp
  Root ID     Priority    32769
              Address     0050.0FBE.5610
              This bridge is the root
              Hello Time  2 sec  Max Age 20 sec  Forward Delay 15 sec

  Bridge ID   Priority    32769  (priority 32768 sys-id-ext 1)
              Address     0050.0FBE.5610
              Hello Time  2 sec  Max Age 20 sec  Forward Delay 15 sec
              Aging Time  20

Interface        Role Sts Cost      Prio.Nbr Type
---------------- ---- --- --------- -------- --------------------------------
Fa0/1            Desg FWD 19        128.1    P2p
Fa0/2            Desg FWD 19        128.2    P2p
Fa0/3            Desg FWD 19        128.3    P2p
Fa0/4            Desg FWD 19        128.4    P2p
Fa0/5            Desg FWD 19        128.5    P2p
```

شكل .6 يوضح عمل البروتوكول السريع عن طريق الامر Show spanning tree

6.3 آلية القياس وتحليل الأداء

تم قياس الأداء من خلال مراقبة زمن انقطاع الاتصال باستخدام أدوات المحاكاة داخل البرنامج، بالإضافة إلى ملاحظة تغير حالات المنافذ وأدوارها. كما تم تسجيل زمن التقارب في كل حالة، ومقارنته بين البروتوكولين. تم أيضًا تحليل رسائل BPDU، حيث لوحظ أن RSTP يعتمد على تبادل مستمر للرسائل بين جميع المحولات، مما يساعد على اكتشاف الأعطال بسرعة أكبر مقارنة بـ STP الذي يعتمد بشكل أساسي على الجذر.

4. المناقشة

تشير النتائج التي تم التوصل إليها من خلال الجانب العملي إلى وجود فرق واضح وملحوظ في الأداء بين بروتوكول الشجرة الممتدة (STP) والبروتوكول السريع للشجرة الممتدة (RSTP)، خاصة فيما يتعلق بزمن التقارب (Convergence Time) وسرعة استجابة الشبكة عند حدوث الأعطال. حيث أظهرت التجارب أن بروتوكول STP يعاني من بطء ملحوظ في الاستجابة للتغيرات في التوبولوجيا، إذ يتطلب المرور بعدة مراحل انتقالية (Listening) و(Learning) قبل إعادة تفعيل المسارات البديلة، مما يؤدي إلى تأخير قد يصل إلى 30–50 ثانية. ويُعد هذا التأخير من السلبيات في الشبكات الحديثة، خاصة في البيئات التي تعتمد على تطبيقات حساسة للوقت مثل الاتصال الهاتفي عبر الشبكة (VoIP) أو أنظمة التعلم الإلكتروني، حيث يمكن أن يؤدي هذا الانقطاع إلى فقدان الاتصال أو تدهور جودة الخدمة. كما أن بطء STP في اكتشاف الأعطال وإعادة توجيه البيانات قد يؤدي إلى زيادة احتمالية فقدان الحزم (Packet Loss)، بالإضافة إلى حدوث تأخير (Latency) ملحوظ في الشبكة، مما يؤثر سلبًا على تجربة المستخدمين. وفي بعض الحالات، قد يؤدي استمرار الاعتماد على STP في الشبكات الكبيرة إلى تقليل كفاءة استغلال الموارد الشبكية، حيث يتم تعطيل المسارات الاحتياطية وعدم الاستفادة منها إلا بعد وقت طويل.

في المقابل ، أظهرت نتائج التجارب أن بروتوكول RSTP يوفر أداءً متفوقًا بشكل واضح، حيث يتميز بسرعة عالية في استعادة الاتصال عند حدوث الأعطال، إذ يتراوح زمن التقارب بين 1 إلى 5 ثوانٍ فقط. ويرجع ذلك إلى استخدامه لآليات متقدمة مثل Proposal/Agreement، بالإضافة إلى وجود منافذ

احتياطية (Alternate Ports) تكون في حالة جاهزية دائمة للعمل ، مما يسمح بالتحول الفوري إلى المسار البديل دون الحاجة إلى إعادة حساب كاملة للشبكة. كما أن RSTP يساهم في تقليل تأثير الأعطال على المستخدمين بشكل كبير، حيث يضمن استمرارية الخدمة وتقليل زمن الانقطاع إلى الحد الأدنى ، وهو ما يجعله مناسبًا للاستخدام في الشبكات التي تتطلب موثوقية عالية، مثل الشبكات الجامعية ، والمختبرات الحاسوبية ، والأنظمة الحساسة للزمن. بالإضافة إلى ذلك، فإن RSTP يعمل على تحسين استقرار الشبكة من خلال تقليل التذبذب في جداول عناوين MAC، وتحسين كفاءة استخدام الموارد الشبكية. وتتفق هذه النتائج مع العديد من الدراسات السابقة التي أكدت أن RSTP يمثل تطورًا ملحوظًا على STP من حيث سرعة الاستجابة وكفاءة الأداء، حيث أظهرت تلك الدراسات أن استخدام RSTP يؤدي إلى تقليل زمن التقارب بنسبة كبيرة وتحسين الأداء العام للشبكة، خاصة في البيئات التي تحتوي على عدد كبير من المحولات والمسارات الاحتياطية. ومن ناحية أخرى، تجدر الإشارة إلى أن استخدام RSTP قد يتطلب توافقًا في إعدادات الأجهزة ودعمًا من قبل المحولات المستخدمة، إلا أن معظم الأجهزة الحديثة تدعم هذا البروتوكول بشكل افتراضي، مما يسهل عملية تطبيقه في الشبكات الحالية. بناءً على ما سبق، يمكن الاستنتاج أن بروتوكول RSTP يمثل تحسينًا جوهريًا مقارنة بـ STP، حيث يوفر سرعة استجابة أعلى، ويقلل من زمن ألانقطاع ويعزز استقرار الشبكة بشكل عام. لذلك، يُوصى باستخدام RSTP في تصميم الشبكات الحديثة، خاصة في البيئات التي تعتمد على التكرار (Redundancy) لضمان استمرارية الاتصال وتحقيق أفضل أداء ممكن.

5. الخاتمة: (Conclusion)

أهم الاستنتاجات التي تم التوصل إليها من خلال تحليل النتائج العملية التي تم الحصول عليها باستخدام برنامج Packet Tracer، بالإضافة إلى الدراسة النظرية للبروتوكولين، تبين أن بروتوكول STP يحقق الهدف الأساسي المتمثل في منع حدوث الحلقات داخل الشبكات المحلية، وذلك من خلال تعطيل بعض المسارات الاحتياطية ومنع وجود أكثر من مسار نشط في الوقت نفسه. إلا أن النتائج أوضحت أن STP يعاني من بطء واضح في زمن التقارب عند حدوث تغييرات في التوبولوجيا، حيث يحتاج إلى فترة زمنية طويلة نسبيًا لإعادة حساب المسارات وتفعيل المسار البديل. ويؤدي هذا التأخير إلى انقطاع مؤقت في الاتصال، الأمر الذي قد يؤثر سلبًا على أداء التطبيقات الحساسة للوقت مثل خدمات الصوت والفيديو وقواعد البيانات. في المقابل، أظهرت النتائج أن بروتوكول RSTP يتميز بسرعة أعلى في الاستجابة للتغيرات التي تحدث داخل الشبكة، حيث يستخدم آليات أكثر تطورًا تسمح له باكتشاف الأعطال وإعادة تفعيل المسارات البديلة خلال فترة زمنية قصيرة جدًا مقارنة ببروتوكول STP وقد ساهم ذلك في تقليل زمن الانقطاع وتحسين استقرار الشبكة بشكل ملحوظ. كما أوضحت الدراسة أن RSTP أكثر كفاءة في استغلال المسارات الاحتياطية، إذ يحتفظ بمنافذ بديلة جاهزة للعمل فور حدوث أي عطل، دون الحاجة إلى المرور بجميع المراحل التقليدية التي يعتمد عليها STP ويؤدي ذلك إلى رفع مستوى الاعتمادية داخل الشبكة وتقليل تأثير الأعطال على المستخدمين.

وبناءً على النتائج السابقة، يمكن القول إن بروتوكول RSTP يمثل تطويرًا فعالًا لبروتوكول STP، حيث يوفر مستوى أعلى من الأداء والاستقرار، ويعد أكثر ملاءمة للاستخدام في الشبكات الحديثة التي تعتمد على التكرار لضمان استمرارية الاتصال.. قد أظهرت نتائج الدراسة أن بروتوكول RSTP يتفوق بشكل واضح على بروتوكول STP من حيث سرعة الاستجابة، وزمن التقارب، واستقرار الشبكة، والقدرة على التعامل مع الأعطال. ولذلك يمكن اعتباره الخيار الأنسب للشبكات الحديثة التي تتطلب موثوقية عالية واستمرارية في الاتصال، خاصة في البيئات التعليمية التي تعتمد على وجود مسارات احتياطية وتحتاج إلى تقليل زمن الانقطاع قدر الإمكان.

6. التوصيات

في ضوء النتائج التي تم التوصل إليها، توصي الدراسة بضرورة اعتماد بروتوكول RSTP في تصميم الشبكات الحديثة، خاصة في المؤسسات التعليمية والشركات التي تحتاج إلى سرعة استجابة عالية واستمرارية في الخدمة. كما توصي الدراسة بالاستفادة من المسارات الاحتياطية داخل الشبكة وربطها ببروتوكول RSTP، وذلك لضمان التحول السريع إلى المسار البديل عند حدوث أي عطل في المسار الرئيسي .ومن الضروري أيضًا تدريب الطلبة والعاملين في مجال الشبكات على كيفية إعداد بروتوكولات STP وRSTP باستخدام برامج المحاكاة، لما لذلك من أهمية في تعزيز الجانب العملي وفهم آلية عمل البروتوكولات داخل الشبكات المحلية. كذلك توصي الدراسة بضرورة تحديث أجهزة التبديل القديمة واستبدالها بأجهزة تدعم RSTP، وذلك للاستفادة من المزايا التي يوفرها هذا البروتوكول من حيث سرعة التقارب وتحسين استقرار الشبكة.

المراجع

[1] Abd, D. F., Rashid, R. A., Othman, D. A., & Abdulqader, H. M. (2024). Performance evaluation using spanning tree protocol, rapid spanning tree protocol, per-VLAN spanning tree, and multiple spanning tree. UHD Journal of Science and Technology, 8(1), 20–30.

[2] Galea, M., & Pozzuoli, M. (2003). Redundancy in substation LANs with the Rapid Spanning Tree Protocol (IEEE 802.1w). RuggedCom Inc.

[3] Lamien Helal, A. (2023). Cisco Packet Tracer simulation as an effective teaching tool in computer networking classes for undergraduate students at Tobruk University. International Science and Technology Journal. https://doi.org/10.62341/alcp2431

[4] Longo, E., Redondi, A. E., Cesana, M., Arcia-Moret, A., & Manzoni, P. (2020). MQTT-ST: A spanning tree protocol for distributed MQTT brokers. In ICC 2020–2020 IEEE International Conference on Communications (pp. 1–6). IEEE.

[5] Nasr, A., & Ahmed, N. A. S. (2026). Comparative review of STP, RSTP, and PVST protocols: Loop prevention in Layer 2 networks. Arraid Journal of Science and Technology, 3(1), 104–120. https://doi.org/10.67878/ajst.v3i1.156

[6] Systems, C. (2023). Spanning Tree Protocol (STP) enhancements: PortFast, UplinkFast, BackboneFast, Loop Guard, and Root Guard.

[7] Tanenbaum, A. S., & Wetherall, D. J. (2011). Computer networks (5th ed.). Pearson.

[8] Tudoroiu, A. (2025). Evolution of Spanning Tree Protocol: From STP to SPB and TRILL—A comparative analysis. The Scientific Bulletin of Electrical Engineering Faculty, 25(2), 30–35. https://doi.org/10.2478/sbeef-2025-0018

Disclaimer/Publisher's Note: The statements, opinions, and data contained in all publications are solely those of the individual author(s) and contributor(s) and not of **JIBAS** and/or the editor(s). **JIBAS** and/or the editor(s) disclaim responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions, or products referred to in the content