



جامعة دمشق

كلية الهندسة الميكانيكية و الكهربائية

قسم هندسة الإتصالات

مقارنة خوارزميات ال TCP في نظم إتصالات التوابع الصناعية لتحديد مستوى الأداء

أطروحة أعدت لنيل درجة الماجستير في هندسة الإتصالات

إعداد المهندس نور عبد الله الفار

إشراف الدكتور المهندس عادل خضور علي

اعتماد الأطروحة

الإسم: نور عبد الله الفار

الدرجة: ماجستير في هندسة الاتصالات

العنوان: مقارنة خوارزميات ال TCP في نظم اتصالات التتابع الصناعية لتحديد مستوى الأداء

لجنة الحكم:

عضواً

الأستاذ الدكتور المهندس حسن أبو النور

عضواً

الدكتور المهندس حفصة الحموي

عضواً مشرفاً

الدكتور المهندس عادل خضور علي

تاريخ الدفاع: 2014/3/18

بموجب قرار مجلس البحث العلمي والدراسات العليا رقم /1482/ المتخذ بتاريخ 2014/2/24.

الإهداء

إلى من نذرت عمرها في أداء رسالة
صنعتها من أوراق الصبر
وطرزتها في ظلام الدهر
على سراج الأمل
بلا فتور أو كلل
رسالة تعلم العطاء كيف يكون العطاء
وتعلم الوفاء كيف يكون الوفاء
إليك أُمِّي أهدي هذا البحث
جزاك الله خيراً.. فأنت زهرة الحياة ونورها

إلى سندي وقوتي وملاذي بعد الله
إلى من أثروني على أنفسهم
إلى من علموني علم الحياة
إلى من أظهروا لي ما هو أجمل من الحياة أخواتي وإخوتي

يا من أحمل اسمك بكل فخر
يا من يرتعش قلبي لذكراك
يا من أودعتني الله أهديك هذا البحث أبي

شكر وتقدير

في مثل هذه اللحظات يتوقف اليراع ليفكر قبل أن يخط الحروف ليجمعها في كلمات ... تتبعثر الأحرف وعبثاً أن يحاول تجميعها في سطور سطوراً كثيرة تمر في الخيال ولا يبقى لي في نهاية المطاف إلا قليلاً من الذكريات وصور تجمعني برفاق كانوا إلى جانبي.....
فواجب علي شكرهم وأخص بجزيل الشكر والعرفان إلى كل من أشعل شمعة في دروب عملنا
وإلى من وقف على المنابر وأعطى من حصيلة فكره لينير دربنا
وأتوجه بالشكر الجزيل إلى مشرفي

الدكتور المهندس عادل خضور علي

الأخ والأستاذ العالم والإنسان على ما قدمه لي من عون ومساندة في مراحل إعداد الدراسة، حيث تبني الفكرة وشجع على إنجازها إلى أن أصبحت خطة، ثم واصل رعايتها وقدم النصح والإرشاد، وفتح أمامي بملاحظاته وتوجيهاته أبواب الأمل بإمكانية إنجاز هذا البحث.

ملخص البحث (Abstract)

بروتوكول التحكم بالإرسال (TCP) هو بروتوكول إتصال موجه من النهاية إلى النهاية ضمن طبقة النقل في نظام (OSI) (open system interconnection)، وقد تم تصميمه من أجل الشبكات السلكية التي تتميز بمعدلات خطأ عشوائية صغيرة جداً (BERS) وهنا يكون الفقد بالبرزم هو الأساس لتحديد وجود الإزدحام، بينما ينخفض أداء بروتوكول التحكم بالإرسال (TCP) ضمن منظومات التتابع الصناعية الثابتة للأرض (GEO) وذلك تبعاً لخصائص الوصلات التي تتميز بأنها ذات معدلات خطأ بالارسال عالية (BER)، تأخير انتشار عالي، عرض مجال لامتناظر.

قمنا بهذه الأطروحة بمقارنة أداء خوارزميات بروتوكول التحكم بالإزدحام TCP(Tahoe)، TCP(Reno)، TCP(Newreno) و TCP(SACK) ضمن شبكة إتصال هجينة من تابع صناعي واحد وشبكة إتصال هجينة تتضمن منظومة من التتابع الصناعية من خلال دراسة محددات الأداء: زمن التحميل، الإنتاجية الفعالة، حجم نافذة الإزدحام، الإنتاجية ونسبة استغلال عرض المجال. وذلك من أجل بروتوكول نقل الملف (FTP)، ضمن ظروف وبيئات مختلفة من توليد الإزدحام، الضياع فقط، التأخير فقط والضياع والتأخير معاً.

و تبين لدينا من خلال الدراسة من أجل حجم الملفات الكبيرة 50M أن بروتوكول TCP(SACK) يقدم أفضل أداء بين الخوارزميات الثلاث ضمن بيئة تعاني من الإزدحام، الضياع فقط والضياع والتأخير بينما ينخفض أدائه عندما تعاني الشبكة من التأخير فقط ويقدم TCP(Newreno) أفضل أداء، أما من أجل حجم الملفات المتوسطة 5M فيقدم بروتوكول التحكم بالإرسال TCP(SACK) أفضل أداء في جميع حالات الدراسة، وعند حجم ملفات صغيرة 500K يبدأ التقارب في أداء الخوارزميات الأربع ويقدم TCP(SACK) أفضل أداء عندما تعاني الشبكة من الإزدحام، التأخير فقط والضياع والتأخير معاً أما عندما تعاني الشبكة من الضياع فقط فإن بروتوكول TCP(Tahoe, Reno) فلهما أفضل أداء.

وتم تنفيذ المحاكاة باستخدام برنامج المحاكاة OPNET MODELER.

فهرس المحتويات (Index)

viii	فهرس الأشكال
xv	فهرس الجداول
xvii	فهرس المصطلحات
1	الفصل الأول مقدمة
1	1.1 مقدمة
2	1.2 أهمية الدراسة
3	1.3 الإسهام في الدراسة
4	الفصل الثاني: بروتوكول التحكم بالإرسال TCP
4	2.1 إنشاء وصلة TCP وإنهاؤها
7	2.2 التحكم بالتدفق لبروتوكول TCP
7	2.3 أطوار TCP للتحكم بالازدحام
8	2.3.1 طور الإقلاع البطيء (Slow Start)
10	2.3.2 طور تجنب الازدحام (Congestion avoidance)
10	2.3.3 طور إعادة الإرسال السريع (Fast Retransmit)
11	2.3.4 طور الاستعادة السريعة (Fast Recovery)
11	2-4 إنتهاء زمن إعادة الإرسال (RTO)
14	2.5 إشعارات التأكيد المتأخرة
16	الفصل الثالث: خوارزميات بروتوكول التحكم بالإرسال (TCP)
16	3.1 بروتوكول التحكم بالإرسال TCP(Tahoe)
19	3.2 بروتوكول التحكم بالإرسال TCP(Reno)
20	3.3 بروتوكول التحكم بالإرسال TCP(Newreno)
21	3.4 بروتوكول التحكم بالإرسال TCP(SACK)

22 الفصل الرابع: شبكات التوابع الصناعية

23 4.1 أنواع التوابع الصناعية:

24 4.1.1 التوابع الصناعية الثابتة بالنسبة للأرض (GEO)

24 4.1.2 التوابع الصناعية الغير ثابتة بالنسبة للأرض (NON-GEO)

25 4.1.2.1 التوابع الصناعية ذات المدارات المتوسطة Meo

25 4.1.2.2 التوابع الصناعية ذات المدارات المنخفضة Leo

25 4.2 خصائص الوصلات للتوابع الصناعية الثابتة بالنسبة للأرض (GEO)

25 4.2.1 زمن تأخير الانتشار الكبير

26 4.2.2 جداء عرض المجال الكبير بالتأخير BDP

26 4.2.3 معدل خطأ البت العالي BER

27 4.2.4 عرض المجال اللامتناظر

28 الفصل الخامس: أثر خصائص وصلات التوابع الصناعية (GEO) على أداء (TCP)

28 5.1 تأثير خصائص وصلات التوابع الصناعية على أداء TCP

5.1.1 تأثير زمن التجوال الكبير على آلية عمل الإقلاع البطيء (Slow Start) وإنهاء مؤقت إعادة الإرسال

28 (RTO)

30 5.1.2 تأثير جداء عرض المجال الكبير بالتأخير (BDP) على حجم نافذة بروتوكول التحكم بالإرسال (TCP)

30 5.1.3 أثر معدل خطأ البت العالي (BER) على خوارزميات التحكم بالإزدحام (TCP)

5.1.4 أثر عرض المجال اللامتناظر على خوارزميات التحكم بالإزدحام لبروتوكول التحكم بالإرسال

31 (TCP)

31 5.2 بعض الحلول المقترحة لتحسين أداء (TCP)

32 5.2.1 تحسين أداء بروتوكول (TCP) باستخدام الحل من النهاية إلى النهاية

32 5.2.2 تقسيم وصلة بروتوكول التحكم بالإرسال (TCP)

33 5.2.3 حلول طبقة الوصلة

34 الفصل السادس: تقييم الأداء

34 6.1 نموذج الخطأ

36 6.2 بنية الشبكة في المحاكاة

36 6.2.1 بيئة المحاكاة باستخدام تابع صناعي وحيد

38 6.2.2 بيئة المحاكاة باستخدام منظومة من التوابع الصناعية

40 6.3 الخصائص المطبقة في المحاكاة

40 6.3.1 محاكاة الإزدحام

41 6.3.2 محاكاة الضياع 5% و التأخير 0.1S

42 6.3.3 محددات بروتوكول نقل الملف (FTP)

42 6.3.4 محددات بروتوكول TCP

6.4	محددات تقييم الأداء	43
6.4.1	زمن التحميل	43
6.4.2	الإنتاجية TCP Throuput	43
6.4.3	الإنتاجية الفعالة TCP Goodput	43
6.4.4	نسبة استغلال عرض المجال لوصلة التابع الصناعي Utilization	43
6.5	نتائج المحاكاة ضمن تابع صناعي وحيد	44
6.5.1	حجم الملف 50M بتوليد إزدحام ضمن تابع صناعي وحيد	44
6.5.2	حجم الملف 50M بتوليد ضياع 5% ضمن تابع صناعي وحيد	47
6.5.3	حجم الملف 50M بتوليد تأخير 0.1S ضمن تابع صناعي وحيد	50
6.5.4	حجم الملف 50M بتوليد ضياع 5% وتأخير 0.1S ضمن تابع صناعي وحيد	53
6.5.5	حجم الملف 5M بتوليد إزدحام ضمن تابع صناعي وحيد	56
6.5.6	حجم الملف 5M بتوليد ضياع 5% ضمن تابع صناعي وحيد	59
6.5.7	حجم الملف 5M بتوليد تأخير 0.1S ضمن تابع صناعي وحيد	62
6.5.8	حجم الملف 5M بتوليد ضياع 5% وتأخير 0.1S ضمن تابع صناعي وحيد	65
6.5.9	حجم الملف 500K بتوليد إزدحام ضمن تابع صناعي وحيد	68
6.5.10	حجم الملف 500K بتوليد ضياع 5% ضمن تابع صناعي وحيد	71
6.5.11	حجم الملف 500K بتوليد تأخير 0.1S ضمن تابع صناعي وحيد	74
6.5.12	حجم الملف 500K بتوليد ضياع 5% وتأخير 0.1S ضمن تابع صناعي وحيد	76
6.5.13	ملخص الدراسة لأداء الخوارزميات ضمن بيئة إتصال تتألف من تابع صناعي وحيد	78
6.6	نتائج المحاكاة ضمن منظومة من التوابع الصناعية	80
6.6.1	حجم الملف 50M بتوليد إزدحام ضمن منظومة من التوابع الصناعية	80
6.6.2	حجم الملف 50M بتوليد ضياع 5% وتأخير 0.1S ضمن منظومة من التوابع الصناعية	85
6.6.3	ملخص الدراسة لأداء الخوارزميات ضمن بيئة إتصال تتألف من منظومة من التوابع الصناعية	89
6.7	النتيجة النهائية	90
6.7.1	مميزات بروتوكول TCP(SACK)	90
6.7.2	مساوئ بروتوكول TCP(SACK)	91
92	الفصل السابع التوصيات والآفاق المستقبلية	
94	الملحقات: نظام محاكاة الشبكات OPNET MODELER	
94	1.م برنامج المحاكاة OPNET MODELER	
95	1.1.م محرر المشروع (Project Editor)	
96	1.1.2.م محرر العقد (Node Editor)	
97	1.1.3.م محرر المعالجة (Process Editor)	

99	م النماذج المستخدمة بالمحاكاة
100	م حجم الملف 50M بتوليد ضياع 5% ضمن منظومة من التوابع الصناعية
104	م التأكد من النتائج المولدة باستخدام البرنامج OPNET MODELER
106	المراجع

فهرس الأشكال

- الشكل (2-1) ترويسة مقطع البيانات (Segment) لبروتوكول التحكم بالإرسال TCP 5
- الشكل (2-2) المصافحة بثلاث طرق 5
- الشكل (2-3) إنهاء وصلة بروتوكول التحكم بالإرسال TCP 6
- الشكل (2-4) خوارزميات TCP للتحكم بالإزدحام، و آلية تحديد حجم نافذة الإزدحام 9
- الشكل (3-1) طور الإقلاع البطيء في TCP(Tahoe) 16
- الشكل (3-2) TCP(Tahoe) طور تجنب الإزدحام 17
- الشكل (3-3) طور إعادة الإرسال السريع 18
- الشكل (3-4) طور الاستعادة السريعة 19
- الشكل (3-5) مقارنة بين شكل نافذة الإزدحام في حالة فقد رزمة وحيدة بين TCP(Tahoe, Reno) 20
- الشكل (3-6) TCP(SACK) 21
- الشكل (4-1) أنواع التوابع الصناعية تبعا لإرتفاع المدار 23
- الشكل (6-1) تعديل العتبة الحدية (ecc) لمستقبل الإرسال ضمن نموذج عقدة Opnet ppp work station advanced 35
- الشكل (6-2) شبكة هجينة تتكون من تابع صناعي وحيد وشبكة أرضية، التأخير اللازم للانتشار هو في اتجاه واحد 36
- الشكل (6-3) نموذج محاكاة شبكة إتصال مؤلفة من خمس توابع صناعية ثابتة بالنسبة للأرض بالإضافة إلى الشبكات الأرضية 39
- الشكل (6-4) تعديل سمات (IP) ضمن الموجه لمحاكاة الإزدحام 41
- الشكل (6-5) تحديد قيم الضياع والتأخير من خلال التعديل في سمات التابع الصناعي 41
- الشكل (6-6) حجم الملف المرسل 50M بتوليد إزدحام 44
- الشكل (6-7) زمن التحميل لملف 50M بتوليد إزدحام 44
- الشكل (6-8) حجم نافذة الإزدحام، 50M بتوليد إزدحام 44
- الشكل (6-9) إنتاجية الوصلة الصاعدة من العميل للتابع الصناعي، 50M بتوليد إزدحام 45
- الشكل (6-10) عرض المجال المستغل للوصلة الصاعدة، 50M بتوليد إزدحام 45

45.....	الشكل (6-11) إنتاجية الوصلة الهابطة من التابع الصناعي للعميل، 50M بتوليد إزدحام
45.....	الشكل (6-12) عرض المجال المستغل للوصلة الهابطة، 50M بتوليد إزدحام
47.....	الشكل (6-13) حجم الملف المرسل 50M بتوليد ضياع 5%
47.....	الشكل (6-14) زمن التحميل، ملف 50M بتوليد ضياع 5%
47.....	الشكل (6-15) حجم نافذة الإزدحام لملف 50M بتوليد ضياع 5%
48.....	الشكل (6-16) إنتاجية الوصلة الصاعدة من العميل للتابع الصناعي لملف 50M بتوليد ضياع 5%
48.....	الشكل (6-17) عرض المجال المستغل للوصلة الصاعدة لملف 50M بتوليد ضياع 5%
48.....	الشكل (6-18) إنتاجية الوصلة الهابطة من التابع الصناعي للعميل لملف 50M بتوليد ضياع 5%
48.....	الشكل (6-19) عرض المجال المستغل للوصلة الهابطة لملف 50M بتوليد ضياع 5%
50.....	الشكل (6-20) حجم الملف المرسل 50M بتوليد تأخير 0.1S
50.....	الشكل (6-21) زمن التحميل لملف 50M بتوليد تأخير 0.1S
50.....	الشكل (6-22) حجم نافذة الإزدحام لملف 50M بتوليد تأخير 0.1S
51.....	الشكل (6-23) إنتاجية الوصلة الصاعدة من العميل للتابع الصناعي لملف 50M بتوليد تأخير 0.1S
51.....	الشكل (6-24) عرض المجال المستغل للوصلة الصاعدة لملف 50M بتوليد تأخير 0.1S
51.....	الشكل (6-25) إنتاجية الوصلة الهابطة من التابع الصناعي للعميل لملف 50M بتوليد تأخير 0.1S
51.....	الشكل (6-26) عرض المجال المستغل للوصلة الهابطة لملف 50M بتوليد تأخير 0.1S
53.....	الشكل (6-27) حجم الملف المرسل 50M بتوليد ضياع 5% وتأخير 0.1S
53.....	الشكل (6-28) زمن التحميل لملف 50M بتوليد ضياع 5% وتأخير 0.1S
53.....	الشكل (6-29) حجم نافذة الإزدحام 50M بتوليد ضياع 5% وتأخير 0.1S
54.....	الشكل (6-30) إنتاجية الوصلة الصاعدة من العميل للتابع الصناعي لملف 50M بتوليد ضياع 5% وتأخير 0.1S
54.....	الشكل (6-31) عرض المجال المستغل للوصلة الصاعدة لملف 50M بتوليد ضياع 5% وتأخير 0.1S
54.....	الشكل (6-32) إنتاجية الوصلة الهابطة من التابع الصناعي للعميل لملف 50M بتوليد ضياع 5% وتأخير 0.1S
54.....	الشكل (6-33) عرض المجال المستغل للوصلة الهابطة لملف 50M بتوليد ضياع 5% وتأخير 0.1S
56.....	الشكل (6-34) حجم الملف المرسل 5M بتوليد إزدحام

- الشكل (6-35) زمن التحميل لملف 5M بتوليد إزدحام 56
- الشكل (6-36) حجم نافذة الإزدحام لملف 5M بتوليد إزدحام 56
- الشكل (6-37) إنتاجية الوصلة الصاعدة من العميل للتابع الصناعي لملف 5M بتوليد إزدحام 57
- الشكل (6-38) عرض المجال المستغل للوصلة الصاعدة لملف 5M بتوليد إزدحام 57
- الشكل (6-39) إنتاجية الوصلة الهابطة من التابع الصناعي للعميل لملف 5M بتوليد إزدحام 57
- الشكل (6-40) عرض المجال المستغل للوصلة الهابطة لملف 5M بتوليد إزدحام 57
- الشكل (6-41) حجم الملف المرسل 5M بتوليد ضياع 5% 59
- الشكل (6-42) زمن التحميل لملف 5M بتوليد ضياع 5% 59
- الشكل (6-43) حجم نافذة الإزدحام لملف 5M بتوليد ضياع 5% 59
- الشكل (6-44) إنتاجية الوصلة الصاعدة من العميل للتابع الصناعي لملف 5M بتوليد ضياع 5% 60
- الشكل (6-45) عرض المجال المستغل للوصلة الصاعدة لملف 5M بتوليد ضياع 5% 60
- الشكل (6-46) إنتاجية الوصلة الهابطة من التابع الصناعي للعميل لملف 5M بتوليد ضياع 5% 60
- الشكل (6-47) عرض المجال المستغل للوصلة الهابطة 5M بتوليد ضياع 5% 60
- الشكل (6-48) حجم الملف المرسل 5M بتوليد تأخير 0.1S 62
- الشكل (6-49) زمن التحميل لملف 5M بتوليد تأخير 0.1S 62
- الشكل (6-50) حجم نافذة الإزدحام 5M بتوليد تأخير 0.1S 62
- الشكل (6-51) إنتاجية الوصلة الصاعدة من العميل للتابع الصناعي 5M بتوليد تأخير 0.1S 63
- الشكل (6-52) عرض المجال المستغل للوصلة الصاعدة 5M بتوليد تأخير 0.1S 63
- الشكل (6-53) إنتاجية الوصلة الهابطة من التابع الصناعي للعميل 5M بتوليد تأخير 0.1S 63
- الشكل (6-54) عرض المجال المستغل للوصلة الهابطة 5M بتوليد تأخير 0.1S 63
- الشكل (6-55) حجم الملف المرسل 5M بتوليد ضياع 5% وتأخير 0.1S 65
- الشكل (6-56) زمن التحميل لملف 5M بتوليد ضياع 5% وتأخير 0.1S 65
- الشكل (6-57) حجم نافذة الإزدحام لملف 5M بتوليد ضياع 5% وتأخير 0.1S 65
- الشكل (6-58) إنتاجية الوصلة الصاعدة من العميل للتابع الصناعي لملف 5M بتوليد ضياع 5% وتأخير 0.1S 66

- الشكل (6-59) عرض المجال المستغل للوصلة الصاعدة لملف 5M بتوليد ضياع 5% وتأخير 0.1S.....66
- الشكل (6-60) إنتاجية الوصلة الهابطة من التابع الصناعي للعميل لملف 5M بتوليد ضياع 5% وتأخير 0.1S.....66
- الشكل (6-61) عرض المجال المستغل للوصلة الهابطة لملف 5M بتوليد ضياع 5% وتأخير 0.1S.....66
- الشكل (6-62) حجم الملف المرسل 500K بتوليد إزدحام.....68
- الشكل (6-63) زمن التحميل لملف 500K بتوليد إزدحام.....68
- الشكل (6-64) حجم نافذة الإزدحام 500K بتوليد إزدحام.....68
- الشكل (6-65) إنتاجية الوصلة الصاعدة من العميل للتابع الصناعي لملف 500K بتوليد إزدحام.....69
- الشكل (6-66) عرض المجال المستغل للوصلة الصاعدة لملف 500K بتوليد إزدحام.....69
- الشكل (6-67) إنتاجية الوصلة الهابطة من التابع الصناعي للعميل لملف 500K بتوليد إزدحام.....69
- الشكل (6-68) عرض المجال المستغل للوصلة الهابطة لملف 500K بتوليد إزدحام.....69
- الشكل (6-69) حجم الملف المرسل 500K بتوليد ضياع 5%.....71
- الشكل (6-70) زمن التحميل لملف 500K بتوليد ضياع 5%.....71
- الشكل (6-71) إنتاجية الوصلة الصاعدة من العميل للتابع الصناعي لملف 500K بتوليد ضياع 5%.....72
- الشكل (6-72) عرض المجال المستغل للوصلة الصاعدة لملف 500K بتوليد ضياع 5%.....72
- الشكل (6-73) إنتاجية الوصلة الهابطة من التابع الصناعي للعميل لملف 500K بتوليد ضياع 5%.....72
- الشكل (6-74) عرض المجال المستغل للوصلة الهابطة لملف 500K بتوليد ضياع 5%.....72
- الشكل (6-75) حجم الملف المرسل 500K بتوليد تأخير 0.1S.....74
- الشكل (6-76) زمن التحميل لملف 500K بتوليد تأخير 0.1S.....74
- الشكل (6-77) إنتاجية الوصلة الصاعدة من العميل للتابع الصناعي لملف 500K بتوليد تأخير 0.1S.....75
- الشكل (6-78) عرض المجال المستغل للوصلة الصاعدة لملف 500K بتوليد تأخير 0.1S.....75
- الشكل (6-79) إنتاجية الوصلة الهابطة من التابع الصناعي للعميل لملف 500K بتوليد تأخير 0.1S.....75
- الشكل (6-80) عرض المجال المستغل للوصلة الهابطة لملف 500K بتوليد تأخير 0.1S.....75
- الشكل (6-81) حجم الملف المرسل 500K بتوليد ضياع 5% وتأخير 0.1S.....76
- الشكل (6-82) زمن التحميل لملف 500K بتوليد ضياع 5% وتأخير 0.1S.....76

- الشكل (6-83) إنتاجية الوصلة الصاعدة من العميل للتابع الصناعي لملف 500K بتوليد ضياع 5% وتأخير 0.1S.....77
- الشكل (6-84) عرض المجال المستغل للوصلة الصاعدة لملف 500K بتوليد ضياع 5% وتأخير 0.1S.....77
- الشكل (6-85) إنتاجية الوصلة الهابطة من التابع الصناعي للعميل لملف 500K بتوليد ضياع 5% وتأخير 0.1S.....77
- الشكل (6-86) عرض المجال المستغل للوصلة الهابطة لملف 500K بتوليد ضياع 5% وتأخير 0.1S.....77
- الشكل (6-87) حجم الملف المرسل 50M للعميل 1 ضمن منظومة بتوليد إزدحام.....80
- الشكل (6-88) زمن التحميل لملف 50M للعميل 1 ضمن منظومة بتوليد إزدحام.....80
- الشكل (6-89) حجم نافذة الإزدحام لمخدم مدينة دمشق لملف 50M ضمن منظومة بتوليد إزدحام.....80
- الشكل (6-90) إنتاجية الوصلة الصاعدة من العميل 1 للتابع الصناعي 1 لملف 50M ضمن منظومة بتوليد إزدحام.....81
- الشكل (6-91) عرض المجال المستغل للوصلة الصاعدة لملف 50M للعميل 1 ضمن منظومة بتوليد إزدحام.....81
- الشكل (6-92) إنتاجية الوصلة الهابطة من التابع الصناعي 1 للعميل 1 لملف 50M ضمن منظومة بتوليد إزدحام.....81
- الشكل (6-93) عرض المجال المستغل للوصلة الهابطة لملف 50M للعميل 1 ضمن منظومة بتوليد إزدحام.....81
- الشكل (6-94) حجم الملف المرسل 50M للعميل 2 ضمن منظومة بتوليد إزدحام.....82
- الشكل (6-95) زمن التحميل لملف 50M للعميل 2 ضمن منظومة بتوليد إزدحام.....82
- الشكل (6-96) حجم نافذة الإزدحام لمخدم مدينة حلب التحميل لملف 50M ضمن منظومة بتوليد إزدحام.....82
- الشكل (6-97) إنتاجية الوصلة الصاعدة من العميل 2 للتابع الصناعي 3 لملف 50M ضمن منظومة بتوليد إزدحام.....83
- الشكل (6-98) عرض المجال المستغل للوصلة الصاعدة لملف 50M للعميل 2 ضمن منظومة بتوليد إزدحام.....83
- الشكل (6-99) إنتاجية الوصلة الهابطة من التابع الصناعي 3 للعميل 2 لملف 50M ضمن منظومة بتوليد إزدحام.....83
- الشكل (6-100) عرض المجال المستغل للوصلة الهابطة لملف 50M للعميل 2 ضمن منظومة بتوليد إزدحام.....83
- الشكل (6-101) حجم الملف المرسل 50M للعميل 1 ضمن منظومة بتوليد ضياع 5% وتأخير 0.1S.....85
- الشكل (6-100) زمن التحميل لملف 50M للعميل 1 ضمن منظومة بتوليد ضياع 5% وتأخير 0.1S.....85
- الشكل (6-103) حجم نافذة الإزدحام لمخدم مدينة دمشق لملف 50M ضمن منظومة بتوليد ضياع 5% وتأخير 0.1S.....85
- الشكل (6-104) إنتاجية الوصلة الصاعدة من العميل 2 للتابع الصناعي 3 لملف 50M ضمن منظومة بتوليد ضياع 5% وتأخير 0.1S.....86

الشكل (6-105) عرض المجال المستغل للوصل الصاعدة لملف 50M للعميل 1 ضمن منظومة بتوليد ضياع 5% وتأخير	0.1S
86.....	
الشكل (6-106) إنتاجية الوصلة الهابطة من التابع الصناعي 3 للعميل 2 لملف 50M ضمن منظومة بتوليد ضياع 5% وتأخير	0.1S
86.....	
الشكل (6-107) عرض المجال المستغل للوصل الهابطة لملف 50M للعميل 1 ضمن منظومة بتوليد ضياع 5% وتأخير	0.1S
86.....	
الشكل (6-108) حجم الملف المرسل 50M للعميل 2 ضمن منظومة بتوليد ضياع 5% وتأخير 0.1S	0.1S
87.....	
الشكل (6-109) زمن التحميل لملف 50M للعميل 2 ضمن منظومة بتوليد ضياع 5% وتأخير 0.1S	0.1S
87.....	
الشكل (6-110) حجم نافذة الإزدحام لمخدم مدينة حلب لملف 50M ضمن منظومة بتوليد ضياع 5% وتأخير 0.1S	0.1S
87.....	
الشكل (6-111) إنتاجية الوصلة الصاعدة من العميل 2 للتابع الصناعي 3 لملف 50M ضمن منظومة بتوليد ضياع 5% وتأخير	0.1S
88.....	
الشكل (6-112) عرض المجال المستغل للوصل الصاعدة لملف 50M للعميل 2 ضمن منظومة بتوليد ضياع 5% وتأخير	0.1S
88.....	
الشكل (6-113) إنتاجية الوصلة الهابطة من التابع الصناعي 3 للعميل 2 لملف 50M ضمن منظومة بتوليد ضياع 5% وتأخير	0.1S
88.....	
الشكل (6-114) عرض المجال المستغل للوصل الهابطة لملف 50M للعميل 2 ضمن منظومة بتوليد ضياع 5% وتأخير	0.1S
88.....	
الشكل (م-1) الواجهة الأساسية لبرنامج OPNET Modeler	94.....
الشكل (م-2) واجهة محرر المشروع Project Editor	96.....
الشكل (م-3) واجهة محرر العقد Node Editor	97.....
الشكل (م-4) واجهة محرر المعالجة Process Editor لعقدة TCP	98.....
الشكل (م-5) حجم الملف المرسل 50M للعميل 1 ضمن منظومة بتوليد ضياع 5%	100.....
الشكل (م-6) زمن التحميل لملف 50M للعميل 1 ضمن منظومة بتوليد ضياع 5%	100.....
الشكل (م-7) حجم نافذة الإزدحام لمخدم مدينة دمشق لملف 50M ضمن منظومة بتوليد ضياع 5%	100.....
الشكل (م-8) إنتاجية الوصلة الصاعدة من العميل 1 للتابع الصناعي 1 لملف 50M ضمن منظومة بتوليد ضياع 5%	101.....
الشكل (م-9) عرض المجال المستغل للوصل الصاعدة لملف 50M للعميل 1 ضمن منظومة بتوليد ضياع 5%	101.....
الشكل (م-10) إنتاجية الوصلة الهابطة من التابع الصناعي 1 للعميل 1 لملف 50M ضمن منظومة بتوليد ضياع 5%	101.....

- الشكل (م-11) عرض المجال المستغل للوصلة الهابطة لملف 50M للعميل 1 ضمن منظومة بتوليد ضياع 5% 101
- الشكل (م-12) حجم الملف المرسل 50M للعميل 2 ضمن منظومة بتوليد ضياع 5% 102
- الشكل (م-13) زمن التحميل لملف 50M للعميل 2 ضمن منظومة بتوليد ضياع 5% 102
- الشكل (م-14) حجم نافذة الإزدحام لمخدم مدينة حلب لملف 50M ضمن منظومة بتوليد ضياع 5% 102
- الشكل (م-15) إنتاجية الوصلة الصاعدة من العميل 2 للتابع الصناعي 3 لملف 50M ضمن منظومة بتوليد ضياع 5% 103
- الشكل (م-16) عرض المجال المستغل للوصلة الصاعدة لملف 50M للعميل 2 ضمن منظومة بتوليد ضياع 5% 103
- الشكل (م-17) إنتاجية الوصلة الهابطة من التابع الصناعي 3 للعميل 2 لملف 50M ضمن منظومة بتوليد ضياع 5% 103
- الشكل (م-18) عرض المجال المستغل للوصلة الهابطة لملف 50M للعميل 2 ضمن منظومة بتوليد ضياع 5% 103
- الشكل (م-19) الانتاجية ضمن شبكة أرضية بسرعة 2,048Kb/s وتأخير 500ms ضمن بيئة اتصال خالية من الضياعات والإزدحام 104

فهرس الجداول

الجدول (4-1) مجال عمل الترددات للتوابع الصناعية، حيث يظهر خدمات محددة مختلفة من أجل كل مجال.....	22
الجدول (4-2) ضياعات الإنتشار مقدرة بال dB التي تؤثر على وصلات التابع الصناعي من نوع GEO.....	27
الجدول (5-1) طور الإقلاع البطيء كلما ازداد معدل الإرسال كلما ازداد الزمن المبذول.....	29
الجدول (6-1) معدلات خطأ البت مقابل معدلات خطأ الرزم.....	35
الجدول (6-2) محددات بروتوكول نقل الملفات (FTP) إن قيمة زمن طلب الملف كبيرة لضمان تحميل الملف في كل محاكاة.....	42
الجدول (6-3) محددات بروتوكول التحكم بالإرسال TCP.....	42
الجدول (6-4) الإنتاجية الفعالة و زمن التحميل 50M بتوليد إزدحام.....	44
الجدول (6-5) الإنتاجية وعرض المجال المستغل 50M بتوليد إزدحام.....	46
الجدول (6-6) الإنتاجية الفعالة و زمن التحميل لملف 50M بتوليد ضياع 5%.....	47
الجدول (6-7) الإنتاجية وعرض المجال المستغل 50M بتوليد ضياع 5%.....	49
الجدول (6-8) الإنتاجية الفعالة و زمن التحميل التحميل لملف 50M بتوليد تأخير 0.1S.....	50
الجدول (6-9) الإنتاجية وعرض المجال المستغل التحميل لملف 50M بتوليد تأخير 0.1S.....	52
الجدول (6-10) الإنتاجية الفعالة و زمن التحميل لملف 50M بتوليد ضياع 5% وتأخير 0.1S.....	53
الجدول (6-11) الإنتاجية وعرض المجال المستغل لملف 50M بتوليد ضياع 5% وتأخير 0.1S.....	55
الجدول (6-12) الإنتاجية الفعالة و زمن التحميل لملف 5M بتوليد إزدحام.....	56
الجدول (6-13) الإنتاجية وعرض المجال المستغل لملف 5M بتوليد إزدحام.....	58
الجدول (6-14) الإنتاجية الفعالة و زمن التحميل التحميل لملف 5M بتوليد ضياع 5%.....	59
الجدول (6-15) الإنتاجية وعرض المجال المستغل التحميل لملف 5M بتوليد ضياع 5%.....	61
الجدول (6-16) زمن التحميل و الإنتاجية الفعالة 5M بتوليد تأخير 0.1S.....	62
الجدول (6-17) الإنتاجية وعرض المجال المستغل 5M بتوليد تأخير 0.1S.....	64
الجدول (6-18) الإنتاجية الفعالة و زمن التحميل لملف 5M بتوليد ضياع 5% وتأخير 0.1S.....	65

الجدول (6-19)	الإنتاجية وعرض المجال المستغل لملف المرسل 5M بتوليد ضياع 5% وتأخير 0.1S.....	67
الجدول (6-20)	الإنتاجية الفعالة و زمن التحميل لملف 500K بتوليد إزدحام.....	68
الجدول (6-21)	الإنتاجية وعرض المجال المستغل لملف 500K بتوليد إزدحام.....	70
الجدول (6-22)	الإنتاجية الفعالة و زمن التحميل لملف 500K بتوليد ضياع 5%.....	71
الجدول (6-23)	الإنتاجية وعرض المجال المستغل لملف 500K بتوليد ضياع 5%.....	73
الجدول (6-24)	الإنتاجية الفعالة و زمن التحميل لملف 500K بتوليد تأخير 0.1S.....	74
الجدول (6-25)	الإنتاجية الفعالة وزمن التحميل لملف 500K بتوليد ضياع 5% وتأخير 0.1S.....	76
الجدول (6-26)	الإنتاجية وعرض المجال المستغل لملف 500K بتوليد ضياع 5% وتأخير 0.1S.....	78
الجدول (6-27)	زمن التحميل و الإنتاجية الفعالة لملف 50M للعميل 1 ضمن منظومة بتوليد إزدحام.....	80
الجدول (6-28)	زمن التحميل و الإنتاجية الفعالة لملف 50M للعميل 2 ضمن منظومة بتوليد إزدحام.....	82
الجدول (6-29)	الإنتاجية وعرض المجال المستغل لملف 50M ضمن منظومة بتوليد إزدحام.....	84
الجدول (6-30)	زمن التحميل و الإنتاجية الفعالة لملف 50M للعميل 1 ضمن منظومة بتوليد ضياع 5% وتأخير 0.1S.....	85
الجدول (6-31)	زمن التحميل و الإنتاجية الفعالة لملف 50M للعميل 2 ضمن منظومة بتوليد ضياع 5% وتأخير 0.1S.....	87
الجدول (م-1)	زمن التحميل و الإنتاجية الفعالة لملف 50M للعميل 1 ضمن منظومة بتوليد ضياع 5%.....	100
الجدول (م-2)	زمن التحميل و الإنتاجية الفعالة لملف 50M للعميل 2 ضمن منظومة بتوليد ضياع 5%.....	102

قاموس المفردات

عرض المجال المتاح	Available bandwidth	ABW
إشعار تأكيد	Acknowledgement	ACK
طلب التكرار الآلي	Automatic repeat request	ARQ
جداء عرض المجال بالتأخير	Bandwidth delay product	BDP
معدل خطأ البتات	Bit error rate	BER
خدمة البث للتابع الصناعي	Broadcast satellite service	BSS
تقدير عرض المجال	Bandwidth estimate	BWE
نافذة الإدمام	Congestion window	CWND
تصحيح الخطأ المتقدم	Forward error correction	FEC
النهاية	Finish	FIN
آلة الحالة المحدودة	Finite state machine	FSM
خدمة التابع الصناعي الثابت	Fixed satellite service	FSS
بروتوكول نقل الملفات	File transfer protocol	FTP
بروتوكول الإنترنت	Internet protocol	IP
أمن بروتوكول الإنترنت	Internet protocol security	IPSEC
وصلة بين التوابع الصناعية	Inter-satellite link	ISL
النافذة الابتدائية	Initial window	IW
خدمات التجوال للتابع الصناعي	Mobile satellite service	MSS
التوابع الصناعية الثابتة بالنسبة للأرض	Geostationary earth orbit	GEO
نظام تحديد المواقع العالمي	Global positioning system	GPS
المدار الأرضي المنخفض	Low earth orbit	LEO
خط النظر	Line of sight	LoS
المدار الأرضي المتوسط	Medium earth orbit	MEO
المدارات الأرضية غير الثابتة بالنسبة للأرض	Non-geostationary earth orbit	NGEO
نظام الربط المفتوح	Open System Interconnection	OSI

معدل خطأ الرزم	Packet error rate	PER
من نقطة إلى نقطة	Point-to-point	PPP
مؤقت انتهاء زمن إعادة الإرسال	Retransmission timeout	RTO
زمن التجوال	Round trip time	RTT
النافذة المعلنة للمستقبل	Receiver's advertised window	RWND
إشعارات التأكيد المنتقاة	Selective acknowledgement	SACK
أقصى حجم لمقطع البيانات المرسل	Sender maximum segment size	SMSS
زمن التجوال الإنسيابي	Smoothed round trip time	SRTT
العتبة الحدية للإقلاع البطيء	Slow start threshold	SSTHRESH
مخطط انتقال الحالة	State transition diagram	STD
بروتوكول التحكم بالإرسال	Transmission control protocol	TCP
شبكة محلية لاسلكية	Wireless local area network	Wlan

الفصل الأول

مقدمة

1.1 مقدمة:

شهد الإنترنت في الآونة الأخيرة تزايداً في الطلب من أجل تطبيقات جديدة عالية السرعة في مجال الوسائط المتعددة (Multimedia) ونقل البيانات من خلال الشبكات اللاسلكية مثل شبكة التوابع الصناعية (Satellite)، الشبكات المحلية اللاسلكية (Wlans)، والشبكات الخليوية (GSM).

ويعد استخدام شبكات التوابع الصناعية لتأمين خدمات الإنترنت اقتراحاً جذاباً للغاية منذ تطور التطبيقات وازدياد الإزدحام بشكل كبير على الشبكات الأرضية الأمر الذي يجبر بروتوكول الإنترنت (IP) على المرور على 17 إلى 20 عقدة على الأقل والتعرض للعديد من الاختناقات بينما باستخدام التوابع الصناعية فإن قفزة واحدة كافية لربط موقعين بعيدين جداً عن بعضهما البعض [1].

لأسف يبقى استخدام شبكات التوابع الصناعية محدوداً نتيجة الأداء الضعيف لبروتوكول التحكم بالإرسال (TCP) وذلك نتيجة لخصائص الوصلات في شبكات التوابع الصناعية.

حيث إن التأخير الكبير للإنتشار لوصلات التوابع الصناعية له أثر مماثل للعبور بالعديد من الاختناقات التي تؤثر بمخطط التحكم بالإزدحام للعديد من البروتوكولات الموجهة الإتصال.

والتي تخفض بشكل كبير من استخدام عرض المجال متاح لوصلات شبكات التوابع الصناعية.

بروتوكول التحكم بالإرسال (TCP) [1]، [2]، [3]، يقوم بتأمين نقل 90% من البيانات الخاصة بالإنترنت [4]، [5]، وقد تم تصميمه من أجل الشبكات السلكية التي تتميز بمعدلات خطأ عشوائية صغيرة جداً (BERS) وهنا يكون الفقد بالرمز هو الأساس لتحديد وجود الإزدحام.

وتم تطوير بروتوكول التحكم بالإرسال بخوارزميات التحكم بالإزدحام [6]، [7]، من أجل استعادة الرزم المفقودة بسبب الإزدحام، الأمر الذي يسمح لبروتوكول (TCP) بالأداء بشكل جيد ضمن الشبكات السلكية.

1.2 أهمية الدراسة:

يحتاج الجيل القادم من شبكات الإنترنت إلى أن تكون منتشرة بكل مكان وبشكل سلس [8].

وبالتالي تلعب وصلات التوابع الصناعية الثابتة بالنسبة للأرض (GEO) دوراً هاماً في تشكيل العمود الفقري لشبكة الإنترنت ذات المجال العريض والسرعة العالية، لتأمين الإتصال بين الشبكات عن بعد من خلال بنية مدروسة وقدرات متعددة الإرسال [10].

و تعد التوابع الصناعية الثابتة بالنسبة للأرض (GEO) أكثر جاذبية من شبكات التوابع الصناعية الأخرى (Non-GEO) وذلك لأنها أقل عرضة لمخاطر التطوير مقارنة مع الأعداد الكبيرة لمنظومات التوابع الصناعية (Non-GEO) [11].

يزيد بروتوكول التحكم بالإرسال (TCP) من معدلات الإرسال كلما استلم المرسل إشعارات التأكيد (ACK) للحزم المرسل، حيث ينصح مضيفي الإنترنت (Hosts) من تمكين خيار تأخير الإشعارات (ACK) [14] وذلك في سبيل الاستفادة الكبرى من عرض المجال الترددي المتوفر للشبكة من خلال تقليل عدد الإشعارات المرسل إلى المرسل من المستقبل، الأمر الذي يجعل (TCP) المستقبل يرسل إشعاراً من أجل كل رزمتين مستقبليتين ذات حجم كامل من (TCP) المرسل.

تتميز وصلات التوابع الصناعية الثابتة بالنسبة للأرض (GEO) بأن لها معدل خطأ بت عالي (BER)، تأخير إنتشار عالي، عرض مجال لا متناظر (عرض مجال مختلف بين الوصلات الصاعدة والهابطة).

وبالتالي يكون بروتوكول التحكم بالإرسال (TCP) ذو أداء ضعيف في الشبكات الهجينة مع شبكات التوابع الثابتة بالنسبة للأرض (GEO) وذلك تبعاً لخصائصها.

حيث يعاني بروتوكول التحكم بالإرسال (TCP) من ضياع الرزم و ذلك كمؤشر للإزدحام وبالتالي يخفض معدلات الإرسال، والذي يؤدي إلى إنخفاض في إنتاجية بروتوكول التحكم بالإرسال (TCP).

في غياب الضياعات الناتجة عن الخطأ، يؤدي تأخير الإنتشار الكبير لزمن التجوال (RTTs) والذي يقابله محدودية في حجم النافذة لبروتوكول التحكم بالإرسال (TCP) إلى إستخدام ضعيف لعرض المجال المتاح لوصلات التوابع الصناعية.

1.3 الإسهام في الدراسة:

قمنا في هذه الاطروحة بمقارنة أداء خوارزميات بروتوكول التحكم بالإرسال TCP(TAHOE), TCP(NEWRENO), TCP(RENO) و TCP(SACK) ضمن نظم الإتصال بالتوابع الصناعية الثابتة بالنسبة للأرض (GEO) ضمن بيئات عمل مختلفة وذلك من خلال:

- المقارنة بوجود الإزدحام.
- المقارنة بوجود الإزدحام والضياع بنسبة 5%.
- المقارنة بوجود الإزدحام والتأخير بمقدار 0.1s.
- المقارنة بوجود الإزدحام، الضياع 5% والتأخير 0.1s.

ضمن بيئة تابع صناعي وحيد وبيئة منظومة من التوابع الصناعية GEO.

وذلك بدراسة حجم نافذة الإزدحام (Congestion window size)، الإنتاجية في الوصلات الصاعدة و الهابطة (Throughput)، زمن التحميل (Download response time)، الإنتاجية الفعالة (Goodput) ومدى استغلال عرض المجال الترددي (Utilization) ضمن شروط وبارمترات مختلفة في سبيل تحديد الخوارزمية ذات الأداء والإستجابة الأفضل ضمن بيئة العمل وذلك بإستخدام برنامج المحاكاة OPNET MODELER.

الفصل الثاني

بروتوكول التحكم بالإرسال (TCP)

الفصل الثاني: بروتوكول التحكم بالإرسال (TCP)

هو بروتوكول إتصال موجه من النهاية إلى النهاية ضمن طبقة النقل في نظام (OSI)

(Open System Interconnection) [3]، [13].

وهو يقدم وثوقية في إيصال خدمات حزمة البيانات بشكل مستقل عن البنية التحتية للشبكة.

ويعمل بروتوكول TCP على تقديم نقل ثنائي الإتجاه ومن نقطة إلى نقطة حيث يتواجد دائماً مرسل ومستقبل لوصلة TCP وبالتالي تدفق البيانات يكون موجهاً أو شبه موجه.

ويوظف بروتوكول TCP آليات من أجل إدارة الوصلة، التحكم بالتدفق والتحكم بالإزدحام.

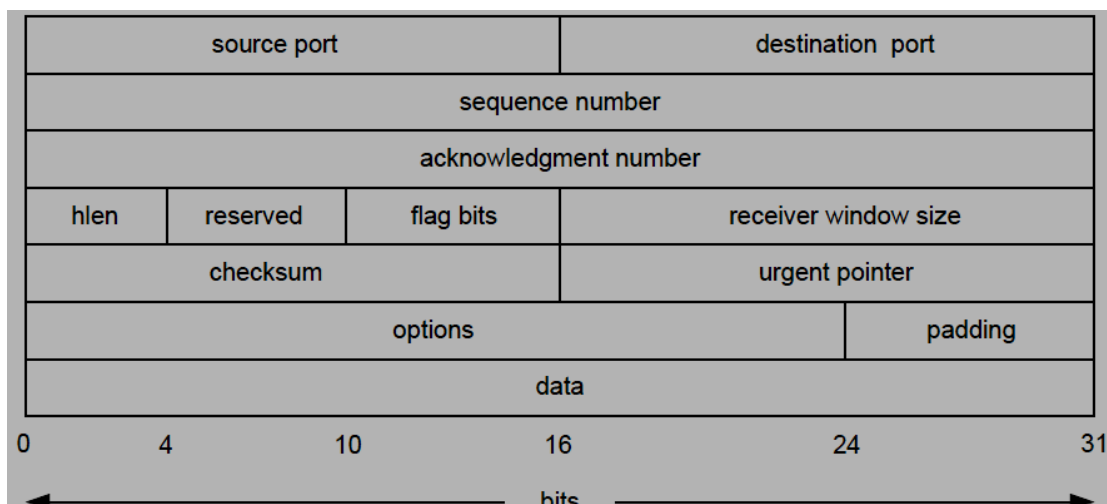
2.1 إنشاء وصلة TCP وإنهاؤها:

قبل أن يصبح بالإمكان إرسال مقاطع البيانات (Segments) يتم إنشاء وصلة TCP بين المرسل والمستقبل من خلال المصافحة بثلاث طرق (Three way-handshake).

المستقبل (العميل) يرسل مقطع بيانات (Segment) للترامن التي يحدد من خلالها رقم بوابة الوجهة للمرسل (المخدم).

إن أرقام البوابات لبروتوكول TCP موجودة في مقدمة (ترويسة) مقطع البيانات (Segment)، وهي تعرف تطبيقات المخدم والعميل في كلا نهايتي الوصلة، رقم التالي للحزمة، رقم إشعار التأكيد (Ack)، طول الترويسة، وأيضا الأعلام (Flags) موجودة ضمن ترويسة مقطع البيانات (Segment) لبروتوكول التحكم بالإرسال TCP.

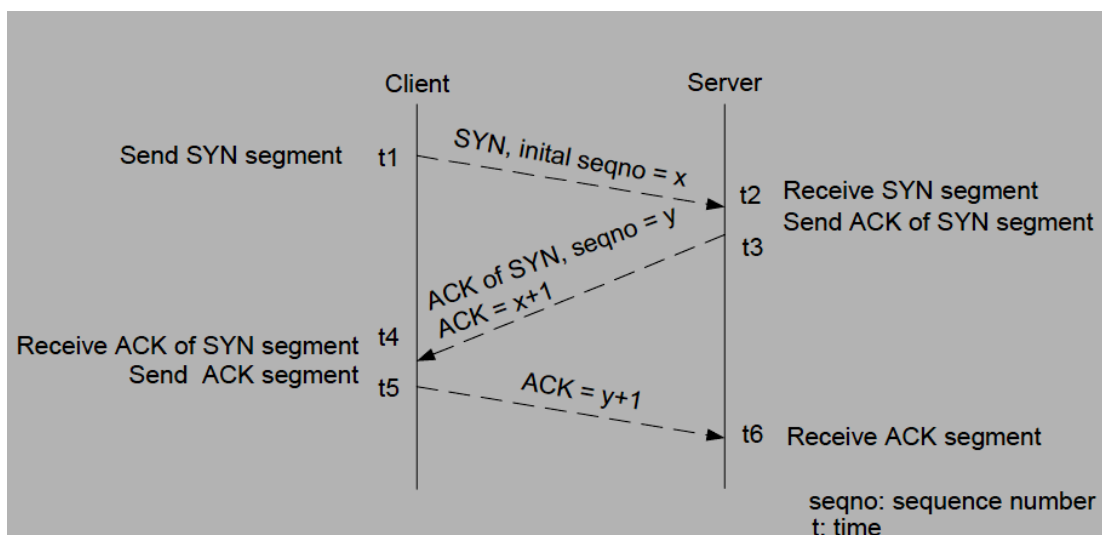
حقول الترويسة لمقطع البيانات (Segment) تظهر في الشكل (2-1).



الشكل (2-1) ترويسة مقطع البيانات (Segment) لبروتوكول التحكم بالإرسال TCP [12].

طول ترويسة مقطع البيانات TCP تعتمد على خيارات TCP المتضمنة.

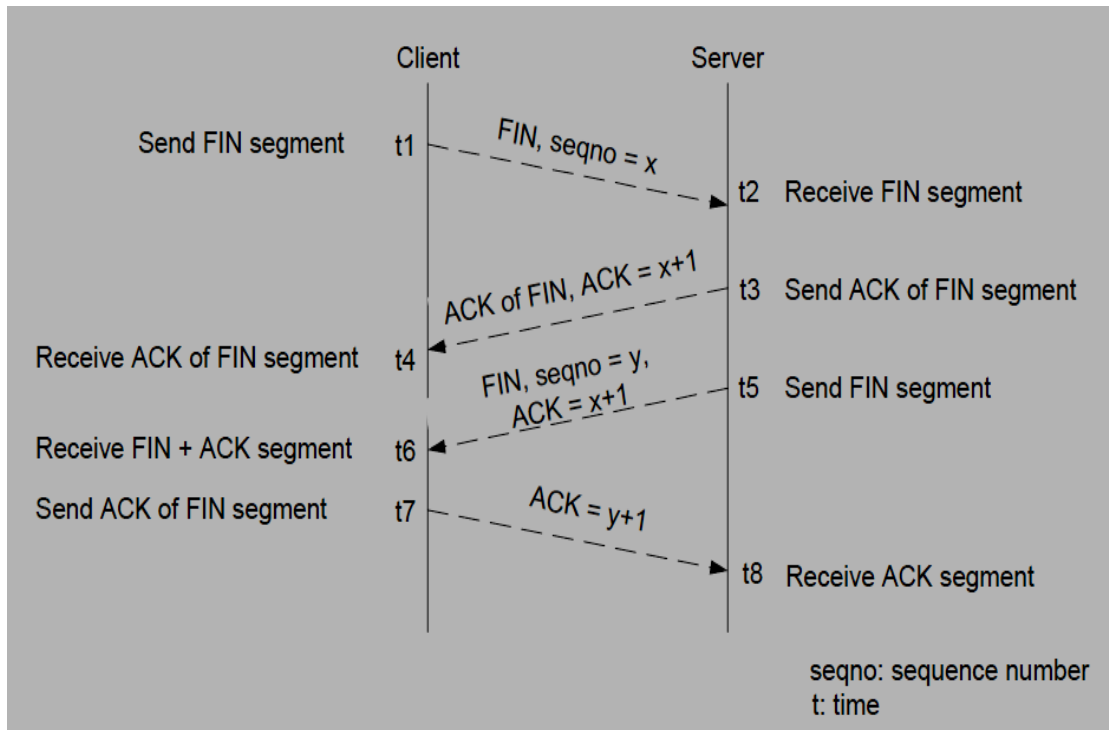
حيث يقوم المرسل بالرد على إشعار طلب العميل من خلال مقطع بيانات تزامن ليتم إشعاره من قبل المستقبل من أجل إتمام الوصلة. آلية المصافحة بثلاث طرق كما في الشكل (2-2).



الشكل (2-2) المصافحة بثلاث طرق [9]

بعد إن يتم استكمال إرسال البيانات فإن وصلة TCP يتم إنهاؤها.

تتطلب الوصلة ثنائية الإتجاه لبروتوكول TCP أربع مقاطع بيانات لإنهائها إما من خلال المرسل أو المستقبل وذلك من خلال إرسال مقطع بيانات (FIN Segment) وبالتالي فإن الجهة المستقبلية لهذه الحزمة تقوم بإرسال إشعار تأكيد بذلك كما في الشكل (2-3).



الشكل (2-3) إنهاء وصلة بروتوكول التحكم بالإرسال TCP [9]

2.2 التحكم بالتدفق لبروتوكول TCP:

بعد أن يتم إنشاء الوصلة يقوم TCP بتعديل التحكم بالتدفق ليتحكم بكمية ومعدل البيانات المرسلّة بين المرسل والمستقبل، والتحكم بالتدفق ضمن بروتوكول TCP قائم على آلية إزاحة النافذة.

فعند بداية الإرسال يكون لمرسل TCP نافذة ابتدائية [IW] والتي تحدد عدد مقاطع البيانات (Segments) (النافذة) والتي يمكن للمرسل أن يرسلها دون الحاجة إلى إستقبال إشعار تأكيد (Ack) من المستقبل [20].

وعندما يستقبل المرسل TCP إشعار تأكيد (Ack) من مقاطع البيانات المرسلّة فإنه يقوم بزيادة حجم النافذة المزاحة بالاعتماد على رقم الحزم أو البتات المشعر بتأكيداتها (Ack)، وحجم النافذة تعلن من قبل المستقبل.

2.3 أطوار TCP للتحكم بالإزدحام:

يوظف TCP أربع أطوار للتحكم بالإزدحام:

- طور الإقلاع البطيء (Slow Start).
- طور تجنب الإزدحام (Congestion avoidance).
- طور إعادة الإرسال السريع (Fast Retransmit).
- طور الإستعادة السريعة (Fast Recovery).

كما يظهر بالشكل (2-4).

إن خوارزميات التحكم قائمة على أساس الزيادة بالاضافة والإنقاص المتعدد (AIMD) [16].

وتوظف خوارزميات التحكم بالإزدحام متغيرين بالنسبة لبروتوكول TCP:

- (CWND) حجم نافذة الإزدحام.
 - (RWND) النافذة المعلن عنها من المستقبل.
- وذلك للتحكم بكمية البيانات المرسله ضمن الشبكة.

(CWND) حجم نافذة الإزدحام والممثلة بالعدد الأكبر للبايتات المرسله من قبل المرسل دون الحاجة لإستقبال إشعارات بالتأكيد (Ack).

(RWND) النافذة المعلن عنها من المستقبل والممثلة بالعدد الأكبر للبايتات المستقبله من قبل المستقبل.

القيمة الأقل للمتغيرين CWND و RWND تحدد كمية البيانات المرسله عبر الشبكة.

أما المتغير ssthresh (Slow Start Threshold) فيحدد نهاية طور خوارزمية الإقلاع البطيء (Slow Start) ليبدأ بعدها طور خوارزمية تجنب الإزدحام (Congestion Avoidance).

علما بأن القيمة الابتدائية الأعلى للمتغير ssthresh تتكيف وفقا لحدوث الإزدحام عند الشبكة [16].

2.3.1 طور الإقلاع البطيء (Slow Start):

بعد اكتمال مرحلة المصافحة بثلاث طرق يبدأ مرسل TCP بسبر الشبكة بالتدرج من خلال طور الإقلاع البطيء (Slow Start) ليحدد السعة.

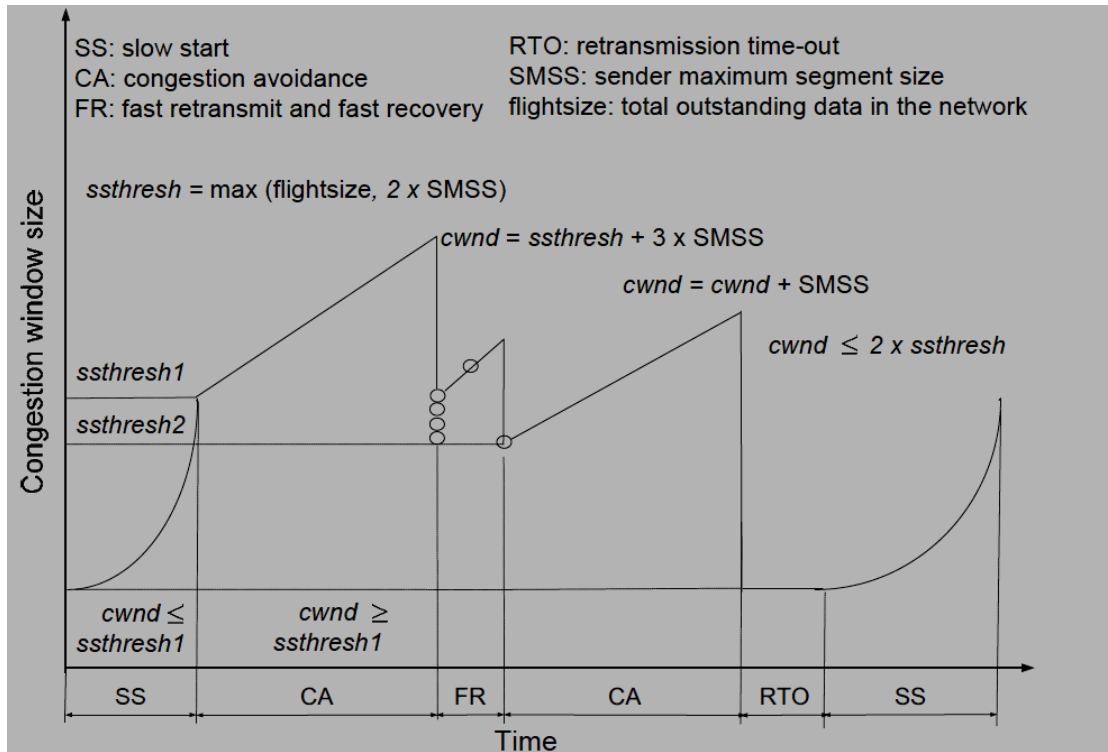
القيمة الابتدائية لحجم النافذة CWND مساوية للنافذة الابتدائية IW.

$$IW = \min (4 \times SMSS, \max (2 \times SMSS, 4380 \text{ bytes})). \quad (2.1)$$

يزيد المرسل حجم نافذة الإزدحام (cwnd) تصاعدياً خلال طور الإقلاع البطيء (Slow Start) من أجل كل إشعار تأكيد (Ack).

$$cwnd += SMSS. \quad (2.2)$$

ويبقى مرسل TCP في طور الإقلاع البطيء (Slow Start) حتى تتجاوز النافذة (cwnd) القيمة الحدية لطور الإقلاع البطيء (sssthresh).



الشكل (2-4) خوارزميات TCP للتحكم بالإزدحام، و آلية تحديد حجم نافذة الإزدحام [9].

2.3.2 طور تجنب الازدحام (Congestion avoidance):

خلال طور تجنب الازدحام (Congestion Avoidance) يعمل مرسل TCP على سبر الشبكة ولكن بشكل أبطأ من طور الإقلاع البطيء (Slow Start).

حيث يزيد حجم النافذة (CWND) بشكل خطي بزيادة واحد SMSS لكل RTT.

$$cwnd += SMSS \times SMSS / cwnd. \quad (2.3)$$

وينتهي طور تجنب الازدحام Congestion Avoidance عندما يتم اكتشاف وجود ازدحام (يحدث ضياع بمقطع البيانات Segment) وذلك بإستقبال إشعار تأكيد متكرر (ACK) ثلاث مرات أو من خلال إنتهاء مؤقت الزمن اللازم لإعادة الإرسال للمرسل (RTO).

2.3.3 طور إعادة الإرسال السريع (Fast Retransmit):

يدخل مرسل TCP في طور إعادة الإرسال السريع (Fast Retransmit) عندما يتم اكتشاف ضياع في الحزمة عن طريق إستلامه لثلاثة إشعارات تأكيد متشابهة (Acks).

حيث يخصص بروتوكول TCP رقم تسلسل (Sequence Number) مميز لكل مقطع بيانات مرسل، وعندما يتم الضياع بمقطع البيانات فإن TCP يكرر إشعار التأكيد (Ack) من أجل كل مقطع بيانات مستقبل بشكل خارج عن التنظيم المحدد.

يستخدم طور إعادة الإرسال السريع (Fast Retransmit) الإشعارات الثلاث المتشابهة المستلمة كدلالة لمقطع البيانات الضائع، فيقوم TCP بإعادة إرسال مقطع البيانات الضائع بدون إنتظار نهاية مؤقت إعادة الإرسال (RTO) ويحدد القيمة الحدية لطور الإقلاع البطيء (ssthresh) بنصف قيمة حجم النافذة (CWND) الحالية.

2.3.4 طور الإستعادة السريعة (Fast Recovery):

يقوم مرسل TCP في طور الاستعادة السريعة (Fast Recovery) بتكييف حجم النافذة (CWND) من أجل كل مقاطع البيانات المخزنة بالذاكرة المؤقتة لمستقبل TCP.

$$cwnd = ssthresh + 3 \times SMSS. \quad (2.4)$$

فمن أجل كل إشعار (Ack) متشابه إضافي يتم إستقباله فإن (CWND) تزداد بمقدار (SMSS) وبالتالي تزداد الحزمة المرسلة.

ولتسمح القيم الجديدة لحجم النافذة (CWND) و (RWND) بإرسال مقاطع بيانات جديدة، وعندما يصل الإشعار التالي (ACK) لمقطع البيانات المرسل الجديد فإن المرسل يخفض حجم النافذة (CWND) إلى القيمة الحدية لطور الإقلاع البطيء (ssthresh) ويستعيد طور تجنب الإزدحام (Congestion avoidance).

2-4 إنتهاء زمن إعادة الإرسال (RTO):

عندما لا تستطيع الشبكة أن تصل إلى عتبة ثلاثة إشعارات (Ack) متشابهة فإن إنهاء مؤقت RTO يستخدم للدلالة على ضياع الحزمة، وهنا يوظف TCP مؤقت RTO وذلك لتجنب التأخير غير الضروري قبل إعادة إرسال مقطع البيانات عند غياب أو فقدان إشعار التأكيد (Ack).

حيث يقوم مرسل TCP بإرسال مقطع البيانات تبعاً لمؤقت RTO و يتوقع الحصول على إشعار (ACK) لمقطع البيانات المرسل.

وإذا لم يصل إشعار التأكيد (Ack) وانتهى مؤقت RTO فإن TCP يعيد إرسال مقاطع البيانات التي لم يصل الإشعار بوصولها ويعيد تهيئة (RESET) مؤقت RTO وتكون قيمة ssthresh:

$$ssthresh = \max (flightsize / 2, 2 \times SMSS), \quad (2.5)$$

حيث إن **flightsize** هي كمية البيانات غير المرسل الإشعار بوصولها في الشبكة.

و يقلل مرسل TCP حجم النافذة CWND إلى SMSS ويعود إلى طور خوارزمية الإقلاع البطيء .Slow Start

فإذا كانت القيمة المحسوبة لمؤقت RTO كبيرة جداً فإن مقاطع البيانات الضائعة لن يتم إرسالها بسرعة.

وإذا كانت القيمة المحسوبة لمؤقت RTO صغيرة جداً فإن مؤقت RTO ينتهي قبل الأوان مسبباً إعادة إرسال غير ضرورية.

وفي كلتا الحالتين لن يستغل عرض المجال بشكل جيد.

يستخدم مرسل TCP متغيرين لحساب قيمة RTO:

- **Smoothed RTT (srtt)** زمن التجوال الناعم.

- **RTT Variation (rttvar)** متغير زمن التجوال.

و يتم استخلاص قيمة زمن التجوال RTT من عينات زمن التجوال RTT من مقاطع البيانات التي لم يتم إعادة إرسالها وذلك باستخدام خوارزمية Karn.

إن قيمة (srtt) و (rttvar) تحسب كمايلي:

$$rttvar = (1 - \beta) \times rttvar + \beta \times |sampleRTT - srtt| \quad (2.6)$$

$$srtt = (1 - \alpha) \times srtt + \alpha \times sampleRTT. \quad (2.7)$$

إن قيمة البارامترات الموصى بها هي:

$$\beta = 0.25 \quad \alpha = 0.125$$

والتي تسمح لمرسل TCP بالاستجابة السريعة لتغيرات RTT والتقدير الدقيق لقيمة RTO [14].

إن قيمة srtt في المعادلة (2.6) هي قيمتها قبل التحديث للمعادلة (2.7).

ومن هنا فإن هذه القيم يتم حسابها وفق الترتيب (2.6) ثم (2.7) ويتم حساب RTO كمايلي:

$$RTO = srtt + \max (G, 4 \times rttvar), \quad (2.8)$$

حيث G مؤقت خشن يحسب بالثانية [15].

تعتمد آلية RTO على خوارزمية أسية خلفية بينما المسافة الفاصلة لإعادة الإرسال سيتم مضاعفتها بعد كل إعادة إرسال، والقيمة العظمى لمؤقت RTO لن تتجاوز 64 ثانية.

وتعتمد القيمة التقديرية ل RTT و RTO على خشونة الساعة حيث أن العديد من حالات توظيف TCP لها ساعات (حبوبية-خشنة) والتي تحدد المؤقت الخشن الذي يؤثر بدوره على تقدير RTO [17]، [15].

توظف المؤقتات الخشنة الحبوبية (500ms) كفلتر تمرير منخفض ليفلتر التقلبات بحركة مرور البيانات [29]، [23].

وهنا تمنع القيمة التقديرية لمؤقت RTO من المؤقت الخشن أي إعادة لإرسالات غير ضرورية تبعاً للتغيرات الفجائية (قمم كبرى) في RTT [18].

و يقلل الانتقال إلى مؤقت حبوبى أدق أو أقل من (100ms) من التصادم للمؤقت الخشن لمؤقت RTO المقدر، والذي يؤدي إلى نتائج خاطئة لإنهاء مؤقت RTO المبكر بينما تكون RTT كبيرة [18]، [15].

2.5 إشعارات التأكيد المتأخرة:

يمكن لمستقبل TCP أن يزيد من الكفاءة وذلك عن طريق عدم إرسال إشعار التأكيد (Ack) من أجل كل مقطع بيانات مستلم [14].

هذا الخيار لبروتوكول TCP يعرف بتأخير إشعار التأكيد (Delayed Acknowledgment).

وعن طريق تفعيل هذا الخيار فإن مستقبل TCP يزيد من كفاءة الشبكة ويزيد من عرض المجال والإشعار بتأكيد مقاطع بيانات متعددة ويحدث النافذة من خلال إشعار بالتأكيد (Ack) وحيد.

وإذا لم يفعل مستقبل TCP خيار إشعار التأكيد المتأخر فإن إشعارات تأكيد (Acks) منفصلة تكون مطلوبة للإعلام عن مقاطع البيانات وتحديث النافذة المرسلة.

فلو كان لدينا طريقتين لنقل البيانات فإن إشعار التأكيد (Ack) المتأخر قد يرسل مجتمعاً في مقطع البيانات فيما يسمى (Ack Piggybacks with data).

وهنا يقلل خيار إشعار التأكيد المتأخر المعالجة الزائدة للبروتوكول [12].

ويوصى بالمضيف بالإنترنت أن يفعل خيار إشعار التأكيد المتأخر [9]، [14].

في شبكات (Wlan) يستخدم إشعار التأكيد المتأخر للتقليل من أعداد الإصطدام لرزم البيانات مع رزم إشعار التأكيد، وهذا يزيد من إنتاجية TCP (TCP Throughput) [22].

في شبكات ال IP للتوابع الصناعية اللامتناظرة يقلل إشعار التأكيد المتأخر عدد إشعارات التأكيد المرسلة خلال السرعات المنخفضة للوصلة العائدة للشبكات الأرضية وبالتالي يحسن من الأداء [23].

ويقدم TCP في غياب الضياعات التي تحدث بسبب معدل خطأ البتات (BER) إنتاجية مماثلة للحالات التي تعتمد على خيار إشعار التأكيد المتأخر والتي لا تعتمد عليها [23].

ويعد إشعار التأكيد المتأخر أيضاً مصدراً لضيق السعة خلال طور خوارزمية الإقلاع البطيء (Slow Start).

وينفذ العديد من مستقبلات TCP في الإنترنت خيار إشعار التأكيد المتأخر [22]، [23].

وإن المدة الزمنية الفاصلة الأساسية قبل إرسال إشعار التأكيد (Ack) هي 200ms [14].

على كل حال قد ينتظر مستقبل TCP نحو 500ms من وقت آخر حزمة لم يتم إستلام إشعار بوصولها قبل أن ينهي مؤقت إشعار التأكيد (Ack) المتأخر.

معظم تطبيقات TCP تستخدم المدة الزمنية الفاصلة الأساسية 200ms [14].

وأيضاً يستخدم TCP إشعارات التأكيد (Ack) ليضمن التحكم بتدفق النافذة والوثوقية.

وإن توليد العديد من إشعارات التأكيد (Ack) فائض عن الحاجة ليس من الخصائص المرغوبة في الشبكات اللاسلكية .

وهنا يفعل مستقبل TCP خيار إشعار التأكيد (Ack) المتأخر ليولد العدد المثالي من الإشعارات المطلوبة من أجل الوثوقية في نقل البيانات و تحسين أداء TCP.

حيث يقلل العدد المثالي للإشعارات المستلمة (Acks) من أثر الإفراط بتأخير الإشعارات المستلمة (Ack).

الفصل الثالث

خوارزميات بروتوكول التحكم

بالإرسال (TCP)

الفصل الثالث: خوارزميات بروتوكول التحكم بالإرسال (TCP)

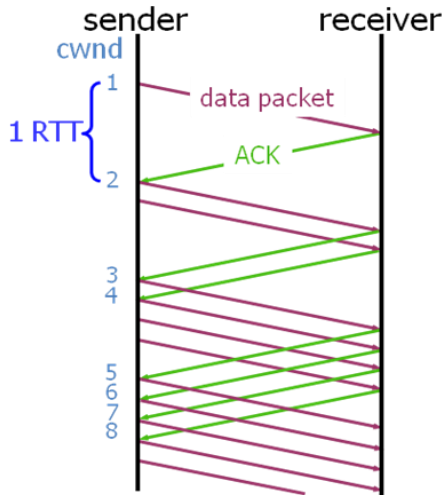
لقد تم تصميم خوارزميات التحكم بالإرسال اعتماداً على فكرة أن الازدحام ناتج فقط عن الفقد بمقاطع البيانات، على كل تمتلك الشبكات اللاسلكية وشبكات التوابع الصناعية على أعلى معدلات للخطأ نتيجة لظروف الطقس، العقبات الجغرافية، تداخل المسارات، تنقل الطرفيات اللاسلكية والخفوت الذي يؤدي إلى ضياع بالرمز، لذلك تم اقتراح العديد من التقنيات والخوارزميات لبروتوكول التحكم بالإرسال (TCP) وذلك من أجل تقليل مشكلة الازدحام وتقليل الفقد بالرمز الناتج عن المؤثرات الأخرى [35].

TCP(Tahoe)، TCP(Reno)، TCP(Newreno)، TCP(SACK) هي أمثلة من الحلول المقترحة ذات الآلية من النهاية إلى النهاية (end-end) [18].

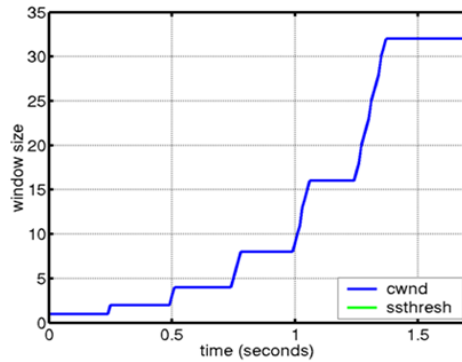
3.1 بروتوكول التحكم بالإرسال TCP(Tahoe):

TCP(Tahoe) هو أول خوارزمية تعتمد على الأطوار الثلاثة للتحكم بالازدحام [36].

• طور الإقلاع البطيء (Slow Start).



$cwnd \leftarrow cwnd + 1$ (for each ACK)



الشكل (1-3) يوضح طور الإقلاع البطيء في TCP(Tahoe) [7]

• طور تجنب الازدحام (Congestion Avoidance) الشكل (3-2).

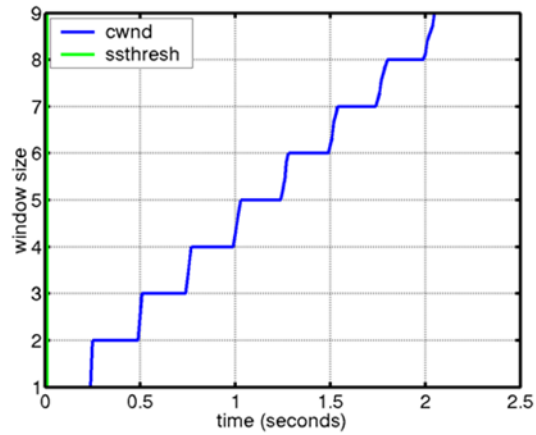
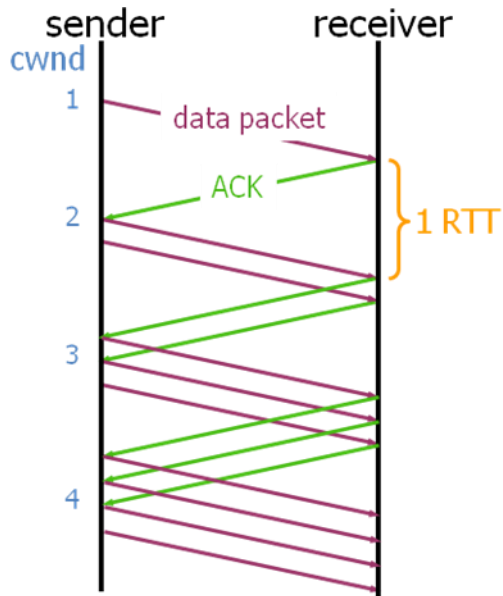
1- يبدأ الطور عندما $cwnd \geq ssthresh$

2- من أجل كل نجاح بإستلام الإشعار (ACK)

$$cwnd \leftarrow cwnd + 1/cwnd$$

3- نمو خطي للنافذة (CWND) من أجل كل (RTT)

$$cwnd \leftarrow cwnd + 1$$



$$cwnd \leftarrow cwnd + 1 \text{ (for each cwnd ACKS)}$$

الشكل (3-2) TCP(Tahoe) طور تجنب الازدحام [7]

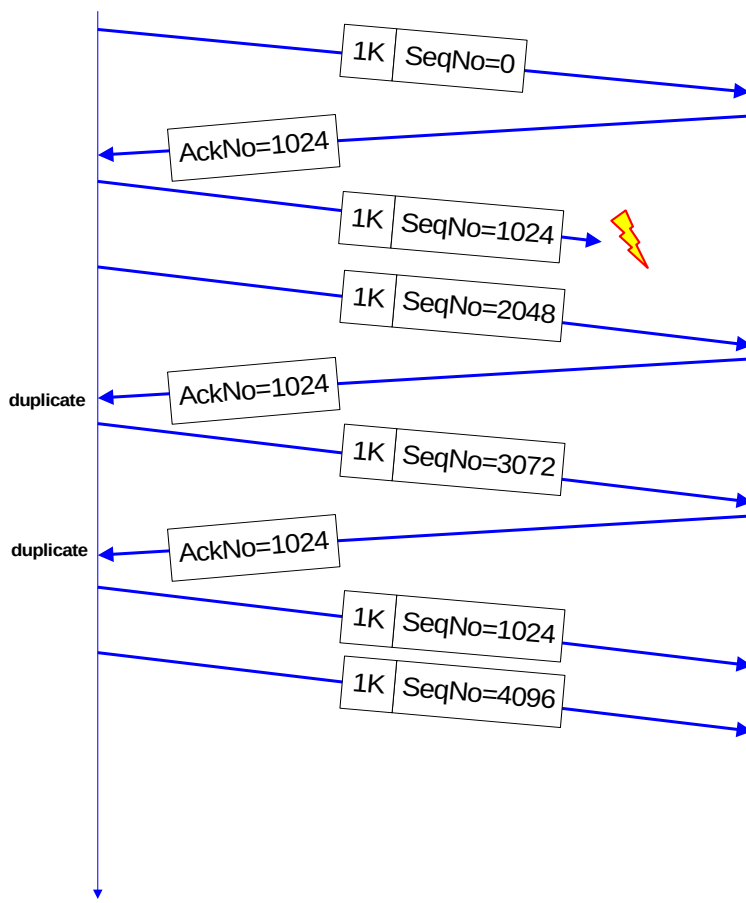
- طور إعادة الإرسال السريع (Fast retransmission) الشكل (3-3).

يدخل في طور الإرسال السريع عند إستلام ثلاث إشعارات متشابهة .

يعود بعدها إلى طور البداية البطيئة .

$$ssthresh = cwnd/2$$

$$cwnd = 1$$



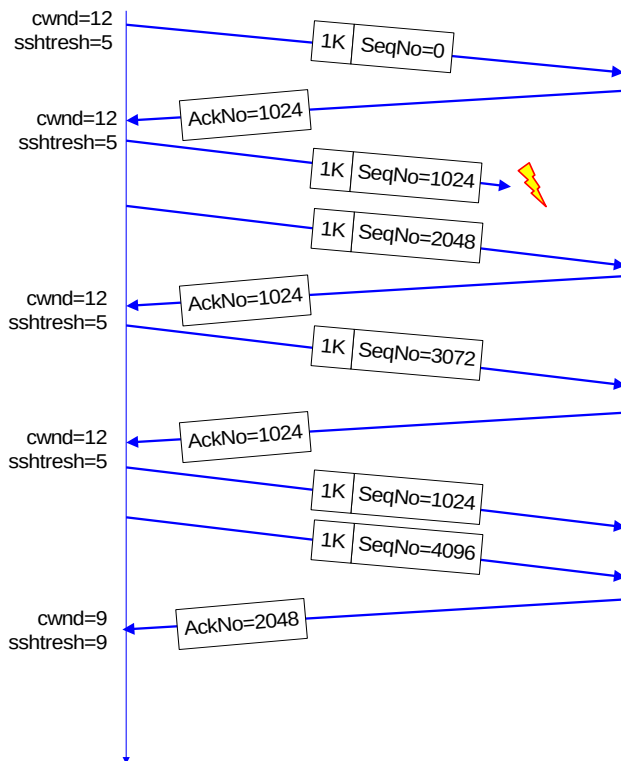
الشكل (3-3) طور إعادة الإرسال السريع [20]

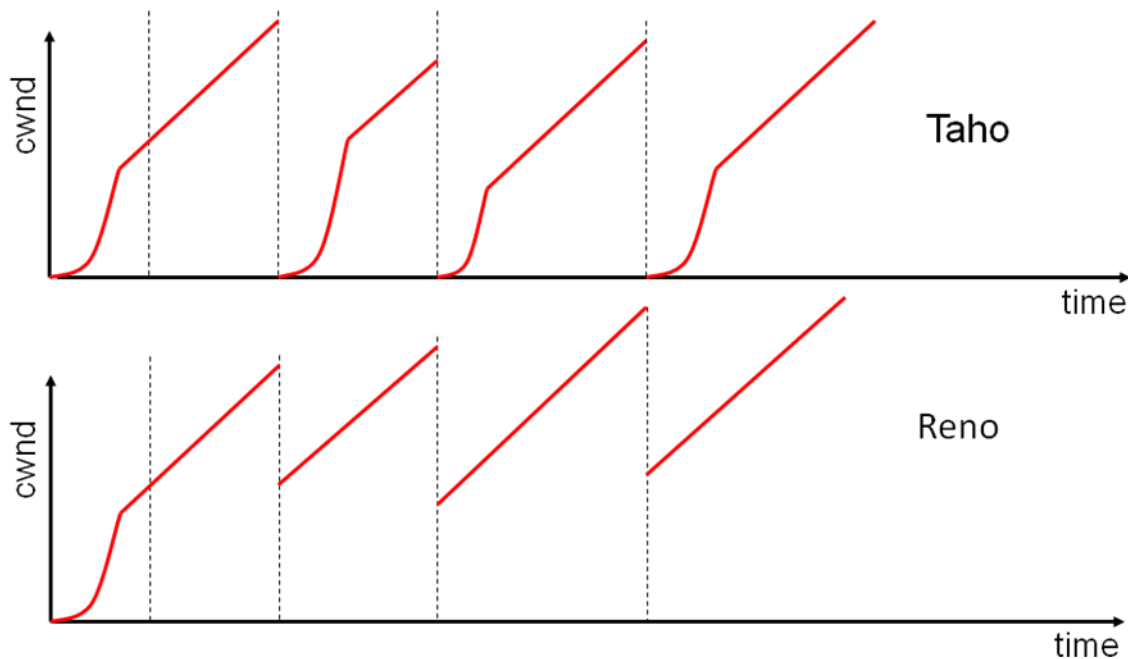
3.2 بروتوكول التحكم بالإرسال TCP(Reno):

- طور الإقلاع البطيء (Slow Start) الشكل (3-1).
- طور تجنب الازدحام (Congestion Avoidance) الشكل (3-2).
- طور إعادة الإرسال السريع (Fast retransmission) الشكل (3-3).
- طور الاستعادة السريعة (Fast recovery) الشكل (3-4).

في هذا الطور يتم تجنب الدخول في طور الإقلاع البطيء (Slow Start) بعد طور إعادة الإرسال السريع (Fast retransmission).

مما يؤدي إلى تحسين الأداء عند فقد مقطع بيانات واحد فقط خلال كل نافذة للبيانات [37].





الشكل (3-5) مقارنة بين شكل نافذة الإزدحام في حالة فقد رزمة وحيدة بين TCP(Tahoe, Reno) [7].

3.3 بروتوكول التحكم بالإرسال TCP(Newreno):

TCP(Newreno) هو تعديل عن بروتوكول التحكم بالإرسال TCP(RENO)، حيث يقوم بتحسين معالجة إعادة الإرسال في طور الإستعادة السريعة لبروتوكول التحكم بالإرسال TCP(RENO) [37]، حيث يستطيع الكشف عن ضياع عدة رزم خلال النافذة الواحدة.

ويقوم بإغلاق طور الإستعادة السريعة بعد الحصول على كامل الإشعارات من الحزم الغير مشعر بها، ثم يعيد حجم نافذة الإزدحام إلى طور العتبة الحدية للإقلاع البطيئ و يدخل في طور تجنب الإزدحام (Congestion Avoidance) [37].

الأطوار الثلاث الباقية (الإقلاع البطيئ، تجنب الإزدحام وإعادة الإرسال السريع) فتكون متماثلة مع TCP(Reno).

3.4 بروتوكول التحكم بالإرسال TCP(SACK):

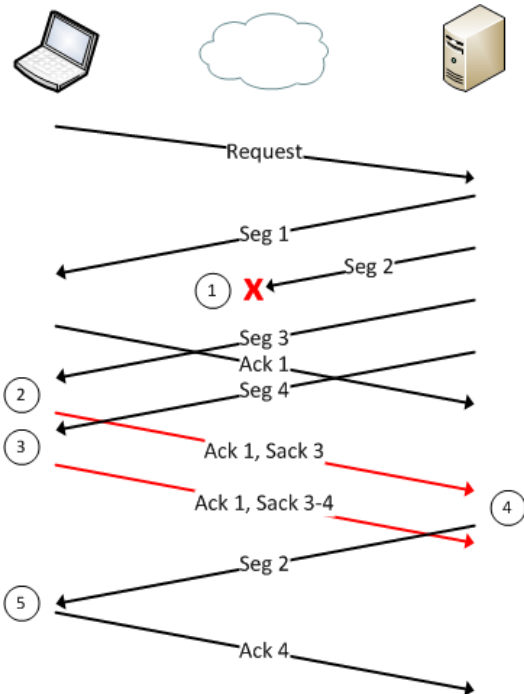
تسمح خوارزمية (SACK) لمستقبل TCP بإشعار مقاطع البيانات الخارجة عن الترتيب بشكل إنتقائي و ليس تراكمي، عن طريق إشعار آخر حزمة مرسلة بشكل صحيح ضمن الترتيب.

هنا المستقبل يرسل إشعارات بالرزق المستقبلية والخارجة عن ترتيب الإرسال عندها يرسل المرسل فقط مقطع البيانات المفقود عوضاً عن إرسال كامل المقاطع الغير مشعر بها.

يحسن بروتوكول التحكم بالإرسال بإستخدام الخوارزمية (SACK) من الأداء في حالة الفقد المتعدد للرزق.

خلال طور الإستعادة السريعة (Fast recovery)، تنشئ الخوارزمية (SACK) متغيراً يدعى أنبوب (Pipe) الذي يمثل الرقم المقدر للرزق المعقدة [37].

وبالتالي يعيد المرسل إرسال البيانات أو يرسل بيانات جديدة عندما يكون الرقم المقدر للرزق ضمن الموجه أقل من حجم النافذة، ويزداد المتغير (Pipe) بمقدار واحد كلما أرسل المرسل حزمة جديدة أو أعاد إرسال حزمة قديمة، وينخفض بمقدار واحد كلما تم إستلام تكرار للإشعار (Ack).



الشكل (3-6) TCP(SACK) [35].

عند فقد مقطع البيانات 2 يرسل المستقبل إشعاراً (Ack) برقم مقطع البيانات 1 بالإضافة إلى رقم آخر مقطع بيانات تم إستقباله.

الفصل الرابع

شركات التوزيع الصناعية

الفصل الرابع: شبكات التوابع الصناعية

تقوم شبكات التوابع الصناعية بإرسال وإستقبال البيانات عن طريق إستخدام الترددات المتعلقة بالتوابع الصناعية، ويظهر مجال عمل الترددات بالجدول (1-4)، فالتوابع الصناعية تلعب دوراً هاماً في تأمين خدمات الإنترنت العالمية التي تكون فيها البنية التحتية للإتصالات الأرضية محدودة أو معدومة، كما تقوم بتأمين ترابطاً داخلياً ما بين المسافات الجغرافية والشبكات المحلية.

حيث تقدم التوابع الصناعية خدمات الإنترنت والإتصال لكل من الطائرات، السفن، والمستخدمين المستقلين، وقد تكون خدمات التوابع الصناعية للهواتف الثابتة، الخليوي أو الإرسال الإذاعي كما هو موضح بالجدول (1-4).

تقدم شبكات التوابع الصناعية المخصصة للإرسال الإذاعي معدلات نقل عالية للبيانات تصل إلى 1Mb/s [25] وقد تزداد من أجل تطبيقات الإنترنت، الصوت والصورة عبر عرض المجال الكبير في وصلات التابع الصناعي.

في هذا الفصل فإننا نوصف باختصار الأنواع المختلفة للتوابع الصناعية وخصائص وصلة التابع الصناعي التي تؤثر على أداء TCP في شبكات التوابع الصناعية [25].

الجدول (1-4) مجال عمل الترددات للتوابع الصناعية، حيث يظهر خدمات محددة مختلفة من أجل كل مجال [26].

Band	Frequency range (GHz)	Service
L	1.5 – 1.65	Mobile satellite service (MSS)
S	2.4 – 2.8	MSS
C	3.4 – 7.0	Fixed satellite service (FSS)
X	7.9 – 9.0	MSS, military, space research
Ku	10.7 – 15.0	FSS, broadcast satellite service (BSS)
Ka	18.0 – 31.0	FSS
Q	40.0 – 50.0	FSS
V	60.0 – 80.0	FSS

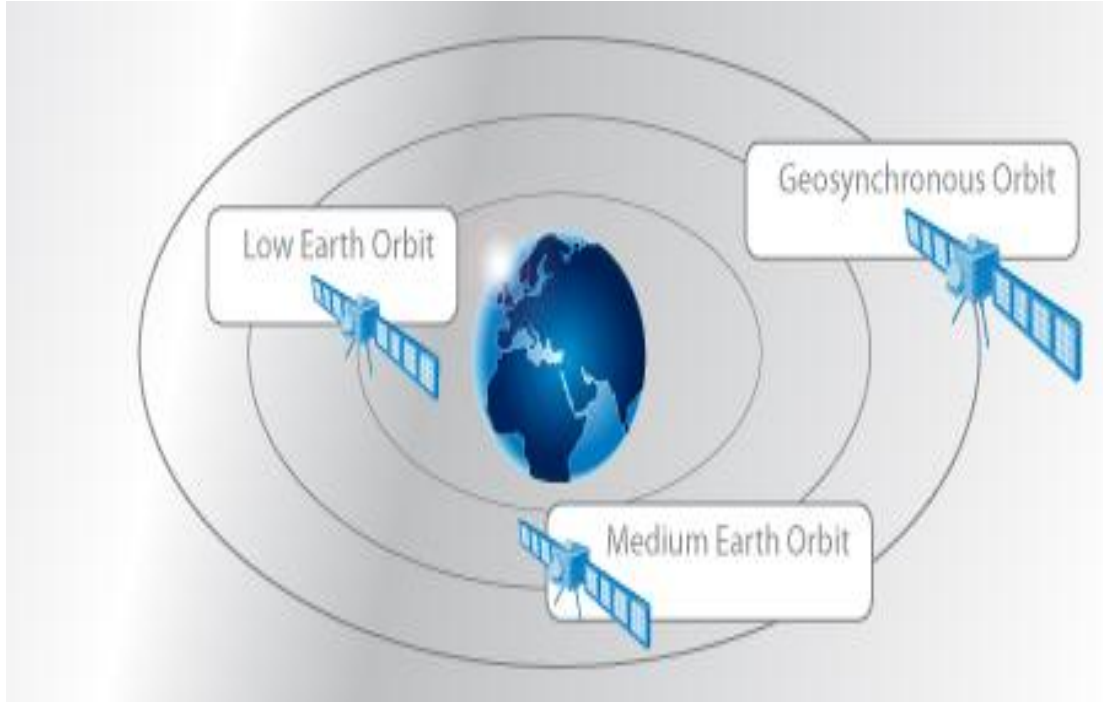
4.1 أنواع التوابع الصناعية:

يتم تصنيف التوابع الصناعية المخصصة للاتصالات عن طريق توضعها بالمدار (الإرتفاع) وهي :

- التوابع الصناعية الثابتة بالنسبة للأرض (Geo (Geostationary Earth Orbit.
- التوابع الصناعية المتوسطة الإرتفاع بالنسبة للأرض (MEO(Medium Earth Orbit.
- التوابع الصناعية المنخفضة الإرتفاع بالنسبة للأرض (Leo (Low Earth Orbit.

كما يظهر في الشكل (4-1).

حيث تتطلب تصنيفات الإرتفاع بالمدار طاقة محددة، عمر التابع الصناعي، مناطق التغطية وإستعمال الهوائي.



الشكل (4-1) أنواع التوابع الصناعية تبعا لإرتفاع المدار [26].

4.1.1 التوابع الصناعية الثابتة بالنسبة للأرض (GEO):

تكون التوابع الصناعية الثابتة بالنسبة للأرض GEO دائرية في الشكل وتتوضع على مدارات خط الاستواء، وتكون مداراتها على ارتفاع ما يقرب 36000km~ عن سطح الأرض و يكون زمن دورانها حول الأرض 24~ ساعة [25].

(إن زمن دوران الأرض في اليوم الواحد حول محورها الأفقي ما يقرب 23 ساعة و 56 دقيقة و 4 ثواني وهي أيضا تتم 1/365.24 من المدار السنوي حول الشمس).

وهنا تكون التوابع الصناعية GEO ثابتة بالنسبة للمحطات الأرضية، وإن تابع صناعي GEO وحيد له أثر كبير من حيث (المنطقة التي يغطيها التابع الصناعي على سطح الأرض)، وبالتالي يقدم هذا النوع من التوابع الصناعية تغطية كاملة لسطح الأرض ماعدا المناطق القطبية [26] .

وهنا لا تحتاج الهوائيات المتوضعة للإستقبال لهذا الأثر من التغطية الكبيرة للتوابع الصناعية الثابتة للأرض GEO إلى القدرة على التتبع.

4.1.2 التوابع الصناعية الغير ثابتة بالنسبة للأرض (NON-GEO):

تتوضع مدارات التوابع الصناعية من نوع NON-GEO على ارتفاعات أقل من 36000km، وهي تمتلك زمن دوران أقل وبالتالي فإن موقعها المتعلق بالأرض متغير .

يمتلك تابع صناعي وحيد من نوع NGEو مساحة تغطية أقل من التابع الصناعي من نوع GEO

وبالتالي لإنشاء شبكة تعتمد على التوابع الصناعية من نوع NGEو فإننا نحتاج إلى منظومة من التوابع (عدد من التوابع الصناعية المتماثلة التي لها نفس الوظيفة والتي صممت لتكون في مدارات متكاملة وتخضع لتحكم مشترك [27]) وذلك لتقدم تغطية مستمرة وأنية فوق سطح الأرض.

4.1.2.1 التوابع الصناعية ذات المدارات المتوسطة Meo

- تتوضع مداراتها على ارتفاع ما بين 5000 - 12000 km [25].
- زمن التأخير لقفزة إنتشار واحدة وباتجاه واحد ~100ms.
- زمن الدوران للمدار حوالي (5-10) ساعة.

4.1.2.2 التوابع الصناعية ذات المدارات المنخفضة Leo

- تتوضع مداراتها على ارتفاع ما بين 500-900 km [25].
- زمن التأخير لقفزة إنتشار واحدة وباتجاه واحد ~50ms.
- زمن الدوران للمدار حوالي (1.5-2) ساعة.

4.2 خصائص الوصلات للتوابع الصناعية الثابتة للأرض (GEO):

تختلف خصائص وصلات التوابع الصناعية الثابتة للأرض GEO عن الوصلات الأرضية [38]، وهذه الخصائص تسبب انخفاض أداء TCP في وصلات التوابع الصناعية.

4.2.1 زمن تأخير الإنتشار الكبير:

يصل زمن تأخير الإنتشار لوصلات التوابع الصناعية من نوع GEO باتجاه واحد إلى [~250ms] تبعاً لإرتفاع مدار التابع الصناعي.

زمن التجوال RTT لوصلة التابع الصناعي يكون على الأقل 500ms اعتماداً على ميل التابع الصناعي، ويمنع تأخير الإنتشار الكبير في وصلات التابع الصناعي من نوع GEO وصلة TCP من تحقيق التسارع للوصول إلى معدلات إرسال عالية.

4.2.2 جداء عرض المجال الكبير بالتأخير BDP:

يحدد جداء عرض المجال الكبير بالتأخير كمية البيانات التي يجب على البروتوكول ألا يرسل إشعاراً بإستلامها وذلك من أجل الإستفادة الكاملة من سعة الوصلة المتاحة .

وتحدد قيمته كمايلي:

$$BDP = RTT \times C \quad (4.1)$$

حيث C تقاس ب b/s و RTT ب S

وبشكل أساسي فإن وصلات التوابع الصناعية من نوع GEO لها BDP عالي وذلك تبعاً للتأخير بالإننتشار الكبير وعرض المجال الكبير .

4.2.3 معدل خطأ البت العالي BER:

تعاني الوصلات الموظفة بالإتصالات للتوابع الصناعية الثابتة من خطأ البت العالي مقارنة بالوصلات الأرضية السلكية يصل إلى:

$$(BERs) \sim 10^{-6}$$

ويسبب معدل الخطأ بالببت العالي ضياعات الإننتشار، الضجيج، والتداخل مع خدمات أخرى تتشارك بنفس المجال الترددي.

إن عناصر الضياع بالإننتشار والضياعات المتكاملة معها في المجالات الترددية المختلفة للتوابع الصناعية من أجل وصلات التوابع الصناعية من نوع GEO تظهر بالجدول (4-2) [25] .

الجدول (2-4) الضياعات بالإنتشار مقدرة بال dB التي تؤثر بوصلات التابع الصناعي من نوع GEO [26].

Propagation mode loss	L band (1.6/1.5) GHz	C band (6/4) GHz	Ku band (14/12) GHz	Ka band (30/20) GHz
free space path	187	196	205	210
atmospheric	0.1	0.2	0.3	0.5
rain attenuation	0.1	0.5	2	6
refraction	6	3	2	1
diffraction	6 – 12			
ionospheric	3 – 6	1 – 3	< 1	

4.2.4 عرض المجال اللامتناظر:

يوظف الإرسال ضمن وصلات التتابع الصناعية ترددات مختلفة للوصلات الصاعدة والهابطة.

ويعتمد عرض المجال المتاح على حجم الإرسال (الإزدحام) المستقبل والمرسل في الوصلات الصاعدة والهابطة.

بشكل أساسي هنا تختلف سعة الوصلات الصاعدة والهابطة للتابع الصناعي [28].

ويحدث عرض المجال اللامتناظر في شبكات التتابع الصناعية الأرضية الهجينة التي توظف وصلات أرضية بطيئة ووصلة التابع الصناعي للبيانات المستقبل والمرسلة بشكل متعاقب بينهما.

الفصل الخامس

أثر خصائص وصلات التوابع
الصنعية (GEO) على أداء
(TCP)

الفصل الخامس: أثر خصائص وصلات التوابع الصناعية (GEO)

على أداء (TCP)

يعتمد بروتوكول التحكم بالإرسال (TCP) على آليات إدارة الوصلة، التحكم في التدفق، والتحكم في الإزدحام والتي جعلته ذو أداء قوي في الشبكات الأرضية التي تستخدم الفقد في الرزم كمؤشر للدلالة على الإزدحام، ويتحمل بروتوكول التحكم بالإرسال (TCP) نقل أكثر من 90% من حركة المرور على الإنترنت [4] والذي يمثل هيمنة جزئية على حركة شبكة الاتصالات بأكملها [4]، [5].

تسمح شبكات التوابع الصناعية الثابتة بالنسبة للأرض (GEO) للمستخدمين للوصول إلى التطبيقات والخدمات المستندة على الإنترنت بغض النظر عن حركة المستخدمين [25].

وتدعم هذه الشبكات معدلات نقل بيانات عالية وخدمات الوسائط المتعددة، وبالتالي يجب أن يكون لبروتوكول التحكم بالإرسال (TCP) القدرة على توفير الأداء الأمثل في شبكات التوابع الصناعية (GEO).

في هذا الفصل سنناقش حالات (TCP) في شبكات التوابع الصناعية (GEO) وتقديم دراسة للحلول المقترحة لتحسين أداء بروتوكول التحكم بالإرسال (TCP).

5.1 تأثير خصائص وصلات التوابع الصناعية على أداء TCP:

5.1.1 تأثير زمن التجوال الكبير على آلية عمل الإقلاع البطيء (Slow Start)

وانتهاء مؤقت إعادة الإرسال (RTO):

يتجاوز زمن التجوال (RTT) في شبكات التوابع الصناعية (GEO) لحزمة بروتوكول التحكم بالإرسال 500ms وذلك عند دمج مع التأخير الناتج عن الشبكات الأرضية.

خلال مرحلة الإقلاع البطيء للإرسال (Slow Start) يحتاج بروتوكول التحكم بالإرسال (TCP) لأن يستقبل من الحزمة المرسلّة إشعاراً (ACK) وذلك في سبيل زيادة حجم نافذة الإزدحام (cwnd).

إن بروتوكول التحكم بالإرسال غير قادر على الوصول إلى أقصى إنتاجية خلال طور الإقلاع البطيء للإرسال (SlowStart) وذلك نتيجة التأخير الطويل للإنتشار في شبكات التوابع الصناعية (GEO).

الوقت اللازم للوصول لمعدل الإرسال يعطى بالمعادلة:

$$T_{\text{slow start}} = RTT \times (1 + \log_2 (B \times RTT / l)) \quad (5.1)$$

حيث l هي متوسط طول رزمة TCP بالبايت [29].

إن الوقت المبذول في طور الإقلاع البطيء (Slow Start) لمعدلات نقل وأنواع توابع صناعية متعددة وذلك لرزم ذات طول متوسط 1KB لبروتوكول التحكم بالإرسال (TCP) يظهر بالجدول :

الجدول (5-1) خلال طور الإقلاع البطيء كلما ازداد معدل الإرسال كلما ازداد الزمن المبذول [29].

Transmission rate (Mb/s)	$T_{\text{slow start}}$ (s)
1	3.47
1.5	3.76
10	5.13
45	6.21
155	7.1

5.1.2 تأثير جداء عرض المجال الكبير بالتأخير (BDP) على حجم نافذة بروتوكول التحكم بالإرسال (TCP):

إن القيم الكبيرة لجداء عرض المجال الكبير بالتأخير (BDP) يعني بأن كمية كبيرة من البيانات الغير مشعر بها خلال المسار يجب أن تكون متاحة لبروتوكول التحكم بالإرسال (TCP) وذلك للاستفادة من الحد الأقصى لعرض المجال المتاح.

يعتمد جداء عرض المجال الكبير بالتأخير (BDP) لشبكات التوابع الصناعية على أقصى كمية للبيانات الغير مشعر بتأكيداتها المسموح بها (rwnd) [29]، وكما يظهر في ترويسة الحزمة (TCP) في الشكل (1-2)، إن أقصى قيمة ل (rwnd) تحدد ب 16bits (64KB).

فمن أجل قيمة (rwnd) ل (64KB)، يصل معدل الإرسال لوصلات التوابع الصناعية (GEO) (والتي لها معدل إرسال معياري (E1)، (2048 kb/s) وزمن التجوال (RTT) (500ms)) فقط إلى (~1048kb/s)، وبالتالي يصبح عرض المجال المتاح غير مستغل.

5.1.3 أثر معدل خطأ البت العالي (BER) على خوارزميات التحكم بالإزدحام (TCP):

السبب الرئيسي لضعف أداء بروتوكول التحكم بالإرسال (TCP) في الشبكات غير المتجانسة (الهجينة) التي تتميز بمعدل خطأ البت العالي (BER) هو افتراض ضياع مقطع البيانات كمؤشر لوجود إزدحام، وبالتالي تستجيب خوارزميات التحكم بالإرسال لفقد مقطع البيانات عن طريق تخفيض حجم النافذة (CWND)، الأمر الذي يؤدي إلى انخفاض الإنتاجية في حال كان الفقد ليس بسبب الإزدحام.

5.1.4 أثر عرض المجال اللامتناظر على خوارزميات التحكم بالإزدحام لبروتوكول

التحكم بالإرسال (TCP):

يزيد بروتوكول التحكم بالإرسال (TCP) المرسل معدلات الإرسال استناداً على إستقبال الإشعارات (ACK) من الحزم المرسله، ويتحدد عرض المجال اللامتناظر في شبكات التتابع الصناعية اعتماداً على عرض المجال الكبير للوصلة الهابطة، وعرض المجال الصغير للوصلة الصاعدة، حيث يعاد توجيه حزم البيانات المرسله إلى المستقبل عبر الوصلة الهابطة مع إشعارات التأكيد (ACKs) إلى المرسل عن طريق الوصلة الصاعدة.

قد يتعرض عرض المجال المنخفض للوصلة الصاعدة بسهولة للإزدحام تبعاً لتأخير الإشعارات (ACKs)، والذي يسبب إرسال حزم البيانات من (TCP) المرسل بشكل رشقات، وبالتالي يؤدي عرض المجال اللامتناظر في شبكات التتابع الصناعية إلى تشكل الرشقات بالإرسال [30].

أيضاً تتأثر إنتاجية بروتوكول التحكم بالإرسال (TCP) حيث تنخفض نتيجة لفقد أو التأخير بإشعارات التأكيد (ACKs) وصغر عرض المجال في الوصلة الصاعدة والذي يؤدي إلى إنتهاء مؤقت (RTO) (يساء تفسيرها كمؤشر للإزدحام) وبالتالي يتم تخفيض معدل إرسال البيانات وفقاً لذلك.

5.2 بعض الحلول المقترحة لتحسين أداء (TCP)

تصنف الحلول المقترحة لتحسين أداء بروتوكول التحكم بالإرسال (TCP) ضمن الشبكات التتابع الصناعية (GEO) إلى:

- خوارزميات بروتوكول التحكم بالإرسال (TCP) من النهاية إلى النهاية (end to end).
- تقسيم الوصلة لبروتوكول التحكم بالإرسال (TCP) (split-connection).
- حلول طبقة الوصلة (Link layer).

5.2.1 تحسين أداء بروتوكول (TCP) بإستخدام الحل من النهاية إلى النهاية:

تتطلب الحلول المعتمدة على خاصية النهاية إلى النهاية تعديلات فقط على (TCP) المرسل أو على المرسل والمستقبل، كما تتطلب أيضاً موجهات متوسطة تدعم آليات تحديد الأولوية. و تحافظ الحلول بإستخدام النهاية إلى النهاية ل (TCP) على دلالات النهاية للنهاية وبالتالي تحافظ على أمن المعلومات المرسلة عندهم يوظف أمن طبقة الشبكة. كما تمنع إنهاء وصلات (TCP) عندما تعاني عقدة متوسطة من فقد متعذر إصلاحه.

5.2.2 تقسيم وصلة بروتوكول التحكم بالإرسال (TCP):

يحمي تقسيم الوصلات في شبكات التوابع الصناعية الهجينة خصائص وصلات التوابع الصناعية من الحزم المرسلة من الشبكات الأرضية. وتنقسم وصلات بروتوكول التحكم بالإرسال (TCP) في العقد المتوسطة كالموجهات [31]. العيب الأساسي لتقسيم الوصلة هو إلغاء الدلالات لوصلة بروتوكول التحكم بالإرسال من النهاية إلى النهاية.

الأنواع الرئيسية لتقسيم وصلة بروتوكول التحكم بالإرسال (TCP) هي:

- تقسيم (TCP) (TCP splitting).
- إنتحال (TCP) (TCP spoofing).
- التخزين المؤقت على الشبكة (web caching).

5.2.3 حل طبقة الوصلة:

في سبيل تحسين أداء بروتوكول التحكم بالرسال (TCP) بوجود معدل خطأ البت العالي (BER)، فإن حل طبقة الوصلة يتمثل بتقديم الوثوقية ضمن هذه الطبقة.

وهي تصنف إلى (TCP-aware) المدرك، (TCP-unaware) المجهول [33].

يكون حل طبقة الوصلة لبروتوكول التحكم بالإرسال المدرك بتعديل معلومات ترويسة (TCP) وبشكل يتعارض مع التطبيقات التي تطلب أمن ال (IP) (IPSEC) [34].

ويقدم حل طبقة الوصلة لبروتوكول التحكم بالإرسال المجهول تقنيات معامل تصحيح الخطأ (FEC) وإعادة الإرسال الآلي (ARQ) ليقوم بكشف وإعادة إرسال الرزم المفقودة أو التالفة في طبقة الوصلة.

الفصل السادس

تقييم الأداء

الفصل السادس: تقييم الأداء

نقوم بتقييم الأداء لخوارزميات بروتوكول التحكم بالإرسال (TCP) (Tahoe, Reno, Newreno, SACK) باستخدام نظام محاكاة الشبكة (OPNET) بتوليد الإزدحام، الضياع، التأخير والضايق والتأخير معاً. قمنا بمناقشة نموذج الخطأ المستخدم في محاكاة وصلة التابع الصناعي (GEO)، كما قمنا بمحاكاة هيكلية الشبكة، خصائص الشبكة، السيناريوهات المفترضة، مقاييس الأداء ومن ثم مناقشة نتائج المحاكاة.

6.1 نموذج الخطأ:

تم محاكاة وصلة التابع الصناعي (GEO) كقناة عديمة الذاكرة ذات ضجيج أبيض غاوسي. قمنا باختيار هذا النموذج لأن العميل يجب أن يبقى ضمن مجال خط النظر (LOS) للتابع الصناعي GEO، وتعاني وصلة التابع الصناعي من أخطاء عشوائية (غير مصححة) عند معدلات خطأ (BERs) تتراوح من 10^{-5} إلى 10^{-10} بعد تقديم معامل تصحيح الخطأ (FEC).

باستخدام نموذج (AWGN) قمنا بحساب معدل الخطأ بالرمز كمايلي:

$$PER = 1 - (1 - BER)^N \quad (6.1)$$

حيث (N) رقم البتات في الرزمة، قمنا باستخدام رزم إيثرنت 1500 bytes (N=12000 bits). العتبة الحدية لتصحيح الخطأ (ECC) تمثل أعلى نسبة لخطأ البت ضمن الرزم المستقبلية والموجهة إلى تيار الرزم الخارجة.

وتكون العتبة الحدية لتصحيح الخطأ (ECC) مساوية لمعدل خطأ الرزم عندما يكون ($BER=10^{-10}$).

إن قيمة 10^{-10} هي قيمة مقبولة في وصلات إيثرنت الأرضية.

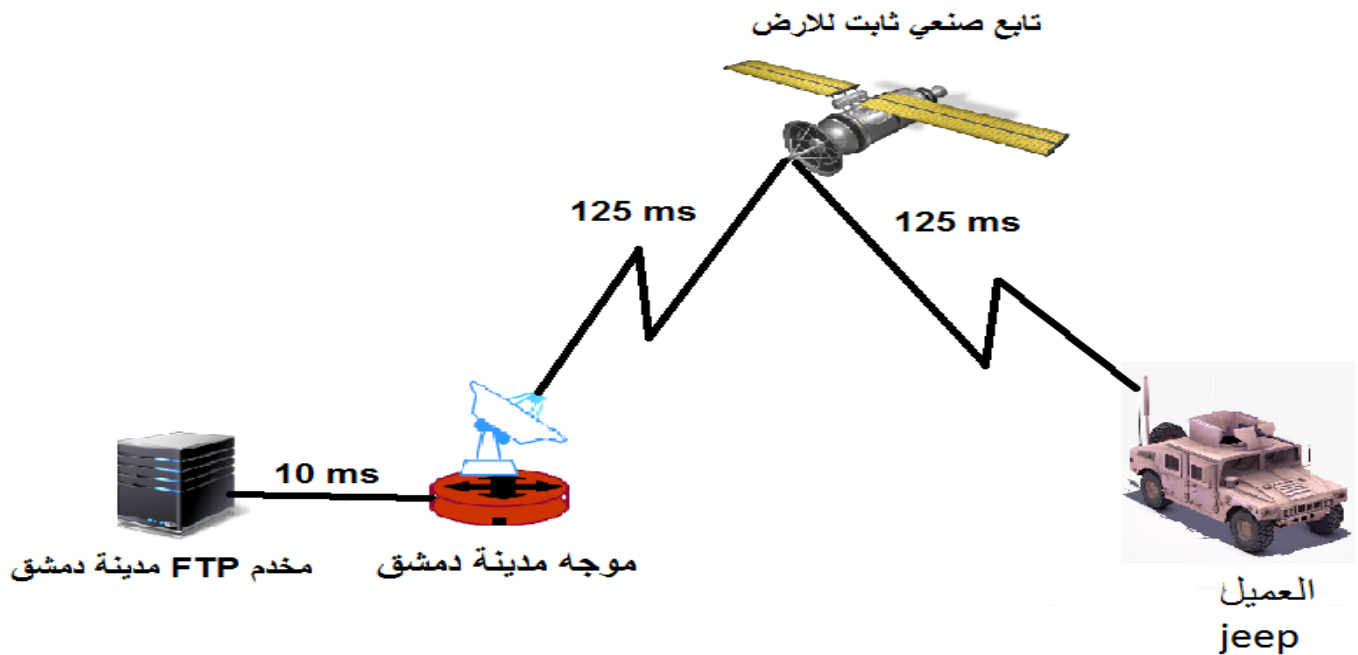
و يتم فقد الرزم الخاطئة والتي تتجاوز العتبة (ECC) من قبل المستقبل (ضاياع).

6.2 بنية الشبكة في المحاكاة:

قمنا بتصميم شبكتين تحاكي الإتصال بالتتابع الصناعية وذلك من أجل مقارنة الأداء لخوارزميات بروتوكول التحكم بالإرسال TCP(Tahoe, Reno, Newreno, SACK) ضمن تطبيقات (FTP).

6.2.1 بيئة المحاكاة بإستخدام تابع صناعي وحيد:

تتكون بيئة المحاكاة من شبكة إتصال نمونجية هجينة تحتوي على تابع صناعي وحيد وشبكة أرضية، يتصل التابع الصناعي مع العميل بواسطة خط نظر (LOS)، ويتصل مع المخدم الموجود في مدينة دمشق عن طريق الموجه كما في الشكل (6-2).



الشكل (6-2) شبكة هجينة تتكون من تابع صناعي وحيد وشبكة أرضية، التأخير اللازم للإنتشار هو في اتجاه

واحد

التأخير اللازم للانتشار هو في اتجاه واحد و هو يبقى ثابتاً خلال المحاكاة.

إن وصلة التابع التابع الصناعي هي وصلة ثنائية الاتجاه ذات معدل إرسال للوصلة الهابطة ($2048\text{Kb/s}=E1$)، ومعدل إرسال الوصلة الصاعدة (256Kb/s)، وهذا الاختلاف في سعة كل من الوصلة الهابطة والصاعدة يؤدي إلى عرض المجال اللامتناظر وهو من خصائص وصلات التتابع الصناعية [20]، [32] كل من مسار الوصلة الصاعدة والهابطة لها تأخير إنتشار مثالي. وصلة الشبكة الأرضية ما بين الموجه والمخدم هي وصل إيثرنت ذات معدل سرعة (10Mb/s) وهي خالية من الضياعات بتأخير 10ms .

يتم في هذا السيناريو مقارنة خوارزميات TCP(Tahoe, Reno, Newreno, SACK) من حيث:

- مقارنة زمن التحميل لكل من الخوارزميات الأربع.
- حجم نافذة الإزدحام في مخدم مدينة دمشق لوصلة TCP.
- إنتاجية كل من الوصلة الصاعدة والهابطة للعميل.
- استغلال عرض المجال في كل من الوصلة الصاعدة والهابطة للعميل.

وتتم الدراسة من خلال:

- المقارنة بوجود الإزدحام ويطبق زمن المحاكاة 1 ساعات.
 - المقارنة بوجود الإزدحام و الضياع بنسبة 5% ويطبق زمن المحاكاة 5 ساعات.
 - المقارنة بوجود الإزدحام و التأخير بمقدار 0.1s ويطبق زمن المحاكاة 5 ساعات.
 - المقارنة بوجود الإزدحام، الضياع 5% والتأخير 0.1s ويطبق زمن المحاكاة 5 ساعات.
- وذلك من أجل حجم للملف المرسل (50MB, 5MB, 500KB).

6.2.2 بيئة المحاكاة باستخدام منظومة من التوابع الصناعية:

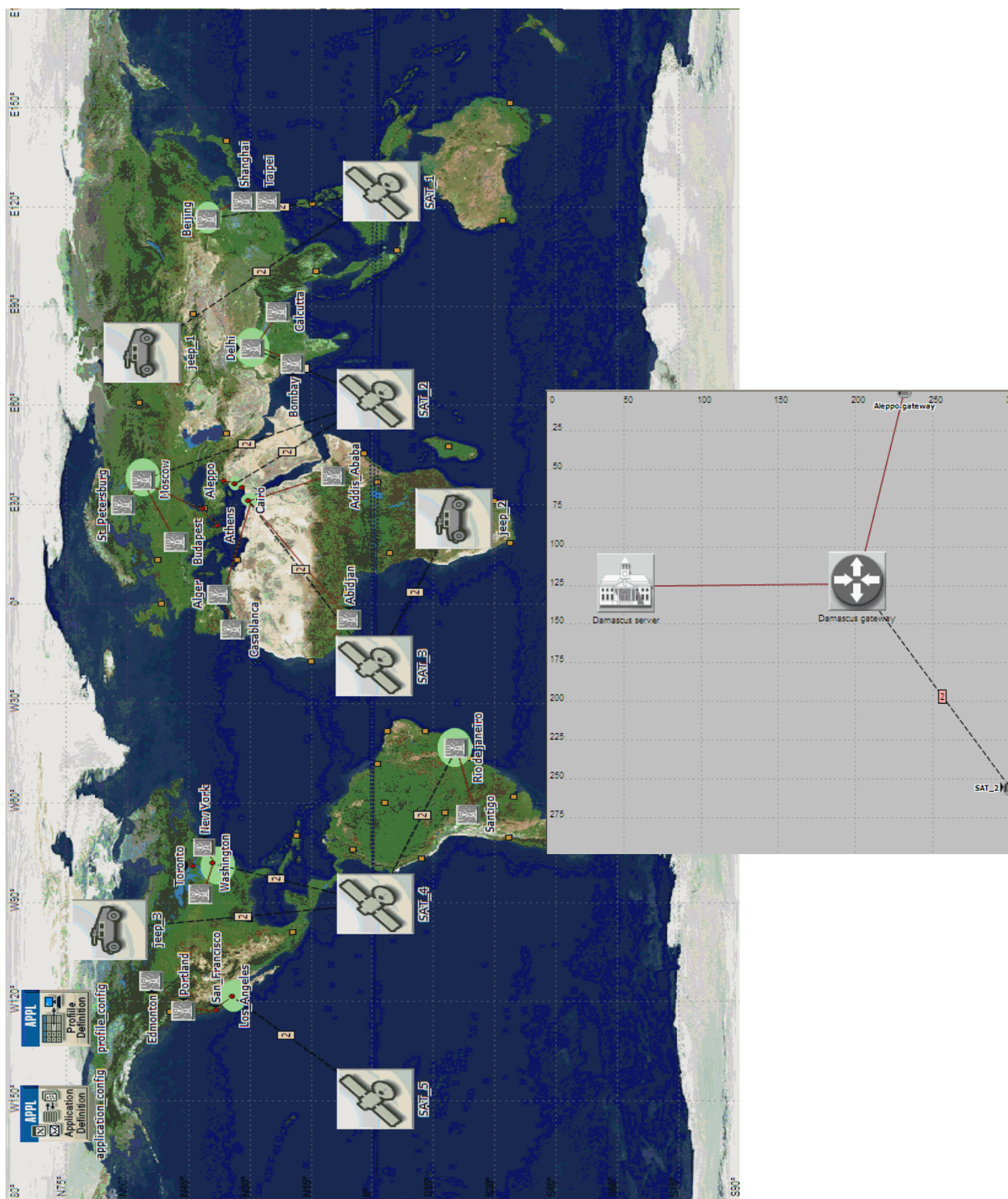
تتكون بيئة المحاكاة من منظومة من التوابع الصناعية المتصلة مع شبكات الإتصال الأرضية،

تتكون بنية هذا السيناريو من:

- التوابع الصناعية المتصلة فيما بينها عن طريق وصلا ليزيرية بسرعة (10,000,000 Kb/s).
- المركبات الثابتة (العميل) المتصلة مع التابع الصناعي بخط نظر عن طريق الوصلة الصاعدة بسرعة (256Kb/s)، والوصلة الهابطة بسرعة (2,048Kb/s=E1).
- الخدمات المتصلة مع الموجهات عن طريق وصلات إيثرنت (10Mb/s).
- الإتصال بين المدن عن طريق الموجهات وذلك باستخدام وصلات بسرعة (DS3)، ويكون الخطأ فيها تبعاً للمسافة المقطوعة.

حيث يتم في هذا السيناريو محاكاة إتصال العميل 1 بمخدم مدينة دمشق والمتواجد في روسيا، وإتصال العميل 2 بمخدم مدينة حلب والمتواجد في افريقيا الأمر الذي يؤدي إلى زيادة ضغط الإزدحام على موجه مدينة دمشق.

كما نعد إلى زيادة زمن الدراسة إلى 10 ساعات الأمر الذي يؤدي إلى إرسال ملفين من كل عميل.



الشكل (3-6) نموذج محاكاة شبكة إتصال مؤلفة من خمس توابع صناعية ثابتة للأرض بالإضافة إلى الشبكات الأرضية.

يتم في هذا السيناريو مقارنة خوارزميات TCP(Tahoe, Reno, Newreno, SACK) من حيث:

- مقارنة زمن التحميل لكل من الخوارزميات الأربع.
- حجم نافذة الإزدحام في مخدم مدينة دمشق ومخدم مدينة حلب.
- إنتاجية كل من الوصلة الصاعدة والهابطة لكل من العميل 1 و العميل 2.
- استغلال عرض المجال في كل من الوصلة الصاعدة والهابطة.

و تتم الدراسة من خلال

- المقارنة بوجود الإزدحام.
- المقارنة بوجود الإزدحام، الضياع 5% والتأخير 0.1s.
- وذلك من أجل حجم للملف المرسل (50M).

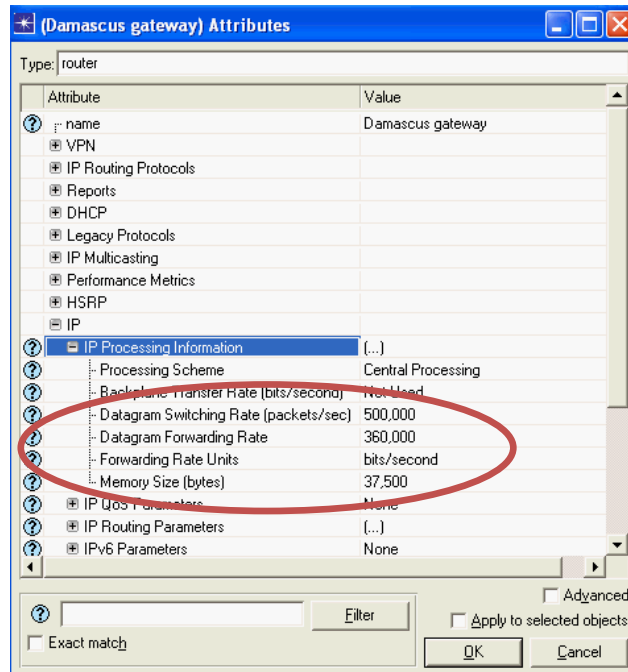
6.3 الخصائص المطبقة في المحاكاة

قمنا بنمذجة بنية الشبكة الموضحة بالأشكال (2-6) و (3-6) لتقييم أداء خوارزميات TCP(Tahoe, Reno, Newreno, SACK) ضمن تطبيقات (FTP).

ضمن ظروف اعتبارية مختلفة وبيئات عمل متعددة.

6.3.1 محاكاة الإزدحام:

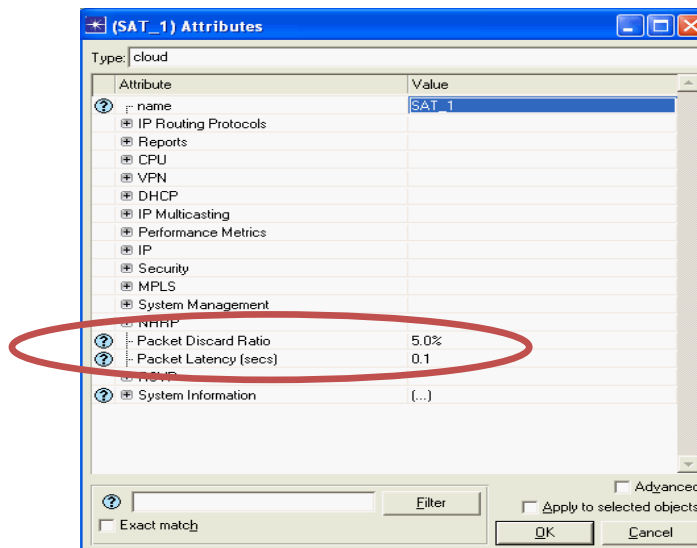
فمن أجل محاكاة الإزدحام قمنا بتحديد حجم المخزن للموجه ب 25 رزمة من أجل تطبيقات (FTP). و بشكل عملي قمنا بتعديل سمات (IP) ضمن الموجه (OPNET Ethernet4 slip8) كما يوضح في الشكل (4-6).



الشكل (6-4) تعديل سمات (IP) ضمن الموجه لمحاكاة الإزدحام.

6.3.2 محاكاة الضياع 5% و التأخير 0.1S:

يتم تحديد قيم الضياع والتأخير من خلال التغيير في سمات نموذج محاكاة عقدة التابع الصناعي كما هو محدد بالشكل (6-5).



الشكل (6-5) تحديد قيم الضياع والتأخير من خلال التعديل في سمات التابع الصناعي.

6.3.3 محددات بروتوكول نقل الملف (FTP):

قمنا بمحاكاة تطبيقات (FTP) حيث تم تحديد الخصائص كما هي موضحة بالجدول:

الجدول (6-2) محددات بروتوكول نقل الملف (FTP) إن قيمة زمن طلب الملف كبير لضمان تحميل الملف في كل محاكاة.

Attribute Value	1	2	3
File inter-request time (s)	18,000	18,000	18,000
File inter-request time distribution	constant	constant	Constant
File size	50MB	5MB	500KB
File size distribution	constant	constant	Constant

6.3.4 محددات بروتوكول TCP:

تظهر المحددات المستخدمة لبروتوكول التحكم بالإرسال ضمن المحاكاة بالجدول (6-3):

الجدول (6-3) محددات بروتوكول التحكم بالإرسال TCP

TCP Parameters	Value
Sender maximum segment size (SMSS)	1,460 bytes
Slow start initial count	2 SMSS
Receiver's advertised window	65,535 bytes
Timer granularity	0.5 s
Persist time-out	1.0 s
Maximum ACK delay	0.2 s
Maximum ACK segment	1
Duplicate ACK threshold	3
Initial RTO	3.0 s
Minimum RTO	1.0 s
Maximum RTO	64.0s
Retransmission threshold	6
RTT gain	0.125
RTT deviation coefficient	4
Deviation gain	0.25

6.4 محددات تقييم الأداء

لمقارنة خوارزميات بروتوكول التحكم بالإرسال (TCP) ضمن تطبيقات الإنترنت (FTP) لابد من تحديد المقاييس والمحددات الضرورية لذلك وهي:

6.4.1 زمن التحميل:

إن زمن التحميل هو الزمن المبذول ما بين إرسال طلب (FTP) إلى مخدم بروتوكول نقل الملفات (FTP) وإستقبال الرزم المستجيبة كاملةً، وهو يتضمن تأخير التشوير من أجل إنشاء الوصلة وإنهائها، إن زمن التحميل هو مؤشر على التأخير في تحميل ملف (FTP).

6.4.2 الإنتاجية TCP Throuput:

إنتاجية بروتوكول التحكم بالإرسال (TCP) هي حركة مرور الحزم المرسل من مرسل (TCP) إلى مستقبل (TCP)، وهي تقاس عند مستقبل (TCP) كمتوسط البتات خلال الثانية الموجهة من مرسل (TCP) والمستقبلة من مستقبل (TCP).

6.4.3 الإنتاجية الفعالة TCP Goodput:

هي عدد البتات الأصلية الصحيحة ما عدا المعاد إرسالها المستقبلية بشكل صحيح من مستقبل TCP خلال واحدة الزمن خلال مدة الإتصال.

$$\text{TCP Goodput} = \text{File size} / \text{Download response Time} \quad (6.1)$$

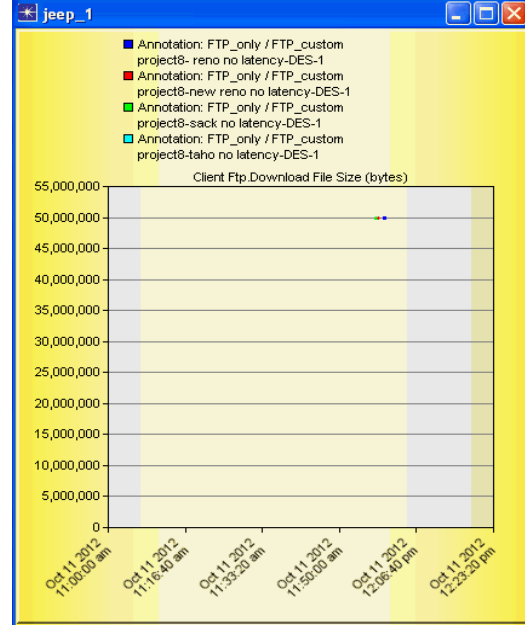
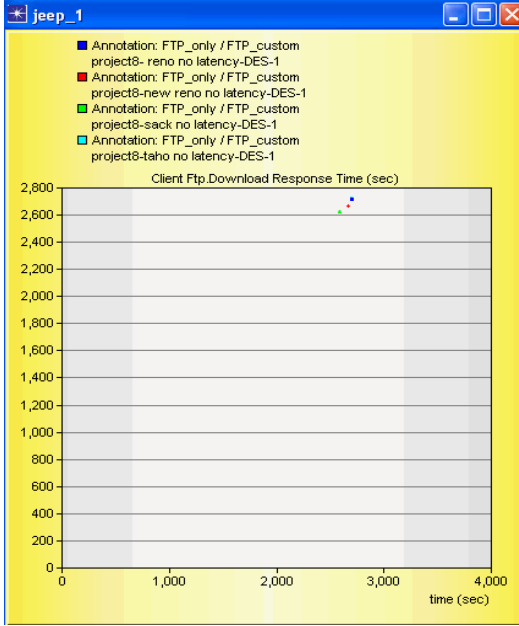
6.4.4 نسبة استغلال عرض المجال لوصلة التابع الصناعي Utilization:

ويعبر عنها كمعدل البتات الصحيحة المرسل عبر وصلة التابع الصناعي خلال واحدة الزمن ومعدل نقل البيانات عبر وصلة التابع الصناعي.

$$\text{Utilization} = \text{Goodput} / \text{TR} \quad (6.2)$$

6.5 نتائج المحاكاة ضمن تابع صناعي وحيد

6.5.1 حجم الملف 50M بتوليد إزدحام ضمن تابع صناعي وحيد:

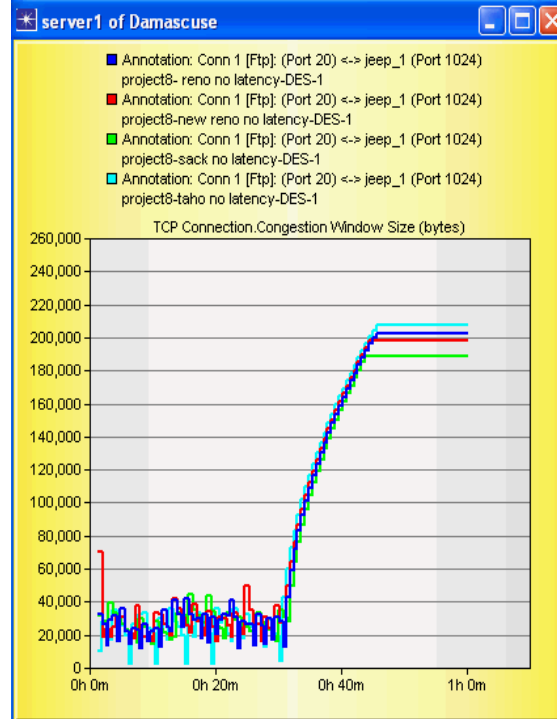


الشكل (6-7) زمن التحميل لملف 50M بتوليد إزدحام

الشكل (6-6) الحجم الملف المرسل 50M بتوليد إزدحام

الجدول (6-4) الإنتاجية الفعالة و زمن التحميل 50M بتوليد إزدحام

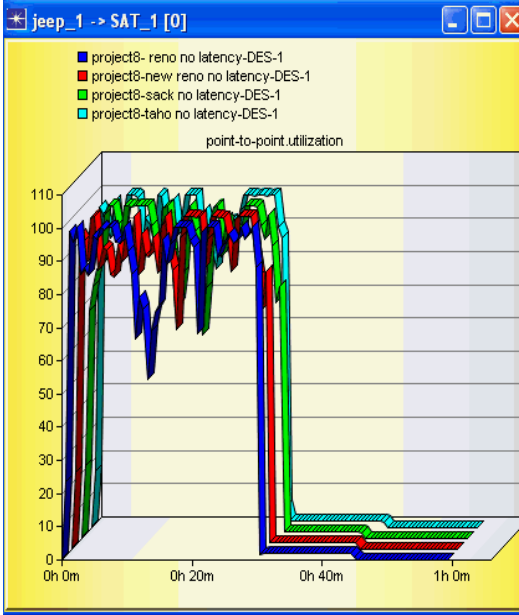
خوارزميات TCP	زمن التحميل (s)	الإنتاجية الفعالة kb/s
Sack	2623.30687	152.4793
Newreno	2664.51822	150.1209
Reno	2716.3355	147.2572
Tahoe	2726.91399	146.686



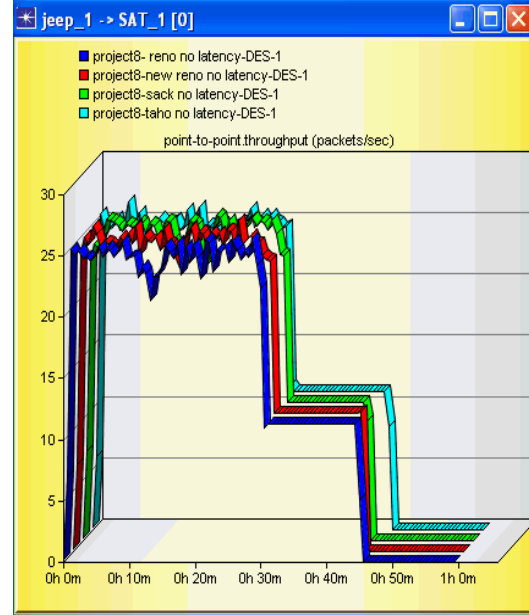
الشكل (6-8) حجم نافذة الإزدحام، 50M بتوليد إزدحام

إن زمن التحميل والإنتاجية الأفضل لبروتوكول TCP (SACK).

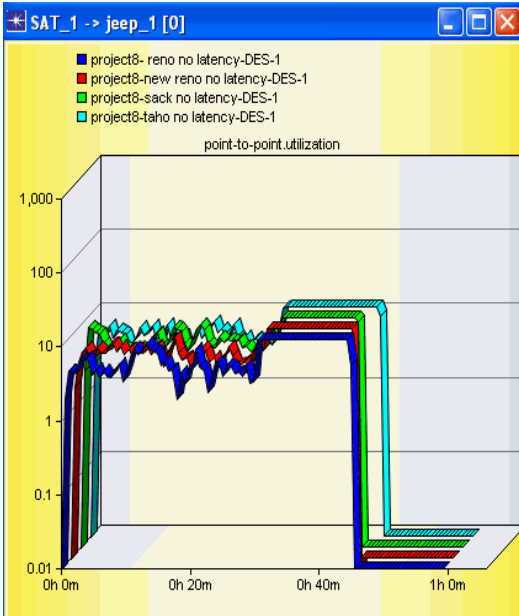
نتائج المحاكاة تشير إلى أن آلية تجنب الإزدحام TCP (SACK) أفضل من الخوارزميات الثلاث مما يؤدي إلى زمن تحميل أسرع من باقي الخوارزميات.



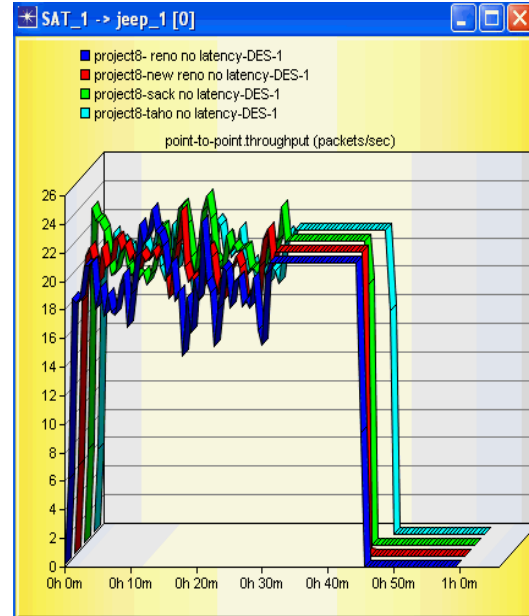
الشكل (6-10) عرض المجال المستغل للوصلة
الصاعدة، 50M بتوليد إزدحام



الشكل (6-9) إنتاجية الوصلة الصاعدة من العميل
للتابع الصناعي، 50M بتوليد إزدحام



الشكل (6-12) عرض المجال المستغل للوصلة
الهابطة، 50M بتوليد إزدحام



الشكل (6-11) إنتاجية الوصلة الهابطة من التابع
الصناعي للعميل، 50M بتوليد إزدحام

الجدول(5-6) الإنتاجية وعرض المجال المستغل 50M بتوليد إزدحام

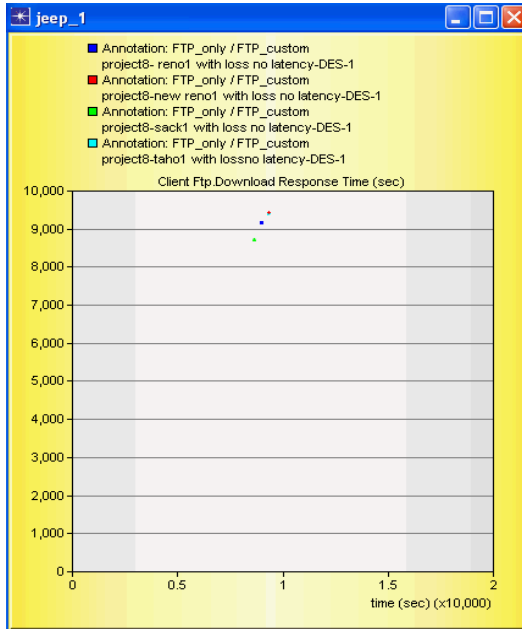
Free	50M	SACK	NEWRENO	RENO	TAHOE
الإنتاجية kB/sec	J1->S1	239.8	237.1294	232.3671	229.4206
	S1->j1	237.6755	231.4067	228.315	227.9137
عرض المجال المستغل	J1->S1	62.52458	61.66574	60.03443	60.01615
	S1->j1	7.806795	7.597628	7.49967	7.508419

نلاحظ أن متوسط الإنتاجية وعرض المجال المستخدم في الوصلة الصاعدة لبروتوكول TCP (SACK) أكبر من الخوارزميات الثلاث، وتخفض إنتاجية TCP (Reno) نتيجة تعرضه لإختناقات عنق الزجاجة.

يقدم بروتوكول TCP(Newreno) أداء أفضل من TCP(Tahoe, Reno).

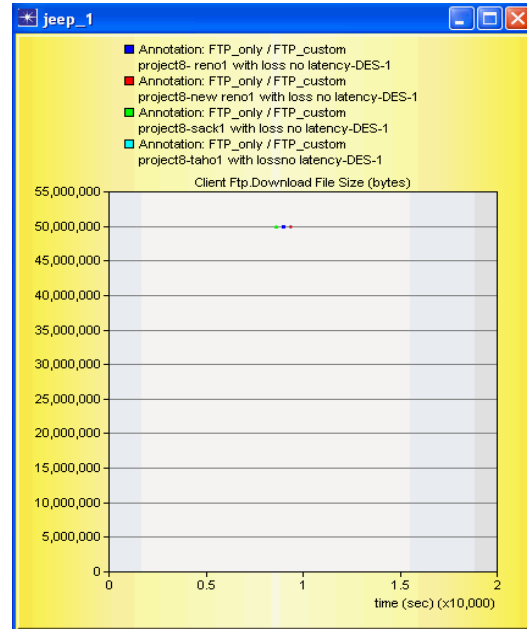
إن الإنتاجية في الوصلة الهابطة لبروتوكول TCP(SACK) أكبر من باقي الخوارزميات وإستغلال أفضل لعرض المجال.

6.5.2 حجم الملف 50M بتوليد ضياع 5% ضمن تابع صناعي وحيد:



الشكل (6-14) زمن التحميل، لملف 50M

بتوليد ضياع 5%.



الشكل (6-13) الحجم الملف المرسل 50M

بتوليد ضياع 5%.

الجدول (6-6) الإنتاجية الفعالة و زمن التحميل لملف 50M بتوليد

ضياع 5%.

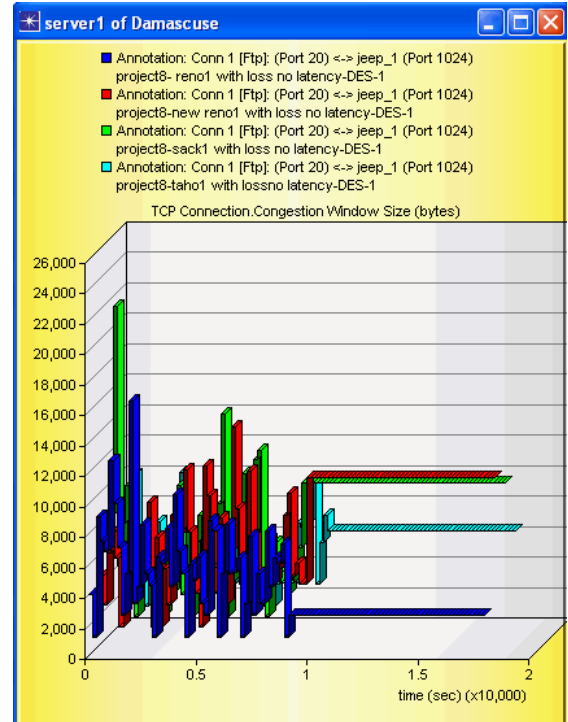
خوارزميات TCP	زمن التحميل (s)	الإنتاجية الفعالة kb/s
Sack	8714.5	45.90051
Newreno	9171.268	43.61447
Reno	9436.124	42.39029
Tahoe	9394.02	42.58028

بروتوكول TCP (SACK) له أكبر إنتاجية فعالة

وأقل زمن للتحميل وأفضل حجم نافذة.

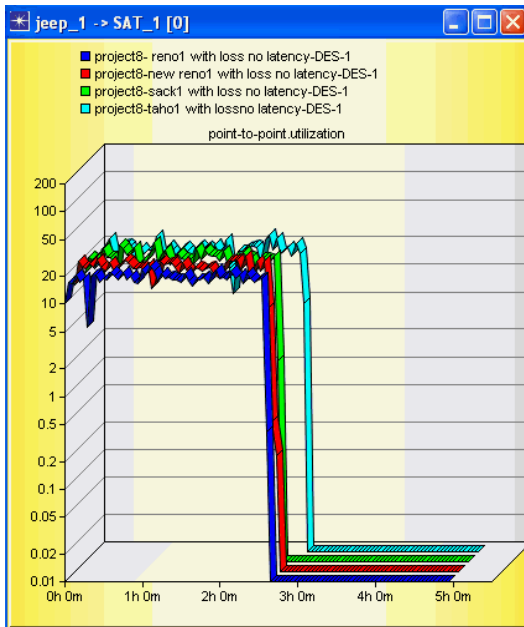
TCP(Newreno) له أداء أفضل من TCP(Reno, Tahoe) بسبب

طور الاستعادة السريعة المعدل.

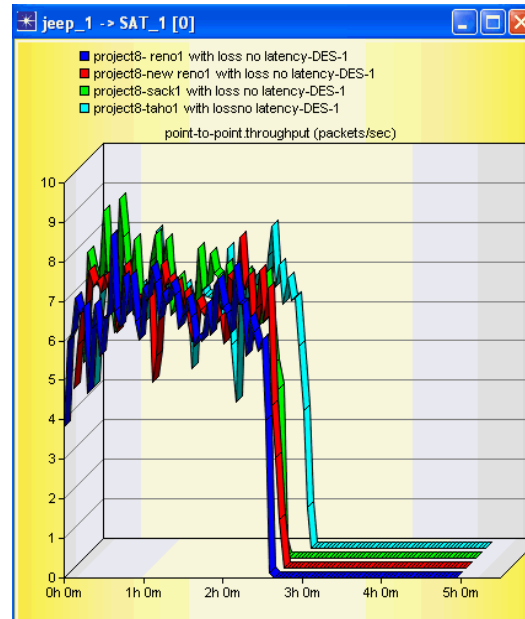


الشكل (6-15) حجم نافذة الإزدحام لملف 50M

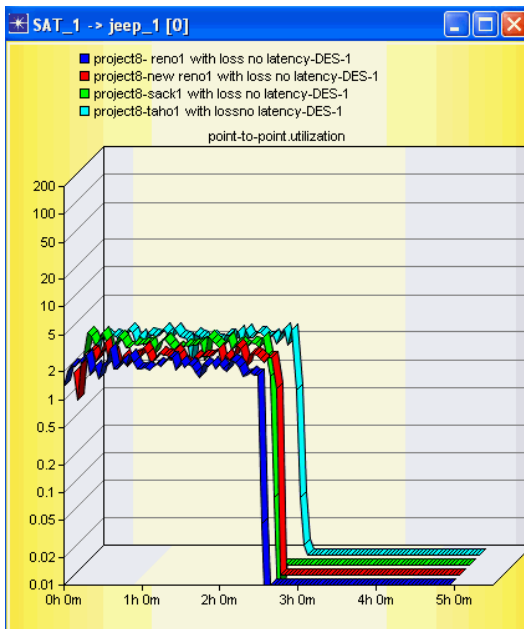
بتوليد ضياع 5%.



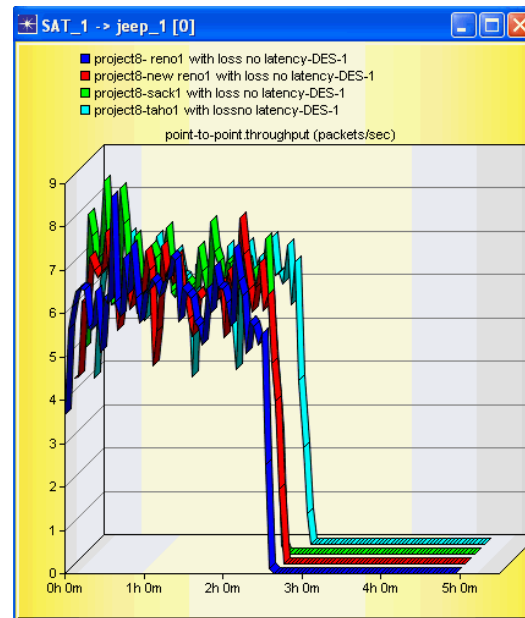
الشكل (6-17) عرض المجال المستغل للوصلة
الصاعدة لملف 50M بتوليد ضياع 5%.



الشكل (6-16) إنتاجية الوصلة الصاعدة من العميل
للتابع الصناعي لملف 50M بتوليد ضياع 5%.



الشكل (6-19) عرض المجال المستغل للوصلة
الهابطة لملف 50M بتوليد ضياع 5%.



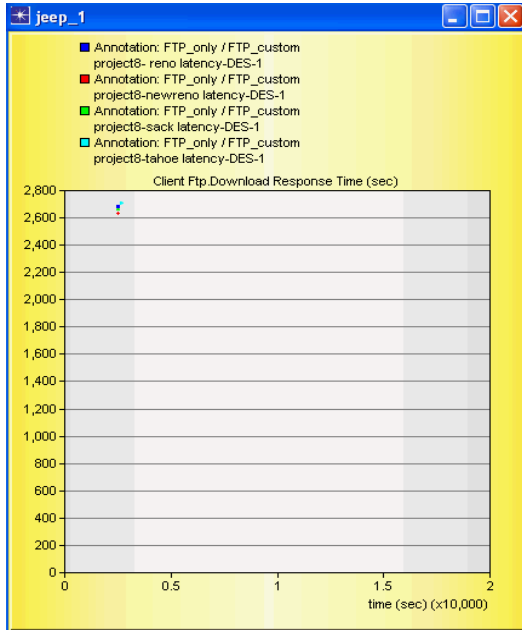
الشكل (6-18) إنتاجية الوصلة الهابطة من التابع
الصناعي للعميل لملف 50M بتوليد ضياع 5%.

الجدول (6-7) الإنتاجية وعرض المجال المستغل 50M بتوليد ضياع 5%.

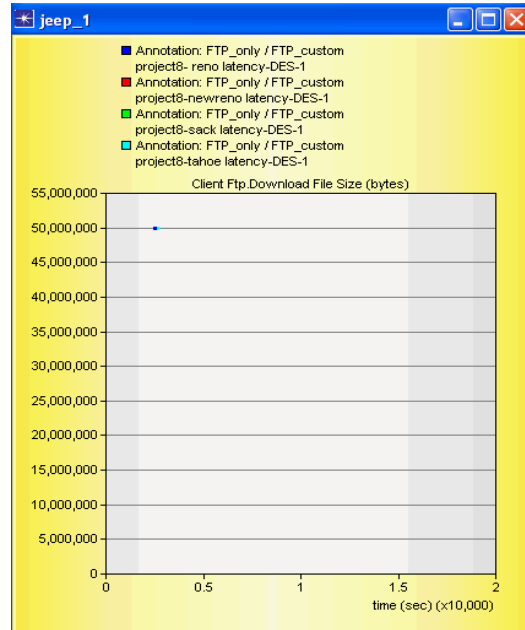
loss	50M	SACK	NEWRENO	RENO	TAHOE
الإنتاجية KB/sec	J1->S1	78.28526	75.54169	75.30539	72.51628
	S1->j1	74.01278	71.05701	71.05701	68.41649
عرض المجال المستغل	J1->S1	19.03784	18.28693	18.29113	17.69725
	S1->j1	2.258494	2.174158	2.171931	2.10064

- في الوصلة الصاعدة و الهابطة متوسط الإنتاجية الأفضل لبروتوكول TCP(SACK).
- يتفوق TCP(Newreno) بالأداء من حيث متوسط الإنتاجية وعرض المجال المستغل على كل من TCP(Reno, Tahoe).
- تعرض TCP(Reno, Tahoe) للعديد من الإختناقات.

6.5.3 حجم الملف 50M بتوليد تأخير 0.1S ضمن تابع صناعي وحيد:



الشكل (6-21) زمن التحميل لملف 50M
بتوليد تأخير 0.1S

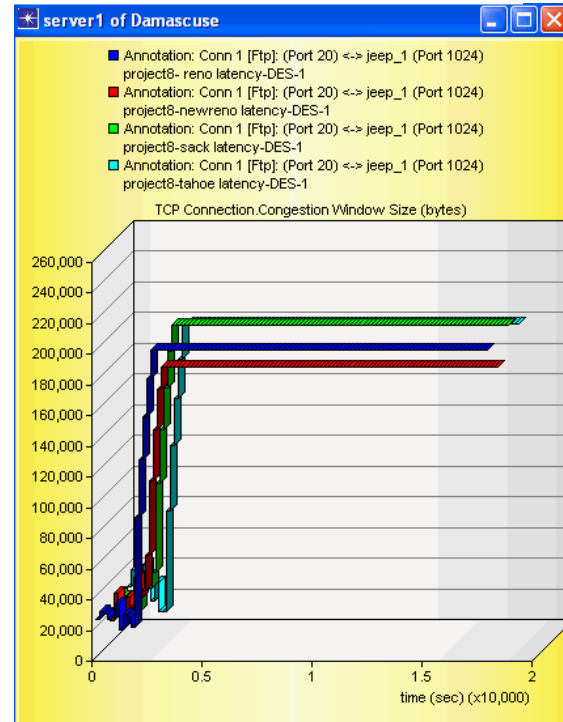


الشكل (6-20) الحجم الملف المرسل 50M
بتوليد تأخير 0.1S

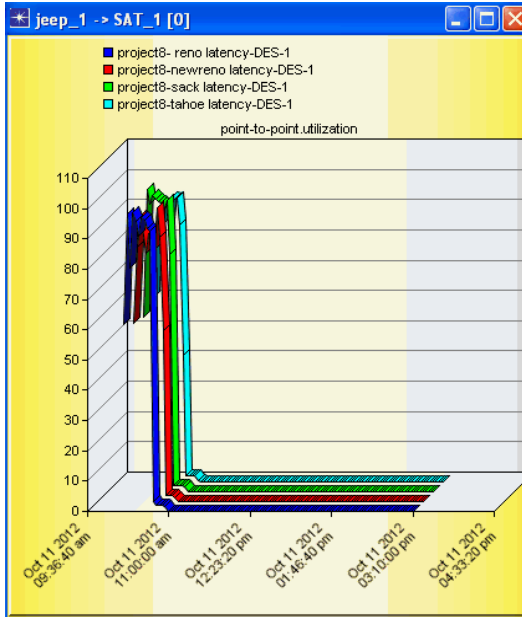
الجدول (6-8) الإنتاجية الفعالة و زمن التحميل التحميل لملف 50M
بتوليد تأخير 0.1S

خوارزميات	زمن التحميل (S)	الإنتاجية الفعالة kb/s
TCP		
Sack	2669.77	149.8256
Newreno	2636.069	151.7411
Reno	2683.163	149.0778
Tahoe	2708.693	147.6727

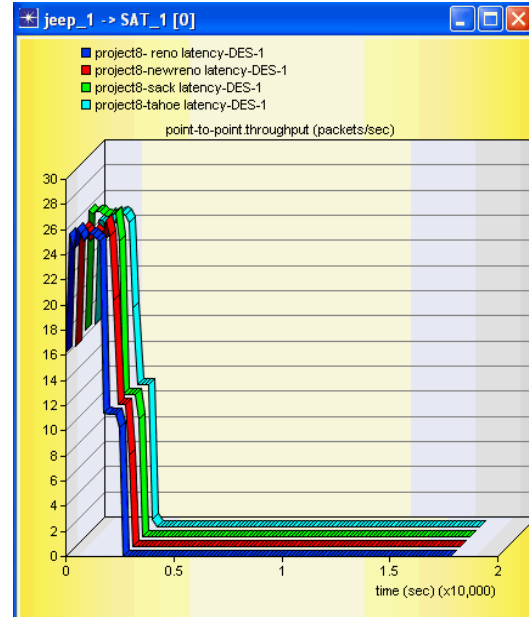
يقدم TCP(Newreno) أفضل أداء من حيث زمن التحميل والإنتاجية الفعالة. يؤثر التأخير على أداء TCP(SACK) حيث يزداد زمن طور تجنب الازدحام.



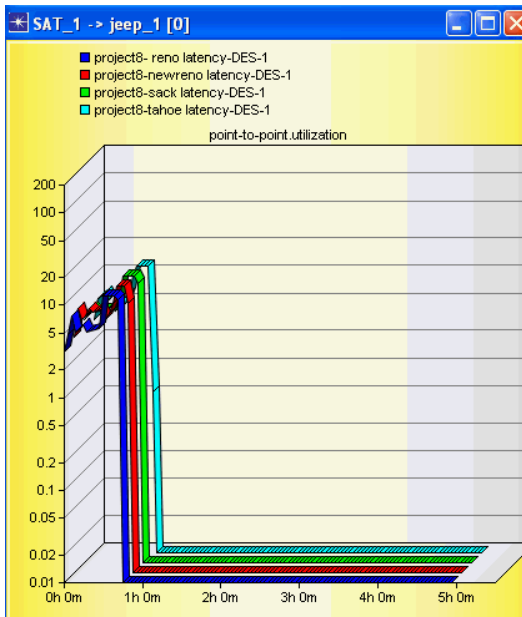
الشكل (6-22) حجم نافذة الازدحام لملف 50M
بتوليد تأخير 0.1S



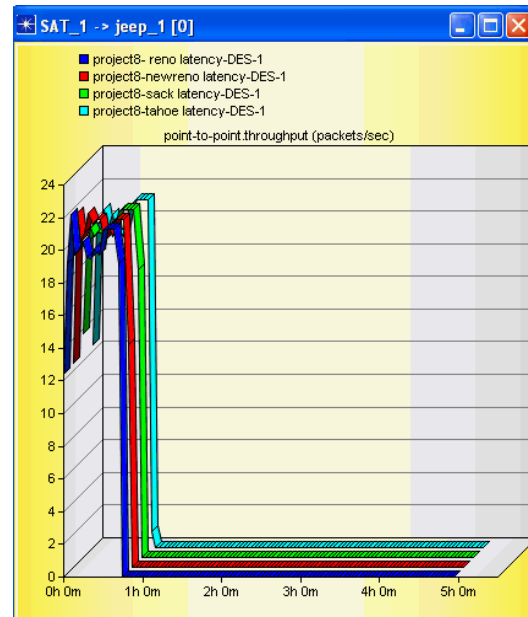
الشكل (6-24) عرض المجال المستغل للوصلة
الصاعدة لملف 50M بتوليد تأخير 0.1S



الشكل (6-23) إنتاجية الوصلة الصاعدة من العميل
للتابع الصناعي لملف 50M بتوليد تأخير 0.1S



الشكل (6-26) عرض المجال المستغل للوصلة
الهابطة لملف 50M بتوليد تأخير 0.1S



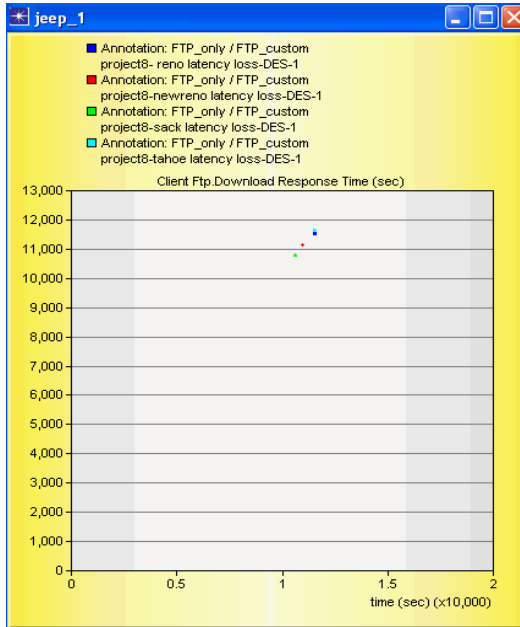
الشكل (6-25) إنتاجية الوصلة الهابطة من التابع
الصناعي للعميل لملف 50M بتوليد تأخير 0.1S

الجدول (6-9) الإنتاجية وعرض المجال المستغل التحميل لملف 50M بتوليد تأخير 0.1S

Latancy		SACK	NEWRENO	RENO	TAHOE
الإنتاجية KB/sec	J1->S1	233.1761	233.9374	233.202	218.2862
	S1->j1	230.3686	231.7053	230.905	217.0087
عرض المجال المستغل	J1->S1	60.82946	60.83977	60.82376	57.02908
	S1->j1	7.596495	7.598097	7.599585	7.131591

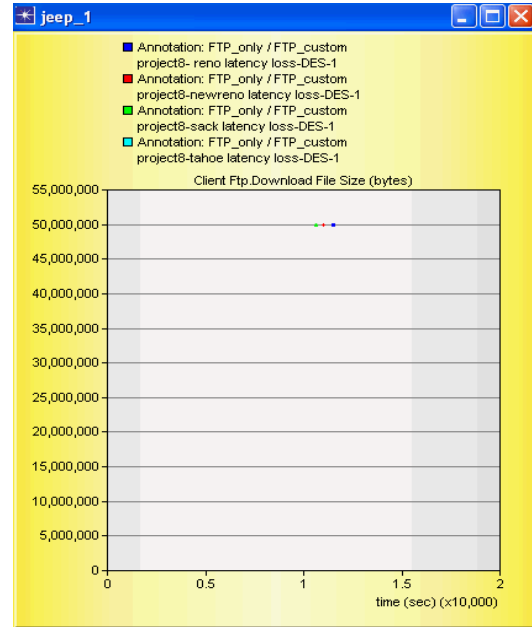
- أعلى إنتاجية واستغلال لعرض المجال لبروتوكول TCP(Newreno).
- تقارب في متوسط قيمة الإنتاجية لكل من TCP(SACK, Reno).
- تقارب في متوسط قيمة عرض المجال المستغل لكل من TCP(SACK, Reno).
- TCP(TAHOE) له أسوأ أداء.

6.5.4 حجم الملف 50M بتوليد ضياع 5% وتأخير 0.1S ضمن تابع صناعي وحيد:



الشكل (6-28) زمن التحميل لملف 50M

بتوليد ضياع 5% وتأخير 0.1S



الشكل (6-27) الحجم الملف المرسل 50M

بتوليد ضياع 5% وتأخير 0.1S

الجدول (6-10) الإنتاجية الفعالة و زمن التحميل لملف 50M

بتوليد ضياع 5% وتأخير 0.1S

خوارزميات	زمن التحميل (S)	الإنتاجية الفعالة kb/s
TCP		
Sack	10786.46	37.08353
Newreno	11143.7	35.89472
Reno	11528.86	34.69554
Tahoe	11665.45	34.28929

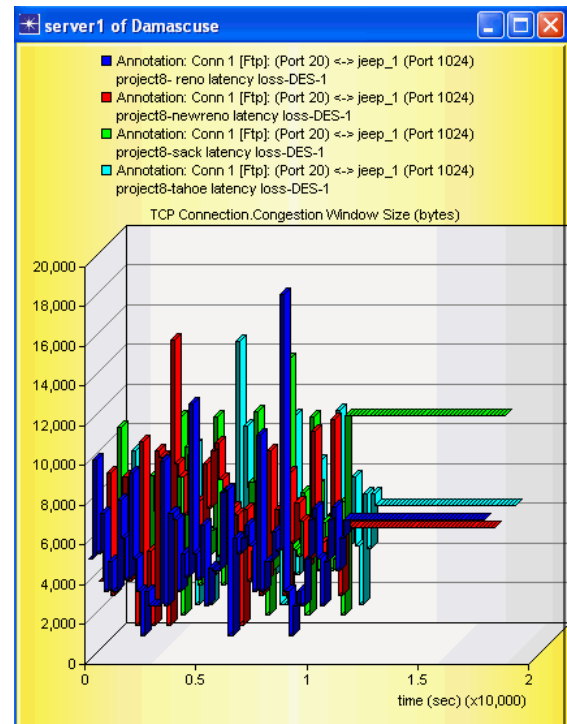
بروتوكول TCP(Sack) له أفضل زمن تحميل نتيجة فعالية

الاستعادة السريعة عن طريق الاستعادة المنتقاة.

TCP(Reno) يعاني من الدخول المتكرر في مرحلة الإقلاع

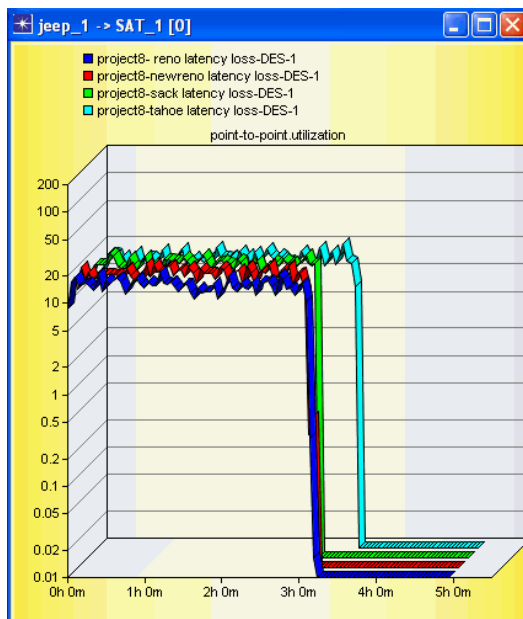
البطيء (Slow Start) نتيجة الضياعات المتكررة.

TCP(Reno, Tahoe) لهما أسوأ أداء.

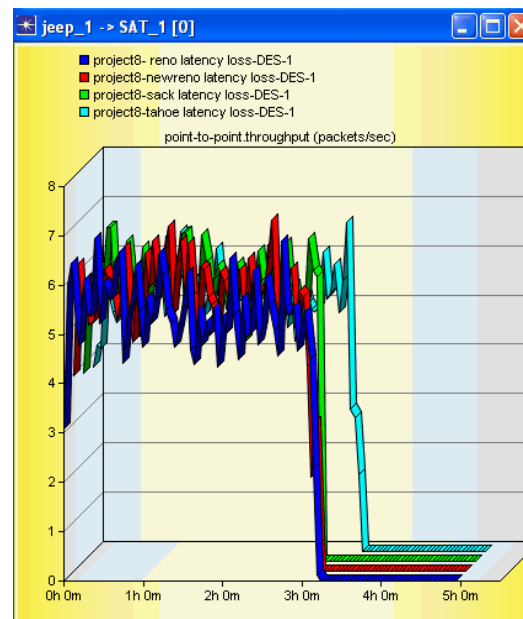


الشكل (6-29) حجم نافذة الإزدحام 50M بتوليد

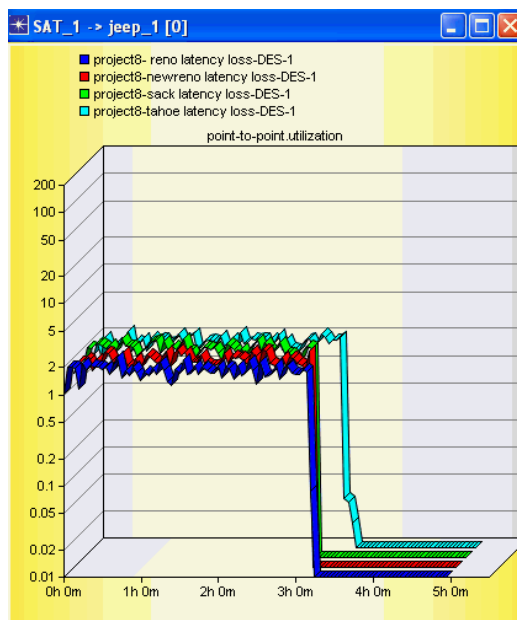
ضياع 5% وتأخير 0.1S



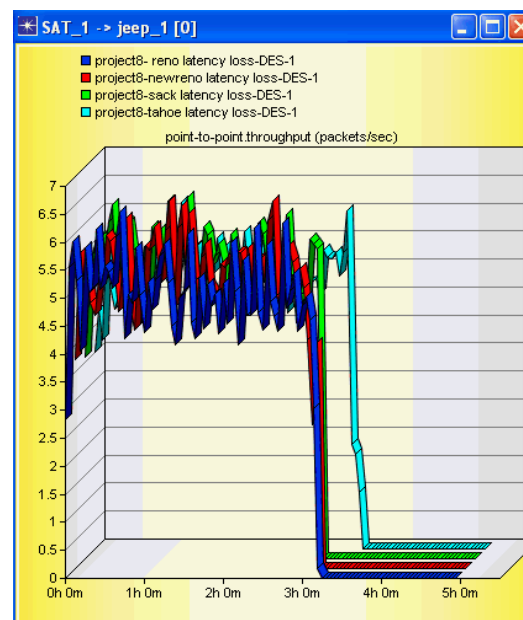
الشكل (6-31) عرض المجال المستغل للوصلة الصاعدة
ملف 50M بتوليد ضياع 5% وتأخير 0.1S



الشكل (6-30) إنتاجية الوصلة الصاعدة من العميل للتابع
الصنعي ملف 50M بتوليد ضياع 5% وتأخير 0.1S



الشكل (6-33) عرض المجال المستغل للوصلة الهابطة
ملف 50M بتوليد ضياع 5% وتأخير 0.1S



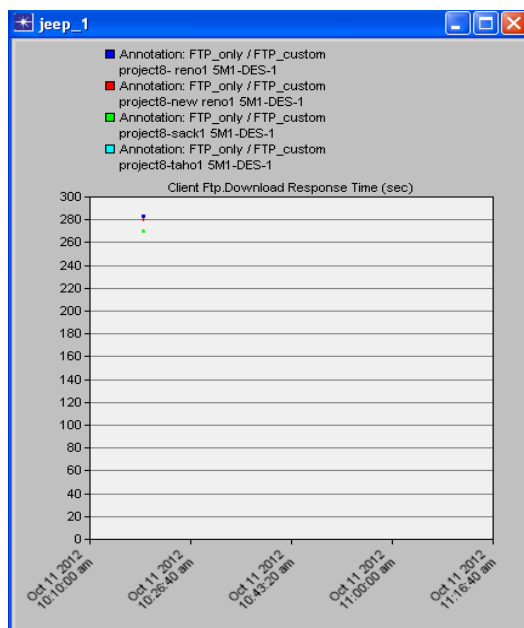
الشكل (6-32) إنتاجية الوصلة الهابطة من التابع الصنعي
للعمل ملف 50M بتوليد ضياع 5% وتأخير 0.1S

الجدول (6-11) الإنتاجية وعرض المجال المستغل لملف 50M بتوليد ضياع 5% وتأخير 0.1S

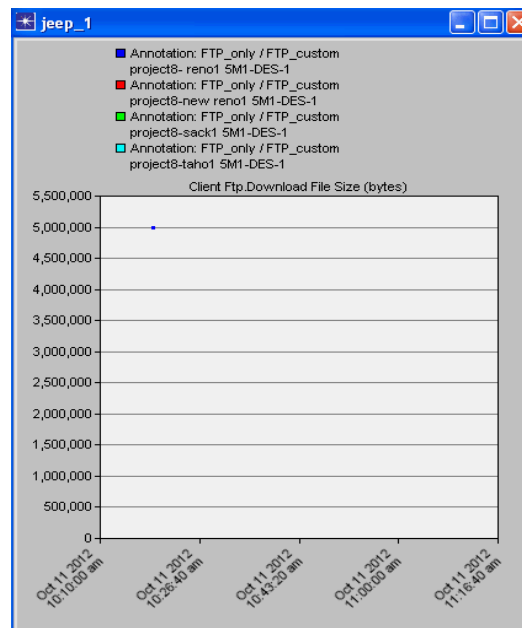
Loss&latancy	50	SACK	NEWRENO	RENO	TAHOE
الإنتاجية KB/sec	J1->S1	66.95452	64.86796	61.75526	58.89716
	S1->j1	63.05145	61.50616	58.2203	55.5592
عرض المجال المستغل	J1->S1	16.2079	15.67776	14.92731	14.35989
	S1->j1	1.920843	1.861514	1.772918	1.700981

- أعلى متوسط إنتاجية في كل من الوصلة الصاعدة والهابطية ومتوسط عرض المجال المستغل لبروتوكول TCP(SACK).
- بروتوكول TCP(Newreno) له إنتاجية ونسبة استغلال لعرض للمجال أفضل من TCP(Tahoe, Reno).
- TCP(Tahoe) يقدم أسوأ أداء في هذا سيناريو الضياع والتأخير.

6.5.5 حجم الملف 5M بتوليد إزدحام ضمن تابع صناعي وحيد:



الشكل (6-35) زمن التحميل لملف 5M بتوليد إزدحام.

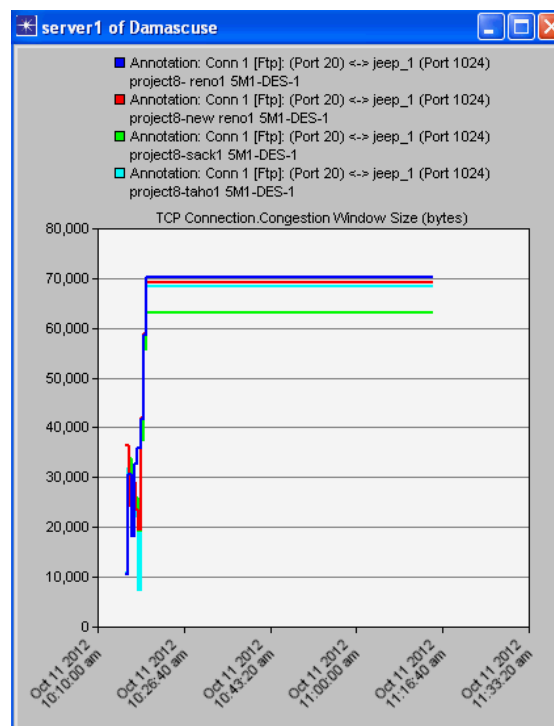


الشكل (6-34) حجم الملف المرسل 5M بتوليد إزدحام.

الجدول (6-12) الإنتاجية الفعالة و زمن التحميل لملف 5M بتوليد إزدحام

خوارزميات TCP	زمن التحميل (s)	الإنتاجية الفعالة kb/s
Sack	270.1581	148.0614
Newreno	279.9651	142.875
Reno	283.2891	141.1985
Tahoe	283.271	141.2075

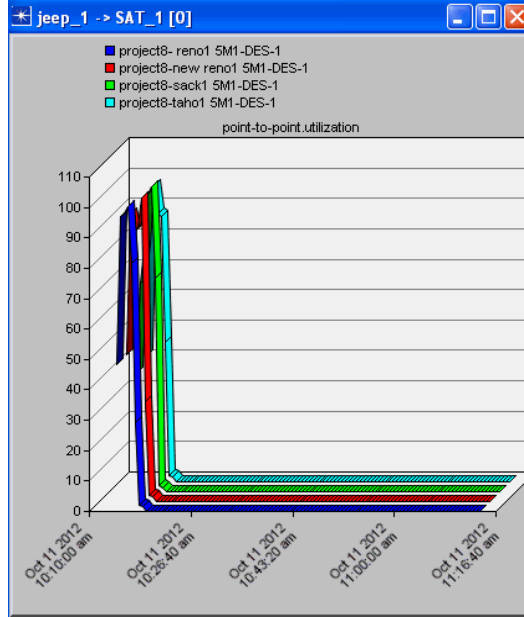
في هذا السيناريو تقارب بالأداء بين خوارزميات ال TCP مع أفضل ل TCP(SACK).



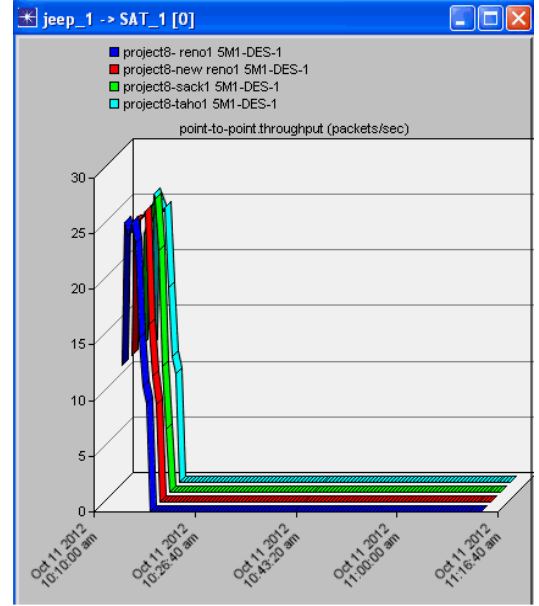
الشكل (6-36) حجم نافذة الإزدحام لملف 5M

بتوليد إزدحام.

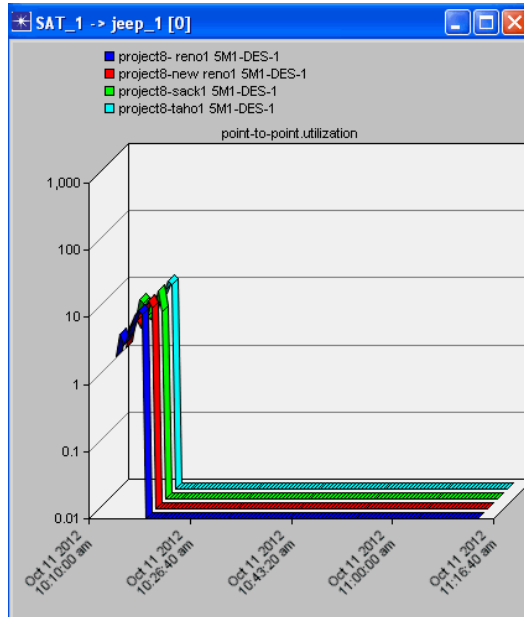
يبدأ كل من TCP(Reno,Tahoe) بتطبيق الإقلاع البطيء بينما يدخل TCP(Newreno) في طور الإرسال السريع (Fast retransmit) .



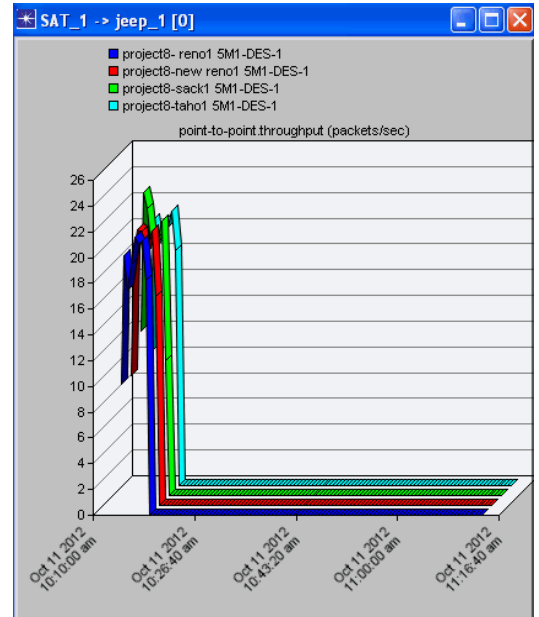
الشكل (6-38) عرض المجال المستغل للوصلة
الصاعدة لملف 5M بتوليد إزدحام.



الشكل (6-37) إنتاجية الوصلة الصاعدة من العميل
للتابع الصناعي لملف 5M بتوليد إزدحام.



الشكل (6-40) عرض المجال المستغل للوصلة
الهابطة لملف 5M بتوليد إزدحام.



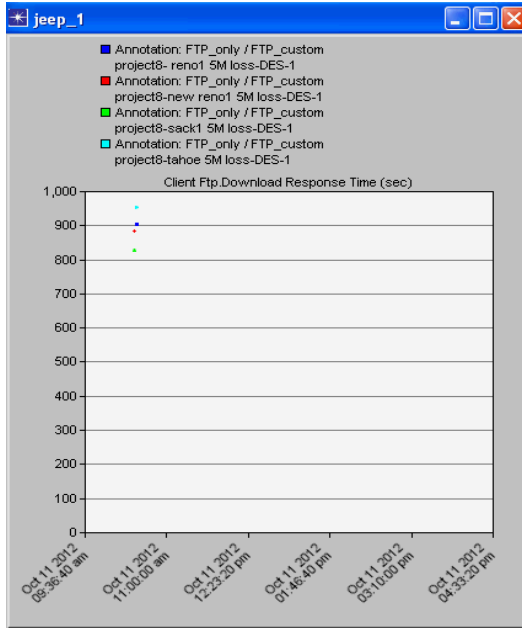
الشكل (6-39) إنتاجية الوصلة الهابطة من التابع
الصناعي للعميل لملف 5M بتوليد إزدحام.

الجدول (6-13) الإنتاجية وعرض المجال المستغل لملف 5M بتوليد إزدحام

Free	5M	SACK	NEWRENO	RENO	TAHOE
الإنتاجية KB/sec	J1->S1	220.2572	219.8922	219.4055	219.1217
	S1->j1	218.2155	217.6617	217.4589	217.9861
عرض المجال المستغل	J1->S1	57.0807	57.0561	57.04998	57.04641
	S1->j1	7.124826	7.124676	7.134258	7.162811

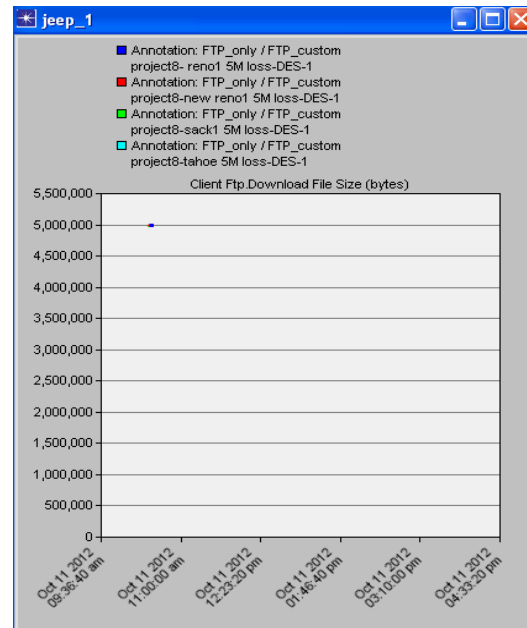
- يتقارب الأداء مع إنخفاض حجم الملف بين الخوارزميات الأربع.
- يقدم TCP(SACK) أفضلية في الأداء من حيث متوسط الإنتاجية في الوصلة الصاعدة والهابطة.
- يعالج TCP(SACK) الإزدحام بشكل أفضل من الخوارزميات الثلاث.

6.5.6 حجم الملف 5M بتوليد ضياع 5% ضمن تابع صناعي وحيد:



الشكل (6-42) زمن التحميل لملف 5M

بتوليد ضياع 5%



الشكل (6-41) حجم الملف المرسل 5M

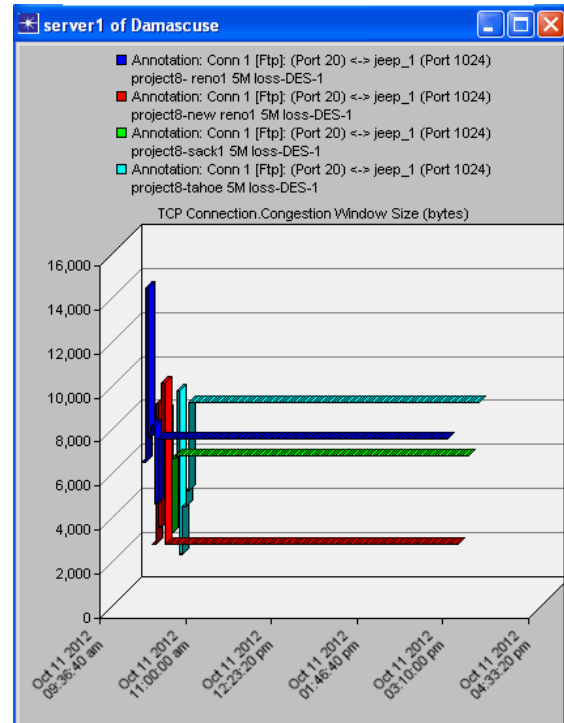
بتوليد ضياع 5%

الجدول (6-14) الإنتاجية الفعالة و زمن التحميل التحميل لملف 5M

بتوليد ضياع 5%

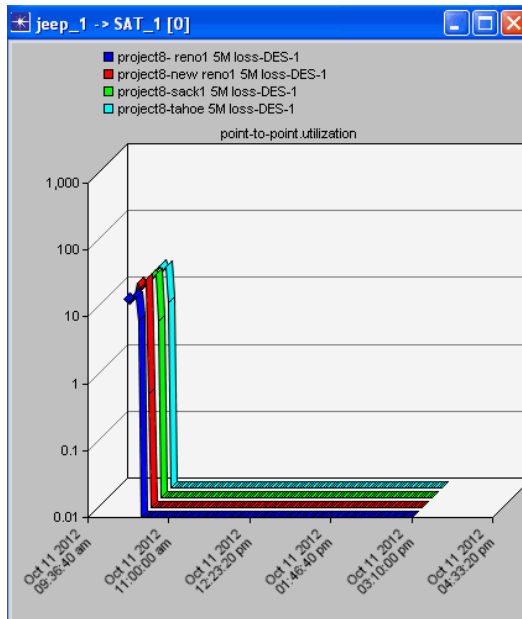
خوارزميات TCP	زمن التحميل (s)	الإنتاجية الفعالة kb/s
Sack	826.7833	48.38027
Newreno	884.3441	45.23126
Reno	905.5353	44.17277
Tahoe	953.2811	41.96034

نلاحظ في هذا السيناريو أفضلية ل TCP(SACK) من حيث زمن التحميل والإنتاجية الفعالة وحجم نافذة الإزدحام، TCP(TAHOE) يقدم أسوأ أداء.



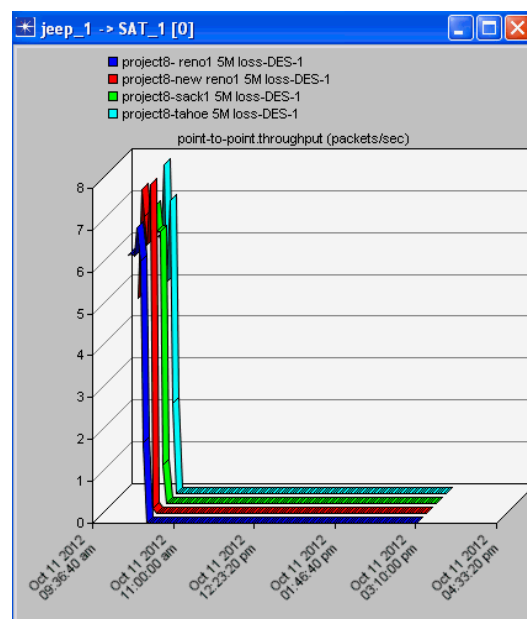
الشكل (6-43) حجم نافذة الإزدحام لملف 5M

بتوليد ضياع 5%



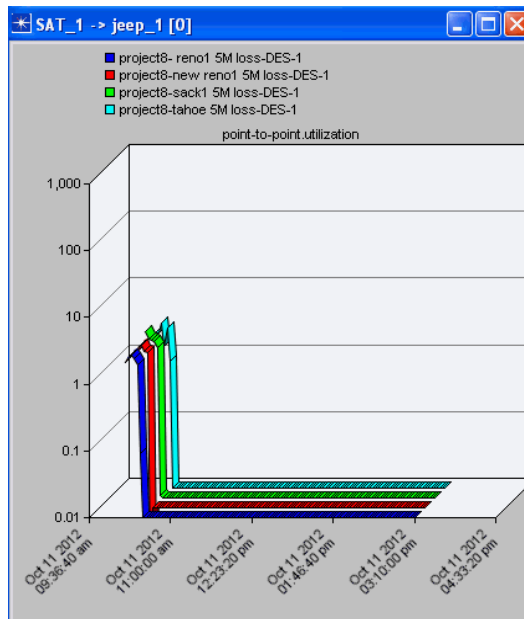
الشكل (6-45) عرض المجال المستغل

للوصلة الصاعدة لملف 5M بتوليد ضياع 5%



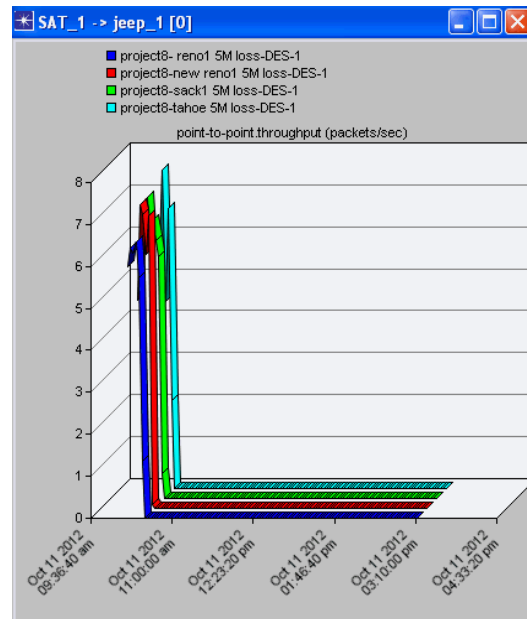
الشكل (6-44) إنتاجية الوصلة الصاعدة من العميل

للتابع الصناعي لملف 5M بتوليد ضياع 5%



الشكل (6-47) عرض المجال المستغل للوصلة

الهابطة 5M بتوليد ضياع 5%



الشكل (6-46) إنتاجية الوصلة الهابطة من التابع

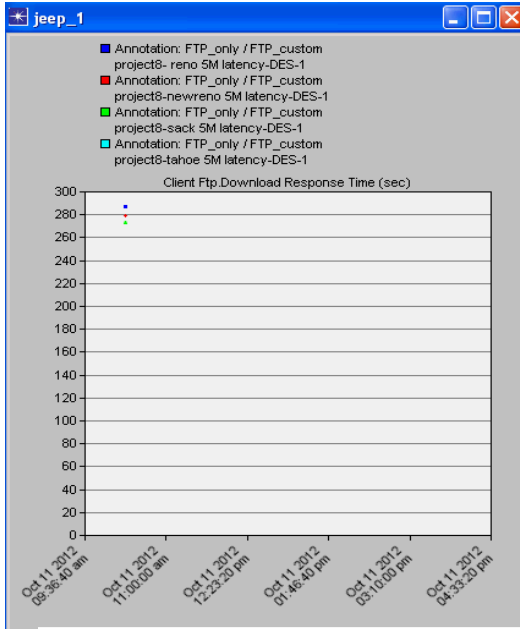
الصناعي للعميل لملف 5M بتوليد ضياع 5%

الجدول (6-15) الإنتاجية وعرض المجال المستغل التحميل لملف 5M بتوليد ضياع 5%

loss	5M	SACK	NEWRENO	RENO	TAHOE
الإنتاجية KB/sec	J1->S1	66.7923	66.68415	66.91126	66.60845
	S1->j1	63.12607	62.74755	62.89896	62.76918
عرض المجال المستغل	J1->S1	16.24921	16.15683	16.21319	16.16011
	S1->j1	1.91737	1.919454	1.921276	1.927937

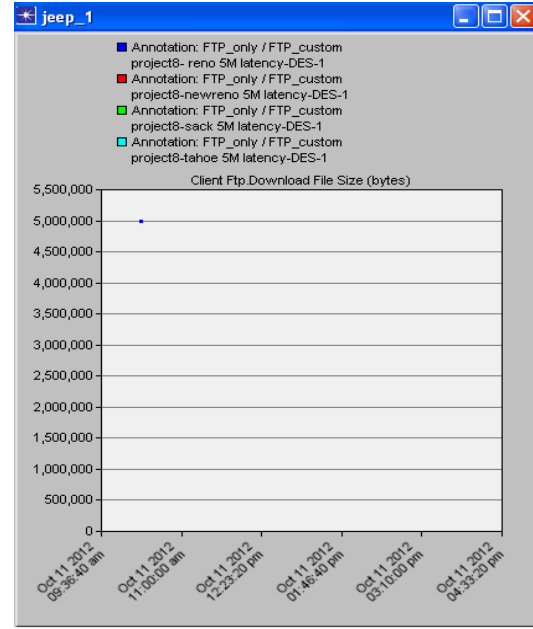
- نلاحظ بدء التقارب في الإنتاجية للخوارزميات المدروسة في كل من الوصلة الصاعدة والهابطة.
- بروتوكول TCP(SACK) له أفضل متوسط إنتاجية في الوصلة الهابطة.
- تنخفض نسبة الإختناقات مع إنخفاض حجم الملف.

6.5.7 حجم الملف 5M بتوليد تأخير 0.1S ضمن تابع صناعي وحيد:



الشكل (6-49) زمن التحميل لملف 5M

بتوليد تأخير 0.1S



الشكل (6-48) الحجم الملف المرسل 5M

بتوليد تأخير 0.1S

الجدول (6-16) زمن التحميل و الإنتاجية الفعالة 5M

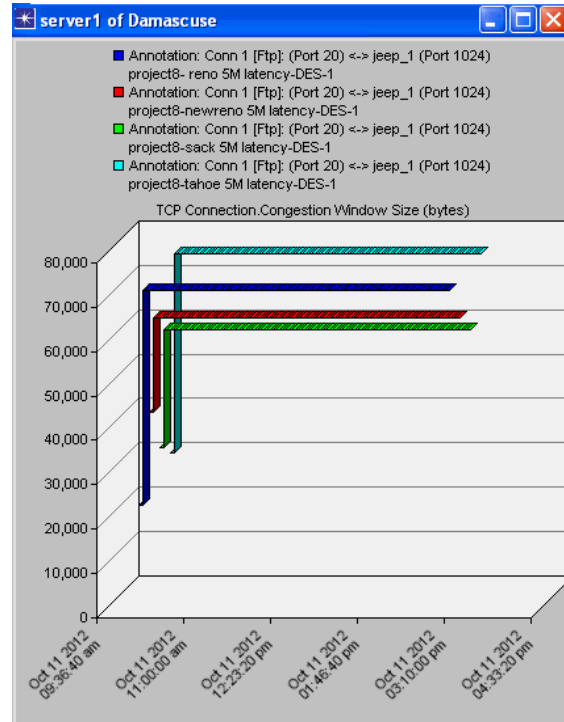
بتوليد تأخير 0.1S

خوارزميات TCP	زمن التحميل (S)	الإنتاجية الفعالة kb/s
Sack	273.4529	146.2775
Newreno	279.3874	143.1704
Reno	286.8276	139.4566
Tahoe	287.1936	139.2789

نلاحظ عند تطبيق التأخير بأن أداء TCP(SACK) أفضل

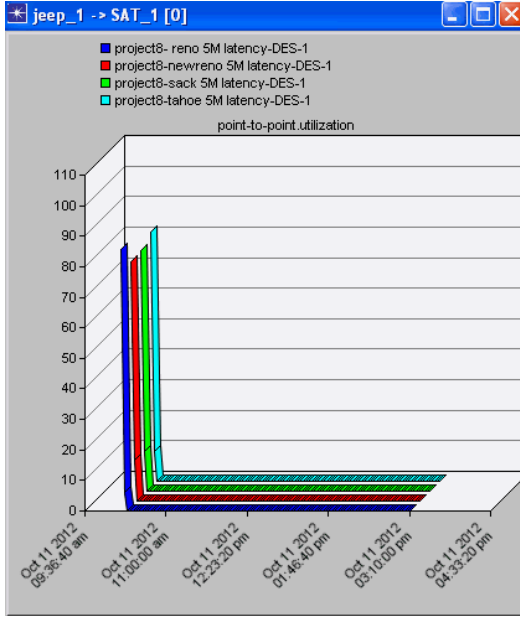
من بقية الخوارزميات من حيث زمن التحميل والإنتاجية

الفعالة، تقارب بين أداء TCP(Reno Tahoe).

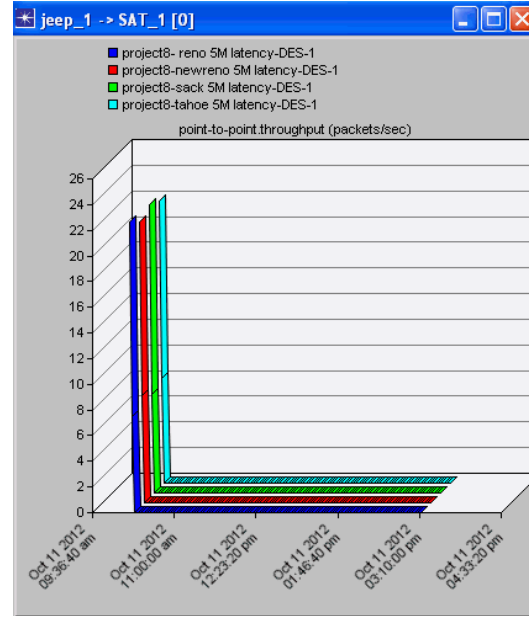


الشكل (6-50) حجم نافذة الإزدحام 5M بتوليد

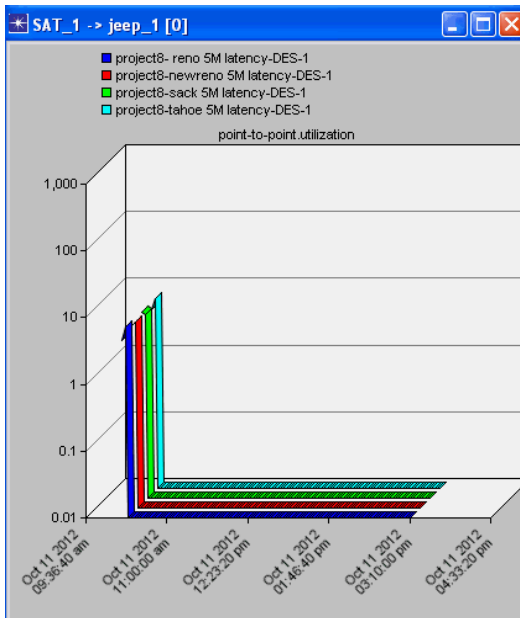
تأخير 0.1S



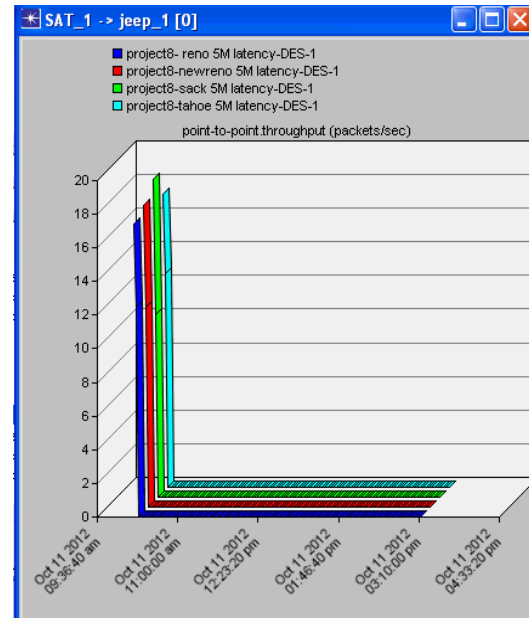
الشكل (6-52) عرض المجال المستغل للوصلة
الصاعدة 5M بتوليد تأخير 0.1S



الشكل (6-51) إنتاجية الوصلة الصاعدة من العميل
للتابع الصناعي 5M بتوليد تأخير 0.1S



الشكل (6-54) عرض المجال المستغل للوصلة
الهابطة 5M بتوليد تأخير 0.1S



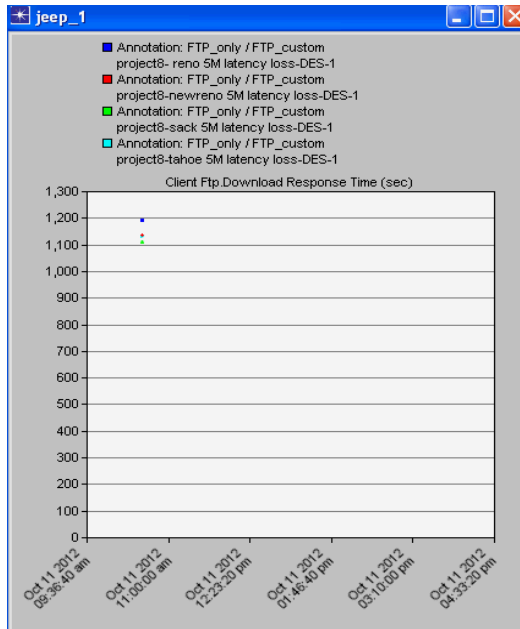
الشكل (6-53) إنتاجية الوصلة الهابطة من التابع
الصناعي للعميل 5M بتوليد تأخير 0.1S

الجدول (6-17) الإنتاجية وعرض المجال المستغل 5M بتوليد تأخير 0.1S

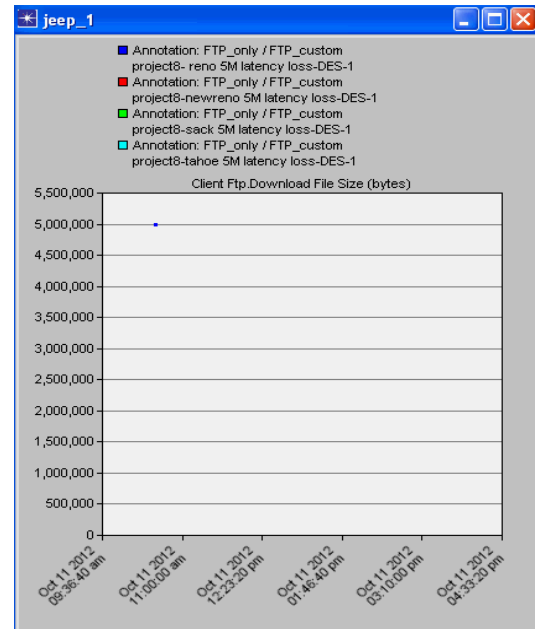
Latancy		SACK	NEWRENO	RENO	TAHOE
الإنتاجية KB/sec	J1->S1	175.7894	175.784	175.3946	175.5894
	S1->j1	173.9831	173.8374	174.1618	175.4271
عرض المجال المستغل	J1->S1	45.6572	45.64325	45.63835	45.6408
	S1->j1	5.757228	5.699282	5.720386	5.757228

- TCP(SACK) له أعلى متوسط قيمة الإنتاجية في الوصلة الهابطة والصاعدة مع أعلى نسبة استغلال لعرض المجال.
- TCP(Newreno) له متوسط قيمة الإنتاجية في الوصلة الهابطة والصاعدة أعلى من TCP(TAHOE, RENO).

6.5.8 حجم الملف 5M بتوليد ضياع 5% وتأخير 0.1S ضمن تابع صناعي وحيد:



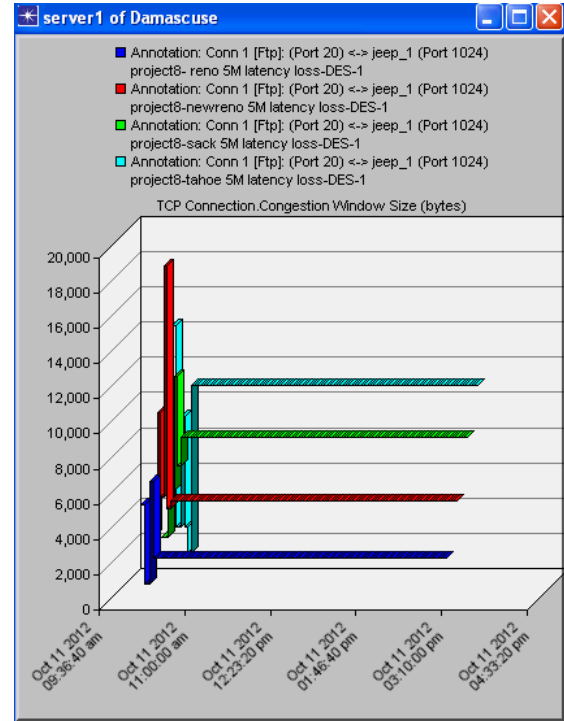
الشكل (56-6) زمن التحميل لملف 5M بتوليد ضياع 5% وتأخير 0.1S



الشكل (55-6) حجم الملف المرسل 5M بتوليد ضياع 5% وتأخير 0.1S

الجدول (18-6) الإنتاجية الفعالة و زمن التحميل لملف 5M بتوليد ضياع 5% وتأخير 0.1S

خوارزميات TCP	زمن التحميل (s)	الإنتاجية الفعالة kb/s
Sack	1109.527	36.0514
Newreno	1136.645	35.19129
Reno	1194.644	33.48278
Tahoe	1134.191	35.26743

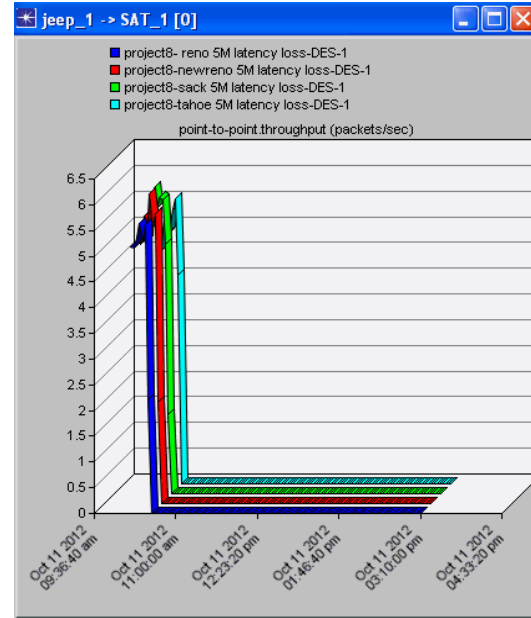
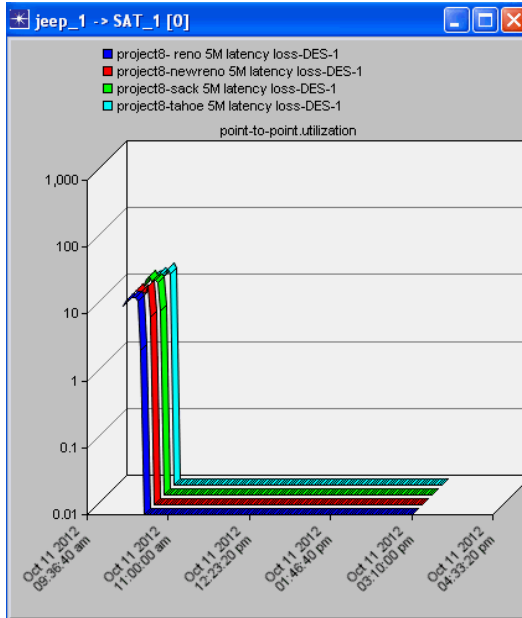


الشكل (57-6) حجم نافذة الازدحام لملف 5M بتوليد ضياع 5% وتأخير 0.1S

نلاحظ في السيناريو بوجود الضياع والتأخير أن حجم الملف يلعب دوراً هاماً في تحديد مستوى الأداء.

TCP(SACK) الأفضل من حيث زمن التحميل وحجم النافذة بينما ينخفض أداء TCP(Newreno)

ويتحسن أداء TCP(Tahoe).

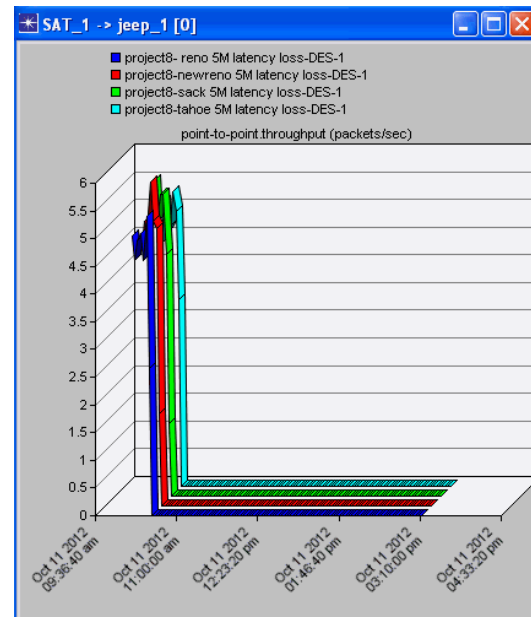
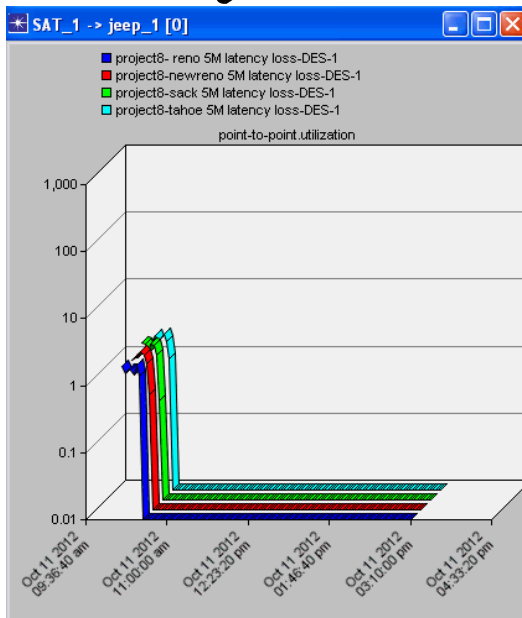


الشكل (59-6) عرض المجال المستغل للوصلة الصاعدة

الشكل (58-6) إنتاجية الوصلة الصاعدة من العميل للتابع

ملف 5M بتوليد ضياع 5% وتأخير 0.1S

الصنعي ملف 5M بتوليد ضياع 5% وتأخير 0.1S



الشكل (61-6) عرض المجال المستغل للوصلة الهابطة

الشكل (60-6) إنتاجية الوصلة الهابطة من التابع الصنعي

ملف المرسل 5M بتوليد ضياع 5% وتأخير 0.1S

للعمل ملف المرسل 5M بتوليد ضياع 5% وتأخير 0.1S

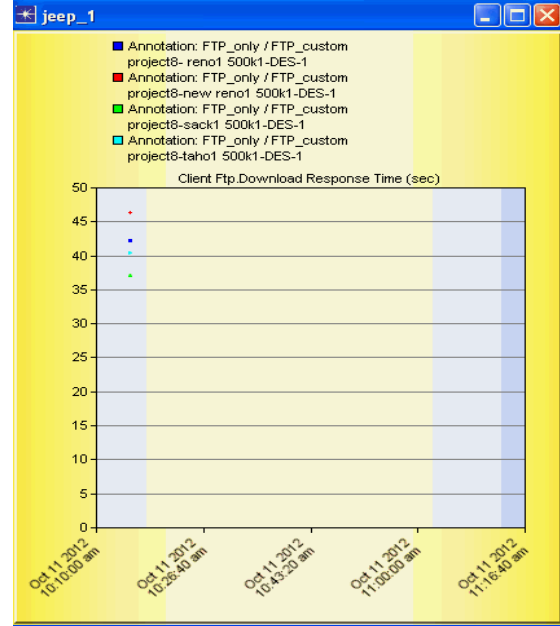
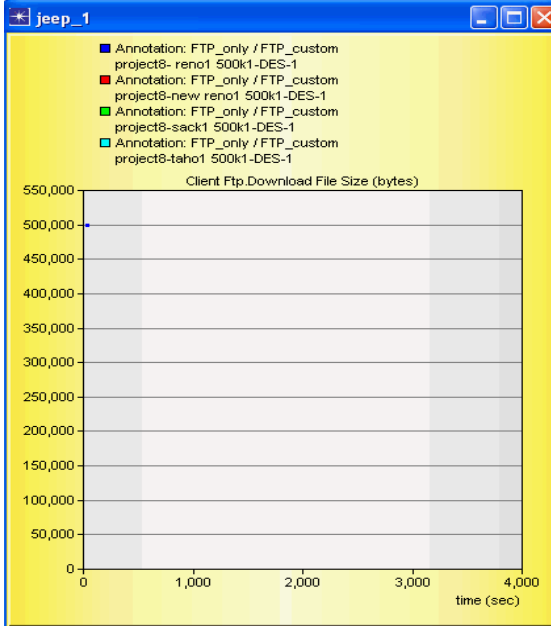
الجدول (6-19) الإنتاجية وعرض المجال المستغل لملف المرسل 5M

بتوليد ضياع 5% وتأخير 0.1S

Loss & latency	5M	SACK	NEWRENO	RENO	TAHOE
الإنتاجية KB/sec	J1->S1	57.70476	57.77892	57.3247	57.00952
	S1->j1	60.62785	59.7843	57.70785	56.44252
عرض المجال المستغل	J1->S1	13.9724	13.91808	13.82062	13.91565
	S1->j1	1.645317	1.64196	1.646779	1.64783

- تقارب في متوسط قيمة الإنتاجية في الخوارزميات الأربع في الوصلة الصاعدة .
- TCP(SACK) له أعلى متوسط قيمة إنتاجية في الوصلة الهابطة.
- TCP(SACK) له أعلى متوسط قيمة استغلال لعرض المجال في الوصلة الهابطة.

6.5.9 حجم الملف 500K بتوليد إزدحام ضمن تابع صناعي وحيد:



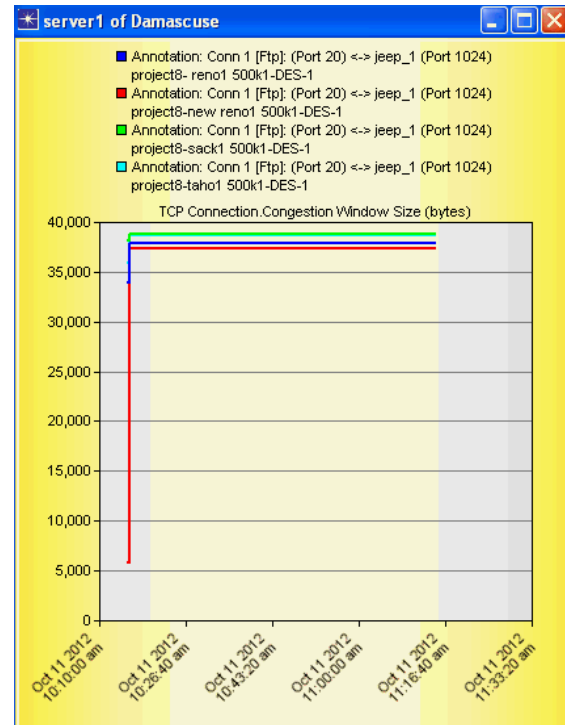
الشكل (6-63) زمن التحميل لملف 500K بتوليد إزدحام.

الشكل (6-62) الحجم الملف المرسل 500K بتوليد

الجدول (6-20) الإنتاجية الفعالة وزمن التحميل لملف 500K بتوليد إزدحام.

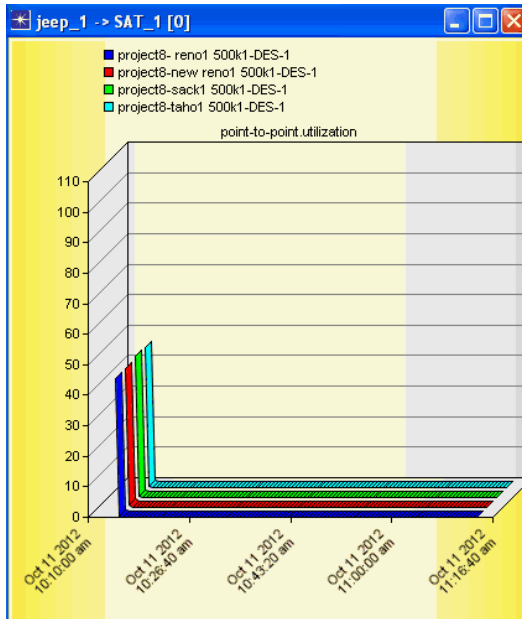
خوارزميات TCP	زمن لتحميل (s)	الإنتاجية الفعالة kb/s
Sack	37.11169	107.7827
Newreno	46.28789	86.41569
Reno	42.16697	94.86098
Tahoe	40.35088	99.13043

في هذا السيناريو نتيجة انخفاض حجم الملف نلاحظ بأن TCP(Newreno) له أسوأ أداء من حيث زمن التحميل وحجم نافذة الإزدحام. TCP (SACK) له أفضل زمن تحميل وإنتاجية فعالة.

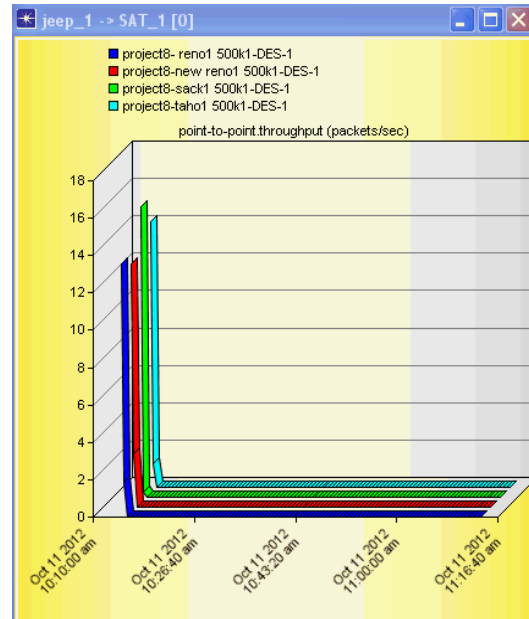


الشكل (6-64) حجم نافذة الإزدحام 500K بتوليد

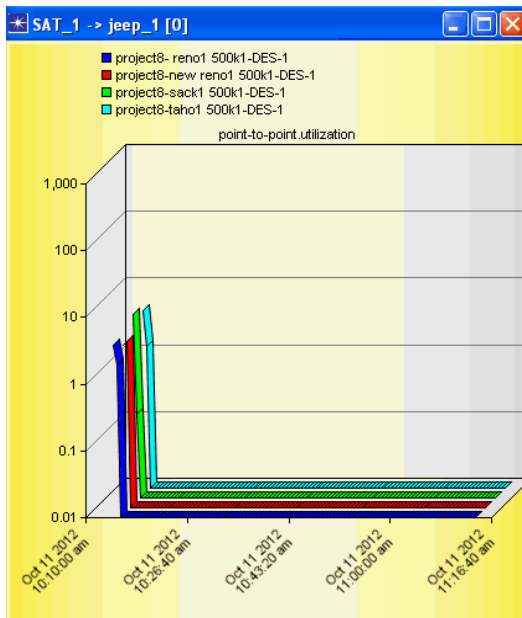
إزدحام.



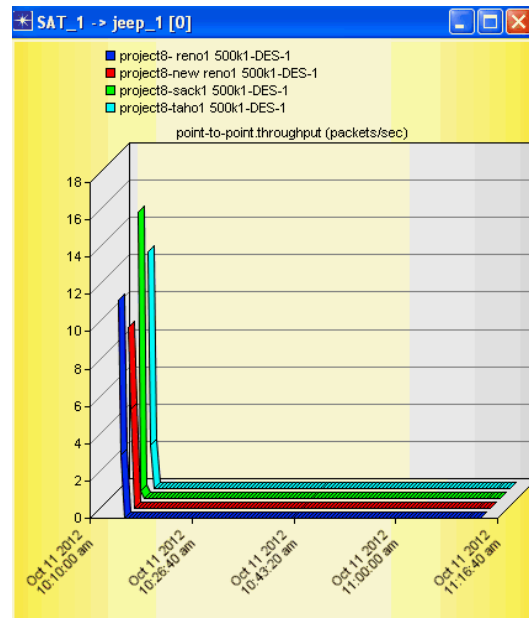
الشكل (6-66) عرض المجال المستغل للوصلة
الصاعدة لملف 500K بتوليد إزدحام.



الشكل (6-65) إنتاجية الوصلة الصاعدة من العميل
للتابع الصناعي لملف 500K بتوليد إزدحام.



الشكل (6-68) عرض المجال المستغل للوصلة
الهابطة لملف 500K بتوليد إزدحام.



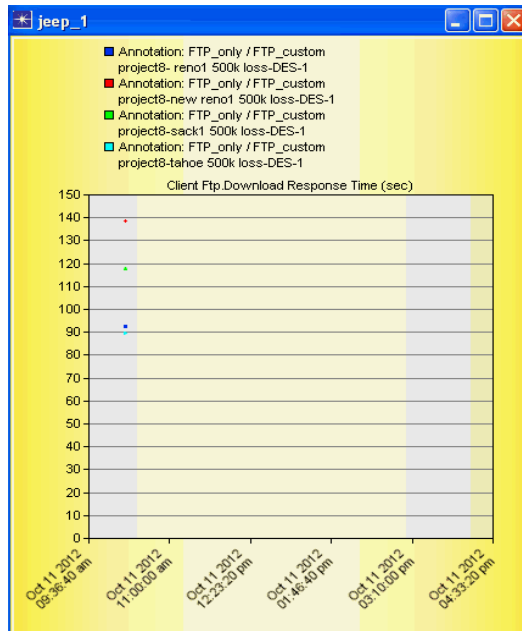
الشكل (6-67) إنتاجية الوصلة الهابطة من التابع
الصناعي للعميل لملف 500K بتوليد إزدحام.

الجدول (6-21) الإنتاجية وعرض المجال المستغل لملف 500K بتوليد إزدحام.

free	500K	SACK	NEWRENO	RENO	TAHOE
الإنتاجية KB/sec	J1->S1	124.2222	103.7778	108.2222	113.3334
	S1->j1	122.4445	87.27552	95.752	101.1111
عرض المجال المستغل	J1->S1	22.98203	22.88333	22.85273	22.85681
	S1->j1	2.862549	2.853288	2.853798	2.861209

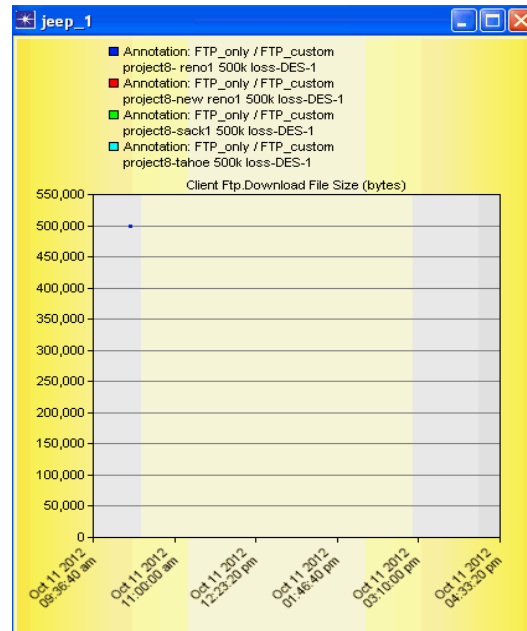
- متوسط الإنتاجية الأعلى لبروتوكول TCP(SACK).
- عرض المجال المستغل الأعلى لبروتوكول TCP(SACK).
- TCP(Newreno) له أخفض قيمة لمتوسط الإنتاجية و نسبة استغلال عرض المجال.

6.5.10 حجم الملف 500K بتوليد ضياع 5% ضمن تابع صناعي وحيد:



الشكل (6-70) زمن التحميل لملف 500K

بتوليد ضياع 5%



الشكل (6-69) حجم الملف المرسل 500K

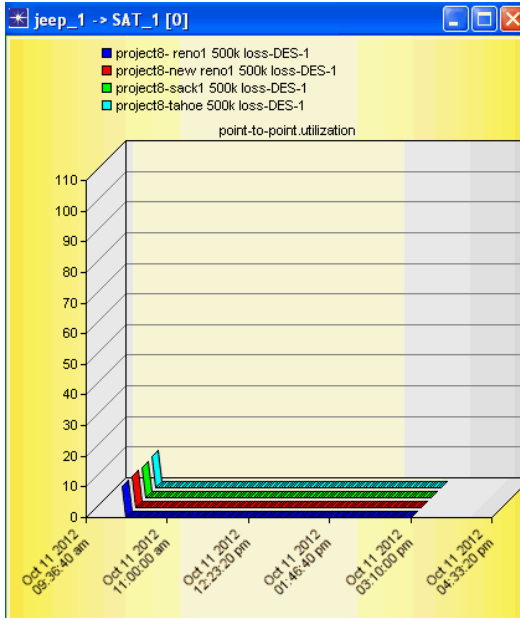
بتوليد ضياع 5%

الجدول (6-22) الإنتاجية الفعالة و زمن التحميل لملف 500K بتوليد ضياع 5%

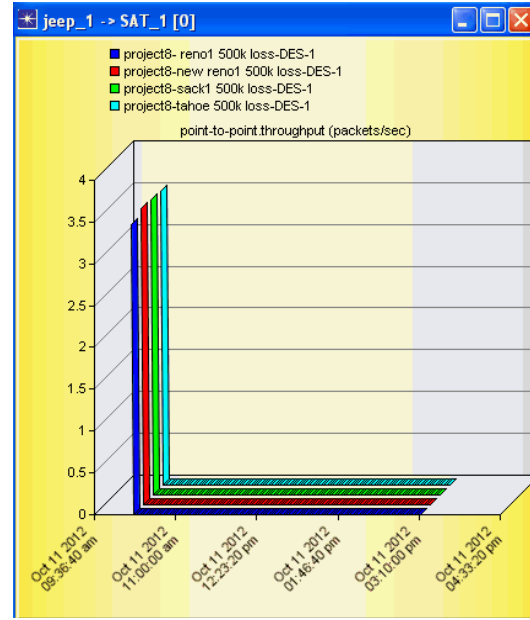
خوارزميات TCP	زمن التحميل (s)	الإنتاجية الفعالة kb/s
Sack	118.0596	33.88119
Newreno	138.6798492	28.84341
Reno	92.575505	43.20797
Tahoe	89.5252	44.68016

أفضل أداء TCP(Tahoe) عند حجم ملف 500K وبتوليد ضياع تبعاً لزمن التحميل، تحسن أداء TCP(Reno) عند حجم ملف صغير نتيجة انخفاض مستوى الضياع وبالتالي فعالية الاستعادة السريعة (Fast Recovery).

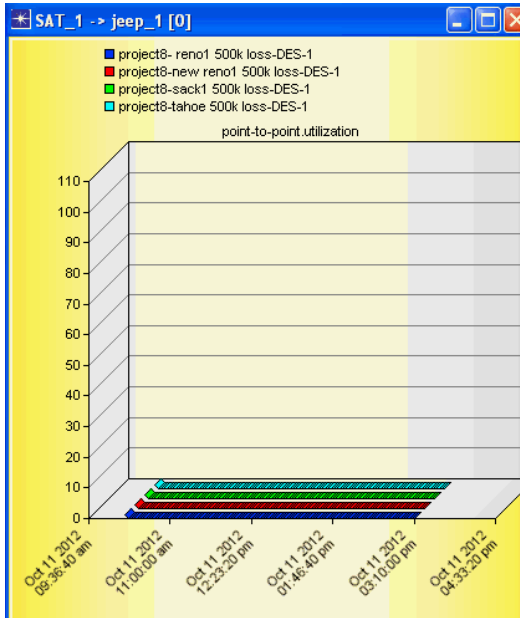
إن TCP(SACK, Newreno) الأسوأ من حيث الأداء ضمن هذا السيناريو.



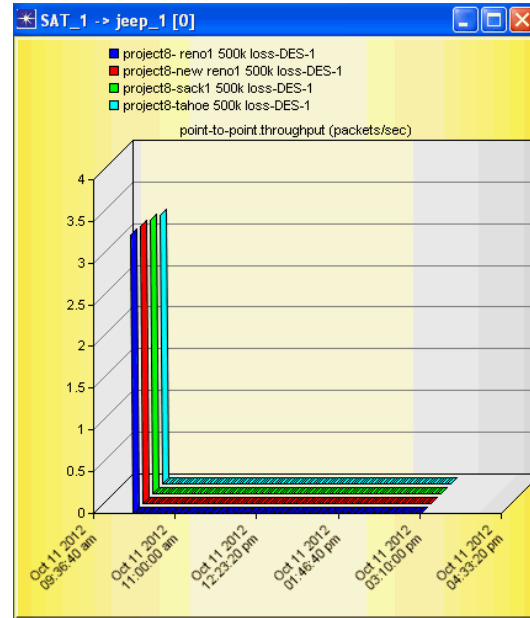
الشكل (6-72) عرض المجال المستغل للوصلة
الصاعدة لملف 500K بتوليد ضياع 5%



الشكل (6-71) إنتاجية الوصلة الصاعدة من العميل
للتابع الصناعي لملف 500K بتوليد ضياع 5%



الشكل (6-74) عرض المجال المستغل للوصلة
الهابطة لملف 500K بتوليد ضياع 5%



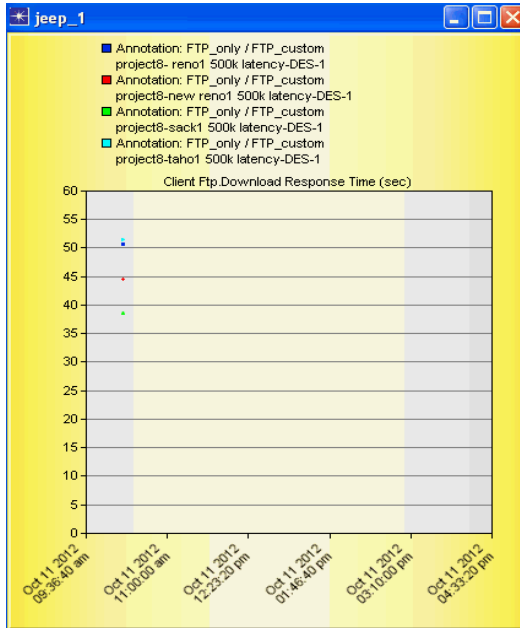
الشكل (6-73) إنتاجية الوصلة الهابطة من التابع
الصناعي للعميل لملف 500K بتوليد ضياع 5%

الجدول (6-23) الإنتاجية وعرض المجال المستغل لملف 500K بتوليد ضياع 5%

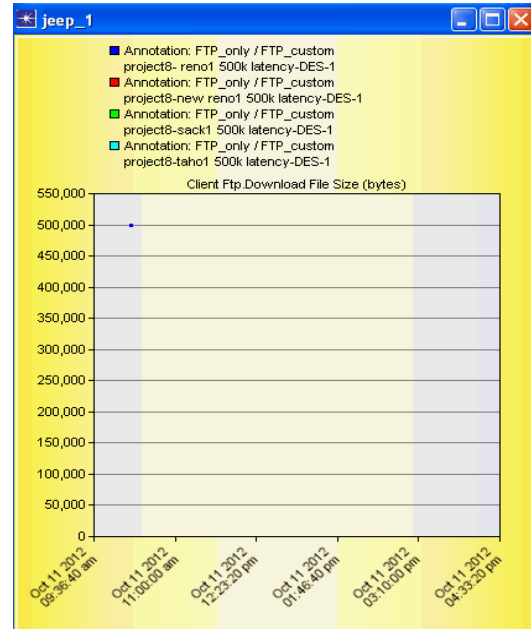
Loss		500K	SACK	NEWRENO	RENO	TAHOE
الإنتاجية KB/sec	J1->S1	41.07466	41.26934	40.42578	40.94489	
	S1->j1	38.15466	38.67378	38.80355	37.50578	
عرض المجال المستغل	J1->S1	9.725608	9.867917	9.908003	9.863837	
	S1->j1	1.157118	1.156736	1.147435	1.151732	

- نلاحظ التقارب في مستوى متوسط الإنتاجية وعرض المجال المستغل لكل من الخوارزميات الأربعة.

6.5.11 حجم الملف 500K بتوليد تأخير 0.1S ضمن تابع صناعي وحيد:



الشكل (6-76) زمن التحميل لملف 500K
بتوليد تأخير 0.1S



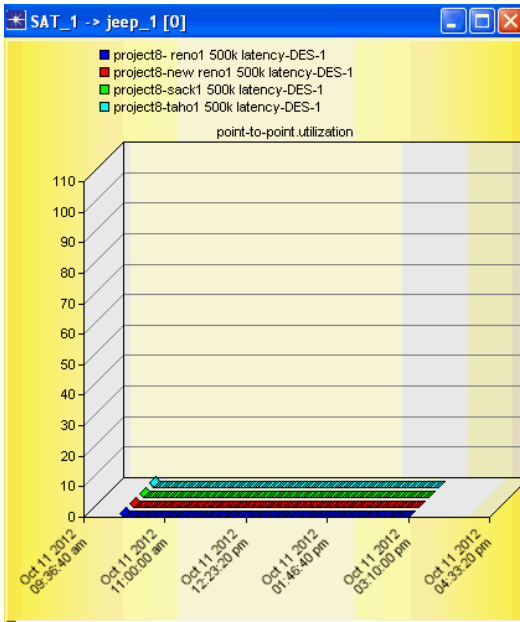
الشكل (6-75) حجم الملف المرسل 500K
بتوليد تأخير 0.1S

الجدول (6-24) الإنتاجية الفعالة و زمن التحميل لملف 500K بتوليد تأخير 0.1S

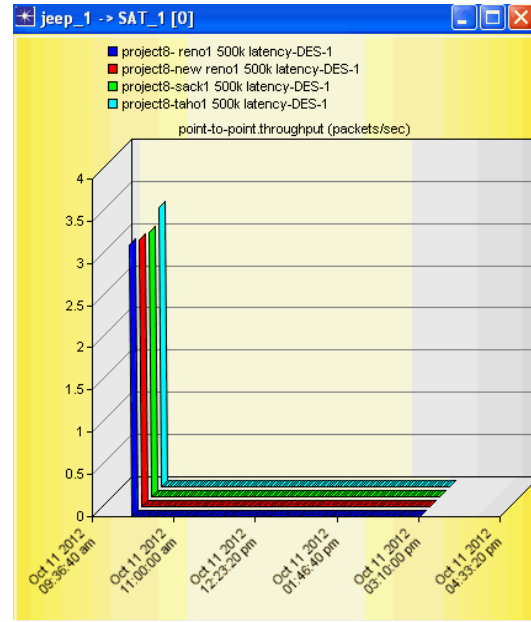
خوارزميات TCP	زمن التحميل (s)	الإنتاجية الفعالة kb/s
Sack	38.5173	103.8494
Newreno	44.47917	89.92974
Reno	50.65513	78.96535
Tahoe	51.52375	77.6341

نلاحظ في هذا السيناريو عند حجم ملف صغير TCP(Tahoe) تأثر وانخفض مستوى الأداء.

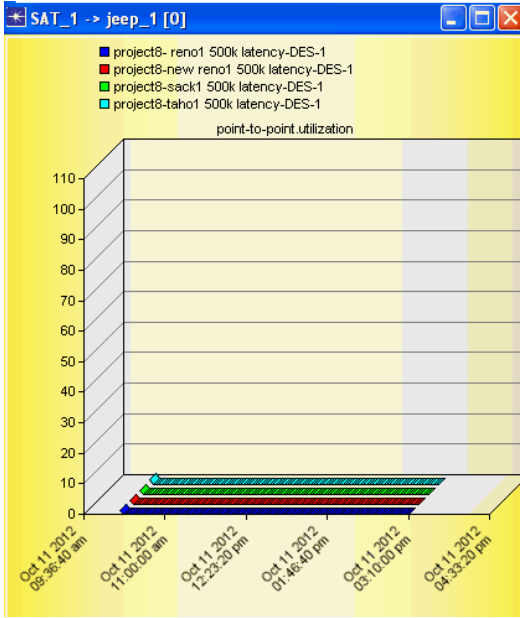
زمن التحميل والإنتاجية الفعالة الأفضل لبروتوكول TCP(SACK).



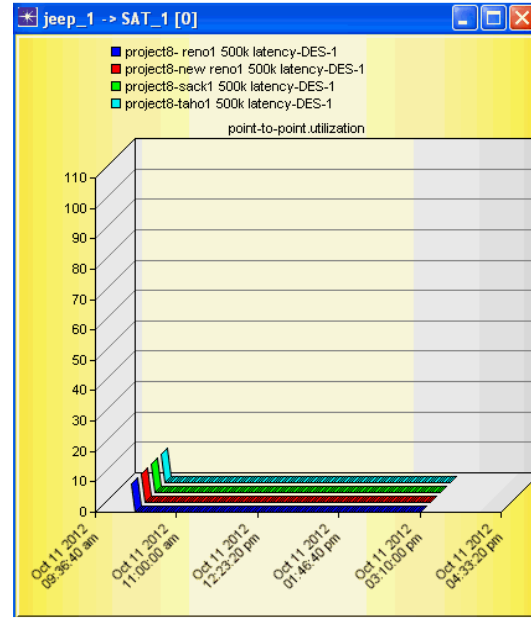
الشكل (6-78) عرض المجال المستغل للوصلة
الصاعدة لملف 500K بتوليد تأخير 0.1S



الشكل (6-77) إنتاجية الوصلة الصاعدة من العميل
للتابع الصناعي لملف 500K بتوليد تأخير 0.1S



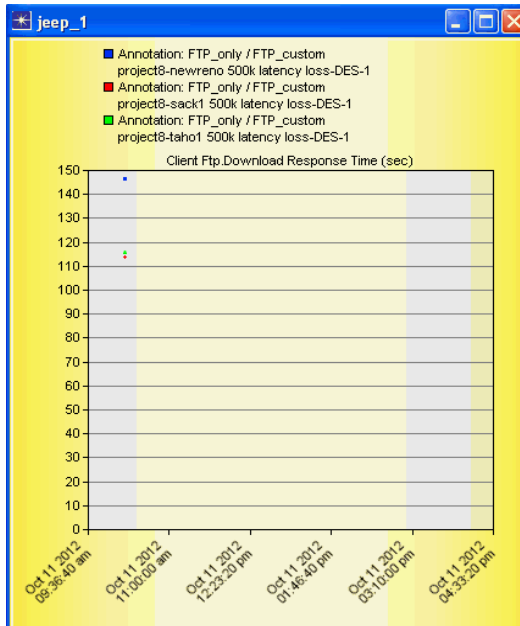
الشكل (6-80) عرض المجال المستغل للوصلة
الهابطة لملف 500K بتوليد تأخير 0.1S



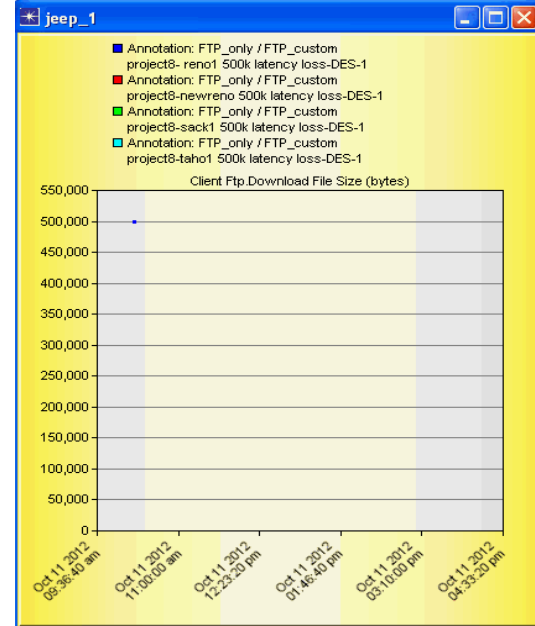
الشكل (6-79) إنتاجية الوصلة الهابطة من التابع
الصناعي للعميل لملف 500K بتوليد تأخير 0.1S

نلاحظ أن في الوصلة الصاعدة إنتاجية TCP(Tahoe) أكبر بسبب إعادة إرسال الرزم المتأخرة باعتبارها فقدت، أما في الوصلة الهابطة فنلاحظ تقارب الخوارزميات فيما بعضها.

6.5.12 حجم الملف 500K بتوليد ضياع 5% وتأخير 0.1S ضمن تابع صناعي وحيد:



الشكل (6-82) زمن التحميل لملف 500K
بتوليد ضياع 5% وتأخير 0.1S



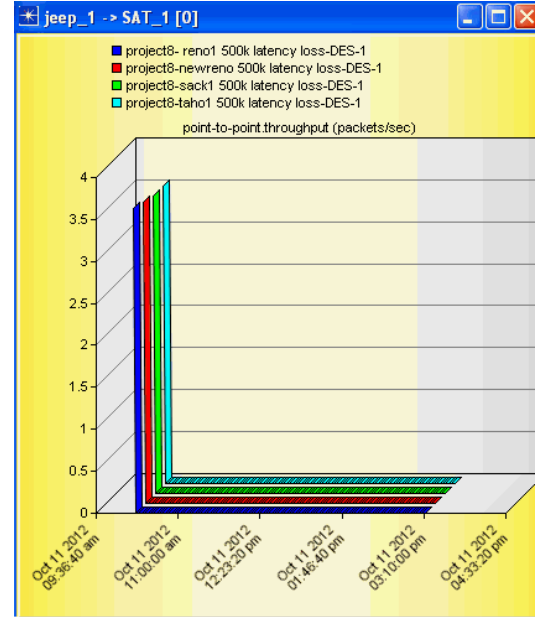
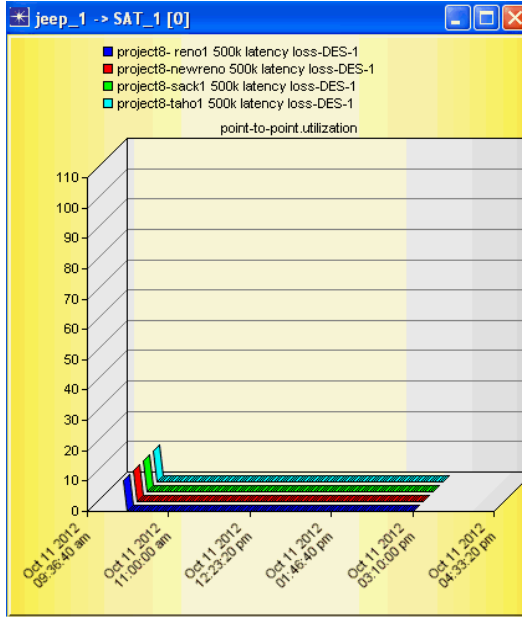
الشكل (6-81) حجم الملف المرسل 500K
بتوليد ضياع 5% وتأخير 0.1S

الجدول (6-25) الإنتاجية الفعالة وزمن التحميل لملف 500K بتوليد ضياع 5% وتأخير 0.1S

خوارزميات TCP	زمن التحميل (S)	الإنتاجية الفعالة kb/s
Sack	113.8626	35.13006
Newreno	146.7252	27.26185
Reno	#N/A	#N/A
Tahoe	115.8596	34.52455

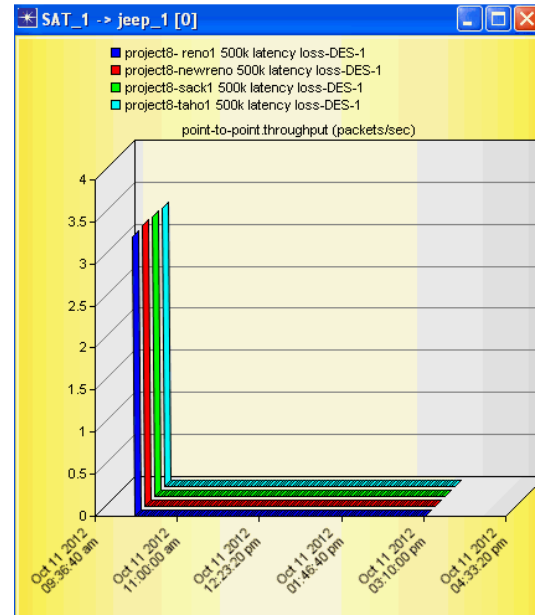
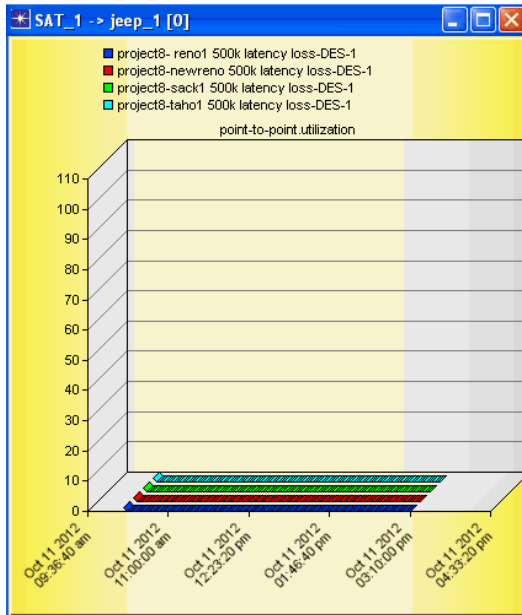
في هذا السيناريو يؤثر الضياع والتأخير على كل من TCP(Reno, Newreno).

TCP(SACK) هو الأفضل من حيث الأداء بين الخوارزميات الأربعة.



الشكل (6-83) إنتاجية الوصلة الصاعدة من العميل للتابع
الصنعي لملف 500K بتوليد ضياع 5% وتأخير 0.1S

الشكل (6-84) عرض المجال المستغل للوصلة الصاعدة
لملف 500K بتوليد ضياع 5% وتأخير 0.1S



الشكل (6-85) إنتاجية الوصلة الهابطة من التابع الصنعي
للعميل لملف 500K بتوليد ضياع 5% وتأخير 0.1S

الشكل (6-86) عرض المجال المستغل للوصلة الهابطة
لملف 500K بتوليد ضياع 5% وتأخير 0.1S

نلاحظ التقارب في متوسط قيمة الإنتاجية وعرض المجال المستغل لخوارزميات TCP الأربع.

الجدول (26-6) الإنتاجية وعرض المجال المستغل لملف 500K بتوليد ضياع 5% وتأخير 0.1S

Loss & latency	500K	SACK	NEWRENO	RENO	TAHOE
الإنتاجية KB/sec	J1->S1	41.20445	41.78845	42.24266	41.20445
	S1->j1	38.73866	38.86845	38.73866	38.47911
عرض المجال المستغل	J1->S1	9.925955	9.835694	9.854809	9.841753
	S1->j1	1.155028	1.160211	1.169512	1.153262

6.5.13 ملخص الدراسة لأداء الخوارزميات ضمن بيئة إتصال تتألف من تابع صناعي وحيد:

1- حجم الملف 50M

- تشير نتائج المحاكاة في شبكات التوابع الصناعية التي تعاني من الضياع والتأخير نتيجة للخفوت وتعدد المسارات أن TCP SACK يقدم أداء أفضل من حيث حجم نافذة الإزدحام، زمن التحميل والإنتاجية الفعالة.
- الإنتاجية وعرض المجال المستخدم عند إستخدام TCP SACK أعلى من الخوارزميات الثلاث المتبقية.
- ينخفض أداء TCP SACK بشكل طفيف عن TCP NEWRENO عندما تعني الشبكة من التأخير فقط بينما تبقى الإنتاجية أعلى.
- أفضلية أداء TCP SACK في الشبكات التي تعاني من الضياع فقط.
- TCP RENO و TCP Tahoe يقدمان أسوأ أداء في الشبكات التي تعاني من التأخير والضياع معاً.

2- حجم الملف 5M

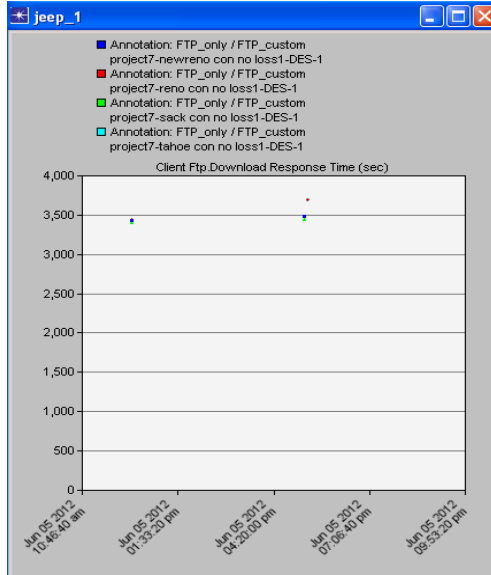
- يتحسن أداء كل من TCP RENO و TCP TAHOE و تبقى الأفضلية ل TCP SACK.
 - أفضلية الأداء ل TCP SACK في حال وجود ضياع عن الخوارزميات الثلاث.
 - TCP SACK الأفضل عند معاناة الشبكة من التأخير فقط.
- يتحسن أداء TCP TAHOE في حالة الضياع والتأخير وأفضلية عن TCPRENO و TCP Newreno.

3- حجم الملف 500K

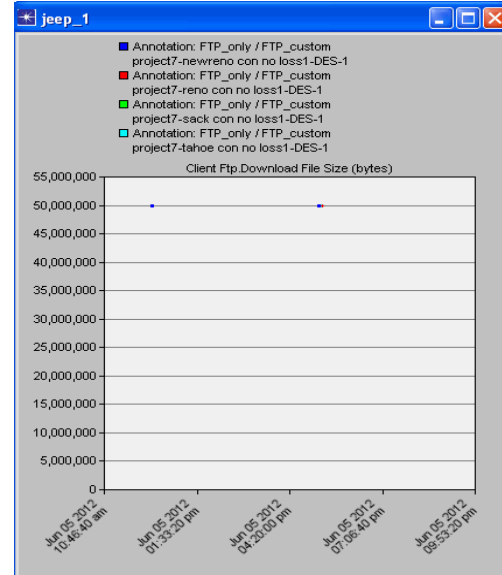
- يتقارب الأداء كلما صغر حجم الملف بين الخوارزميات الأربع عند عدم وجود الضياع والتأخير وانخفاض نسبة الإزدحام مع أفضلية ل TCP SACK.
- يتحسن أداء TCP TAHOE بحالة الضياع فقط بشكل أفضل من TCP NEWRENO ,
- TCP RENO و TCP SACK بينما يتأثر وينخفض أدائه في حالة التأخير فقط.
- TCP SACK الأفضل في حالة الضياع والتأخير معاً ثم TCP TAHOE من حيث زمن التحميل .
- TCP RENO الأسوأ في معالجة الضياع والتأخير معاً.

6.6 نتائج المحاكاة ضمن منظومة من التوابع الصناعية

6.6.1 حجم الملف 50M بتوليد إزدحام ضمن منظومة من التوابع الصناعية:



الشكل (6-88) زمن التحميل لملف 50M للتعديل 1
ضمن منظومة بتوليد إزدحام

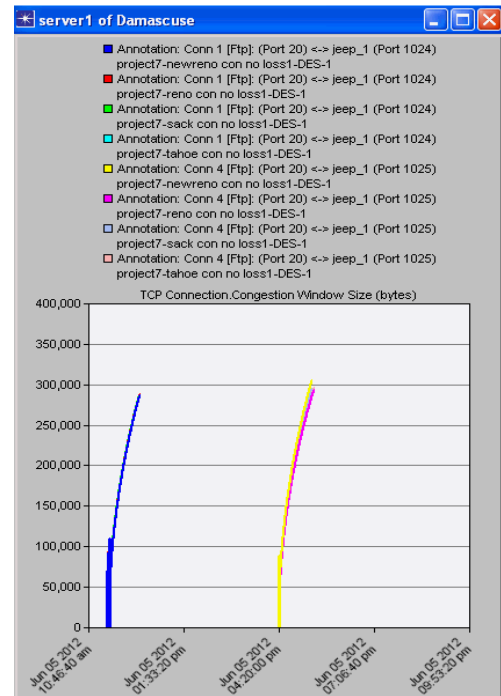


الشكل (6-87) حجم الملف المرسل 50M للتعديل 1
ضمن منظومة بتوليد إزدحام

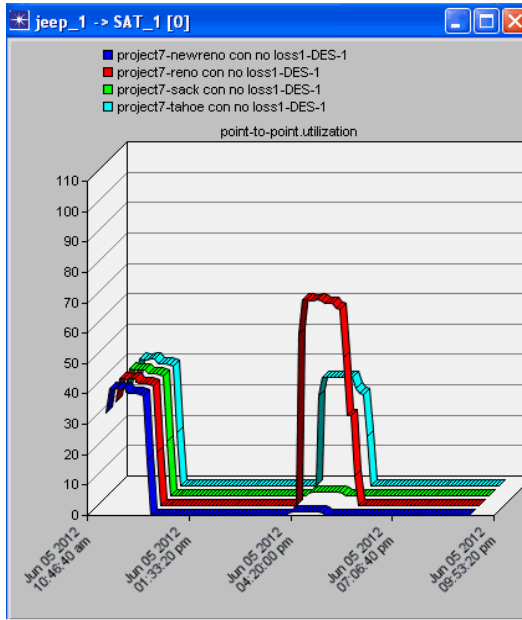
الجدول (6-27) زمن التحميل و الإنتاجية الفعالة لملف 50M للتعديل 1 ضمن
منظومة بتوليد إزدحام

خوارزميات TCP	زمن التحميل (S)	الإنتاجية الفعالة kb/s	زمن التحميل (S)	الإنتاجية الفعالة kb/s
Sack	3411.932	117.2356	3446.821	116.049
Newreno	3434.145	116.4773	3488.415	114.6653
Rreno	3440.416	116.265	3690.734	108.3795
Tahoe	3432.272	116.5409	3693.749	108.2911

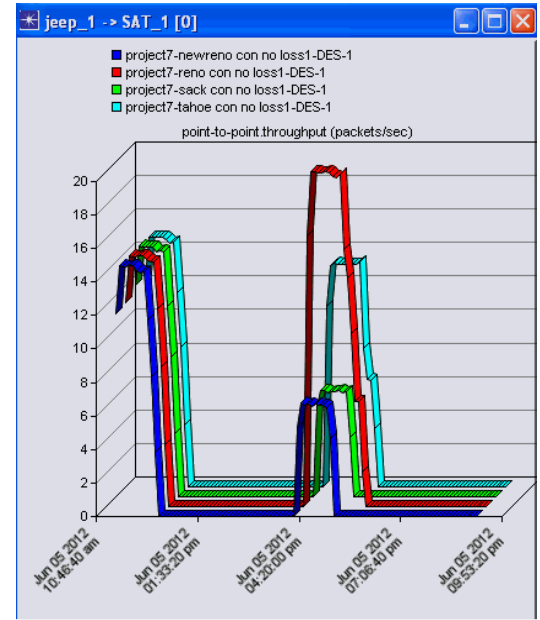
نلاحظ تقارب بالأداء في نقطة الدراسة الأولى وأفضلية في أداء TCP(SACK) في نقطة الدراسة الثانية.



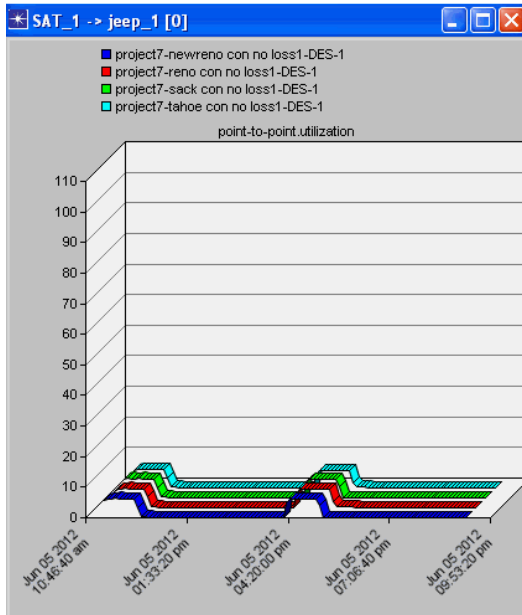
الشكل (6-89) حجم نافذة الإزدحام لمخدم مدينة دمشق
لملف 50M ضمن منظومة بتوليد إزدحام



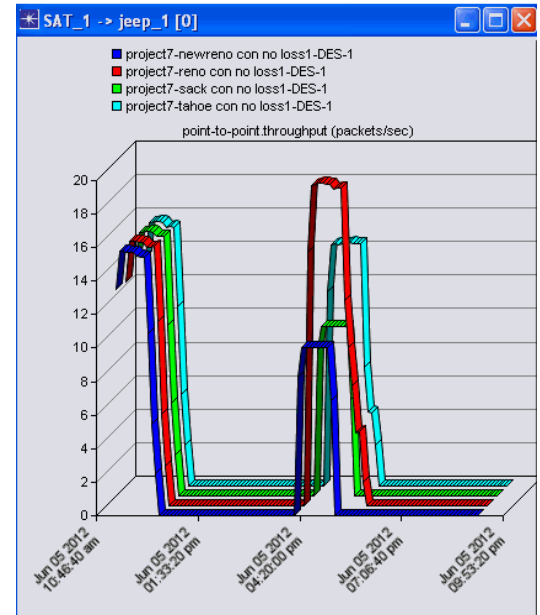
الشكل (6-91) عرض المجال المستغل للوصلة الصاعدة
لملف 50M للتعيل 1 ضمن منظومة بتوليد إزدحام



الشكل (6-90) إنتاجية الوصلة الصاعدة من التعيل 1 للتابع
الصنعي 1 لملف 50M ضمن منظومة بتوليد إزدحام

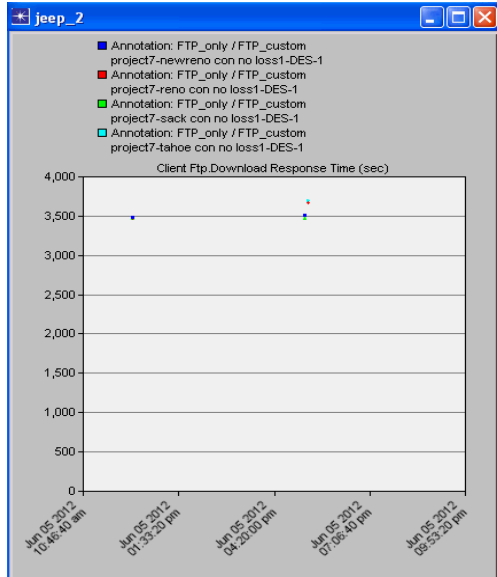


الشكل (6-93) عرض المجال المستغل للوصلة الهابطة
لملف 50M للتعيل 1 ضمن منظومة بتوليد إزدحام

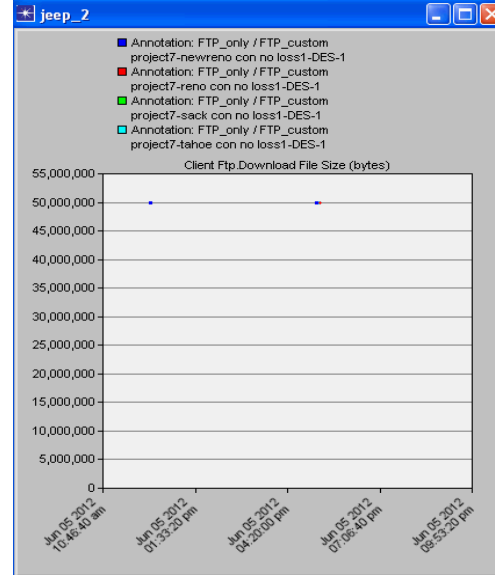


الشكل (6-92) إنتاجية الوصلة الهابطة من التابع الصنعي 1
للتعيل 1 لملف 50M ضمن منظومة بتوليد إزدحام

تقارب الأداء من حيث الإنتاجية في نقطة الدراسة الأولى بينما تزداد إنتاجية TCP(Reno) تبعاً
لإعادة الإرسال المتكرر نتيجة الإزدحام.



الشكل (95-6) زمن التحميل لملف 50M للعميل 2
ضمن منظومة بتوليد إزدحام



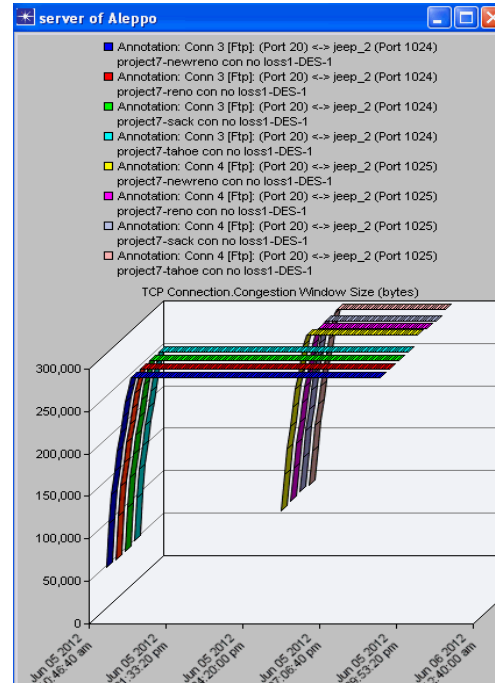
الشكل (94-6) حجم الملف المرسل 50M للعميل 2
ضمن منظومة بتوليد إزدحام

الجدول (28-6) زمن التحميل و الإنتاجية الفعالة لملف 50M للعميل 2 ضمن منظومة بتوليد إزدحام

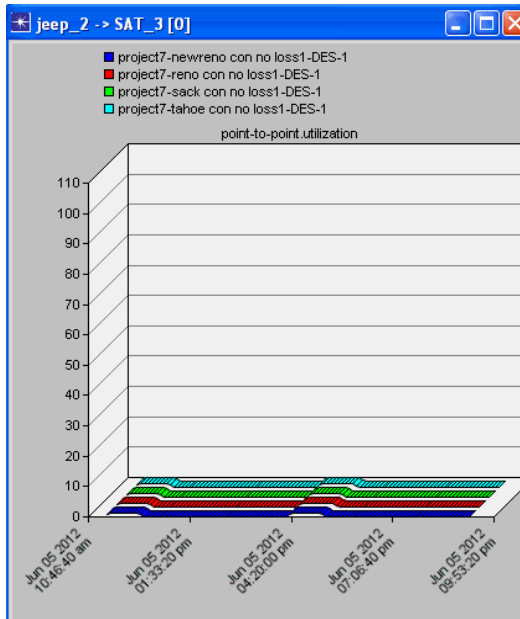
خوارزميات TCP	الزمن التحميل (S)	الإنتاجية الفعالة kb/s	الزمن التحميل (S)	الإنتاجية الفعالة kb/s
Sack	17587.99	22.74279	17575.56	17575.56
Newreno	18490.64	21.63257	N/A	N/A
Reno	21352.49	18.73318	N/A	N/A
Tahoe	20006.28	19.99372	N/A	N/A

أفضلية في أداء TCP(SACK) في نقطتي الدراسة.

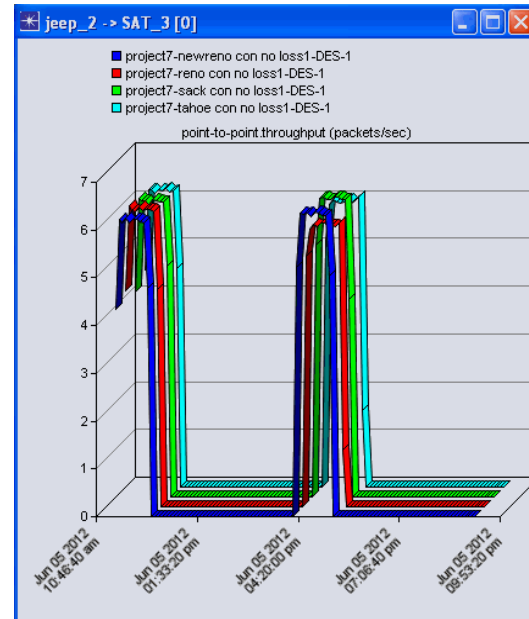
أسوأ أداء لخوارزمية TCP(Tahoe)



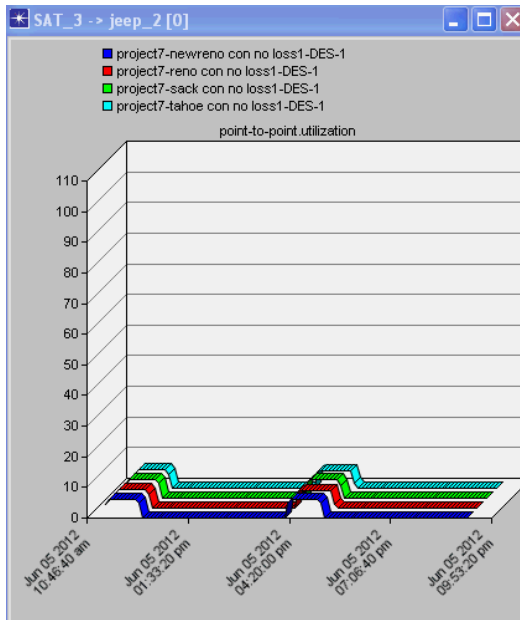
الشكل (96-6) حجم نافذة الإزدحام لمخدم مدينة حلب التحميل لملف 50M ضمن منظومة بتوليد إزدحام



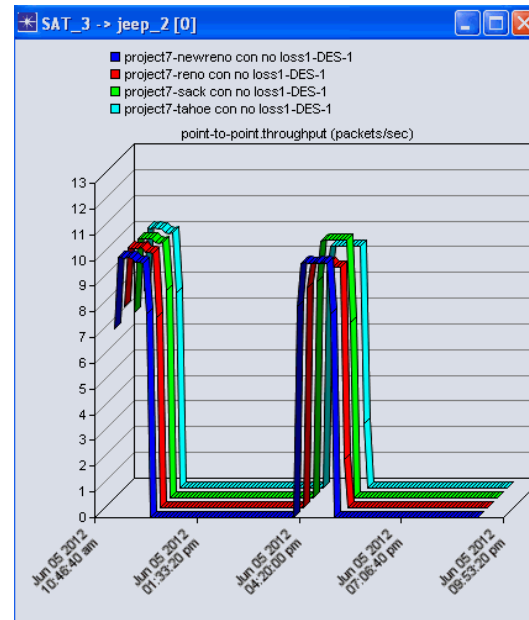
الشكل (6-98) عرض المجال المستغل للوصلة الصاعدة
لملف 50M للعميل 2 ضمن منظومة بتوليد إزدحام



الشكل (6-97) إنتاجية الوصلة الصاعدة من العميل 2 للتابع
الصنعي 3 لملف 50M ضمن منظومة بتوليد إزدحام



الشكل (6-100) عرض المجال المستغل للوصلة الهابطة
لملف 50M للعميل 2 ضمن منظومة بتوليد إزدحام



الشكل (6-99) إنتاجية الوصلة الهابطة من التابع الصنعي 3
للمعميل 2 لملف 50M ضمن منظومة بتوليد إزدحام

الجدول (29-6) الإنتاجية وعرض المجال المستغل لملف 50M ضمن منظومة بتوليد إزدحام

free	50M	SACK		NEWRENO		RENO		TAHOE	
الإنتاجية KB/sec	J1->S1	150.115	68.69787	150.0664	73.3796	150.1556	181.3807	153.715	#N/A
	S1->j1	152.9999	111.1255	152.8377	111.1774	152.789	164.6839	157.7631	#N/A
	J2->S3	68.37667	69.19751	68.4156	70.98196	68.61027	62.95107	68.49671	#N/A
	S3->j2	111.1741	111.1255	111.1936	111.1287	111.1676	101.0232	111.1774	#N/A
عرض المجال	J1->S1	38.05757	0.865243	38.05644	0.92319	38.05757	56.53778	38.90122	#N/A
	S1->j1	4.762505	5.600023	4.763042	5.602639	4.762701	3.651259	4.941198	#N/A
المستقل	J2->S3	0.861306	0.871549	0.860779	0.89304	0.863227	0.792012	0.861799	#N/A
	S3->j2	5.601265	5.600023	5.602246	5.600186	5.600937	5.09093	5.601428	#N/A

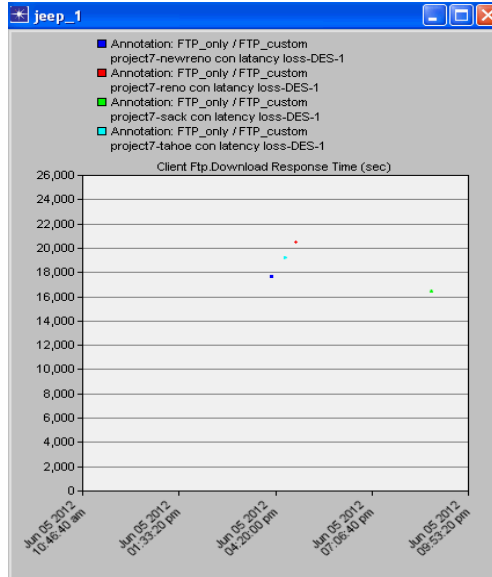
وصلة TCP من العميل 1 إلى التابع الصناعي 1:

- تتقارب الإنتاجية في النقطة الدراسية الأولى للخوارزميات الأربع بينما تزداد بشكل كبير في النقطة الدراسية الثانية لبروتوكول TCP(RENO) الذي يدل على مدى كمية البيانات المعاد إرسالها في الوصلة والذي ينعكس على استغلال عرض المجال.

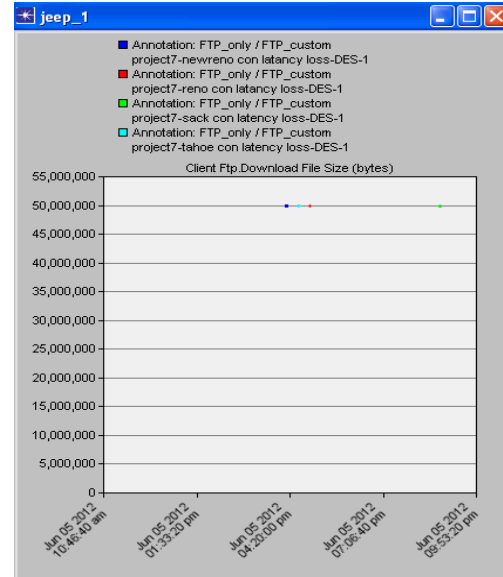
وصلة TCP من العميل 2 إلى التابع الصناعي 3:

- تتقارب الإنتاجية في النقطة الدراسية الأولى للخوارزميات الأربع
- تقارب في القيمة الوسطية لعرض المجال المستغل.

6.6.2 حجم الملف 50M بتوليد ضياع 5% وتأخير 0.1S ضمن منظومة من التوابع الصناعية:



الشكل (100-6) زمن التحميل لملف 50M للعميل 1
ضمن منظومة بتوليد ضياع 5% وتأخير 0.1S

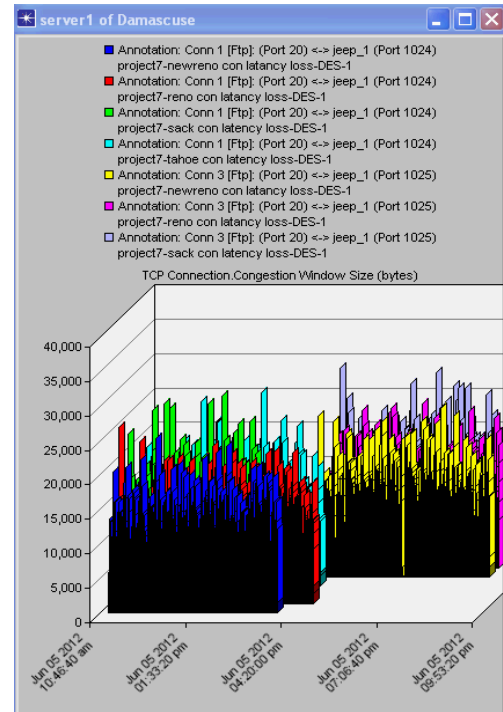


الشكل (101-6) حجم الملف المرسل 50M للعميل 1
ضمن منظومة بتوليد ضياع 5% وتأخير 0.1S

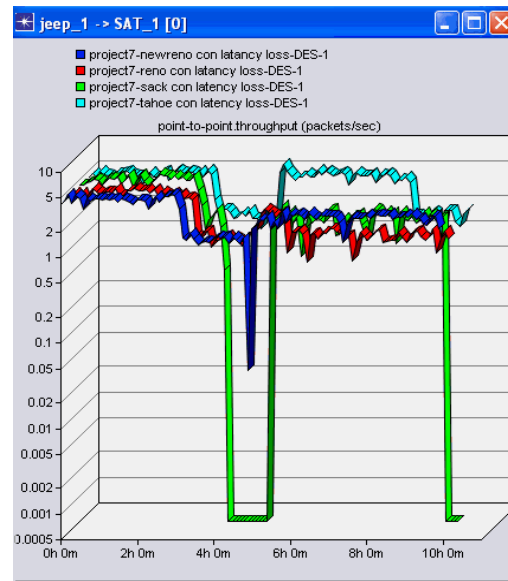
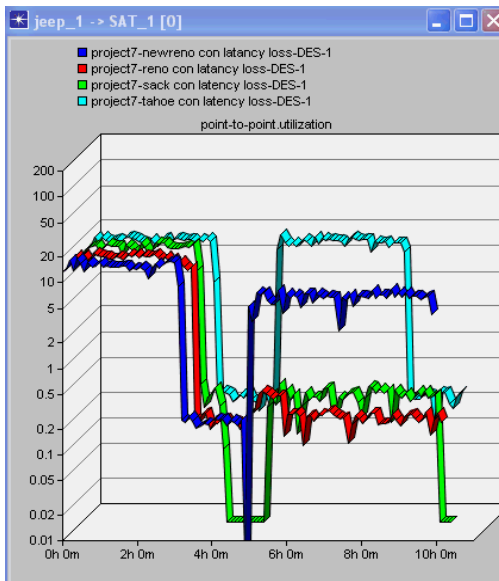
الجدول (30-6) زمن التحميل و الإنتاجية الفعالة 50M للعميل 1 ضمن منظومة
بتوليد ضياع 5% وتأخير 0.1S

خوارزميات TCP	زمن التحميل (S)	الإنتاجية الفعالة kb/s	زمن التحميل (S)	الإنتاجية الفعالة kb/s
Sack	16464.98	24.29399	16513.75	24.2224
Newreno	17655.98	22.65521	N/A	N/A
Reno	20476.04	19.53503	N/A	N/A
Tahoe	19235.61	20.79477	N/A	N/A

أظهرت نتائج المحاكاة أفضلية TCP(SACK) من حيث السرعة في زمن التحميل والإنتاجية الفعالة عن باقي الخوارزميات، كما استطاع توليد نتائج لنقطتين وأفضلية في التعامل مع الفقد و التأخير للرمز المرسلة.

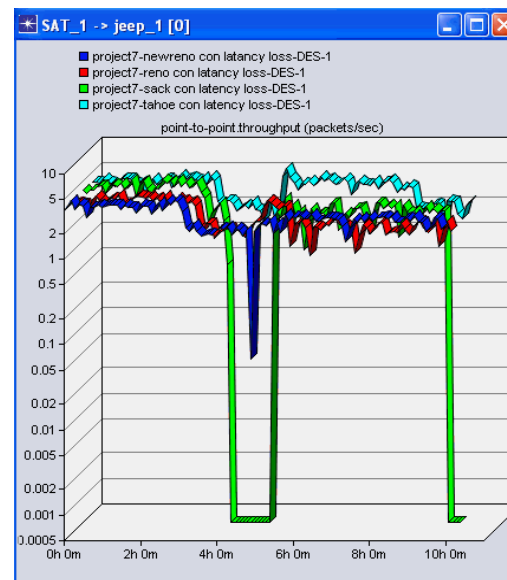
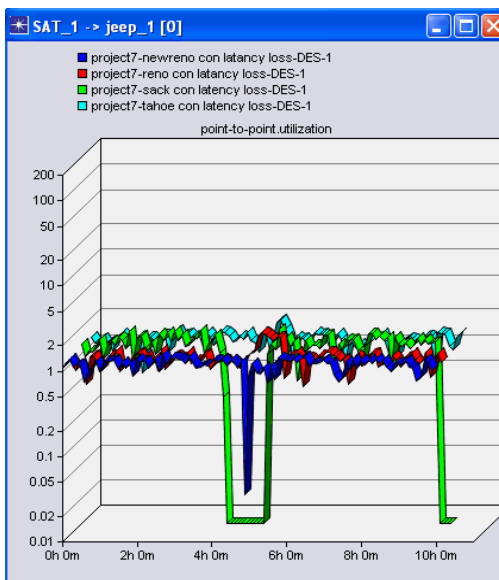


الشكل (103-6) حجم نافذة الإزدحام لمخدم مدينة دمشق لملف 50M ضمن منظومة بتوليد ضياع 5% وتأخير 0.1S



الشكل (6-105) عرض المجال المستغل للوصل
الصاعدة لملف 50M للعميل 1 ضمن منظومة
بتوليد ضياع 5% وتأخير 0.1S

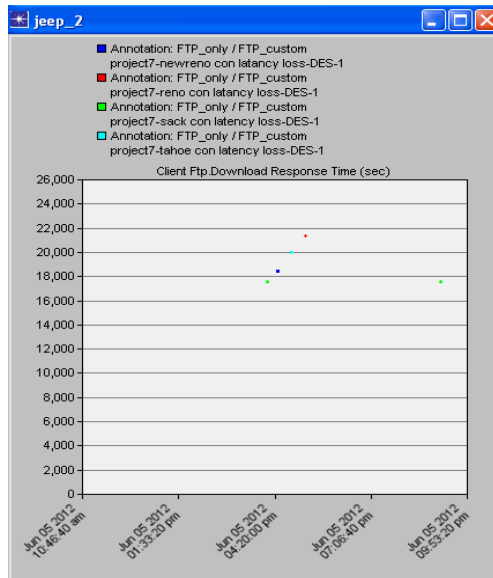
الشكل (6-104) إنتاجية الوصلة الصاعدة من العميل 2
للتابع الصناعي 3 لملف 50M ضمن منظومة بتوليد
ضياع 5% وتأخير 0.1S



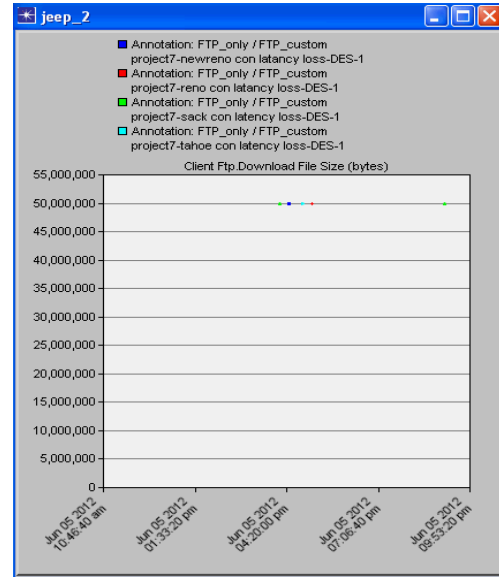
الشكل (6-107) عرض المجال المستغل للوصلة
الهابطة لملف 50M للعميل 1 ضمن منظومة بتوليد
ضياع 5% وتأخير 0.1S

الشكل (6-106) إنتاجية الوصلة الهابطة من التابع
الصناعي 3 للعميل 23 لملف 50M ضمن منظومة بتوليد
ضياع 5% وتأخير 0.1S

نلاحظ حجم الإنتاجية الكبير لبروتوكول TCP(SACK)، وتعرض الخوارزميات الثلاث المتبقية للعديد من الإختناقات الذي ينعكس سلباً على استغلال عرض المجال.



الشكل (6-109) زمن التحميل لملف 50M للعميل 2
ضمن منظومة بتوليد ضياع 5% وتأخير 0.1S

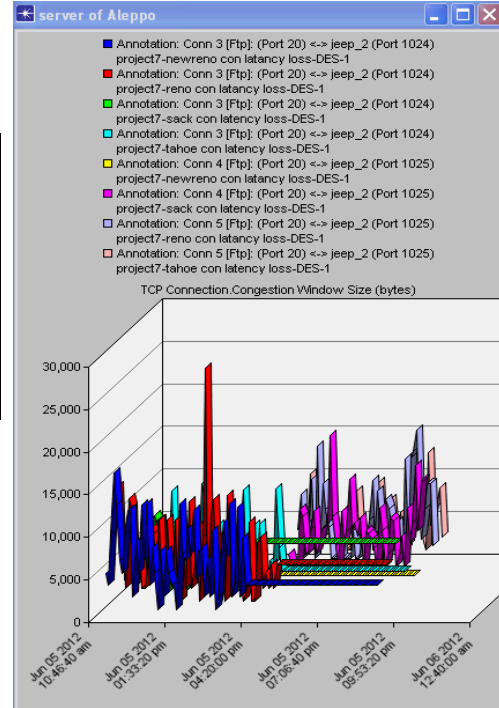


الشكل (6-108) حجم الملف المرسل 50M للعميل 2
ضمن منظومة بتوليد ضياع 5% وتأخير 0.1S

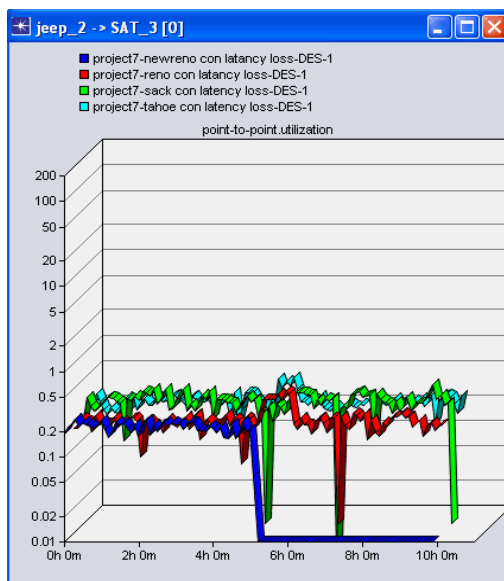
الجدول (6-31) زمن التحميل و الإنتاجية الفعالة لملف 50M
للمعمل 2 ضمن منظومة بتوليد ضياع 5% وتأخير 0.1S

خوارزميات TCP	زمن التحميل (S)	الإنتاجية الفعالة kb/s	زمن التحميل (S)	الإنتاجية الفعالة kb/s
Sack	17587.99	22.74279	17575.56	22.75888
Newreno	18490.64	21.63257	N/A	N/A
Reno	21352.49	18.73318	N/A	N/A
Tahoe	20006.28	19.99372	N/A	N/A

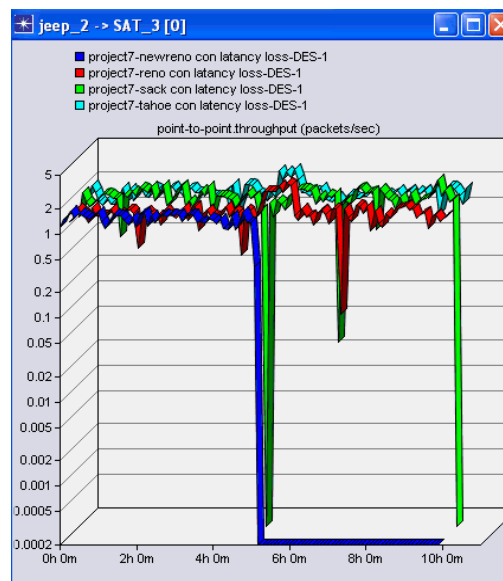
أظهرت نتائج المحاكاة أفضلية TCP(SACK) من حيث السرعة في زمن التحميل والإنتاجية الفعالة عن باقي الخوارزميات، كما استطاع توليد نتائج لنقطين وأفضلية في التعامل مع الفقد والتأخير للرمز المرسل.



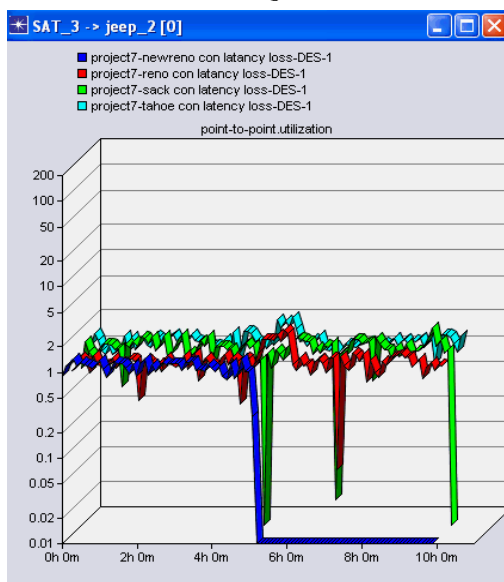
الشكل (6-110) حجم نافذة الإزدحام لمخدم مدينة حلب لملف 50M ضمن منظومة بتوليد ضياع 5% وتأخير 0.1S



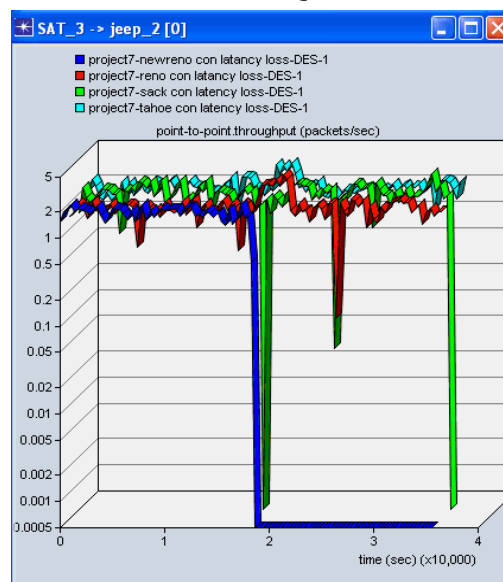
الشكل (6-112) عرض المجال المستغل للوصلة
الصاعدة لملف 50M للعميل 2 ضمن منظومة
بتوليد ضياع 5% وتأخير 0.1S



الشكل (6-111) إنتاجية الوصلة الصاعدة من
العميل 2 للتابع الصناعي 3 لملف 50M ضمن منظومة
بتوليد ضياع 5% وتأخير 0.1S



الشكل (6-114) عرض المجال المستغل للوصلة
الهابطة لملف 50M للعميل 2 ضمن منظومة
بتوليد ضياع 5% وتأخير 0.1S



الشكل (6-113) إنتاجية الوصلة الهابطة من التابع
الصناعي 3 للعميل 2 لملف 50M ضمن منظومة بتوليد
ضياع 5% وتأخير 0.1S

نلاحظ حجم الإنتاجية الكبير واستغلال عرض المجال بشكل أفضل لبروتوكول TCP(SACK).

تعرض الخوارزميات الثلاث المتبقية للعديد من الاختناقات.

6.6.3 ملخص الدراسة لأداء الخوارزميات ضمن بيئة إتصال تتألف من منظومة

من التوابع الصناعية:

- مع زيادة الإزدحام في مخدم مدينة دمشق مع عدم وجود الضياع أو التأخير تبقى الأفضلية لبروتوكول TCP SACK على الخوارزميات الثلاث مع استمرار الدراسة يزداد زمن التحميل للخوارزميات الأربع مع أفضلية لبروتوكول TCP SACK.
- يتحسن أداء TCP RENO و TCP TAHOE في نقطة الدراسة الثانية.
- تقارب الإنتاجية في نقطة الدراسة الأولى بينما تزداد لكل من TCP RENO و TCP TAHOE في نقطة الدراسة الثانية.
- في حالة الضياع والتأخير معاً تظهر أفضلية TCP SACK بشكل واضح من حيث زمن التحميل والإنتاجية، بينما تعجز باقي الخوارزميات عن اظهار نقطة الدراسة الثانية خلال مدة الدراسة المفروضة.
- أفضلية في حجم نافذة الإزدحام لبروتوكول TCP SACK بينما تعاني باقي الخوارزميات من إنتهاء المؤقت الزمني المتكرر الأمر الذي ينعكس سلباً على أدائها.
- تتماثل النتائج في مخدم مدينة حلب من حيث أفضلية زمن التحميل، الإنتاجية واستغلال عرض المجال، حيث الأداء الأفضل لبروتوكول TCP SACK.

6.7 النتيجة النهائية

6.7.1 مميزات بروتوكول TCP(SACK)

من الواضح إن بروتوكول التحكم بالإرسال TCP SACK أفضل من:

1. TCP TAHOE

- أكثر قوة في استعادة الحزم المفقودة، حيث يقوم بالكشف واستعادة الحزم المفقودة بشكل أسرع بكثير من إنتظار إنتهاء المؤقت الزمني في TCP TAHOE.
- لديه عدد أقل من إجراءات إعادة الإرسال، حيث أنه لا يقوم بتفريغ أنابيب الإرسال من الحزم عند الفقد كما يفعل TCP TAHOE.
- له أفضلية في طور تجنب الإزدحام وطور الإقلاع البطيء الأمر الذي يؤدي إلى إستخدام عرض المجال وموارد الشبكة بكفاءة عالية.
- TCP SACK أفضل من حيث زمن التحميل نتيجة الإنتاجية العالية في كلا الوصلتين الصاعدة والهابطة.

2. TCP RENO

- أكثر من نصف حالات إنتهاء المؤقت الزمني لبروتوكول TCP RENO يتم الوقاية منها بإستخدام TCP SACK حيث يقوم بالكشف و إعادة إرسال أكثر من حزمة مفقودة قبل إنتهاء الوقت الزمني.
- لايقوم TCP SACK بتخفيض حجم النافذة بشكل كبير قبل اللحظة المناسبة لذلك.
- يقوم TCP RENO بتحديث النافذة بشكل مستمر الأمر الذي قد يؤدي إلى تذبذب في حجم النافذة وبالتالي تذبذب في زمن التجوال وهذا يؤدي إلى تأخير وعدم استغلال جيد لعرض المجال.
- TCP RENO قد يقوم بإعادة إرسال نفس الرزمة المفقودة أكثر من مرة.

- له الأفضلية في طور تجنب الإزدحام واستغلال عرض المجال الترددي.
- زمن التحميل لدى TCP SACK أفضل نتيجة الإنتاجية العالية في كلا الوصلتين الصاعدة والهابطة.

TCP NEWRENO .3

- إن خاصية الإشعارات المنتقاة في TCP SACK ذات أفضلية في استعادة أكثر من حزمة مفقودة قبل إنتهاء المؤقت الزمني.
- تجنب العديد من حالات إنتهاء المؤقت الزمني لدى TCP NEWRENO التي تحدث نتيجة ضياع الحزمة المعاد إرسالها مرة أخرى .
- TCP SACK أفضل من حيث زمن التحميل نتيجة الإنتاجية العالية في كلا الوصلتين الصاعدة والهابطة
- استغلال عرض المجال الترددي لموارد الشبكة بشكل أعلى.

6.7.2 مساوئ بروتوكول TCP(SACK)

- انخفاض في الأداء عندما تعاني الشبكة فقط من التأخير العالي مع ارتفاع حجم الملف ، حيث تأخر وصول الإشعارات يوهم المستقبل بحدوث فقد في الرزم وبالتالي يزيد معدل الإرسال إلى أن تصاب الشبكة بالإزدحام ليقوم بعلاجها من جديد.
- يحتاج إلى تحديث كل من المرسل والمستقبل ليتم تدعيم TCP SACK الأمر الذي يبدو غاية في الصعوبة.

الفصل السابع

التوصيات والأفاق المستقبلية

الفصل السابع: التوصيات والآفاق المستقبلية

في هذا البحث قمنا بمحاكاة شبكة إتصال هجينة من تابع صناعي وحيد ومنظومة من التوابع الصناعية ضمن بيئات عمل مختلفة من أجل بروتوكول نقل الملف (FTP) ومقارنة أداء خوارزميات بروتوكول التحكم بالإرسال (TCP) من خلال دراسة زمن التحميل، الإنتاجية الفعالة، حجم نافذة الإزدحام، الإنتاجية ونسبة استغلال عرض المجال ومن خلال الدراسة توصلنا لتحديد عدة توصيات تبعاً لنتائج الدراسة وهي:

1- التوصيات لحجم ملف 50M

- نوصي بإستخدام بروتوكول TCP(SACK) عندما تعاني الشبكة من الإزدحام، الضياع والتأخير.
- نوصي بإستخدام TCP(Newreno) عندما تعاني الشبكة من التأخير فقط.

2- التوصيات لحجم ملف 5M

- نوصي بإستخدام بروتوكول TCP(SACK) عندما تعاني الشبكة من الإزدحام، الضياع، التأخير والضياع والتأخير.

3- التوصيات لحجم ملف 500K

- نوصي بإستخدام TCP(SACK) عندما تعاني الشبكة من الإزدحام، التأخير والضياع والتأخير معاً.
- نوصي بإستخدام TCP(Reno, Tahoe) عندما تعاني الشبكة من الضياع المنخفض.

إن مساحة مهمة من البحث المستقبلي يتضمن مقارنة العديد من خوارزميات بروتوكول التحكم بالإرسال ومنها TCP(WESTWOOD) [42]، TCP(HYBLA) [43]، TCP(Peach) [44]، TCP(NewVegas) [45] و TCP(STAR) [46] والتي هي حالياً غير متاحة ضمن برنامج المحاكاة .OPNET MODELER.

بالإضافة إلى مقارنة هذه الخوارزميات ضمن منظومات التوابع الصناعية الغير ثابتة بالنسبة للأرض (NGEO) والتي لها خصائص تتعلق بالتسليم ضمن التوابع الصناعية وتأخير الانتشار المتغير.

واستناداً إلى النتائج السابقة يمكن بناء خوارزمية تتحكم بالنقل باختيار البروتوكول المناسب استناداً إلى حجم الملف.

الملحقات

الملحقات: نظام محاكاة الشبكات OPNET MODELER

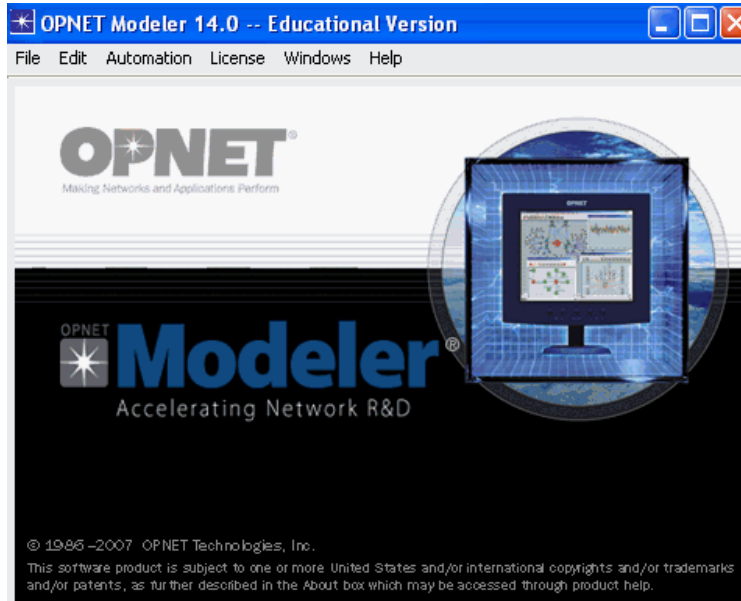
تم التحدث في هذا الفصل عن برنامج OPNET MODELER وتطبيق خوارزميات بروتوكول التحكم بالإرسال (TCP).

1.م برنامج المحاكاة OPNET MODELER

يتميز برنامج المحاكاة OPNET بالقدرة على محاكاة العديد من الشبكات الهجينة والعديد من البروتوكولات ضمن متغيرات واحتمالات واسعة بشكل قوي ومتعدد.

تم تطويره بشكل أساسي لأغراض عسكرية، ونما بشكل متسارع ليصبح من برامج المحاكاة الرائدة لتطوير الشبكات التجارية، وتم طرح بعض النسخ منه وذلك من أجل الأغراض التعليمية.

يتم استخدام برنامج المحاكاة OPNET كأداة من أجل تصميم و تحليل الشبكات وهو يعتبر من البرامج الأساسية للتطوير والبحث [38]، [39].



الشكل (م-1) الواجهة الأساسية لبرنامج OPNET Modeler [40]

يحتوي البرنامج على مكتبة تضم عدداً من الشبكات المعيارية والعقد والنماذج وهو قادر على العمل في بيئة بروتوكولات (OSI-Open Systems Interconnections) المعتمدة على لغة البرمجة C/C++، تتكون بيئة البرنامج على هيكلية ثلاثية هرمية تبدأ بمحرر النطاق ومحررات متخصصة لخصائص محددة لنمذجة الأنظمة ضمن المستويات الثلاثة للنطاق (Domain) [37].

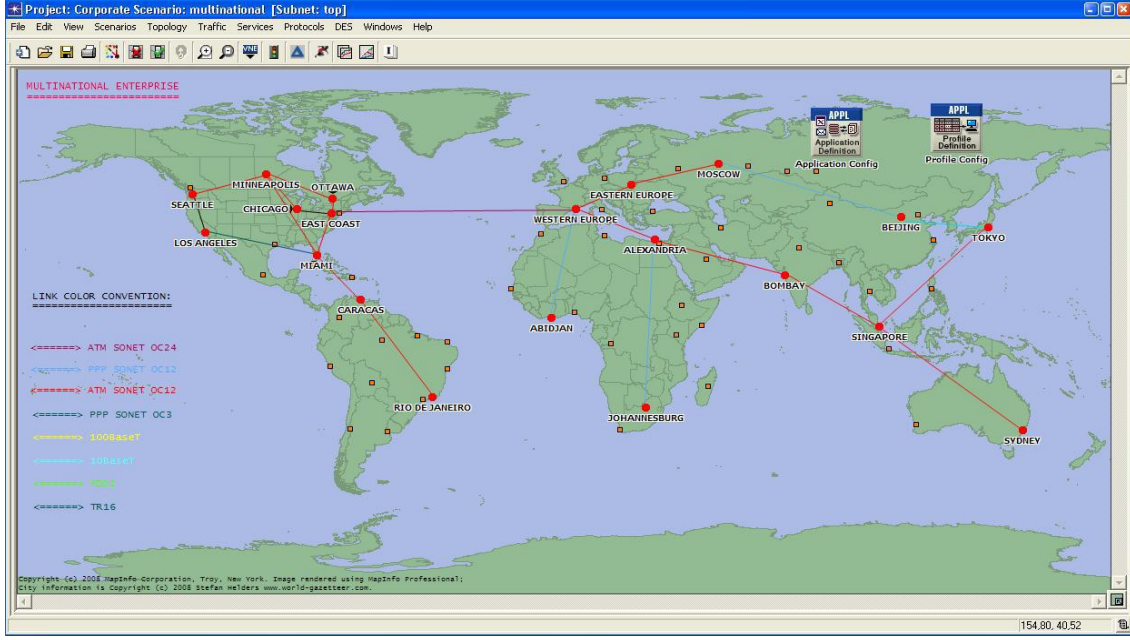
1.1.م محرر المشروع (Project Editor):

تتكون نماذج الشبكات من عقد الإتصال والوصلات. إن نطاق الشبكة هو أعلى مستوى للنمذجة في نظام محاكاة Opnet.

إن محرر المشروع هي واجهة مرئية تستخدم في نطاق الشبكة لتحديد وتعديل بنية وهيكلية نموذج الشبكة ضمن المحتوى الجغرافي والمنطقي.

في المحتوى الجغرافي، الموقع الفيزيائي لعقد الشبكة تحدد بخطوط الطول والعرض للعالم أو خريطة مناطقية بالمقارنة مع الشبكات المطبقة في العالم الحقيقي، في حالة عدم القدرة على محاكاة العالم الحقيقي للشبكة عندها يمكن أن تحدد الشبكات بواسطة تحديد نطاق منطقي أو الإحداثيات X، Y.

يتضمن نظام المحاكاة Opnet ثلاث مكونات أساسية وهي العقد ، الوصلات والشبكات الفرعية. يدعم البرنامج ثلاثة أنواع من الشبكات الفرعية الثابتة والمتحركة والتوابع الصناعي الشكل (م-2).



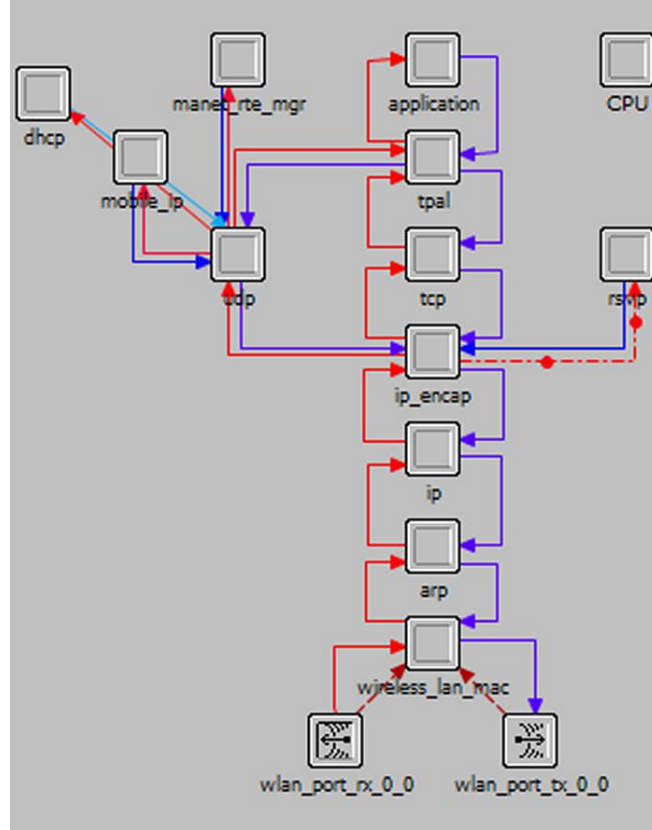
الشكل (م-2) واجهة محرر المشروع Project Editor [40]

1.2 م. محرر العقد (Node Editor):

تمثل هذه الطبقة أي نوع من التجهيزات الشبكية مثل محطات العمل، الجسور، الموجهات أو المبدلات وتقدم هيكلية لعناصر الشبكة والتوصيل بين وظائفها (تحدد النماذج بالمعالجة).

يحدد محرر الشبكة خصائص العقد للتطبيقات، البروتوكولات، المصادر الفيزيائية التي تحدد وظائف العقد، وتكون هذه العقد إما ثابتة أو متحركة أو توابع صناعية.

تتموضع العقد الثابتة في أماكن ثابتة خلال عملية المحاكاة بينما يتغير مسار العقد المتحركة حسب الطريق المخصص لها في بيئة النمذجة المطروحة. أما عقد التوابع الصناعية فقد يعاد تحديد خصائص المدار الذي يوصف مسارها خلال عملية النمذجة.



الشكل (م-3) واجهة محرر العقد [40] Node Editor

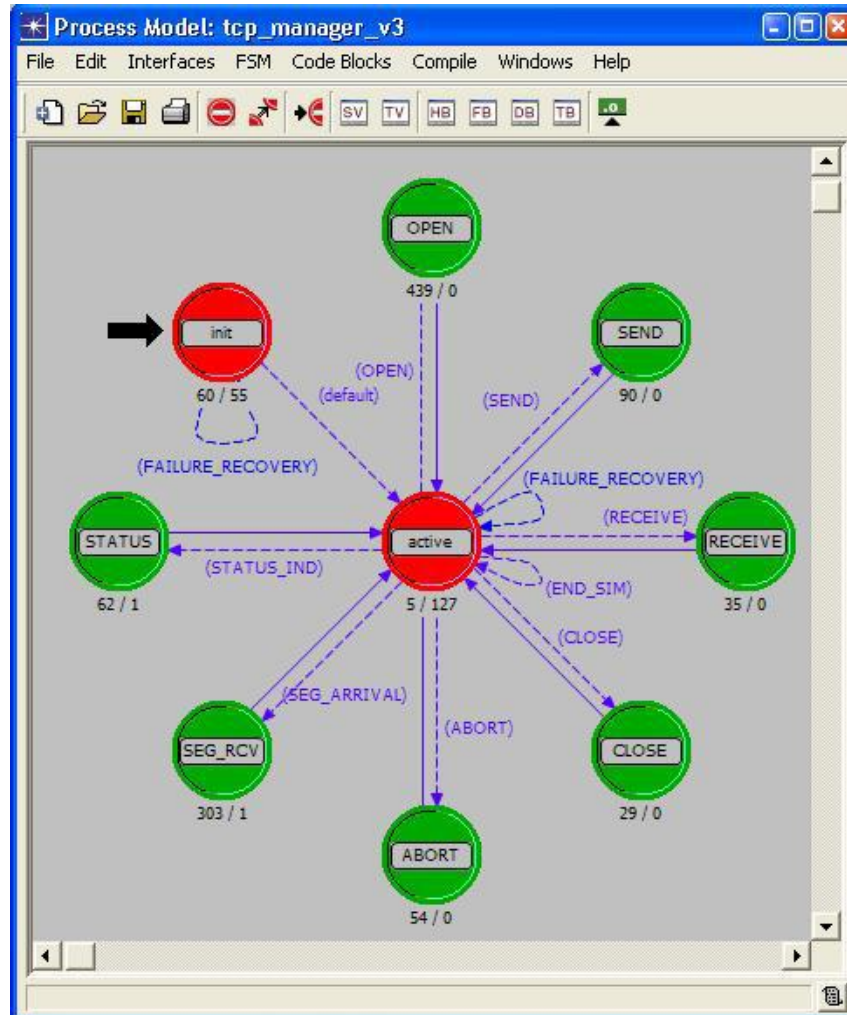
1.3 م. محرر المعالجة (Process Editor):

تحدد أسس النمذجة في عقد الشبكات بإستخدام محرر المعالجة بلغة C [39] وآلات الحالات المحدودة FSMs.

تدعم لغة C تطور البروتوكول والخوارزمية مع دمج مخطط إنتقال الحالة STDs مع مكتبة من الأوامر ذات المستوى العالي تعرف بإجراءات Kernel.

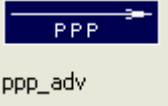
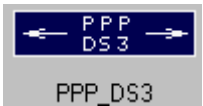
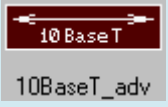
يوصف نموذج المعالجة وضعية الحالة التي قد تبدأ بها المعالجة والشروط اللازمة للإنتقال إلى النهاية أو إلى حالة أخرى.

كل حالة لها آلية تنفيذ للدخول و آلية تنفيذ للخروج. حيث إن لغة C تنفذ المعالجة عند الدخول أو الخروج من الحالة.



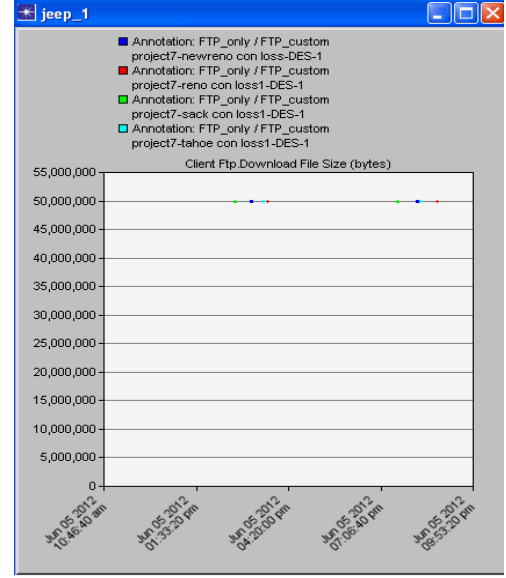
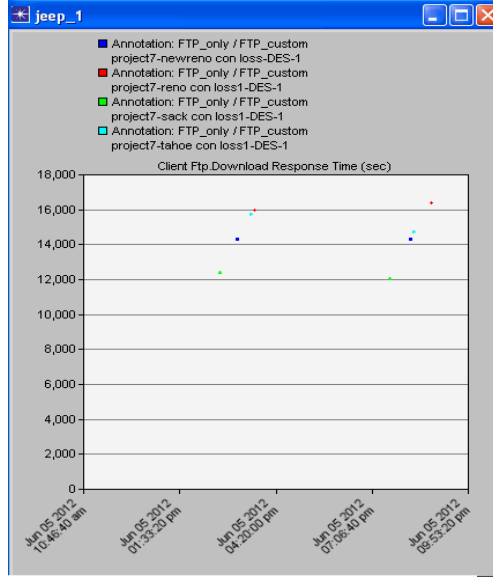
الشكل (م-4) واجهة محرر المعالجة Process Editor لعقدة TCP [40]

2. نماذج المستخدمة بالمحاكاة:

النموذج	الإسم	التوصيف
	application_config	توصيف التطبيق
	profile_config	توصيف الملف
	SAT	تابع صتعي
	jeep	محطة عمل
	gateway	موجه إيثرنت
	FTP-Server	مخدم FTP
	Point to Point adv	وصلة من نقطة إلى نقطة
	PPP_DS3	وصلة من نقطة إلى نقطة بسرعة DS3
	10BaseT_adv	وصلة إيثرنت

نستعرض هنا بعض النتائج الداعمة للنتيجة النهائية للبحث:

3.م حجم الملف 50M بتوليد ضياع 5% ضمن منظومة من التوابع الصناعية:



الشكل (م-6) زمن التحميل لملف 50M للعميل 1

ضمن منظومة بتوليد ضياع 5%

الشكل (م-5) الحجم الملف المرسل للعميل 1

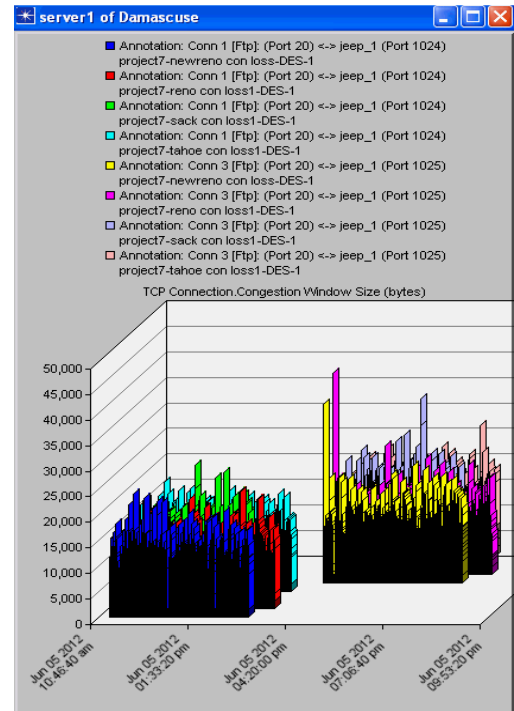
ضمن منظومة بتوليد ضياع 5%

الجدول (م-1) زمن التحميل والإنتاجية الفعالة لملف 50M

للمعمل 1 ضمن منظومة بتوليد ضياع 5%

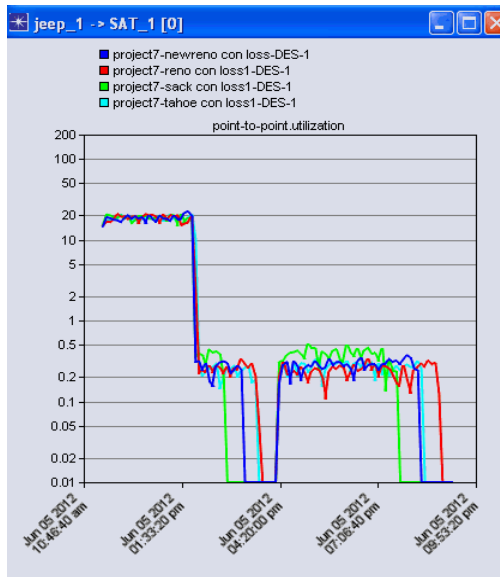
خوارزميات	زمن التحميل (S)	الإنتاجية الفعالة kb/s	زمن التحميل (S)	الإنتاجية الفعالة kb/s
TCP				
Sack	12433.57	32.17097	12063.24	33.15859
Newreno	14316.79	27.93922	14311.51	27.94953
Reno	15974.9	25.03928	14750.92	27.11695
Tahoe	15742.78	25.40847	16374.11	24.42881

إن زمن التحميل الأفضل هو لبروتوكول TCP(SACK) وضغط الكبير على نوافذ الإزدحام نتيجة الإرسال من أكثر من عميل.

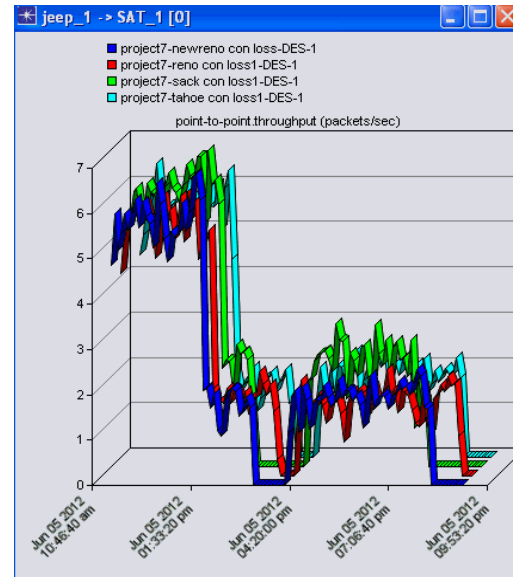


الشكل (م-7) حجم نافذة الإزدحام لمخدم مدينة دمشق

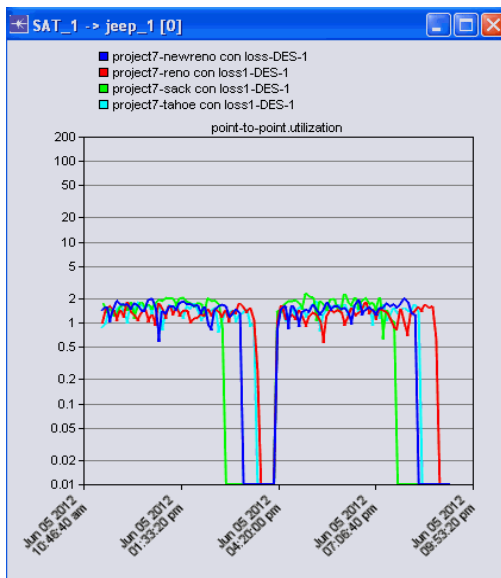
لملف 50M ضمن منظومة بتوليد ضياع 5%



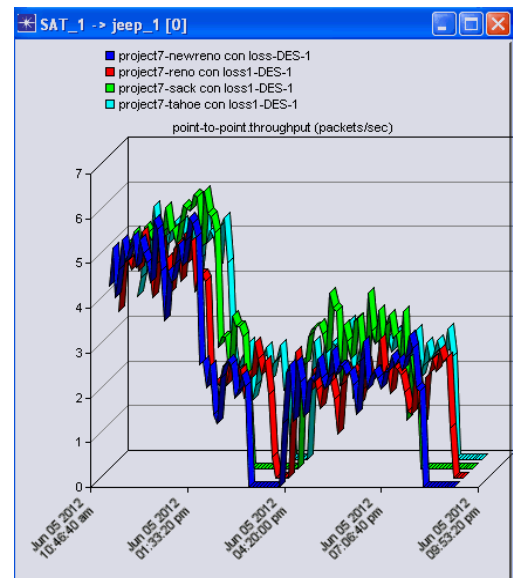
الشكل (م-9) عرض المجال المستغل للوصلة الصاعدة
لملف 50M للعميل 1 ضمن منظومة بتوليد ضياع 5%



الشكل (م-8) إنتاجية الوصلة الصاعدة من العميل 1 للتابع
الصنعي 1 لملف 50M ضمن منظومة بتوليد ضياع 5%

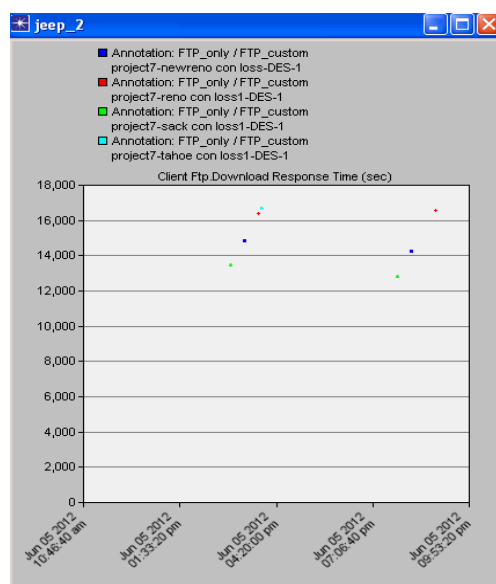


الشكل (م-11) عرض المجال المستغل للوصلة الهابطة
لملف 50M للعميل 1 ضمن منظومة بتوليد ضياع 5%

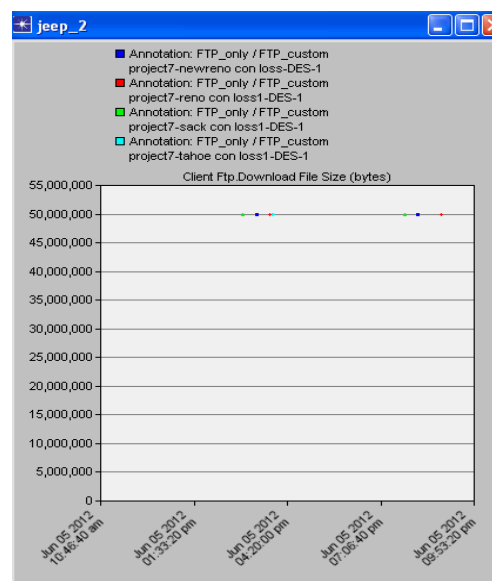


الشكل (م-10) إنتاجية الوصلة الهابطة من التابع الصنعي 1
للعامل 1 لملف 50M ضمن منظومة بتوليد ضياع 5%

نلاحظ الإنتاجية الأكبر ل TCP(SACK) وذلك نتيجة لآلية الإستعادة المنتقاة التي تقلل من حجم
الرزم المعاد إرسالها ونسبة الإستغلال الأفضل لعرض المجال.



الشكل (م-13) زمن التحميل لملف 50M للعميل 2
ضمن منظومة بتوليد ضياع 5%

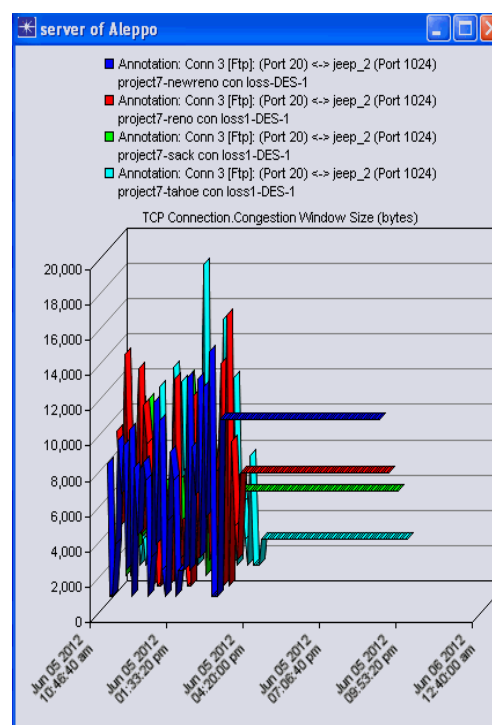


الشكل (م-12) حجم الملف المرسل 50M للعميل 2
ضمن منظومة بتوليد ضياع 5%

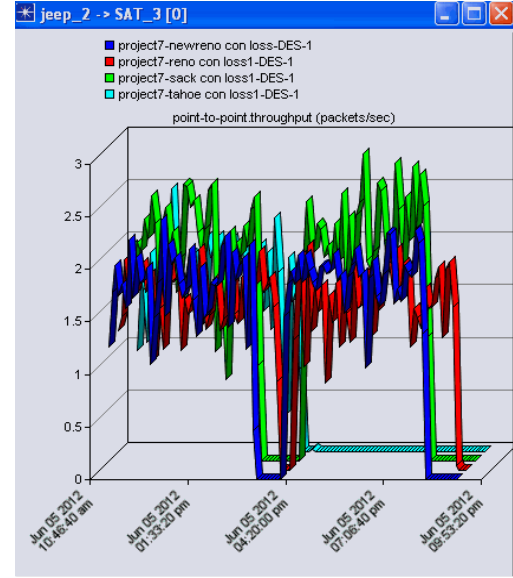
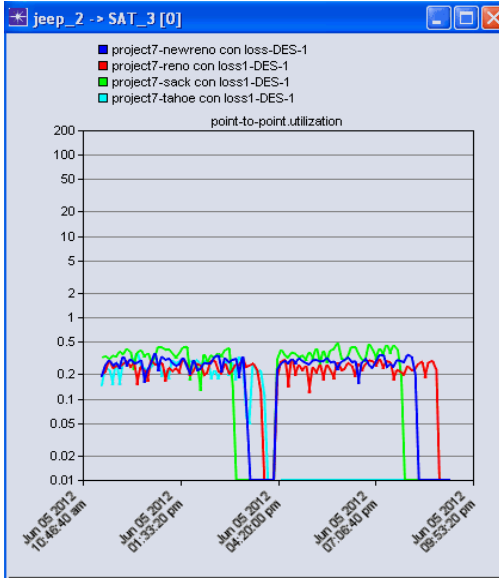
الجدول (م-2) زمن التحميل و الإنتاجية الفعالة لملف 50M
للمعمل 2 ضمن منظومة بتوليد ضياع 5%

خوارزميات TCP	زمن التحميل (S)	الإنتاجية الفعالة kb/s	زمن لتحميل (S)	الإنتاجية الفعالة kb/s
Sack	13486.45	29.6594	12834.04	31.16711
Newreno	14855.31	26.9264	14275.1	28.02082
Reno	16413.09	24.37079	16569.79	24.14032
Tahoe	16690.79	23.96531	#N/A	#N/A

الأفضلية الكبيرة بزمن التحميل والإنتاجية الفعالة
لبروتوكول TCP(SACK). TCP(Tahoe) هو الأسوأ.

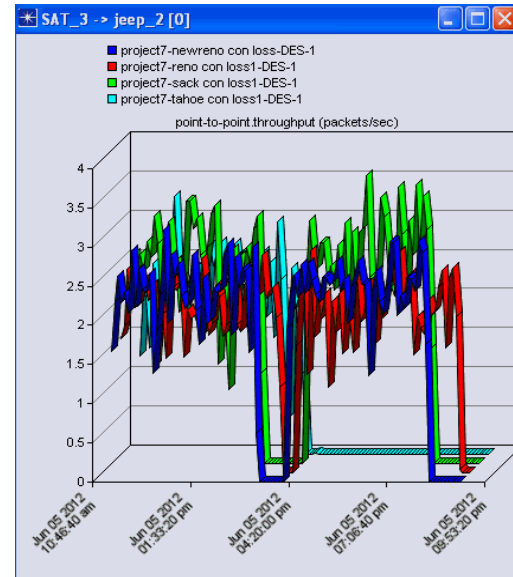
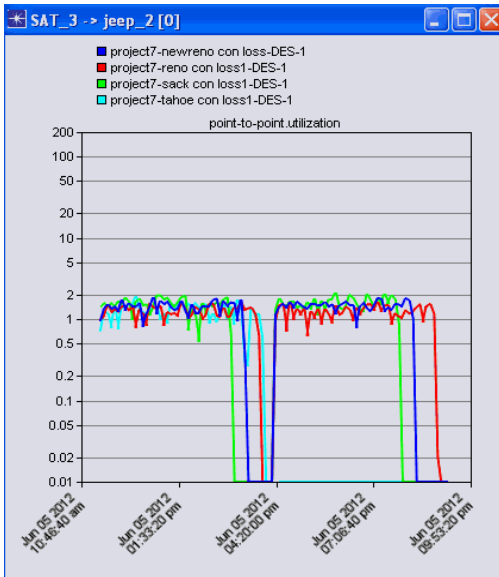


الشكل (م-14) حجم نافذة الإزدحام لمخدم مدينة حلب
لملف 50M ضمن منظومة بتوليد ضياع 5%



الشكل (م-16) عرض المجال المستغل للوصلة الصاعدة
لملف 50M للعميل 2 ضمن منظومة بتوليد ضياع 5%

الشكل (م-15) إنتاجية الوصلة الصاعدة من العميل 2 للتابع
الصنعي 3 لملف 50M ضمن منظومة بتوليد ضياع 5%



الشكل (م-18) عرض المجال المستغل للوصلة الهابطة
لملف 50M للعميل 2 ضمن منظومة بتوليد ضياع 5%

الشكل (م-17) إنتاجية الوصلة الهابطة من التابع الصنعي 3
للعلميل 2 لملف 50M ضمن منظومة بتوليد ضياع 5%

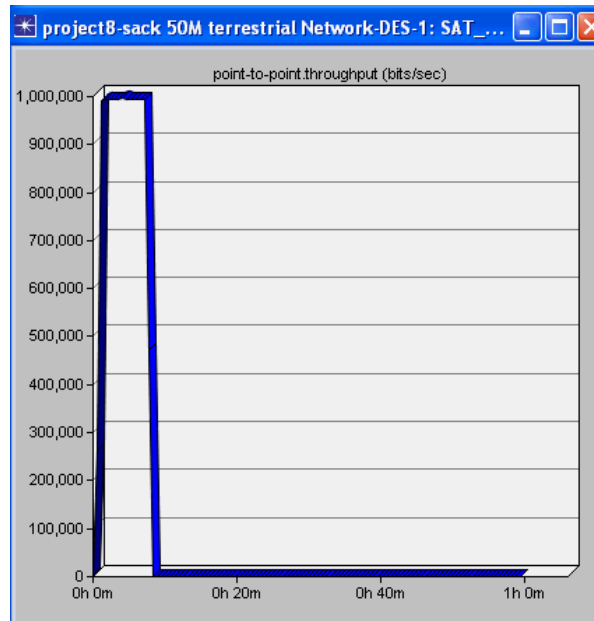
الإنتاجية وعرض المجال المستغل الأفضل ل TCP(SACK) لكل من الوصلة الصاعدة والهابطة.

4.م التأكد من النتائج المولدة باستخدام البرنامج OPNET MODELER

تبين لدينا من نتائج الدراسة أفضلية خوارزمية TCP SACK على الخوارزميات الأخرى.

وإن خوارزمية TCP SACK هي الخوارزمية المستخدمة بنظام التشغيل الحالي Windows 7 ولتأكد من صحة النتائج المولدة سنقوم باعتبار التابع الصناعي كموجه وإلغاء خصائص وصلات التتابع الصناعية التالية:

- إلغاء أثر عرض المجال اللامتناظر بحيث سرعة الوصلة الصاعدة تساوي الهابطة بقيمة 2,048Kb/s.
- إلغاء الإزدحام المولد في موجه مدينة دمشق والضياح والتأخير المولدين في التابع الصناعي.
- الحفاظ على التأخير بزمان التجوال المقدر ب 500ms وبالتالي تصبح سرعة الوصلات نتيجة BDP مساوية ل 1,024Kb/s.



الشكل (م-19) الانتاجية ضمن شبكة أرضية بسرعة 2,048Kb/s وتأخير 500ms ضمن بيئة اتصال خالية من الضياعات والإزدحام.

إن قيمة الإنتاجية الأعلى المولدة ضمن برنامج OPNET MODELER مساوية 1,000,000 b/s وبالتحويل إلى واحدة KB/s تكون قيمة الإنتاجية مساوية لـ 125KB/s. بأخذ متوسط قيمة الإنتاجية المتولدة 832354.6 b/s ومساوية لـ 104 KB/s.

وهي سرعات التحميل الملاحظة على برامج التحميل المستخدمة مثل

IDM (Internet Download Manager) لخط انترنت بسرعة 1Mbps.

المراجع

- 1) A. Khadour Ali. "TCP/IP Performance Analysis Over Geostationary Satellite Links". Albath University Magazine, Volum 31, 2009.
- 2) Oki, E., Rojas-Cessa, R., Tatipamula, M. and Vogt, C. "Transport-Layer Protocols, in Advanced Internet Protocols, Services, and Applications", John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ, USA, 2012.
- 3) K. Mills, j.filliben, D. Genin. " TCP/IP Illustrated, Volume 1". Kevin R. Fall, W. Richard Stevens, Pearson education,inc. 2012.
- 4) M. Fomenkov, K. Keys, D. Moore, and K. Claffy, "Longitudinal study of Internet traffic in 1998-2003," in Proc. ACM Winter Int. Symp. Inf. and Commun. Technol., Cancun, Mexico, Jan. 2004, pp. 1–6.
- 5) C. Williamson, "Internet traffic measurement," IEEE Internet Comput., vol. 5, no. 6, pp. 70–74, Nov./Dec. 2001.
- 6) M. Allman, V. Paxson, and W. Stevens, "TCP congestion control," RFC 2581, Apr. 1999.
- 7) K. Mills, j.filliben, D. Genin. "Study of Proposed Internet Congestion Control Mechanisms". Nist special puplicaton ,may 2010.
- 8) T-L. Pham, G. Schneider, S. Goose, and A. Pizano, "Composite device computing environment: a framework for situated interaction using small screen devices," Pers. and Ubiquitous Comput., vol. 5, no. 1, pp. 25–28, Feb. 2001.
- 9) M. Omueti, "TCP WITH ADAPTIVE DELAY AND LOSS RESPONSE FOR BROADBAND GEO SATELLITE NETWORKS", Obafemi Awolowo University. 2001.
- 10) A. Jamalipour, M. Marchese, H. Cruickshank, J. Neal, and S. Verma, "Broadband IP Networks via satellites-part I," IEEE J. Select. Areas Commun., vol. 22, no. 2, pp. 213–217, Feb. 2004.
- 11) R. A. Peters and M. Farrell, "Comparison of LEO and GEO satellite systems to provide broadband services," in Proc. 21st AIAA Int. Commun. Satellite Syst.Conf. and Exhibit, Yokohama, Japan, Apr. 2003.
- 12) Be. Forouzan. "TCP/IP Protocol Suite", McGraw-Hill Higher Education, 2010.

- 13) **D. E. Comer, *Internetworking with TCP/IP: Principles, Protocols, and Architecture*. vol. 1. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2000, pp. 209–218**
- 14) **A.Dhotre, V.S.Bagad. “Computer Communication Networks”. Technical Publications, Jan 1, 2006.**
- 15) **M. Emmelmann, “Effects of advertised receive buffer size and timer granularity on TCP performance over erroneous links in a LEO satellite network,” in Proc. IEEE GLOBECOM, Taipei, Taiwan, Nov. 2002, pp. 2955–2958.**
- 16) **S. Floyd, “TCP and explicit congestion notification,” *ACM SIGCOMM Comput. Commun. Rev.*, vol. 24, no. 5, pp. 10–23, Oct. 1994.**
- 17) **S. Low. “TCP Congestion Control: Algorithms & Models”. netlab.caltech.edu, IPAM, 2002.**
- 18) **M. Allman and V. Paxson, “On estimating end-to-end network path properties,” in Proc. ACM SIGCOMM Conf. on Appl., Technol., Archit., and Protocols for Comput. Commun., Cambridge, MA, Sept. 1999, pp. 263–274.**
- 19) **A. Gurtov and S. Floyd, “Modeling wireless links for transport protocols,” *ACM SIGCOMM Comput. Commun. Rev.*, vol. 34, no. 2, pp. 85–96, Apr. 2004.**
- 20) **M. Allman, “TCP congestion control with appropriate byte counting (ABC),” RFC 3465, Feb. 2003.**
- 21) **R. Srikant, Lei Ying. “Communication Networks: An Optimization, Control and Stochastic Networks Perspective”. Cambridge University Press, Nov 14, 2013.**
- 22) **C. Joo and S. Bahk, “Increasing TCP capacity in wireless multihop networks,” In *Web and Commun. Technol. and Internet-Related Social Issues–HSI*, Lecture Notes in Comput. Science. Springer, Berlin: vol. 3597, pp. 37–44, 2005.**
- 23) **T. Lang and D. Floreani, “The impact of delayed acknowledgements on TCP performance over satellite links,” in Proc. ACM First Workshop on Wireless Mobile Internet, Rome, Italy, July 2001, pp. 56–61.**
- 24) **A. Jamalipour, *The Wireless Mobile Internet: Architectures, Protocols and Services*. West Sussex, England: John Wiley & Sons, 2003, pp. 326–329.**
- 25) **G. Maral, M. Bousquet. “Satellite Communications Systems: Systems, Techniques and Technology. John Wiley & Sons, Aug 24, 2011.**
- 26) **B. R. Elbert, *The Satellite Communications Applications Handbook*, 2nd ed. Norwood, MA: Artech House, 2004.**

- 27) L. Wood, "Satellite constellation networks," chapter 2 in *Internetworking and Computing over Satellite Networks*. Academic Publishers, 2003, pp. 13–34.
- 28) T. R. Henderson and R. H. Katz, "Transport protocol for Internet-compatible satellite networks," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 17, no. 2, pp. 326–344, Feb. 1999.
- 29) J. Sing and B. Soh, "TCP performance over geostationary satellite links: problems and solutions," in *Proc. 12th IEEE Int. Conf. on Netw.*, Guadeloupe, French Caribbean, Nov. 2004, vol. 1, pp. 14–18
- 30) I. F. Akyildiz, G. Morabito, and S. Palazzo, "Research issues for transport protocols in satellite IP networks," *IEEE Pers. Commun. Mag.*, vol. 8, no. 3, pp. 44–48, June 2001.
- 31) T. R. Henderson and R. H. Katz, "TCP performance over satellite channels," University of California, Berkeley, CA, Tech. Rep. CSD-99-1083, Dec. 1999.
- 32) D. Velenis, D. Kalogeras, and B. Maglaris, "SaTPEP: a TCP performance enhancing proxy for satellite link," in *Networking: Second Int. IFIP-TC6 Netw. Conf.*, Lecture Notes in Comput. Science. Springer, Berlin, vol. 2345, pp. 1233–1238, 2002.
- 33) C. Caini, R. Firrincieli, and D. Lacamera, "PEPsal: a performance enhancing proxy designed for TCP satellite connections," in *Proc. 63rd IEEE Veh. Technol. Conf.*, Melbourne, Australia, Feb. 2006, vol. 6, pp. 2607–2611.
- 34) G. Ciccicarese, M. De Blas, L. Patrono, P. Marra, and G. Tomasicchio, "An IPSecaware TCP PEP for integrated mobile satellite networks," in *Proc. 15th IEEE Int. Symp. on Pers., Indoor, and Mobile Radio Commun. (PIMRC) 2004*, Barcelona, Spain, Sept. 2004, vol. 4, pp. 2362–2366.
- 35) U. Lee and S. F. Midkiff, "Quality of service for TCP over satellite links in congested networks," in *Proc. IEEE Wireless Commun. and Netw. Conf. (WCNC) 2005*, New Orleans, LA, USA, Mar. 2005, vol. 3, pp. 1515–1520.
- 36) J. Zhu, S. Roy, and J. H. Kim, "Performance modelling of TCP enhancements in terrestrial-satellite hybrid networks," *IEEE/ACM Trans. Netw.*, vol. 14, no. 4, pp. 753–766, Aug. 2006.
- 37) S. Floyd, T. Henderson, and A. Gurtov, "The NewReno modification to TCP's fast recovery algorithm," RFC 3782, Apr. 2004.
- 38) Z. Lu, H. Yang. "Unlocking The Power of OPNET Modeler". Cambridge University pres, 2012.

- 39) **OPNET product documentation, V.11.0.A., OPNET Technologies Inc., Bethesda, MD, 2004.**
- 40) **J. Prokkola. “OPNET Network Simulator”. Tietotalo, University of Oulu, 2008.**
- 41) **A. Sethi, V. Hnatyshin. “The Practical OPNET User Guide for Computer Network Simulation”. CRC Press, Aug 24, 2012.**
- 42) **C. Casetti, M. Gerla, S. Mascolo, M. Y. Sanadidi, and R. Wang, “TCP Westwood: end-to-end congestion control for wired/wireless networks,” Wireless Netw., vol. 8, no. 5, pp. 467–479, Sept. 2002.**
- 43) **C. Caini and R. Firrincieli, “TCP Hybla: a TCP enhancement for heterogeneous networks,” Int. J. Satellite Commun. Netw., vol. 22, no. 5, pp. 547–566, Sept. 2004.**
- 44) **I. F. Akyildiz, G. Morabito, and S. Palazzo, “TCP-Peach: a new congestion control scheme for satellite IP networks,” IEEE/ACM Trans. Netw., vol. 9, no. 3, pp. 307–321, June 2001.**
- 45) **J. Sing and B. Soh, “TCP New Vegas: improving the performance of TCP Vegas over high latency links,” in Proc. Fourth IEEE Int. Symp. on Netw. Comput. and Appl., Cambridge, MA, July 2005, pp. 73–82.**
- 46) **H. Obata, K. Ishida, S. Takeuchi, and S. Hanasaki, “TCP-STAR: TCP congestion control method for satellite Internet” IEICE Trans. Commun., vol. E89-B, no. 6, pp. 1766–1773, June 2006.**

ABSTRACT

Transmission control protocol (TCP) is a transport layer protocol that provides connection-oriented, in-order, window flow control, and reliable byte-stream delivery services for Internet.

TCP was originally designed for wired networks characterized by negligible random bit error rates (BERs) and, hence, packet losses indicate congestion.

Transmission Control Protocol (TCP) performance degrades in broadband geostationary satellite networks due to long propagation delays and high bit error rates.

In this thesis we compared TCP (Tahoe), TCP (Reno), TCP (Newreno) and TCP (SACK) in heterogeneous network consist of GEO Satellite connected to terrestrial network and satellites constellation connected to terrestrial networks in different circumstances (Congestion , Loss, latency and loss and Latency together) to determine performance level (Download response time, Goodput, Throughput and Utilization) for FTP applications.

When the file size 50M TCP (SACK) is the best algorithm in environment suffer from congestion, Loss and loss and Latency together but the performance degradation when network suffer from latency and TCP (Newreno) is the best.

For 5M file size TCP (SACK) is the best performance algorithm in all case studies and for 500 KB file size TCP (SACK) is the best in environment suffer from congestion, latency and loss and Latency together and for just latency TCP (Reno, Tahoe) are the best.

The design and implementation scenarios done by OPNET MODELER simulation

Keywords: Transmission control protocol (TCP); delayed acknowledgement; high bit error rate; GEO satellite networks; performance evaluation

Damascus University
Faculty of Mechanical & Electrical Engineering
Communications Engineering Department



Comparing TCP Algorithms over Satellite Communications System to Determine Performance Level

Thesis prepared to obtain a master degree in communications engineering

BY

ENG. Nour Abd Allah Alfar

Supervised by

Dr. Adel Khadour Ali

2014-2013