جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا

كلية علوم الحاسوب وتقانة المعلومات

قسم نظم الحاسوب والشبكات

تحسين ربط شبكة السودان ومواقع مراكز البيانات

Optimizing Sudan Network Topology and Datacenter Location

بحث مقدم كأحد متطلبات الحصول على بكالوريوس الشرف في نظم الحاسوب والشبكات

إعداد الطلاب:

1. آية أحمد محمد
2. مودة حسن عبد الوهاب
3. هاجر يوسف محمد

إشراف:

د. نعمة عزالدين محمد عثمان

أكتوبر 2017

بسم الله الرحمن الرحيم

جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا

كلية علوم الحاسوب وتقانة المعلومات

قسم نظم الحاسوب والشبكات

تحسين ربط شبكة السودان ومواقع مراكز البيانات

Optimizing Sudan Network Topology and Datacenter Location

بحث مقدم كأحد متطلبات الحصول على بكالوريوس الشرف في نظم الحاسوب والشبكات

إعداد الطلاب:

1. **آية أحمد محمد**
2. **مودة حسن عبد الوهاب**
3. **هاجر يوسف محمد**

إشراف:

د. نعمة عزالدين محمد عثمان

توقيع الأستاذ المشرف:..... **التاريخ: 22 أكتوبر2017**

الآيـة

قال تعالى: (حَسْبُنَا اللَّهُ سَيُؤْتِينَا اللهُ مِن فَضْلِهِ وَرَسُولُهُ إِنَّا إِلَى اللهِ رَاغِبُونَ)

سورة التوبة الآية (59)

الحمد لله

الحمد لله الذي لم يتخذ ولداً ولم يكن له شريك في الملك وخلق كل شيء وهو على كل شيء قدير. الحمد لله الذي وهبنا من العلم ما يحيينا على طريقه، وقذف علينا بنور الإسلام لنهتدي، وأنزل علينا القرآن هدىً وشفاء ورحمة للمؤمنين.

الحمد لله عدد ما خلق الحمد لله رضا نفسه وزنة عرشه ومداد كلماته، الحمد لله فاطر السموات، ومنزل التوراة والإنجيل والقرآن، الحمد لله فالق الحب والنوى. الحمد لله على نعمه التي لا تحصى الحمد لله على نعمة العلم والعمل، ما حمدناه حق حمده وما عبدناه حق عبادته.

الإهداء

أهدي هذا العمل المتواضع إلى من تتسابق الكلمات لتخرج معبرة عن مكنون ذاتها

إلى من علمتني الصمود مهما تبدلت الظروف إلى

من علمتني وعانت الصعاب لأصل إلى ما أنا فيه

وعندما تكسوني الهموم أسبح في بحر حنانها ليخفف

من آلامي .... أمي.

وإلى صاحب القلب الكبير إلى من علمني النجاح والصبر

إلى من افتقده في مواجهة الصعاب ولم تمهله الدنيا

لأرتوي من حنانه .... أبي.

إلى إخوتي وأسرتي جميعاً إلى كل من علمني حرفاً

أصبح سنا برقه يضيء الطريق أمامي

إلى الشموع التي تحترق للآخرين

إلى معلميَّ ومعلماتي

إلى أصدقائي

أحبكم حبا لو مرَّ على أرضٍ قاحلة لتفجرت منها ينابيع المحبة.

شكر وعرفان

نشكر الله العلي القدير الذي أنعم علينا بنعمة العقل والدين القائل في محكم تنزيله "وفوق كل ذي علم عليم" سورة يوسف الآية (76) صدق الله العظيم.

وقال رسول الله (صلى الله عليه وسلم): "من صنع إليكم معروفاً فكافئوه، فإن لم تجدوا ما تكافئوه به أدعوا له حتى تروا أنكم كافأتموه " (رواه أبو داوود).

ونثني ثناءً حسناً ووفاءً وتقديراً واعترافاً منا بالجميل نتقدم بجزيل الشكر للمخلصين الذين لم يألوا جهداً في مساعدتنا ونخص بالشكر الدكتورة الفاضلة: د. نعمة عزالدين محمد عثمان على هذه الدراسة وصاحبة الفضل في توجيهنا ومساعدتنا فجزاها الله عنا خير الجزاء وأجزله.

وأخيراً نتقدم بجزيل الشكر إلى كل من مدوا لنا يد العون والمساعدة في إخراج هذا البحث في هذه الصورة.

المستخلص

مع زيادة التطورات الإلكترونية وتعدد خدمات الإنترنت، زادت الحوجة التخزينية للمعلومات والبيانات المنقولة من مدينة إلى مدينة ومن بلد إلى آخر. لذلك تأتي أهمية إنشاء الشبكة وربطها بما يقلل تكلفة العمليات، وإيجاد أفضل مواقع لمراكز البيانات وذلك لتقليل تكلفة التحميل والتخزين.

مراكز البيانات من المكونات الأساسية للبنية التحتية للبلد ودعامة أساسية للحكومة الإلكترونية، لذلك تخضع لمواصفات دقيقة في بنائها وتكوينها للمحافظة على سلامة البيانات وحفظها من التلف، كما تعتبر وسيلة من وسائل الأمن بالنسبة للمعلومات.

يهدف هذا البحث إلى تحسين مواقع مراكز البيانات في السودان وذلك بتحسين ربط شبكة مدن السودان، ويكون ذلك اعتماداً على مجموعة من العوامل المؤثرة على طريقة ربط المدن مع بعضها مثل البعد بينها، ونوع الرابط المستخدم، وعدد الروابط، وكمية الطلب على البيانات من مدينة إلى أخرى.

تم استخدام البرمجة الخطية بأسلوب البرمجة الخطية للأعداد الصحيحة المختلطة (MILP) في صياغة المعادلات المستخدمة لتحسين طريقة الربط وتحسين مواقع مراكز البيانات والمكونة من دالة الهدف لتقليل تكلفة الربط وتكلفة العمليات في الشبكة. كما تم اعتبار تقنية (IP over WDM) في إنشاء شبكة الألياف الضوئية.

بعد تنفيذ نموذج تحسين ربط الشبكة تم الحصول على أفضل طريقة لربط مدن السودان في الشبكة، وذلك عندما يتم ربط المدينة مع مدينة واحدة أخرى أو مدينتين أوثلاثة أو أربعة. وتم اختيار النموذج في حالة مضاعفة حركة البيانات من وإلى الخرطوم، وذلك لمحاكاة الوضع الحقيقي لحركة البيانات الحالية في السودان. وبناءً على أفضل طريقة لربط الشبكة، وباستخدام نموذج تحسين مواقع مراكز البيانات، تم تحديد أفضل المدن لإنشاء مراكز البيانات، وذلك عندما يكون عدد المراكز في الشبكة من مركز واحد إلى ستة مراكز.

تعتمد الطريقة الأمثل لربط العقد في الشبكة على عدد العقد والمسافة بينها وعدد الروابط بينها. بينما يعتمد اختيار المواقع الأمثل لمراكز البيانات على عددها في الشبكة وكمية البيانات التي تم تحميلها وتخزينها.

Abstract

With the development of electronics and the expansion of Internet services, the need for storage and transfer of information from one city to another has increased. Therefore, it is necessary to connect the network such that operational cost is minimized. In addition, datacenter locations should be optimized to reduce upload and download cost.

Datacenters are a major component in the country's infrastructure and the mainstay of e-government. They are therefore subject to strict specifications in building and configuring them to preserve the integrity of the data and protect it from damage. It is also a means of security for information.

The aim of this research is to improve the datacenter sites in Sudan by improving the network topology of cities in Sudan. This is done based on a number of factors affecting the way cities are connected to each other such as distance, type of link, number of links, and the traffic demand between cities.

Mixed Integer Linear Programming (MILP) has been used to optimize the network topology and to optimize datacenter location. The objective function minimizes operational cost. The optical network uses IP over WDM.

The network topology optimization model produced the best way to connect Sudanese cities, when each city is connected to one, two, three or four other cities. The model has been tested in the case where the traffic demand of Khartoum has been increased to simulate the real data traffic situation in Sudan.

Based on the optimum network topology, and using the datacenter location optimization model, the optimum cities to deploy datacenters are found, when the number of datacenters in the network is one to six datacenters.

The optimum network topology depends on the number of nodes, the distance between them and the number of links. Whereas the optimum datacenter location depends on their number in the network and the amount of upload and download data. Based on the optimum network topology, and using the datacenter location optimization model, the optimum cities to deploy datacenters are found, when the number of datacenters in the network is one to six datacenters.

فهرس المصطلحات

الاختصار	المصطلح
AMPL	A Mathematical Programming Language
CDN	Content Distribution Network
ECSA	Exchange Carriers Standards Association
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
ILP	Integer Linear Programming
IP	Internet Protocol
IP over WDM	Internet Protocol over Wavelength Division Multiplexing
IPTV	Internet Protocol Television
LP	Linear Programming
MILP	Mixed Integer Linear Programming
MIP	Mixed Integer Programming
QCP	Quadratically Constrained Problem
QP	Quadratic Programming
SOCP	Second Order Cone Programming
SONET	Synchronous Optical Network
SOS	Special Order Sets
TVP	Total Value of Purchasing
WDM	Wavelength Division Multiplexing

فهرس الأشكال

شكل 1.2 أصناف الشجرة حسب الأقواس.....7
شكل 1.5 أفضل طريقة لربط مدينة واحدة بمدينة أو أكثر 44
شكل 2.5 أفضل طريقة لربط المدينة بمدينتين.....45
شكل 3.5 أفضل طريقة لربط المدينة بثلاث مدن.....46
شكل 4.5 أفضل طريقة لربط المدينة بأربع مدن 47
شكل 5.5 الطول الكلي للألياف الضوئية مع تغيير عدد الوصلات بين المدن 48
شكل 6.5 أفضل طريقة لربط المدن في حالة ربط المدينة الواحدة بمدينتين 49
شكل 7.5 مواقع مراكز البيانات في حالة طلب البيانات العادي.....53
شكل 8.5 مواقع مراكز البيانات في حالة طلب البيانات المضاعف 53

فهرس الجداول

جدول 1.2 نماذج لتطبيقات أقل تكلفة للتدفق 10
جدول 1.3 مقارنة البحث مع الدراسات السابقة.....21
جدول 2.3 مجموعة من الملفات التي تحتوي المكتبات.....24
جدول 3.3 ملخص للخيارات.....24
جدول 1.4 البعد بين مدينة الخرطوم وبقية المدن 39
جدول 1.5 مصفوفة الأبعاد بين المدن بالكيلومترات.....42
جدول 2.5 مصفوفة طلب البيانات 43
جدول 3.5 قيم المعاملات 43
جدول 4.5 مواقع مراكز البيانات في حالة طلب البيانات العادي وربط المدينة الواحدة بمدينتين.....49
جدول 5.5 مواقع مراكز البيانات في حالة طلب البيانات العادي وربط المدينة الواحدة بثلاث مدن 50
جدول 6.5 مواقع مراكز البيانات في حالة مضاعفة قيم طلب البيانات لمدينة الخرطوم وربط المدينة الواحدة بمدينتين 51
جدول 7.5 مواقع مراكز البيانات في حالة مضاعفة قيم طلب البيانات لمدينة الخرطوم وربط المدينة الواحدة بثلاث مدن.....51

فهرس المحتويات

Contents

الباب الأول 1

المقدمة 1

1.1 مقدمة 2

2.1 مشكلة البحث 2

3.1 الحل المقترح 3

4.1 أهداف البحث 3

5.1 المنهجية 3

6.1 ترتيب البحث 3

الباب الثاني 4

البرمجة الخطية وتحسين الشبكات 4

1.2 تحسين الشبكة (Network Optimization) 5

1.1.2 مقدمة 5

2.1.2 بعض المصطلحات التي يجب معرفتها 5

3.1.2 أنواع النموذج الشبكي 7

1.3.1.2 اختيار أقصر مسار (Shortest Path) 7

2.3.1.2 الحد الأدنى من امتداد الشجرة (Minimum Spanning Tree Problem) 8

3.3.1.2 الحد الأقصى من التدفق (Maximum Flow) 8

4.3.1.2 أقل تكلفة للتدفق (Minimum Cost Flow problem) 9

4.1.2 حالات خاصة من النماذج الشبكية 10

2.2 البرمجة الخطية 10

1.2.2 المقدمة 10

2.2.2 أسباب رواج البرمجة الخطية 11

3.2.2 استخدامات البرمجة الخطية 11

4.2.2 مكونات البرمجة الخطية 11

5.2.2 تعريف المشكلة الخطية.....11
6.2.2 أنواع المشاكل في البرمجة الخطية.....11
7.2.2 هيكلية البرنامج الخطي.....12
1.7.2.2 نموذج البرنامج الخطي 12
2.7.2.2 العناصر المكونة للبرنامج الخطي.....12
8.2.2 أساليب البرمجة الخطية 13
1.8.2.2 أسلوب الرسم البياني (Graphical Method).....13
2.8.2.2 الطريقة المبسطة (Simplex Method).....13
3.8.2.2 الطريقة ذات المرحلتين (Two Face Method) 14
9.2.2 البرمجة الخطية بالأعداد الصحيحة والأعداد الصحيحة المختلطة 14
IP over WDM 3.2.....14
1.3.2 مقدمة 15
2.3.2 معمارية شبكة (IP over WDM) 15
1.2.3.2 الجيل الأول 15
2.2.3.2 الجيل الثاني (IP over WDM).....16
3.2.3.2 الجيل الثالث.....16
3.3.2 مميزات (IP over WDM).....16
4.3.2 طريقة ربط (IP Over WDM).....16
4.2 الخلاصة.....17
الباب الثالث 18
الدراسات السابقة والأدوات والتقنيات المستخدمة.....18
1.3 مقدمة.....19
2.3 الدراسات السابقة.....19
1.2.3 تقليل طاقة وتكلفة موقع المحتوى لشبكة توزيع المحتوى.....19
2.2.3 تلفاز المستقبل عالي الجودة ذو الكفاءة في الطاقة.....19
3.2.3 تحديد المواقع الأفضل للبوابات في الشبكة اللاسلكية المتداخلة باستخدام الخوارزمية الجينية ومحاكاة التلدين 20

4.2.3 التحسين متعدد الأهداف لشبكة سلسلة تزويد خضراء 20
5.2.3 تقليل استهلاك الطاقة لخدمات (الفيديو عند الطلب) باستخدام تحسين حجم مخدمات التخزين المؤقت 20
CPLEX 3.3 22
IBM ILOG CPLEX Optimizer 1.3.3 22
2.3.3 المشاكل التي يتم حلها باستخدام (CPLEX) 23
3.3.3 مكونات (CPLEX) 23
CPLEX Interactive Optimizer 1.3.3.3 24
Concert Technology 2.3.3.3 24
CPLEX Callable Library 3.3.3.3 24
4.3.3 خيارات التحسين 24
AMPL 4.3 25
1.4.3 مقدمة 25
2.4.3 بناء برنامج (AMPL) 27
3.4.3 تعريف النموذج (Model Declaration) 27
4.4.3 إسناد البيانات (Data Assignment) 28
5.4.3 الخوارزميات المستخدمة لحل المشاكل عن طريق (solvers) 28
5.3 الخلاصة 29
الباب الرابع 30
منهجية البحث 30
1.4 مقدمة 31
2.4 وصف تحويل المعادلات 31
3.4 مجموعات ومعاملات ومتغيرات معادلات البرمجة الخطية 31
1.3.4 المجموعات (Sets) 32
2.3.4 المعاملات (Parameters) 32
3.3.4 المتغيرات (Variables) 32
4.3.4 المعادلات التي توضح تكلفة العمليات (Operational Cost) 33

4.4 نموذج تحسين ربط الشبكة 34
1.4.4 دالة الهدف لنموذج تحسين ربط الشبكة 34
2.4.4 مجموعة قيود نموذج تحسين ربط الشبكة 34
5.4 نموذج تحسين مواقع مراكز البيانات 35
1.5.4 دالة الهدف لنموذج تحسين مواقع مراكز البيانات 36
2.5.4 مجموعة قيود نموذج تحسين مواقع مراكز البيانات 36
6.4 المصفوفات 38
1.6.4 مصفوفات المدخلات (Input arrays) 38
2.6.4 مصفوفات المخرجات (Output arrays) 38
1.2.6.4 مخرجات نموذج تحسين طريقة الربط 38
2.2.6.4 مخرجات أماكن مراكز البيانات 38
7.4 مدن السودان 38
8.4 الخلاصة 39
الباب الخامس 40
النتائج 40
1.5 مقدمة 41
2.5 تحسين طريقة ربط مدن السودان 41
1.2.5 المدخلات 42
2.2.5 المخرجات 44
1.2.2.5 طلب البيانات العادي 44
2.2.2.5 طلب البيانات المضاعف 47
3.2.2.5 أطوال الألياف الضوئية 47
4.2.2.5 مناقشة النتائج 48
3.5 تحسين مواقع مراكز البيانات 48
1.3.5 المدخلات 49
2.3.5 المخرجات 49
1.2.3.5 طلب البيانات العادي 49

2.2.3.5 قيم مرور البيانات المضاعف 51
3.2.3.5 مناقشة النتائج 53
4.5 الخلاصة 54
الباب السادس 55
الخاتمة والتوصيات 55
1.6 مقدمة 56
2.6 نتائج البحث 56
3.6 التوصيات 56
4.6 الخاتمة 56
المصادر والمراجع 58
الملاحق 61

الباب الأول

المقدمة

1.1 مقدمة

يعتبر الإنترنت اليوم من الوسائل التي لاغنى عنها في حياتنا. وفي السودان، يقدر عدد مستخدمي الإنترنت ما يقارب إثنا عشر مليون شخص يمثلون 28% من جملة سكان السودان [1].

وقد أدى الإنتشار الكبير لخدمات الإنترنت مثل الحكومة الإلكترونية ومواقع التواصل الإجتماعي إلى الزيادة الهائلة في البيانات. ومن المهم توفير هذه الخدمات للمستخدمين بتكاليف مناسبة.

من العوامل المؤثرة على تكلفة خدمات الإنترنت تكاليف تخزين البيانات، ويتم تخزين بيانات خدمات الإنترنت فيما يعرف بمركز البيانات.

مراكز البيانات عبارة عن مراكز ضخمة مكونة من العديد من المُخدمات الضخمة ووحدات التخزين ذات السعات الكبيرة. وهي موصلة بالإنترنت بسرعات عالية جداً وتوضع في مبنى خاص مجهز بتجهيزات خاصة مثل: منظم لدرجات الحرارة، أجهزة تبريد، أجهزة إطفاء الحرائق، منظم للكهرباء، مولدات طاقة أساسية واحتياطية ونظام أمني بمواصفات أمنية عالية [2].

تكمن أهمية مراكز البيانات في التعامل مع الكم الكبير من البيانات والتي يصبح من الصعب إدارتها والتحكم فيها باستخدام وسائل تخزين البيانات الإعتيادية مما دفع الشركات والمؤسسات إلى استخدام مراكز البيانات في عملها [3].

تعتمد الحكومة الإلكترونية على مراكز البيانات في تخزين البيانات. ولذلك فمن الضروري تقليل تكلفة خدمات الحكومة الإلكترونية عن طريق إنشاء مراكز البيانات في أفضل مواقع في الشبكة والإحتفاظ بالنسخ الإحتياطية للبيانات في مدينة مختلفة عن موقع مركز البيانات. إضافة إلى ذلك، توفير المعلومات الصحيحة لتوسعة الشبكة مستقبلاً وإنشاء مراكز بيانات إضافية لتلبية الزيادة المستمرة في الحوجة التخزينية لخدمات الإنترنت.

يعمل الاختيار الجيد لموقع مركز البيانات على تقليل التكلفة التي تتحملها المؤسسات والشركات للتعامل مع هذه المراكز، إضافة إلى توفير حماية البيانات من العوامل الطبيعية والكوارث.

2.1 مشكلة البحث

تؤدي زيادة المعاملات الإلكترونية والمواقع الإلكترونية والتوسع في استخدامها إلى الزيادة الكبيرة في الحوجة التخزينية لخدمات الإنترنت مما جعل الشركات والمؤسسات تعاني من التكلفة العالية نتيجة لتحويل معظم المعاملات الورقية إلى إلكترونية والذي يؤثر على ربح هذه المؤسسات.

اعتماد الحكومة الإلكترونية في السودان على مواقع محددة لمراكز البيانات لكل السودان يزيد من الضغط على هذه المراكز. كذلك وجود مواقع محدودة للنَسخ الاحتياطي يشكل خطراً على هذه البيانات.

كما أن طريقة الربط المستخدمة في السودان لنقل البيانات بين المدن تواجه مشاكل عدة، ومنها التكلفة العالية. لذلك تأتي الحوجة لتحسين طريقة ربط المدن واختيار أفضل موقع لوضع مركز البيانات اعتماداً على أقل تكلفة.

3.1 الحل المقترح

إيجاد أفضل طريقة لربط مدن السودان بالألياف الضوئية بحيث تقلل تكلفة نقل البيانات فيها، وذلك عن طريق البرمجة الخطية. ومن ثم استخدام معادلات البرمجة الخطية في تحديد أفضل المدن لإنشاء مراكز البيانات في الشبكة لتقليل تكلفة تخزين البيانات وتحميلها من مركز البيانات، وذلك بناءً على عدد المراكز المطلوب.

4.1 أهداف البحث

- اختيار أفضل طريقة لربط مدن السودان مع بعضها عن طريق الألياف الضوئية.
- اختيار أفضل مواقع لإنشاء مراكز البيانات.
- تقليل تكلفة نقل البيانات بين المدن.
- تقليل تكلفة الألياف الضوئية بالشبكة.

5.1 المنهجية

استخدام البرمجة الخطية للأعداد الصحيحة المختلطة في صياغة نموذجين. الأول لتحسين طريقة ربط الشبكة والذي يحدد كيفية ربط المدن مع بعضها آخذاً في الإعتبار عدد وصلات الألياف الضوئية المتوفرة لكل مدينة. يخضع النموذج لقيود سعات الألياف وقيود تدفق البيانات، ويكون هدفه الوصول لأقل طول ممكن للألياف الضوئية.

يقوم النموذج الثاني بتحديد الأماكن المُثلى لإنشاء مراكز البيانات في الشبكة لتقليل تكاليف التخزين والتحميل، وذلك حسب عدد مراكز البيانات المطلوبة. يهدف النموذج إلى تقليل الطاقة المستهلكة في أجهزة الشبكة المستخدمة في توصيل البيانات، ويخضع كذلك لقيود سعات الألياف الضوئية وتدفق البيانات.

6.1 ترتيب البحث

تم ترتيب هذا البحث كالتالي: يحتوي الباب الأول على مقدمة لمراكز البيانات وشرح المشكلة والأهداف والحل المقترح ومنهجية البحث المُتبعة، والباب الثاني على شرح المفاهيم النظرية المتعلقة بالمشروع والبرمجة الخطية، وتحسين الشبكات، و (IP over WDM). أما الباب الثالث فيشرح الدراسات السابقة والأدوات والتقنيات المستخدمة. يحتوي الباب الرابع على المنهجية المستخدمة في البحث وشرح مفصل للمعادلات الرياضية. في الباب الخامس نستعرض النتائج التي حصلنا عليها بعد تطبيق النماذج. الباب السادس هو الخاتمة والتوصيات.

الباب الثاني

البرمجة الخطية وتحسين الشبكات

1.2 تحسين الشبكة (Network Optimization)

1.1.2 مقدمة

تحسين الشبكة (Network Optimization) هو تقنية تقوم بتحسين أداء الشبكة عن طريق إيجاد حلول لمشاكلها عن طريق البرمجة الخطية وسماحها للشبكة باستخدام تطبيقات متعددة.

يسمح تحسين الشبكة أيضاً بإيجاد حلول رقمية عن طريق حل مشاكل الشبكة وتعريفها على شكل معادلات، وبالتالي يمكن حلها دون الحاجة للجوء إلى استخدام الخوارزميات البرمجية.

بالإضافة لذلك، لدى تحسين الشبكة خاصية الحدس أو التخمين، ولها القدرة على تزويد الشبكة بمجموعة من اللغات التي تتكون من (متغيرات Variables، كائنات Objects، بالإضافة إلى القيود Constrains) مثل لغات البرمجة الخطية والرقمية [4].

2.1.2 بعض المصطلحات التي يجب معرفتها [4][5]

- **الشبكة (Network):**

هي عبارة عن رسم بياني يحتوي على مجموعة من النقاط والخطوط التي تربط هذه النقاط ببعضها البعض.

- **العقدة (Node)** أو **القمة (Vertices):**

تطلق على مجموعة النقاط.

- **القوس الموجه (Directed arc):**

القوس الذي يحتوي على اتجاه النقاط.

- **الحد (edge):**

هو القوس غير الموجه أي لا يحتوي على اتجاه معين يتم الربط بين كل عقدة وأخرى بسلسلة من الأقواس (Arcs).

- **الشبكة الموجهة (Directed network):**

هي التي تتكون من أقواس موجهة.

- **الشبكة غير الموجهة (Undirected network):**

هي التي تتكون من أقواس غير موجهة.

- **المسار (Path):**

وهو عبارة عن سلسة من الأقواس التي تربط العقد مع بعضها البعض.

على سبيل المثال:

المسار الموجه (Directed path): من العقدة i إلى العقدة j هو عبارة عن سلسلة من الأقواس.

المسار غير الموجه (Undirected path): قد يحتوي على أقواس موجهة تشير إلى اتجاه معين.

- **دورة (Cycle) :**

المسار الذي يبدأ وينتهي في نفس العقدة وقد يكون أيضاً موجه أو غير موجه.

- **متصلة (Connected):**

إذا كانت تحتوي على مسار غير موجه بين عقدة وعقدة أخرى.

- **شجرة (Tree):**

هي الشبكة المتصلة بدون وجود دورة (Cycle).

- **حدود الشجرة (Spanning Tree):**

هي عبارة عن شبكة متصلة لكل العقد في الشبكة التي لا تحتوي على دورة غير موجهة.

- **سعة القوس (Arc Capacity):**

أقصى حد من كمية التدفق التي يمكن حملها على القوس الموجه.

- **العقدة المزودة (Supply Node):**

إذا كان التدفق الخارج من العقدة يتجاوز التدفق الداخل إلى العقدة.

- **العقدة الناقلة (Transshipment Node):**

العقدة التي تعمل على تمرير التدفق بمعنى آخر إذا كان التدفق الداخل مساوٍ للتدفق الخارج لعقدة، يطلق عليها عقدة ناقلة.

- **العقدة الطالبة (Demand node):**

التدفق الداخل للعقدة يتجاوز التدفق الخارج منها.

يمكن تصنيف الشجرة حسب الأقواس إلى عدة أصناف موضحة في مخطط شكل 1.2 أصناف الشجرة حسب الأقواس:

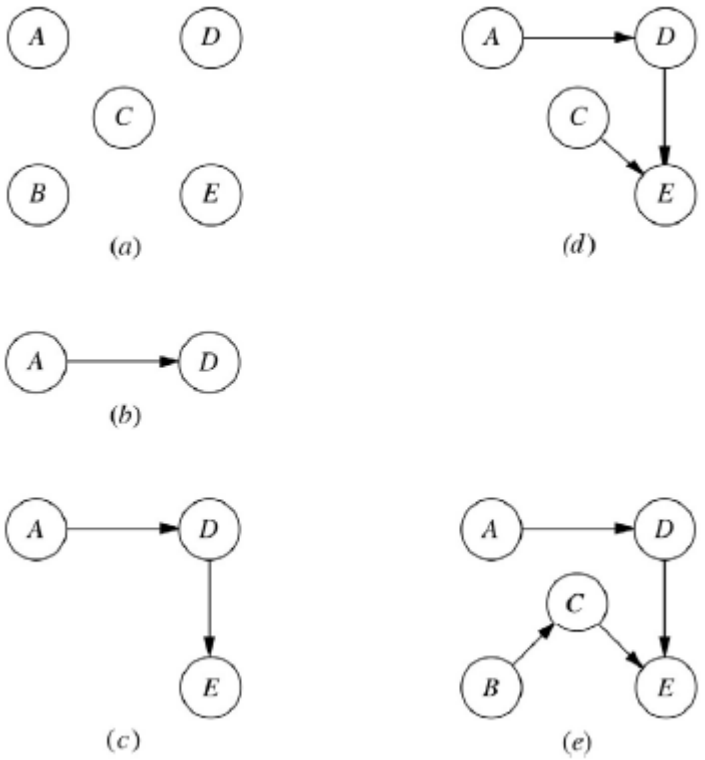
a) عقد بدون أقواس (Nodes without arcs).

b) شجرة بقوس واحد (Tree with one arc).

c) شجرة بقوسين (Tree with two arcs).

d) شجرة بثلاثة أقواس (Tree with three arcs).

e) شجرة متفرعة أو ممتدة (A spanning tree).



شكل 1.2 أصناف الشجرة حسب الأقواس

3.1.2 أنواع النموذج الشبكي

له أنواع عديدة منها:

1.3.1.2 اختيار أقصر مسار (Shortest Path)

في هذا النوع يكون هنالك شبكة وتكلفة محددة مع وجود عقدتين هما عقدة البداية (Start Node) وعقدة النهاية (Finish Node).

الهدف في هذا النوع من المشاكل هو إيجاد مسار من بداية العقدة إلى نهاية العقدة على أن يكون الوزن الإجمالي أقل ما يمكن (الحد الأدنى) [4].

تطبيقات أقصر مسار (Shortest Path) [5]:

1. تقليل مجموع مسافة الإنتقال.
2. تقليل مجموع التكلفة كسلسلة من التفاصيل.

3. تقليل مجموع الوقت إلى سلسلة من السعات.
4. دمج التطبيقات السابقة.

2.3.1.2 الحد الأدنى من امتداد الشجرة (Minimum Spanning Tree Problem)

هذا النوع يحدث في الشبكات المتصلة وغيرالموجهة وللحصول على الطول المثالي للرابط الذي يربط بين أزواج العقد لابد من توفر خصائص عديدة مثل: (المسافة بين العقد، التكلفة والوقت المستهلك).

اختيار أقصر مسار والحد الأدنى من امتداد الشجرة كلاهما يعتمدان على اختيار مجموعة من الروابط التي تعتمد على خصائص معينة.

الهدف في هذا النوع من النموذج هو إيجاد الطول الكلي لأقصر مسار بين كل زوج من أزواج العقد.

تعريف الحد الأدنى من إمتداد الشجرة:

في هذا النوع من النماذج يتم إدخال معطيات للشبكة مثل: (احتمالية الربط والطول المثالي لكل شبكة مدخلة) يتم تصميم الشبكة بإدخال مجموعة من الروابط بترتيب معين لتكوين مسار بين كل زوج من أزواج العقد تقوم هذه النماذج بتقليل أقصى طول من الروابط المدخلة للشبكة [5].

خصائص الحد الأدنى من امتداد الشجرة:

على سبيل المثال إذا كان هنالك شبكة مكونة من n عقدة هذا يتطلب n-1 رابط لتكوين مسار بين أزواج العقد يطلق على n-1 رابط حدود الشجرة [5].

تطبيقات الحد الأدنى من امتداد الشجرة [5]:

1. تصميم الشبكات السلكية واللاسلكية مثل: الألياف الضوئية، أجهزة الكمبيوتر وخطوط تأجير الهاتف وأسلاك التلفاز.
2. تصميم نواقل الشبكة لتقليل التكلفة الإجمالية من الروابط.
3. تصميم شبكة لنقل فولتية عالية وطاقة كهربائية.
4. تصميم أسلاك لشبكة المعدات الكهربائية لتقليل الطول الإجمالي للأسلاك.
5. تصميم خطوط أنابيب للشبكة لربط المواقع.

3.3.1.2 الحد الأقصى من التدفق (Maximum Flow)

في هذا النوع يتم تحديد رقم لكل قوس من الأقواس ويقابل كل رقم من هذه الأرقام سعة محددة مما يؤدي إلى تحديد التدفق في هذه الأقواس.

في الأنظمة الموزعة يتم تحديد قياسات معينة لهذه السعات مثلا (طن) ليستفاد منها في توزيع القنوات في الشبكة لذلك يكون الإهتمام بشكل كبير بسعات الشبكة.

يحدث الحد الأقصى من التدفق في التطبيقات التي لا تهتم بشكل كبير بتكلفة الشبكة ويكون هدفها الأكبر هو زيادة أعداد العناصر [4].

تطبيقات الحد الأقصى من التدفق [5]:

تستخدم في التطبيقات التي لها علاقة بالشركات والمصانع.

1. زيادة الحد الأقصى من التدفق من خلال شركات الشبكات الموزعة من المصانع إلى الزبائن.
2. زيادة الحد الأقصى من التدفق من خلال شركات تجهيز الشبكة من الباعة إلى المصانع.
3. زيادة أقصى حد من تدفق الزيت من خلال أنظمة خطوط الأنابيب.
4. زيادة أقصى حد من تدفق الماء في أنظمة القنوات أو الأنابيب.
5. زيادة أقصى حد من العربات في شبكات النقل.
6. هنالك بعض التطبيقات ينشأ التدفق فيها من أكثر من عقدة ويمكن أن ينتهي في أكثر من عقدة.
7. الحد الأقصى من التدفق هي مشكلة من مشاكل البرمجة الخطية والتي يمكن حلها باستخدام خوارزميات التبسيط (Simplex).

4.3.1.2 أقل تكلفة للتدفق (Minimum Cost Flow problem)[5]

يحتوي هذا النوع على عدد كبير من التطبيقات التي يمكن حلها بكفاءة كبيرة مثل: (الحد الأقصى من التدفق الذي يقوم بتحديد سعات معينة للأقواس).

هذا النوع مشابه أيضاً لاختيار أقصر مسار الذي يقوم بتحديد تكلفة المسافة بين الأقواس ومشابه أيضاً لمشاكل النقل أو مشاكل المهمات التي يمكن أن تحتوي على مصادر متعددة واتجاهات متعددة للتدفق المرتبط بتكلفة معينة.

تعد كل أنواع المشاكل السابقة من أنواع مشاكل أقل تكلفة للتدفق. يمكن صياغة هذه المشكلة كمشكلة برمجة خطية وحلها يكون باستخدام إصدار مبسط من خوارزمية التبسيط (Simplex Method).

الهدف من نماذج أقل تكلفة للتدفق:

لنقل الطلب من العقد المزودة عبر الشبكة لإرضاء طلبات العقد الطالبة.

تطبيقات أقل تكلفة للتدفق:

جدول 1.2 نماذج لتطبيقات أقل تكلفة للتدفق [5]

نوع التطبيق Type Of Application	العقد الطالبة Demand Node	العقد الناقلة Transshipment Node	العقد المزودة Supply Node
عمليات الشبكات المتقطعة	الزبائن	متوسط التخزين	المصادر الجيدة
تدوير النفايات	مواقع دفن النفايات	عمليات الوسائل	مصدر النفايات
عمليات تجهيز العقد	عمليات الوسائل	متوسط المخازن	الباعة
الخلط في النباتات	أسواق للمنتجات المعينة	إنتاج منتجات معينة	النباتات
إدارة التدفق النقدي	الاحتياج النقدي في وقت معين	عمليات الاستثمار	مصدر النقد

4.1.2 حالات خاصة من النماذج الشبكية

مشاكل النقل (Transportation Problem) يتم تزويد عقد جاهزة لكل مصدر (Source) وعقد طلب لكل جهة (Destination) بالإضافة لأنه لا يكون هنالك احتياج لعقد النقل.

مشاكل المهام (Transshipment Problem) هي حالة خاصة من مشاكل النقل والتي يكون فيها عدد العقد المزودة مساوٍ لعدد العقد الطالبة [5].

2.2 البرمجة الخطية

فيما يلي تفصيل للبرمجة الخطية.

1.2.2 المقدمة

تعتبر البرمجة الخطية واحدة من التقنيات الأكثر استخداماً كجزء من الدوال الكمية لعمليات المفاضلة أو التحسين.

كان التاريخ الأول لبدايتها عام 1937 أثناء الحرب العالمية الثانية حينما نشر Leonid Kantorovich ورقته المحتوية على طرق جديدة لحل بعض المشكلات المصنفة بالصعوبة، وكانت البرمجة حينها مستخدمة في التخطيط العسكري مثل انتشار الجيش.

طور Kantorovich البرمجة الخطية كتقنية لحساب أقل وأفضل تكلفة للتخطيط العسكري بالنسبة للجيش وزيادة الخسائر للأعداء وظل متكتم على هذه الدوال حتى 1947 في ذات الوقت نشر George B. Dantzig العضو في القوات الجوية في الولايات المتحدة دوال مبسطة لحل المشكلات البرمجية ذات البناء الخطي. ثم بعد ذلك طور فريق من اختصاصي الرياضيات وعلم الاقتصاد نظريات البرمجة الخطية وتطبيقاتها. وفي نفس العام أيضاً طور John von Neumann النظرية الثنائية بنفس السياق الرياضي لنظرية الألعاب.

تعتبر البرمجة الخطية حالة من حالات البرمجة الرياضية حيث أن دالة الهدف المراد الحصول عليها والقيود التي تحكمها تعتبر خطية [6].

2.2.2 أسباب رواج البرمجة الخطية [6]

1. سماحيتها بنمذجة أكبر كمية من الحالات المتنوعة في أبسط شكل.
2. سهلة الحل.
3. حل معظم البرامج الخطية بكفاءة عن طريق ال (Simplex method).

3.2.2 استخدامات البرمجة الخطية

تستخدم البرمجة الخطية النماذج الرياضية للتعبير عن المشكلات الكمية، فخطية تعني أن كل الدوال الرياضية في هذا النموذج الرياضي يجب أن تمثل بشكل خطي (دوال خطية). أما كلمة البرمجة فهي لا تعني برمجة الحاسوب وإنما تعني التخطيط [7]، نظراً لأن البرمجة الخطية مستخدمة في حل المشاكل المتعلقة بالمنتجات الصناعية، والتسويق والأشياء الكمية بشكل عام، وذلك للحصول على أفضل نتيجة أو أفضل ربح ممكن وتقليل التكلفة[8].

المنهجية الأكثر استخداماً وفعالية في البرمجة الخطية هي (Simplex method) والتي عن طريقها يمكن حل مشاكل هائلة وضخمة الحجم وهذا ماجعل البرمجة الخطية لها تأثير كبير في الآونه الأخيرة [7].

4.2.2 مكونات البرمجة الخطية

المتغيرات الكمية التي تحتاج للتحديد (Decision variables).

دالة الهدف ويتم الحصول عليها بوصول المتغيرات الكمية لأقصى أو أدنى قيمة. إضافة إلى مجموعة قيود.

5.2.2 تعريف المشكلة الخطية

تُعرَّف المشكلة الخطية على أنها مشكلة تقليل أو تعظيم دالة خطية تعرف بدالة الهدف تابعة لقيود خطية تُمكن هذه الدالة من الوصول إلى أقل أو أعلى قيمة ممكنه من تكلفة أو ربح [9].

6.2.2 أنواع المشاكل في البرمجة الخطية

1. المشاكل الإنتاجية.
2. مشاكل الجدولة.
3. اختيار أفضل مسار في شبكة معينة.

عند حل مشكلة البرمجة الخطية تظهر مشكلة ثانوية عند حل المشكلة الرئيسية، تعرف هذه المشكلة بالمشكلة الثنائية (Duality Problem) [10].

7.2.2 هيكلية البرنامج الخطي

لوصف هيكلية البرنامج الخطي لابد من وصف المشكلة المراد معالجتها عن طريق البرمجة الخطية ويتم وصفها بتصغير أو تعظيم دالة الهدف المراد الحصول عليها عن طريق الإلتزام بمجموعة من القيود. تتكون هذه القيود من مجموعة متغيرات ولا يمكن ايجاد قيمة هذه المتغيرات إلا عبر تضمينها في مجموعة القيود [6].

1.7.2.2 نموذج البرنامج الخطي

و يعرف بأنه وصف مُوجَّه للشكل العام للمشكلة [11]. يمكن أن يستخدم هذا النموذج لوصف عدد لا نهائي من مشاكل التحسين المختلفة [6].

صياغة البرنامج الخطي لقانون تعظيم دالة الهدف [6]:

دالة الهدف:

$$\text{maximize} = c_1x_1 + c_2x_2 + \cdots + c_nx_n$$

القيود :

$$\text{Subject to} \quad a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \cdots + a_{1n}x_{xn} \leq b_1$$
$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \cdots + a_{2n}x_{xn} \leq b_2$$
$$\vdots\ \vdots\ \vdots$$
$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \cdots + a_{mn}x_n \leq b_m$$

قيود عدم السلبية:

$$\geq 0$$

2.7.2.2 العناصر المكونة للبرنامج الخطي

تحتوي دالة الهدف z على المتغيرات التي تحتاج إلى تحديد مثل x_j وهذه المتغيرات يؤثر عليها معامل التكلفة c_j ويكون تحديد هذه الدالة إما للحصول على أعلى ربح ممكن أولتقليل التكلفة.

مجموعة القيود (constrains) m، وفيها مجموعة متغيرات خطية يؤثر عليها المعامل a_{ij} والذي يجب أن يكون أقل من أو يساوي b_i .

يجب أن تكون هذه المتغيرات الكمية (Decision variables) أكبر من أو تساوي الصفر (أي يجب أن لا تكون سالبة) وهذا يسمى قيد عدم السلبية.

عند حل مجموعة القيود هذه تعطي منطقة محددة تسمى منطقة الحل (feasible region) والتي يوجد بها مجموعة من القيم تستخدم للتعويض عن المتغيرات لحساب دالة الهدف.

تكون أبعاد هذه المنطقة حسب عدد المتغيرات [6].

صيغة البرمجة الخطية المذكورة أعلاه يمكن أن يعبر عنها في شكل مصفوفة كالآتي [6]:

MAX z = c´x

s. t. Ax <= b

x >= 0

يمكننا استخدام نفس هذا القانون في صياغة تصغير دالة الهدف [6]:

MIN z = c´x

s. t. Ax >=b

x >=0

8.2.2 أساليب البرمجة الخطية

هنالك عدة أنواع من أساليب البرمجة الخطية منها:

1.8.2.2 أسلوب الرسم البياني (Graphical Method)

يستخدم هذا الأسلوب فقط عند وجود متغيرين أو ثلاثة في دالة الهدف فهذه الطريقة سهلة الحل ولكنها تعتمد على الرسم البياني في ايجاد الحل الأمثل، بالإضافة إلى أن معظم المشكلات تحتوي على أكثر من ثلاث متغيرات فتكون غير عملية [12].

2.8.2.2 الطريقة المبسطة (Simplex Method)

بما أن مشكلة البرمجة الخطية في شكلها القياسي تحتاج لأفضل حل فإنه يوجد هنالك حل ملائم يعتبر الأمثل. الطريقة المبسطة تعتمد على هذه الحقيقة وتقوم بالبحث عن الحل الأمثل.

الطريقة المبسطة هي أسلوب من أساليب البرمجة الخطية يتم عن طريقها الوصول لأفضل حل ممكن [13].

- يكون الحل عن طريق ال (simplex method) بإضافة متغيرات إلى معادلة دالة الهدف ويكون الصفر هو معاملها في دالة الهدف وواحد هو معاملها في معادلات القيود ومن ثم تحويل القيود إلى معادلات الخط المستقيم (تحويل علامة أقل من أو يساوي أو أكبر من أو يساوي إلى يساوي فقط). وبعد ذلك يتم تكوين جدول الحل الخاص بال (simplex method).
- يتكون جدول الحل الخاص بأسلوب الحل هذا من المتغيرات الموجودة في دالة الهدف والقيود ومعاملاتهم وقيم الطرف الأيمن لهذه المعادلات.
- يمثل العدد الموجود في العمود الأخير بالموجب القيمة المثلى لدالة الهدف Z ويكون موجب القيمة في حالة التعظيم وسالب القيمة في حالة التصغير [12].

3.8.2.2 الطريقة ذات المرحلتين (Two Face Method) [14]

تستخدم هذه الطريقة القياسية عندما تكون الطريقة المبسطة لاتحتوي أساس للبداية أي أن الحل المبدئي بالطريقة المبسطة لا يحتوي على أعمدة كافية لإكمال المصفوفة الواحدة المراد الوصول للحل عن طريقها.

- تحدث هذه المشكلة إذا كانت معادلات القيود موضوعة في شكل يساوي أو أكبر من أو يساوي، ففي حالة القيد المحكوم بيساوي "=" لا يمكن أن يضاف إليه متغير راكد. وبناء على ذلك فإن ذلك الصف في جدول (simplex method) لا يكون فيه المتغير الإبتدائي الأساسي.
- أما في حالة القيد المحكوم ب "الأكبر من أو يساوي" فيجب إضافة المتغير الراكد والذي يعطي قيمة -1 بدلاً عن +1 في هذا الصف ولا يمكن إزالة هذا السالب. وحل هذه المشكلة بالضرب البسيط في -1 لأن الطرف الأيمن يصبح سالباً.

لذلك فإن هاتين الدالتين تتضمن إضافة متغيرات "إصطناعية" والتي تبدأ كالمتغيرات الأساسية ولكن في النهاية يجب أن تساوي الصفر وذلك حرصاً على أن تكون المشكلة الأصلية قابلة للتطبيق.

9.2.2 البرمجة الخطية بالأعداد الصحيحة والأعداد الصحيحة المختلطة

(Integer and mixed integer linear programming)

في صياغة قانون البرمجة الخطية ذُكر ضمنياً أن المتغيرات المراد تحديدها xj حقيقية ولكن في بعض النماذج يتطلب أن تكون كل النماذج المراد تحديدها (decisions variables) أعداداً صحيحة. وفي هذه الحالة تسمى البرمجة الخطية الصحيحة ((integer linear programming (ILP)).

وفي حالات أخرى تكون مجموعة فقط من المتغيرات المراد تحديدها هي أعداداً صحيحة وفي هذه الحالة يطلق عليها البرمجة الخطية بالأعداد الصحيحة المختلطة ((mixed integer linear programming (MILP)).

أولى الخطوات لحل ال MILP أو ILP هي حل الصيغة المخففة (relaxe) للبرمجة الخطية المكونة من دالة الهدف ومتغيرات القرارات (decisions variables) والقيود.

وتكون كل المتغيرات في هذه الصيغة حقيقية، فإذا كانت جميع قيم المتغيرات صحيحة في الدرجة المثلى للصيغة المخففة لل (MILP) فإن حل ال (MILP) مشابه لحل الصيغة للبرمجة الخطية. لحل ال (MILP) نحتاج لجهد حسابي أكبر منه في العديد من مشاكل البرمجة الخطية العادية [6] .

IP over WDM 3.2

تعتبر شبكة الجيل المستقبلية وفيما يلي شرح لهذه التقنية:

1.3.2 مقدمة

قديماً، كان حجم البيانات التي تعبر الشبكات الناقلة قليل مقارنة بحجم بيانات الصوت. لذلك تم تصميم الشبكات لنقل بيانات الصوت بشكل رئيسي. وتوفر هذه الشبكات معدل ثابت لنقل البيانات.

مؤخراً، تجاوزت كمية البيانات المنقولة الصوت، واستمر العائد من نقل بيانات الصوت في السوق في انخفاض مستمر بعكس عائد نقل البيانات. ولذلك زاد الإهتمام بأهمية تصميم واستخدام شبكة نقل البيانات بشكل أساسي واستخدام شبكة نقل الصوت بشكل ثانوي.

يتم نقل الصوت في شبكات البيانات باستخدام (voice-over-IP)، لذلك فإن البيانات تحتاج إلى أفضل خدمة للجودة والحماية ووجود الضمان في شبكة بروتوكول الإنترنت.

لتحقيق هذه المتطلبات تم استخدام (Wavelength Division Multiplexing) بصورة رئيسية في الشبكات الأساسية.

تعمل (WDM) على زيادة سعة استخدام الليف عن طريق تقسيم عرض النطاق الترددي إلى قنوات غير متداخلة تسمى (wavelength).

يتم دعم التواصل بين المستخدمين بإنشاء كل القنوات الضوئية بين عقدتين بينهما إتصال ويسمى بالمسار الضوئي (lightpath).

تأخذ الإشارات نسب مختلفة في المسار الضوئي، تعتبرهذه النسب المختلفة لنقل البيانات وأيضاً شفافية البروتوكول سمة أساسية للشبكات الضوئية الأساسية.

سيطرت شبكة الإنترنت على التطبيقات والخدمات اعتماداً على بروتوكول الإنترنت (IP Protocol)، ويعتبر بروتوكول الإنترنت هو نقطة إلتقاء حركة مرور البيانات في شبكات الإتصال [15].

لذلك يتوقع أن تكون (IP over WDM) هي المعمارية الرئيسية في تركيب شبكة الإنترنت، وأن تعتبر ال (IP over WDM) هي الشبكة المستقبلية المستخدمة في الأجيال القادمة [16].

:WDM (Wavelength Division Multiplexing)

هي تقنية تعمل على تقسيم الليف الضوئي إلى مجموعة من الموجات الضوئية (Wavelength) تُقسم الإشارات المرسلة على هذه الموجات الضوئية على أن تحمل كل موجة ضوئية إشارة من الإشارات. يتم تجميع هذه الإشارات بواسطة ما يسمى بالمجمع (multiplexer) وعند الإستقبال يتم تقسيمها مرة أخرى بواسطة المفرق (demultiplexer) [17] [18].

2.3.2 معمارية شبكة (IP over WDM) [15]

يمكن تقسيم (IP over WDM) من حيث تطور التقنية وهيكلية الشبكة إلى ثلاثة أجيال:

1.2.3.2 الجيل الأول

استخدمت أنظمة (WDM) في الدرجة الأولى لعرض النطاق الترددي العالي من نقطة إلى نقطة بين موجهات بروتوكول الإنترنت المتجاورة.

يتم تغليف حزم بروتوكول الإنترنت في إطار (SONET) باستخدام نظام (packet-over-SONET)، يعرف (SONET) بأنه: "مقياس لنقل الإتصالات الضوئية" والذي تم تطويره بواسطة جمعية مقاييس تبادل النواقل للمؤسسة الأمريكية الوطنية للمقاييس (ECSA) .

أصبحت الكثير من موجهات بروتوكول الإنترنت وأجهزة (WDM) موجودة بشكل تجاري اليوم.

2.2.3.2 الجيل الثاني (IP over WDM)

يتم توجيه قنوات (WDM) عبر شبكات (WDM) مما يمكن من الاستخدام الفعال لعرض النطاق الترددي عبر (WDM).

نظراً لإعادة التهيئة التي منحها هذا الجيل في منتجاته بالنسبة للشبكة، هنالك دافع لتحويل الحماية والتجديد لطبقة (WDM)، لذلك تمت إزالة طبقة (SONET).

3.2.3.2 الجيل الثالث

تم في هذا الجيل نقل حزم بروتوكول الإنترنت مباشرة وتحويلها عن طريق محولات حزم (WDM).

3.3.2 مميزات (IP over WDM)

تتمييز (IP over WDM) بعدة مميزات أهمها [16]:

1. تتميز بالسعات العالية لاستخدامها لليف الضوئي الواحد في نقل أكثر من إشارة.
2. عرض النطاق الترددي العالي جداً.
3. وجود ال (WDM) يجعل الشبكة أكثر أمناً، وأقل تكلفة وأقل حوجة للصيانة.
4. وجود أكبر لعرض النطاق الترددي.
5. تعتبر طبقة جيدة لتخفيض التكلفة العالية ودعم السعات العالية.
6. الربط المباشر للمُوجِّه الموجود في طبقة ال (IP) مع المحول أو المُوجِّه الضوئي الموجود في الطبقة الفيزيائية (WDM) مما يعني وجود تجانس بين هاتين الطبقتين مما يقلل كثيراً من تكلفة الاستخدام وسهولة الربط [15].

4.3.2 طريقة ربط (IP Over WDM)

يتم ربط المُوجِّه الموجود في الطبقة العليا في بروتوكول الإنترنت مع المحول الضوئي (optical switch) الموجود في الطبقة الفيزيائية (WDM) بمنفذ الموجه (router ports).

يحتوي كل رابط فيزيائي بين زوجين من المحولات على ليف أو أكثر مجهز بزوج مجمع ومفرق (demultiplexer/multiplexer)، وزوج من المتلقيات (Transponder) ومجموعة من مكبرات الإشارة يعتمد عددها على طول الرابط [18].

4.2 الخلاصة

تناولنا في هذا الفصل مفاهيم تحسين الشبكة، والبرمجة الخطية، و (IP over WDM) التي لها علاقة بالبحث كمفاهيم عامة للمشروع وتم شرح كل مفهموم من هذه المفاهيم على حدى. وسنتناول في الفصل القادم الدرسات السابقة المتعلقة بالبحث والأدوات والتقنيات المستخدمة.

الباب الثالث

الدراسات السابقة والأدوات والتقنيات المستخدمة

1.3 مقدمة

يتناول هذا الباب الدراسات السابقة ولغات (CPLEX) و (AMPL).

2.3 الدراسات السابقة

فيما يلي نستعرض الدراسات السابقة المتعلقة بالبحث:

1.2.3 تقليل طاقة وتكلفة موقع المحتوى لشبكة توزيع المحتوى

في هذه الدراسة تم استخدام الشبكة المستقبلية (IP over WDM) لتحسين مواقع الكاش وللحصول على أقل تكلفة لخدمات الفيديو. توصلت الدراسة إلى أنه يمكن تخفيض ما يزيد عن 38% من الطاقة المستهلكة في الشبكة.

تمحور اهتمام هذه الورقة حول استهلاك الطاقة وتكلفة الكهرباء كأهداف لهذه الورقة، وتم اكتشاف تأثير مدة الفيديو على الكاش حسب طول الفيديو بالإضافة إلى أنها وجدت الدرجة المثلى لموقع الكاش وقامت بتقييم أثر نسبة معدل التحميل بالإضافة إلى الحصول على الموقع الأمثل للكاش وحجم الكاش الأفضل لهذه المواقع.

علاوة على ذلك تتضمن الورقة تقليل استهلاك الطاقة مباشرة لموقع الكاش المثالي وأظهرت النتائج أن التكلفة اليومية للكهرباء لخدمات الفيديو تتحقق (بالفيديوهات) ذات الأطوال المختلفة.

تم استخدام نموذج لتحسين الكاش باستخدام برمجة الأعداد الصحيحة المختلطة (MILP) وتمت برهنة صحة النتائج عن طريق المحاكاة [18].

2.2.3 تلفاز المستقبل عالي الجودة ذو الكفاءة في الطاقة

في الورقة التي نشرت بواسطة (IEEE)، قام المؤلفون بدراسة الجودات المختلفة للفيديو ومعدل مشاهدة البرامج التلفزيونية الشهيرة.

وكانت المشكلة أن سرعة نمو ال (IPTV) في السوق زاد من مخاوف استهلاك الطاقة العالية للإنترنت وما يترتب عليه من مشاكل بيئية. وقد تم تقييم تأثير هذه التقنية بحساب استهلاك طاقة ال (IPTV) القادمة من (IP) بواسطة شبكة (WDM) مع الأخذ في الاعتبار تحديد المستوى والبث التلفزيوني عالي الجودة، يتم استخدام ذواكر الكاش لتقليل استهلاك الطاقة وذلك بتخزين البرامج الأكثر مشاهدة في نقاط قريبة من المستخدمين النهائيين، ثم معرفة سلوك المشاهد لتوفير المحتوى المرغوب في الكاش مسبقاً لزيادة نسبة إصابة الكاش وتقليل استخدام الطاقة.

تم في هذه الدراسة استخدام نموذج البرمجة الخطية بالأعداد الصحيحة المختلطة (MILP) لتقييم استهلاك الشبكة للطاقة أثناء عمل خوارزمية لاستبدال محتويات الكاش بناءً على الزمن وتم إثبات صحة النتائج عن طريق المحاكاة.

تؤكد النتائج التي تم الحصول عليها أن الاستراتيجية المقدمة تزيد نسبة إصابة الكاش وتقلل من الاستهلاك الكلي للطاقة بنسبة 86% عند مقارنتها بعدم وجود كاش، وهذا يحقق أيضاَ حفظ أكبر لطاقة البث التلفزيوني عالي الجودة مقارنة بالبث التلفزيوني محدود الجودة [19].

3.2.3 تحديد المواقع الأفضل للبوابات في الشبكة اللاسلكية المتداخلة باستخدام الخوارزمية الجينية ومحاكاة التلدين

في هذه الدراسة قام الباحث بتحسين مواقع البوابات في الشبكة اللاسلكية المتداخلة (Mesh). باستخدام الخوارزمية الجينية وخوارزمية محاكاة التلدين.

تتكون الشبكة اللاسلكية المتداخلة من مُوجِّهات مزودة بمزايا إضافية تجعلها تعمل كبوابات للشبكة العنكبوتية، ومعظم البيانات يتم توجيهها نحو هذه البوابات.

تكمن المشكلة في عدم القدرة على تحديد مواقع هذه البوابات ولذلك يهدف البحث لإيجاد الموقع المثالي للبوابات بهدف الحصول على أداء أفضل للشبكة.

وكانت النتائج المتحصل عليها أن الخوارزمية الجينية لها القدرة على الحصول على حلول جيدة في شبكات بأحجام مختلفة مقارنة بخوارزمية محاكاة التلدين التي تبعد عن الحل الأمثل [20].

4.2.3 التحسين متعدد الأهداف لشبكة سلسلة تزويد خضراء

تكمن مشكلة هذا البحث في تصميم سلسلة تزويد شبكة مع مراعاة البيئة. تم الاهتمام بقوانين الإستثمار البيئية في مرحلة التصميم، وقد كان الحل المقترح وضع نموذج التحسين متعدد الأهداف والذي يتم به الحصول على ميزة أفضل عند المفاضلة ما بين التكلفة الكلية وتأثير البيئة.

تم تقديم مجموعة شاملة من التجارب العددية، وقد أظهرت النتائج أن هذا النموذج يمكن أن يطبق كأداة فعالة في التخطيط الإستراتيجي لشبكات سلاسل التزويد الخضراء.

إضافة إلى أن تحليل الحساسية يدعم بعض الرؤى الإدارية المهمة للشركات [21].

5.2.3 تقليل استهلاك الطاقة لخدمات (الفيديو عند الطلب) باستخدام تحسين حجم مخدمات التخزين المؤقت

تتناول هذه الورقة دراسة لتحسين حجم مخدمات التخزين المؤقت (الكاش) لتقليل استهلاك الطاقة لخدمات الفيديو عند الطلب عن طريق وضع مجموعة الكاش لتخزين المحتوى الأكثر طلباً في أماكن قريبة من العملاء.

تم تقييم الطاقة المستهلكة من خدمة طلب الفيديو المستندة على الكاش بشبكة (IP over WDM). تم استخدام نموذج الأعداد الصحيحة المختلطة (MILP) لتحسين حجم الكاش لكل عقدة في الشبكة في أوقات مختلفة من اليوم، كما تم اعتبار نسب تحميل وتخزين مختلفة للبيانات.

أوضحت النتائج أن تحسين حجم الكاش يقلل من استهلاك الطاقة الناتجة عن خدمات الفيديو عند الطلب بمعدل يفوق 42% [22].

جدول 1.3 مقارنة البحث مع الدراسات السابقة

رقم الدراسة	الدراسة	نوع التحسين	الهدف	نوع البرمجة الخطية	لغة البرمجة/الأدوات
1	تحسين ربط مدن السودان ومواقع مراكز البيانات	البرمجة الخطية	تقليل تكلفة العمليات	برمجة الأعداد الصحيحة المختلطة (MILP)	AMPL/CPLEX
2	تقليل طاقة وتكلفة موقع المحتوى لشبكة توزيع المحتوى	البرمجة الخطية	تقليل التكلفة	برمجة الأعداد الصحيحة المختلطة (MILP)	AMPL/CPLEX
3	تلفاز المستقبل عالي الجودة ذو الكفاءة في الطاقة	البرمجة الخطية	تقليل استهلاك الطاقة	برمجة الأعداد الصحيحة المختلطة (MILP)	AMPL/CPLEX
4	تحديد المواقع الأفضل للبوابات في الشبكة اللاسلكية المتداخلة باستخدام الخوارزمية الجينية ومحاكاة التلدين	الخوارزمية الجينية	تقليل التباين بين الموجهات	-	VB.Net
5	التحسين متعدد الأهداف لشبكة سلسلة تزويد خضراء	البرمجة الخطية	تقليل التكلفة	نموذج الأعداد الصحيحة المختلطة متعدد الأهداف	-
6	تقليل استهلاك الطاقة لخدمات الفيديو عند الطلب باستخدام تحسين حجم مخدمات التخزين المؤقت	البرمجة الخطية	تقليل استهلاك الطاقة	نموذج الأعداد الصحيحة المختلطة	AMPL/CPLEX

CPLEX 3.3

CPLEX

عبارة عن برنامج يتكون من مجموعة من الخيارات يقوم البرنامج بإيجاد الحل الأمثل للمشكلة عن طريق البرمجة الخطية بأنواعها. وهي متوفرة في منصة Unix وWindows وغيرها [23].

[23]IBM ILOG CPLEX Optimizer 1.3.3

هو عبارة عن أداة تستخدم لحل مشاكل التحسين الخطي (Linear Optimization Problem) والتي تعرف بإسم البرمجة الخطية ((Linear Programming (LP) يتم تمثيلها بالشكل التالي:

Maximize (or Minimize)$c_1x_1 + c_2x_2 + \cdots + c_nx_n$

Subject to:

$c_1x_1 + c_2x_2 + \cdots + c_nx_n$

$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \cdots + a_{1n}x_n \sim b_1$

$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \cdots + a_{2n}x_n \sim b_2$

...

$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \cdots + a_{mn}x_n \sim b_m$

$l_1 \leq x_1 \leq u_1$

...

$l_n \leq x_n \leq u_n$

حيث أن ~ يمكن أن تكون $\leq, \geq$ أو = ، والحد الأعلى u_i والحد الأدنى l_i يمكن أن يكون موجب إلى ما لانهاية، سالب إلى ما لانهاية أو عدد حقيقي.

عنصر البيانات المدخل إلى البرمجة الخطية LP يكون في شكل:

معامل هدف الدالة :

$c_1, c_2, \dots, c_n$

معامل القيد:

$a_{11}, a_{21}, \dots, a_{n1}$

...

$a_{m1}, a_{m2}, \dots, a_{mn}$

الجانب الأيمن:

$b_1, b_2, \dots, b_m$

الحد الأعلى والأدنى:

$l_1, l_2, \dots, l_n$

$u_1, u_2, \dots, u_n$

الحل الأمثل الذي يقوم (CPLEX) بحسابه واسترجاعه هو:

المتغيرات:

$x_1, x, \dots, x_n$

2.3.3 المشاكل التي يتم حلها باستخدام (CPLEX) [23]

1. مشاكل تدفق الشبكة (Network Flow Problem) :

هي حالة خاصة من حالات البرمجة الخطية والتي تقوم (CPLEX) بحلها بسرعة كبيرة عن طريق استخدام البنية التحتية للمشكلة.

2. مشاكل البرمجة التربيعية ((Quadratic Programming Problem (QP)):

والتي تقوم على أساس توزيع أهداف البرمجة الخطية لتدخل في نطاق البرمجة التربيعية.

3. مشاكل البرمجة التربيعية القيود ((Quadratically Constrained Problem (QCP)):

هذا النوع من المشاكل يحتوي على تربيع بين القيود وبالتالي (CPLEX) تستطيع حل مشكلة (Second Order Cone Programming (SOCP) problem).

4. Mixed Integer Programming Problem (MIP):

في هذا النوع يتم اختيار متغير عددي من متغيرات QP، LP أو QCP في أمثل حل وتتوسع (MIP) لتضمن قيود مثل ((Special Ordered Sets (SOS) و(semi-continuous variables).

3.3.3 مكونات (CPLEX)

يتكون من الآتي:

CPLEX Interactive Optimizer 1.3.3.3

هو عبارة عن برنامج تنفيذي يقوم بقراءة المشكلة بمقياس معين من الملف وحلها وإرسال الحل في شكل ملف نصي.

يكون الإمتداد في منصة Windows في شكل cplex.exe أو cplex في منصة Unix [23].

Concert Technology 2.3.3.3

هي مجموعة من مكتبات C++ وJava وNet. التي تقدمها API والتي تتضمن إنشاءات نمذجية لكي تسمح للمبرمج تضمين محسن CPLEX في لغات C++, Java و Net. 0.

جدول 2.3 مجموعة من الملفات التي تحتوي المكتبات [23]

	Microsoft Windows	UNIX
C++	ilocplex.lib concert.lib	libilocplex.a libconcert.a
Java	cplex.jar	cplex.jar
.NET	ILOG.CPLEX.dll ILOG.Concert.dll	

CPLEX Callable Library 3.3.3.3

هي مكتبة C التي تسمح للمبرمج تضمين محسن Cplex في التطبيقات المكتوبة بلغة C، Visual Basic، Fortran أو أي لغة برمجة أخرى تقوم بنداء لغة C.

تدعم المكتبات ملفات cplexXXX.lib و cplexXXX.bll في منصة Windows وlibcplex.a، libcplex.so، libcplexl.sl على منصة UNIX [23].

4.3.3 خيارات التحسين

جدول 3.3 ملخص للخيارات

	LP	Network	QP	QCP	MIP
Dual Optimizer	Yes		Yes		
Primal Optimizer	Yes		Yes		
Barrier Optimizer	Yes		Yes	Yes	

Mixed Integer Optimizer					Yes
Network Optimizer	Note1	Yes	Note1		

Note1: يجب أن تحتوي المشكلة (Extractable network substructure).

يؤثر اختيار المحسن والمعاملات بشكل كبير في سرعة الحل. ويقوم دليل المستخدم الخاص بوصف كل محسن وتزويد اقتراحات للحد الأقصى للأداء حيث نلاحظ مميزات ومعاملات حسابات فريدة (Unique) لكل محسن [23].

[24] AMPL 4.3

وهي لغة البرمجة الرياضية وفيما يلي شرح مفصل عنها.

1.4.3 مقدمة

AMPL هي لغة النمذجة الجبرية وهي قوية وشاملة وتستخدم لتحسين المشاكل الخطية وغير الخطية في المتغيرات المستمرة والمتقطعة.

تمكن هذه اللغة من استخدام الملاحظات والمفاهيم المألوفة لإستنباط نماذج لتحسين واختبار الحلول، وهي من أكثر لغات النمذجة الرياضية الستخدمة.

مثال لتحويل مشكلة إلى AMPL:

Min $2x_1 - x_2 + 4x_3$ #problem

s.t. $x_1 + x_2 + x_2 \leq 2$

$3x_2 - x_3 = 5$

$x_3 + x_4 = 3$

$x_1 \geq 0$

$x_3 \leq 0$

Ampl: var x_1;

Ampl: var x_2;

Ampl: var x_3;

Ampl: var x4;

Ampl: minimize cost: $2 * x_1 - x_2 + 4 * x_3$;

Ampl: subject to con1. $x_1 + x_2 + x_2 \leq 2$; #constraints

Ampl: subject to con2: $3 * x_2 - x_3$

Ampl: subject to con3:$x_3 + x_4 >= 3$;

Ampl: subject to con4: $x_1 \geq 0$;

Ampl: subject to con5: $x_3 \leq 0$;

Ampl: solve;

MINOS 5.5 infeasible problem

0 iterations

تقوم ampl بوصف المشكلة وتستخدم MINOS لحلها.

:SOLVER

هو تطبيق يقوم بحل المشاكل فعلياً والوصول إلى النتائج. هنالك عدد من solver تعمل مع ampl يستخدم minos على أنه الإفتراضي ولكن يمكن تغييره عن طريق الأمر التالي:

Ampl: option solver; # display current solver

Option solver MINOS

Ampl: option solver CPLEX;

Ampl: option solver;

Option solver CPLEX;

لكل solver مميزاته الخاصة المختلفة عن البقية. يستخدم البعض لحل مشكلات التحسين الخطي (linear optimization) والآخر يكون مناسب لحل مشاكل التحسين غير الخطية (non linear optimization) ويعتمد ذلك على تعقيد الخوارزميات المطبقة.

من ال solver الأخرى الشهيرة MINOS، Gurobi، SNOPT، CLP/CBC وKNITRO.

2.4.3 بناء برنامج (AMPL)

برنامج (ampl) الكامل يجب أن يتكون من ثلاثة أجزاء:

1. ملف النموذج (.mod file).
2. ملف البيانات (.dat file).
3. ملف أوامر إجراء التنفيذ (.run file).

النموذج (model):

يقوم بوصف النموذج الرياضي الذي سيحتوي على المتغيرات، والمعاملات، والدوال المجردة، والقيود ...الخ.

البيانات (Data):

مجموعة البيانات المستخدمة في النموذج مثلاً تعريف المعاملات داخل النموذج.

أوامر التنفيذ (Running Command):

يقوم هذا الأمر بدمج النموذج مع البيانات ووضع الخيار المناسب لل ampl وsolver وعرض النتيجة.

3.4.3 تعريف النموذج (Model Declaration)

```
ampl: model;
ampl: set N;
ampl: param distance {i in N};
ampl: var x {i in N} >=0;
ampl: minimize cost: sum {i in N} x[i];
ampl: s.t. c_1 {i in N}: x [i] >=distance[i];
...
ampl: # or simply import a .mod file
ampl: model dis.mod;
```

أجزاء تعريف النموذج الرياضي:

SET : كلمة محجوزة تستخدم لتعريف مجموعة منتهية من العناصر.

PARAM : يستخدم لتعريف المعاملات.

VAR : يستخدم لتعريف المتغيرات.

MAXIMIZE\ MINIMIZE : تستخدم لتحديد نوع دالة الهدف.

Subject to(s.t.) : دلالة على القيود.

4.4.3 إسناد البيانات (Data Assignment)

بعد تعريف المجموعات والعوامل يتم إسناد القيم لها عن طريق استخدام بعض الأوامر فيكون استخدام الأمر data يتبعه إسناد القيم للمجموعة كما موضح أدناه:

```
ampl: model dietu.mod;
ampl: data;
ampl data: set MINREQ: = A B1 B2 C CAL;
ampl data: set MAXREQ: = A NA CAL;
ampl: # import data specification from a .dat file:
ampl: data dietu.dat;
```

في بعض الأحيان نحتاج لإسناد بيانات كبيرة مثل السلاسل الزمنية. يمكن إسناد هذه البيانات بوضع قوسين كالآتي:

```
ampl: set TIME: = {1...100};
```

{1…100} تعني أن الزمن يزيد بمعدل وحدة زمنية واحدة.

يوجد أيضاً المجموعات المكونة من بعدين:

```
ampl data: set LINKS: =
(GARY, DET) (GARY, LAN) (GARY, STL) (GARY, LAF) (CLEV, FRA)
(CLEV, DET) (CLEV, LAN) (CLEV, WIN) (CLEV, STL) (CLEV, LAF)
(PITT ,FRA) (PITT ,WIN) (PITT ,STL) (PITT ,FRE) ;
```

5.4.3 الخوارزميات المستخدمة لحل المشاكل عن طريق (solvers)

1. الخوارزمية الخطية المبسطة ((Linear (simplex): وتحتوي على أهداف وقيود خطية تستخدم الأشكال المتنوعة من الطريقة المبسطة (simplex method) للحل.
2. الخوارزمية الأساسية الخطية ((Linear (interior): أيضاً تحتوي على أهداف وقيود خطية لكنها تستخدم الأشكال المتنوعة من دالة الحجز ((Linear (interior).
3. خوارزمية الشبكة (Network):

تحتوي أهداف خطية وقيود تحتوي التدفق في الشبكة وتستخدم الأشكال المتنوعة من دالة الشبكة المبسطة (Network simplex method).

4. الخوارزمية التربيعية (Quadratic):

تحتوي قيوداً خطية وتستخدم الطريقتين المبسطة والأساسية في الحل.

5. الخوارزمية غير الخطية (Nonlinear):

ليست كل الأهداف والقيود فيها خطية وتستخدم طرق متعددة للحل منها reduced gradient و quasi-newton وتنقسم هذه الخوارزمية إلى:

أ- التحدب غير الخطي (Nonlinear convex).

ب- العالمي الغير خطي (Nonlinear global).

6. خوارزمية التكامل (Complementarity):

أهدافها وقيودها خطية وغيرخطية مع شروط تكامل إضافية.

7. الخطية الصحيحة (Integer linear):

أهدافها وقيودها خطية.

8. غير الخطية الصحيحة (Integer non-linear):

ليست كل الأهداف والقيود فيها خطية.

بعد تحديد النموذج والبيانات يتم تنفيذ بعض الأوامر لحل المشكلة، فيقوم ال solver بعمله والحصول على حل المشكلة. وإذا كانت المشكلة غير قابلة للحل أو غير محددة يقوم أيضاً بإعطاء رسالة لتوضيح سبب عدم حلها.

طرق الحل المختلفة التي يتم استخدامها لها أيضاً خوارزميات مختلفة تستخدمها. لذلك قد تكون النتائج مختلفة عند حلها بأكثر من خوارزمية.

للحصول على الحل الأمثل يتم استخدام الأمر display لمعرفة قيم المتغيرات، يمكن كذلك حفظ النتائج في ملف باستخدام العلامة ">".

5.3 الخلاصة

تناولنا في هذا الباب الدراسات السابقة والأدوات والتقنيات المستخدمة في البحث، وسنوضح في الباب التالي المنهجية المُتبعة في البحث.

الباب الرابع

منهجية البحث

1.4 مقدمة

يعتبر ربط المدن الموجودة في بلد واحد فيما بينها بشبكة إتصال ذا أهمية كبيرة نظراً لاستخدامها في تبادل المعلومات والبيانات بين هذه المدن. ولما كانت التكلفة العالية واحدة من عوائق نقل البيانات كان لابد من إيجاد أمثل طريقة لربط المدن المختلفة في الشبكة. يكون ذلك عن طريق تحديد المدن التي سيتم ربطها مباشرة بالليف الضوئي وعدد هذه الألياف، ويعتمد ذلك على المسافة بين المدن وعدد خطوط الربط المطلوب بينها.

أدت الزيادة الملحوظة في استخدام المعاملات الإلكترونية والمواقع الإلكترونية إلى الحاجة الماسة لتخزين البيانات المستخدمة والمتبادلة بين المستخدمين، كما يحتاج تخزين هذه البيانات إلى تكلفة عالية عانت منها الشركات والمؤسسات لتحويل معظم المعاملات من ورقية إلى إلكترونية. كذلك زادت الحاجة لتخزين النُسخ الإحتياطية للبيانات، لأن تخزين البيانات في موقع واحد يعرضها للتلف والضياع والكوارث الطبيعية.

طريقة الربط المستخدمة في السودان لنقل البيانات بين المدن لها مشاكل عديدة منها: التكلفة العالية، بسبب بعد المسافات بين المدن، وتخزين البيانات في مكان واحد مما يشكل خطورة على هذه البيانات. لذلك تأتي الحاجة لاختيار أفضل موقع أو مواقع لإنشاء مراكز البيانات اعتماداً على أقل تكلفة.

الشبكة المراد ربطها هي شبكة تربط مدن السودان بالألياف الضوئية، وتمثل كل عقدة في الشبكة مدينة من مدن السودان.

بعد الحصول على أفضل طريقة لربط مدن السودان، يتم إيجاد أفضل مدن في الشبكة لإنشاء مراكز البيانات اعتماداً على عدد المراكز المطلوبة وكمية البيانات التي يتم تخزينها واسترجاعها منها.

تم استخدام (IP over WDM) لنمذجة الربط بين مدن السودان باعتبارها من أحدث التقنيات وتمثل الجيل القادم [16]عليه يمكن الحصول على شبكة مستقلة تجمع بين الحداثة وتكلفة التشغيل الأقل.

2.4 وصف تحويل المعادلات

تم تحويل المعادلات المكونة من المعاملات، والمتغيرات والمجموعات والتي تمت صياغتها بنموذج البرمجة الخطية بالأعداد الصحيحة المختلطة (MILP) إلى لغة البرمجة الرياضية (AMPL) باستخدام محلل البرمجة الخطية (CPLEX).

3.4 مجموعات ومعاملات ومتغيرات معادلات البرمجة الخطية

فيما يلي نوضح المجموعات والمعاملات والمتغيرات التي تم استخدامها في معادلات البرمجة الخطية بالأعداد الصحيحة:

1.3.4 المجموعات (Sets)

N مجموعة العقد

Nm_i مجموعة العقد المتجاورة

2.3.4 المعاملات (Parameters)

Cp تكلفة مَنْفذ المُوَجِّه

Co_i تكلفة المحول الضوئي

Ct تكلفة المتلقيات

Ca تكلفة المكبر

Cmd تكلفة المجمع/المفرق

B سعة الموجة الضوئية في الليف الضوئي

W عدد الموجات الضوئية في الليف الضوئي

Amp_{ij} المكبر المستخدم على كل ليف ضوئي في الرابط الفيزيائي بين العقدة i و j

D_{ij} البعد بين العقدة i و j

S البعد بين أي مكبرين

λ^{xy} الطلب بين العقدتين x و y

Cd تكلفة مركز البيانات

Ru معدل تخزين البيانات في مركز البيانات إلى طلب البيانات العادية

Rd معدل تحميل البيانات من مركز البيانات إلى طلب البيانات العادية

DCMax أقصى عدد من مراكز البيانات

MinLink أقل عدد من الوصلات للعقدة الواحدة

3.3.4 المتغيرات (Variables)

$Pagg_i$ المنافذ المجمعة المستخدمة في العقدة i

f_{ij} الليف الضوئي المستخدم على الرابط الفيزيائي من العقدة i إلى j

λ_{ij}^{xy} مرور البيانات من العقدة i إلى j التابع للمصدر x والوجهة y

$\lambda_{u_{ij}}^{xy}$ مرور البيانات في حالة التخزين من العقدة i إلى العقدة j التابع للمصدر x والوجهة y

$\lambda_{d_{ij}}^{xy}$ مرور البيانات في حالة التحميل من العقدة i إلى العقدة j التابع للمصدر x والوجهة y

w_{ij}^{xy} الموجات الضوئية على الرابط من العقدة i إلى j التابع للعقدة x والعقدة y

w_{ij} الموجات الضوئية على الرابط من العقدة i إلى العقدة j

V_{ij} الموجات الضوئية التابعة للرابط الافتراضي من العقدة i إلى العقدة j

α_{ij} يساوي 1 في حالة العقدة i متصلة مع العقدة j ويساوي 0 في حالة عدم اتصال العقدتين

δ_i يساوي 1 في حالة وجود مركز بيانات في العقدة i و0 في حالة عدم وجود مركز بيانات

4.3.4 المعادلات التي توضح تكلفة العمليات (Operational Cost)

(1) منفذ الموجه الذي يحتوي على المنافذ المجمعة وبروتوكول الإنترنت (IP):

$$\sum_{i \in N} Cp(Pagg_i + \sum_{j \in N: i \neq j} V_{ij})$$

(2) المحول الضوئي:

$$\sum_{i \in N} Co_i$$

(3) المتلقيات:

$$\sum_{i \in N} \sum_{j \in Nm_i} Ct. w_{ij}$$

(4) المكبرات:

$$\sum_{i \in N} \sum_{j \in Nm_i} Ca. \left\lceil \frac{D_{ij}}{S} - 1 \right\rceil + 2. f_{ij}$$

(5) المجمع/المفرق:

$$\sum_{i \in N} \sum_{j \in Nm_i} Cmd. f_{ij}$$

(6) تكلفة مركز البيانات:

$$\sum_{i \text{ in } Nm_i} \delta_i . Cd$$

4.4 نموذج تحسين ربط الشبكة

توضح معادلات نموذج ربط الشبكة كيفية تحسين طريقة ربط مدن السودان عن طريق دالة الهدف لتقليل تكلفة تشغيل الشبكة. من العوامل التي يتم أخذها في الإعتبارالبعد بين هذه المدن، وطول الرابط، وكمية البيانات المطلوبة.

1.4.4 دالة الهدف لنموذج تحسين ربط الشبكة

الهدف هو تقليل الطول الكلي للألياف الضوئية في الشبكة كالآتي:

Minimize:

$$\sum_{i \in N} \sum_{j \in N: i \neq j} \propto_{ij} * D_{ij}$$

2.4.4 مجموعة قيود نموذج تحسين ربط الشبكة

يتضمن النموذج مجموعة من قيود السعات والتدفق ويتم تمثيلها كالتالي:

$$\sum_{x \in N} \sum_{y \in N} w_{ij}^{xy} \leq W. f_{ij} \qquad (1)$$

$$\forall i \in N, j \in N: i \neq j$$

$$\sum_{x \in N} \sum_{y \in N: x \neq y} w_{ij}^{xy} <= w_{ij} \qquad (2)$$

$$\forall i \in N, j \in N: i \neq j$$

$$\sum_{j \in N} w_{ij}^{xy} - \sum_{j \in N} w_{ij}^{xy} \qquad (3)$$

$$= \begin{cases} V_{xy} & i = x \\ -V_{xy} & i = y \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\forall i, x, y \in N$$

$$\sum_{j\in N:i\neq j}\lambda_{ij}^{xy}-\sum_{j\in N:i\neq j}\lambda_{ij}^{xy} \qquad (4)$$

$$=\begin{cases}\lambda^{xy} & i=x\\ -\lambda^{xy} & i=y\\ 0 & \text{otherwise}\end{cases}$$

$$\forall i,x,y\in N$$

$$\sum_{i\in N,j\in N:i\neq j}\propto_{ij}\geq \text{MinLink} \qquad (5)$$

$$\sum_{x\in N}\sum_{y\in N}\lambda_{ij}^{xy}\leq V_{ij}.B \qquad (6)$$

$$\forall i\in N,j\in N$$

$$\text{Pagg}_i=\sum_{y\in N}\lambda^{iy}/B \qquad (7)$$

$$\forall i\in N$$

$$f_{ij}\leq 1000*\propto_{ij} \qquad (8)$$

$$\forall i\in N,j\in N:i\neq j$$

يحدد القيد (1) والقيد (2) عدد الموجات الضوئية والألياف بين كل عقدتين في الشبكة. يضمن القيد (3) والقيد (4) المحافظة على تدفق البيانات في الطبقة الفيزيائية وطبقة بروتوكول الإنترنت. يضمن القيد (5) ارتباط كل مدينة بالعدد الأدنى للمدن المسموحة. يحسب القيد (6) سعة المسار الضوئي بين العقد. يحسب القيد (7) عدد المنافذ المجمعة من البيانات المطلوبة (demand) اعتماداً على السعة. القيد (8) يضمن عدم وجود ألياف بين عقدتين غير متصلتين.

5.4 نموذج تحسين مواقع مراكز البيانات

تمكن معادلات تحسين مواقع مراكز البيانات من الوصول لأفضل موقع يمكن وضع مركز البيانات فيه بعد الحصول على أفضل طريقة لربط المدن. تتكون أيضاً من دالة هدف (Objective Function) لتقليل تكلفة العمليات (Operational cost) في الشبكة والتي تقوم بحساب تكلفة منفذ الموجه (Router Port) الذي يتضمن المنافذ المجمعة (Aggregation port) وتكلفة المُحول الضوئي (Optical Switch) وتقليل أعداد

الليف الضوئي (Optical Fiber) ما أمكن لتفادي التكلفة العالية في الشبكة وهذا يؤدي إلى تقليل تكلفة المضخم (Amplifier) والمجمع (Multiplexer).

1.5.4 دالة الهدف لنموذج تحسين مواقع مراكز البيانات

الهدف هو تقليل تكلفة العمليات بتقليل تكلفة مكونات الشبكة كالآتي:

Minimize:

$$\left[\sum_{i\in N} Cp\left(Pagg_i + \sum_{j\in N} V_{ij}\right)\right.$$

$$+\sum_{i\in N} Co_i$$

$$\left.+\sum_{i\in N}\sum_{j\in Nm} Ct.w_{ij}+\sum_{i\in N}\sum_{j\in Nm} Ca.Amp_{ij}.f_{ij}+\sum_{i\in N}\sum_{j\in Nm} Cmd.f_{ij}+\sum_{i\in N} \delta_i.Cd\right]$$

2.5.4 مجموعة قيود نموذج تحسين مواقع مراكز البيانات

يخضع نموذج تحسين مواقع مراكز البيانات للقيود التالية:

$$\sum_{x\in N}\sum_{y\in N} w_{ij}^{xy} \le W.f_{ij} \qquad (1)$$

$$\forall i \in N, j \in Nm_i$$

$$\sum_{x\in N}\sum_{y\in N:x\neq y} w_{ij}^{xy} <= w_{ij} \qquad (2)$$

$$\forall i \in N, j \in Nm_i$$

$$Pagg_i = \sum_{y\in N:y\neq i} \frac{\lambda^{iy} + \lambda^{iy}.Ru.\delta_y + \lambda^{iy}.Rd.\delta_y}{B} \qquad (3)$$

$$\forall i \in N$$

$$\sum_{x\in N}\sum_{y\in N:x\neq y} \left(\lambda_{ij}^{xy} + \lambda_u_{ij}^{xy} + \lambda_d_{ij}^{xy}\right) \le V_{ij}.B \qquad (4)$$

$$\forall i, j \in N$$

$$\sum_{j \in Nm_i} w_{ij}^{xy} - \sum_{j \in Nm_i} w_{ij}^{xy} = \begin{cases} V_{xy} & i = x \\ -V_{xy} & i = y \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

$$\forall i, x, y \in N$$

$$\sum_{j \in N: i \neq j} \lambda_{ij}^{xy} - \sum_{j \in N: i \neq j} \lambda_{ij}^{xy} = \begin{cases} \lambda^{xy} & i = x \\ -\lambda^{xy} & i = y \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (6)$$

$$\forall i, x, y \in N$$

$$\sum_{j \in N: i \neq j} \lambda_u_{ij}^{xy} - \sum_{j \in N: i \neq j} \lambda_u_{ij}^{xy} \quad (7)$$

$$= \begin{cases} \lambda^{xy} . Ru. \delta_y & i = x \\ -\lambda^{xy} . Ru. \delta_y & i = y \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\forall i, x, y \in N$$

$$\sum_{j \in N: i \neq j} \lambda_d_{ij}^{xy} \quad (8)$$

$$- \sum_{j \in N: i \neq j} \lambda_d_{ij}^{xy} \begin{cases} \lambda^{xy} . Rd. \delta_x & i = x \\ -\lambda^{xy} . Rd. \delta_x & i = y \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\forall i, x, y \in N$$

$$\sum_{i \in N} \delta_i = DCMax \quad (9)$$

يحدد القيد (1) والقيد (2) عدد الموجات الضوئية والألياف بين كل عقدتين. يحسب القيد (3) عدد منافذ التجميع في كل عقدة عند الاستخدام المعتاد، وحالة التخزين، وحالة التخزين والتحميل إذا كانت العقدة تمثل مركز بيانات. يستخدم القيد (4) لحساب سعة المسار الضوئي بين العقد. يضمن القيد (5) والقيد (6) المحافظة على تدفق البيانات في الطبقة الفيزيائية وطبقة بروتوكول الإنترنت. يستخدم القيد (7) لحساب مرورالبيانات في حالة التخزين في طبقة بروتوكول الإنترنت. والقيد (8) لحساب مرور البيانات في حالة التحميل، ويكون عندما تحوي العقدة مركز بيانات. يفرض القيد (9) وجود عدد مراكز البيانات المطلوبة في الشبكة.

نشير إلى أنه تم اشتقاق معادلات النموذجين استناداً إلى المعادلات القياسية لتحسين الشبكات الضوئية والواردة في [18].

6.4 المصفوفات

فيما يلي شرح لأهم مصفوفات الإدخال والإخراج المستخدمة في المعادلات:

1.6.4 مصفوفات المدخلات (Input arrays)

وتتضمن مصفوفات المدخلات: مصفوفة الأبعاد ومصفوفة طلب البيانات.

مصفوفة الابعاد: وهي ذات خمسة عشر صفاً وخمسة عشر عموداً يمثل كل عنصر فيها البعد بين مدينتين.

مصفوفة طلب البيانات: والتي تم تكوينها عن طريق الدالة ((Uniform(min , max) التي تقوم بتوليد أرقام تمثل طلب البيانات بين المدن مع الأخذ في الإعتبار أن متوسط طلب البيانات بين المدن 130Gb\s. تم استخدام أرقام عشوائية لعدم توفر بيانات لمقدار طلب البيانات بين مدن السودان المختلفة وتم استخدام المتوسط العالمي لطلب البيانات بين أي مدينتين متصلتين بالإنترنت.

2.6.4 مصفوفات المخرجات (Output arrays)

وتتضمن نوعين من المخرجات هما:

1.2.6.4 مخرجات نموذج تحسين طريقة الربط

بعد تنفيذ برنامج تحسين ربط الشبكة يكون الناتج مصفوفة وهي ذات خمسة عشر صف وعمود توضح طريقة ربط المدن (Topology) وتتكون عناصرها من الرقمين 1 و0، الرقم 1 يعني أن المدينتين متصلتين مباشرة بالليف الضوئي و0 تعني عدم وجود ربط مباشر بين المدينتين.

نلاحظ أن مصفوفة قيود الربط يتم استخدامها كمدخل في نموذج تحسين مواقع مراكز البيانات لتحديد موقع مركز البيانات بناء على تجاور وربط العقد.

2.2.6.4 مخرجات أماكن مراكز البيانات

بعد تنفيذ برنامج تحسين مواقع مراكز البيانات بالشبكة يكون الناتج أيضاً مصفوفة من خمسة عشر عنصر توضح موقع مراكز البيانات. تتكون عناصرها من الرقمين 1 و0، الرقم 1 يعني وجود مركز بيانات في المدينة المعينة و0 يعني عدم وجود مركز بيانات بتلك المدينة.

7.4 مدن السودان

تم اختيار خمسة عشر مدينة من كبرى مدن السودان لإجراء هذه الدراسة. يوضح جدول 1.4 البعد بين مدينة الخرطوم وبقية المدن [25] وتم حساب المسافة بين كل مدينة والمدن الأخرى لتكون مدخلات لنموذج تحسين ربط الشبكة. يوضح الجدول 1.4 مثال لهذه المسافات حيث يوضح البعد بين مدينة الخرطوم وبقية المدن.

يحتوي ملحق (أ) على الأبعاد بين جميع مدن السودان في هذه الدراسة.

جدول 1.4 البعد بين مدينة الخرطوم وبقية المدن [25]

المدينة 1	المدينة2	البعد بين المدينتين بالكيلومتر
الخرطوم	الخرطوم	0 كلم
الخرطوم	بورتسودان	673 كلم
الخرطوم	وادي حلفا	712 كلم
الخرطوم	كسلا	412 كلم
الخرطوم	القضارف	298 كلم
الخرطوم	الدمازين	456 كلم
الخرطوم	كادوقلي	587 كلم
الخرطوم	الرهد	372 كلم
الخرطوم	نيالا	914 كلم
الخرطوم	الجنينة	1111 كلم
الخرطوم	دنقلا	462 كلم
الخرطوم	الابيض	373 كلم
الخرطوم	سواكن	640 كلم
الخرطوم	أبوحمد	456 كلم
الخرطوم	مروي	339 كلم

8.4 الخلاصة

تناولنا في هذا الباب منهجية البحث، حيث تم تكوين المعادلات وشرحها وشرح المصفوفات المدخلة والمخرجة من النماذج. يستعرض الباب التالي النتائج التي حصلنا عليها بعد تنفيذ نماذج التحسين بالتفصيل، ومناقشة هذه النتائج.

الباب الخامس

النتائج

1.5 مقدمة

يتناول هذا الباب عرض النتائج وتحليلها وتتضمن نتائج نموذج تحسين طريقة ربط الشبكة ونتائج نموذج تحسين مواقع مراكز البيانات.

تم الحصول على هذه النتائج باستخدام نموذجين، الأول لتحسين طريقة ربط مدن الشبكة، والآخر لتحسين مواقع مراكز البيانات. يتم حفظ النموذج في ملف (.mod) وقيم المدخلات في ملف (.dat) لتنفيذه.

يحتوي النموذج الأول معادلات لتقليل الطول الكلي للألياف الضوئية المستخدمة لربط الشبكة في ظل قيود الربط والسعات وتدفق البيانات التي تم شرحها في الباب الرابع. تم تنفيذ النموذج بعد مده بالمدخلات التي تم تعريفها مسبقاً.

أما النموذج الثاني فيحتوي على معادلات لتقليل التكلفة الكلية للعمليات في الشبكة متمثلة في الطاقة الكهربية المستهلكة في توصيل البيانات. يتم استخدام طريقة الربط المثلى والتي حصلنا عليها من النموذج الأول كمدخل لهذا النموذج لتحديد أفضل مواقع لمراكز البيانات.

لتنفيذ النموذجين، تمت صياغة المعادلات باستخدام البرمجة الخطية بالأعداد الصحيحة المختلطة (MLIP). تم تطبيق وحل النماذج باستخدام محلل البرمجة الخطية AMPL/CPLEX والذي يستخدم الدالة Dual Simplex في حل المعادلات لإيجاد الحل الأمثل [19]. في هذه الدراسة تم استخدام جهاز TOSHIBA، نظام التشغيل WINDOWS 7 Ultimate ومعالج Intel® Core™ i3-3120M CPU@ 2.50GHz 2.50GHz وذاكرة وصول عشوائي (RAM) حجمها 6.00GB ونوع نظام التشغيل 64-bit، كما يستغرق زمن التنفيذ لكل نموذج على حسب تكرار دالة الهدف ما بين 7 ثوانٍ إلى 6 ساعات.

يعرض نموذج ربط الشبكة نتيجة ربط المدن وهي عبارة عن مصفوفة تحتوي على خمسة عشر صف وخمسة عشر عمود. يحتوي كل صف وعمود على القيم 1 و0 الرقم 1 يعني ارتباط المدينتين بالألياف الضوئية والرقم 0 يعني عدم ارتباطهما.

يعرض نموذج تحسين مواقع مراكز البيانات نتيجة اختيار أفضل موقع لإنشاء مراكز البيانات وهي عبارة عن مصفوفة تحتوي على عمودين وخمسة عشر صف. العمود الأول يوضح أرقام المدن (15 مدينة) والعمود الثاني يوضح مواقع مراكز البيانات. ويحتوي هذا العمود على القيمة 1 أو 0 حيث تعني القيمة 1 وجود مركز بيانات والقيمة 0 تعني عدم وجود مركز بيانات في المدينة المعينة.

2.5 تحسين طريقة ربط مدن السودان

يعمل البرنامج للوصول لأفضل طريقة لربط المدن عن طريق اختيار قيم المتغيرات وطريقة الربط مع الإلتزام بالقيود، ومن ثم حساب الطول الكلي للألياف الضوئية في الشبكة واللازمة لتوصيل البيانات المطلوبة بين المدن. يتم تكرار هذه العملية ومقارنة قيمة دالة الهدف مع كل تكرار حتى يتم الوصول لأقل طول كلي للألياف الضوئية في ظل القيود المفروضة. عندها يكون النموذج قد تحصل على أفضل طريقة لربط المدن. ويتم تخزين ذلك في مصفوفة المخرجات.

1.2.5 المدخلات

تعتبر المدخلات هي العوامل الأساسية التي تؤثرعلى اختيار طريقة ربط المدن للحصول على أفضل طريقة ربط. كانت المدخلات الأساسية لهذا النموذج عبارة عن مصفوفة الطلب على البيانات وسيرها من مدينة إلى أخرى ومصفوفة المسافات بين المدن.

تعتبر مصفوفة الأبعاد بين المدن هي العامل الأساسي الذي عن طريقه تم اختيار عدد الروابط بين كل مدينة وأخرى، ومن ثَم تكوين طريقة ربط المدن (Topology).

تتكون مصفوفتي الأبعاد طلب البيانات من 15 صف و15 عمود موضحة في جدول 1.5 مصفوفة الأبعاد بين المدن بالكيلومترات [25] وجدول 2.5 مصفوفة طلب البيانات. تمثل الأرقام من 1 إلى 15 رقم المدينة. فمثلا، في مصفوفة الأبعاد يمثل الرقم 1 مدينة الخرطوم والرقم 2 مدينة بورتسودان. والمسافة بين الخرطوم وبورتسودان هي 673 كيلومتر. وفي مصفوفة طلب البيانات هنالك طلب ل 61 قيقابت/ثانية من الخرطوم إلى بورتسودان و186 قيقابت/ثانية من بورتسودان إلى الخرطوم.

جدول 1.5 مصفوفة الأبعاد بين المدن بالكيلومترات [25]

#	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	0	673	712	412	298	456	587	372	914	1111	462	373	460	456	339
2	673	0	655	470	652	924	1250	1039	1564	1715	710	1034	58	408	582
3	712	655	0	882	963	1158	1213	1013	1285	1324	310	967	689	323	373
4	412	470	882	0	231	465	877	692	1301	1518	752	713	417	559	592
5	298	652	963	231	0	254	651	478	1163	1341	739	511	625	636	593
6	456	924	1158	465	254	0	512	415	1030	1302	918	474	875	869	791
7	587	1250	1213	877	651	512	0	215	539	833	909	247	1216	1024	860
8	372	1039	1013	692	478	415	215	0	631	890	715	69	1007	810	652
9	914	1564	1285	1301	1103	1030	539	631	0	305	1064	593	1546	1228	1031
10	1111	1715	1324	1518	1341	1302	833	890	305	0	1064	840	1706	1314	1145
11	462	710	310	752	739	918	909	715	990	1064	0	664	721	302	160
12	373	1034	967	317	511	474	247	69	593	840	664	0	1006	781	613
13	640	58	689	417	625	875	1216	1007	1546	1706	721	1006	0	423	585
14	456	408	323	559	636	869	1024	810	1228	1314	302	781	423	0	198
15	339	582	373	592	593	791	860	652	1031	1145	160	613	585	198	0

لحساب تكلفة العمليات في الشبكة، تم اختيار استهلاك الطاقة الكهربية، لكونها من العوامل الرئيسية المؤثرة على التكلفة الكلية لتشغيل الشبكة. يوضح

جدول 3.5 قيم المعاملات [**18**] قيم المدخلات للنموذج حيث يوضح استهلاك الطاقة الكهربية لأجهزة الشبكة ومواصفات الموجات الضوئية ومراكز البيانات إضافة إلى كمية حركة تحميل وتخزين البيانات.

جدول 2.5 مصفوفة طلب البيانات

#	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	0	61	222	230	43	177	141	77	96	109	166	146	227	99	20
2	186	0	75	193	204	149	64	75	137	56	25	93	197	160	185
3	127	28	0	125	88	152	105	230	150	187	32	88	52	88	193
4	132	78	192	0	77	156	112	38	203	184	206	108	135	235	227
5	105	34	51	154	0	201	85	197	123	47	107	34	197	72	20
6	172	122	202	52	92	0	140	112	86	111	137	179	210	128	130
7	174	179	147	162	68	117	0	44	204	197	139	134	94	22	55
8	100	106	236	229	237	20	123	0	213	167	42	114	23	131	127
9	48	176	174	199	126	50	66	133	0	61	147	178	42	231	203
10	34	59	166	182	181	155	220	65	217	0	141	136	188	219	122
11	208	108	86	234	231	231	232	26	119	236	0	98	197	56	181
12	145	107	206	23	119	26	62	57	119	96	49	0	95	29	156
13	140	139	103	139	83	54	51	129	177	51	130	111	0	57	148
14	239	171	24	90	32	72	68	21	196	21	104	66	163	0	235
15	130	131	178	136	174	128	110	75	189	28	53	211	131	209	0

جدول 3.5 قيم المعاملات [18]

S البعد بين أي مكبرين	80(km)
W عدد الموجات الضوئية في الليف الضوئي	16
B سعة الموجة الضوئية في الليف الضوئي	40(Gb/s)
Cp تكلفة مَنْفذ المُوَجِّه	400(W)
Ct تكلفة المتلقيات	73(W)
Ca تكلفة المكبر	8(W)
Co تكلفة المحول الضوئي	85(W)
Cmd تكلفة المجمع/المفرق	16(W)
Ru نسبة طلب تخزين البيانات في مركز البيانات إلى الطلب العادي	1.0
Rd نسبة طلب تحميل البيانات من مركز البيانات إلى الطلب العادي	7.5
DCMax أقصى عدد من مراكز البيانات	6
Cd تكلفة مركز البيانات	100000(w)

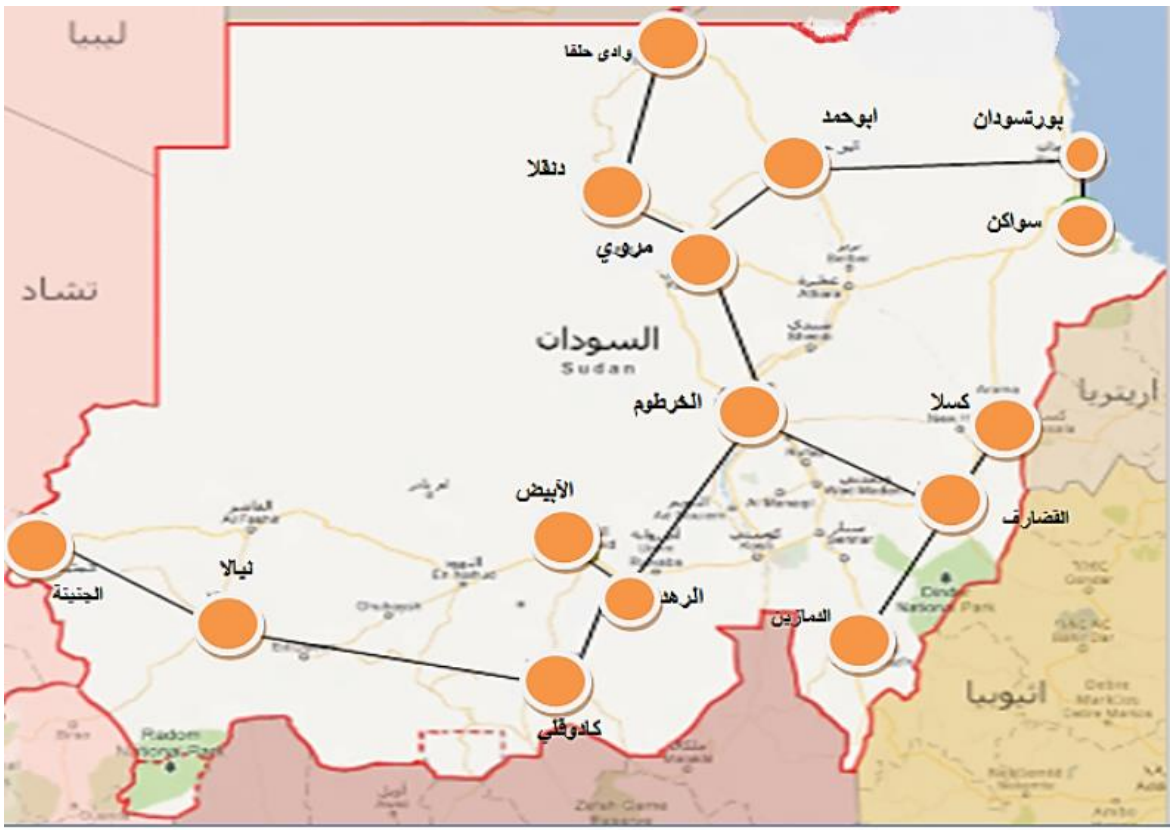
2.2.5 المخرجات

وتنقسم إلى قسمين هما:

1.2.2.5 طلب البيانات العادي

تم تنفيذ البرنامج بناءً على المسافات بين المدن التي تم استخدامها في هذا البرنامج كمدخلات وبالإضافة للعوامل والمتغيرات المكونة لمجموعة القيود كطول الرابط، ونوع الرابط، وكمية البيانات، وتحديد أن تكون كل مدينة مربوطة بمدينة واحدة على الأقل. وكانت النتيجة التي تم التوصل اليها أنه تم ربط المدن مع بعضها كما هو موضح بالخريطة في شكل 1.5 أفضل طريقة لربط مدينة واحدة بمدينة أو أكثر [26]، حيث أن سير البيانات من مدينة إلى أخرى سوف يتبع هذا المسار.

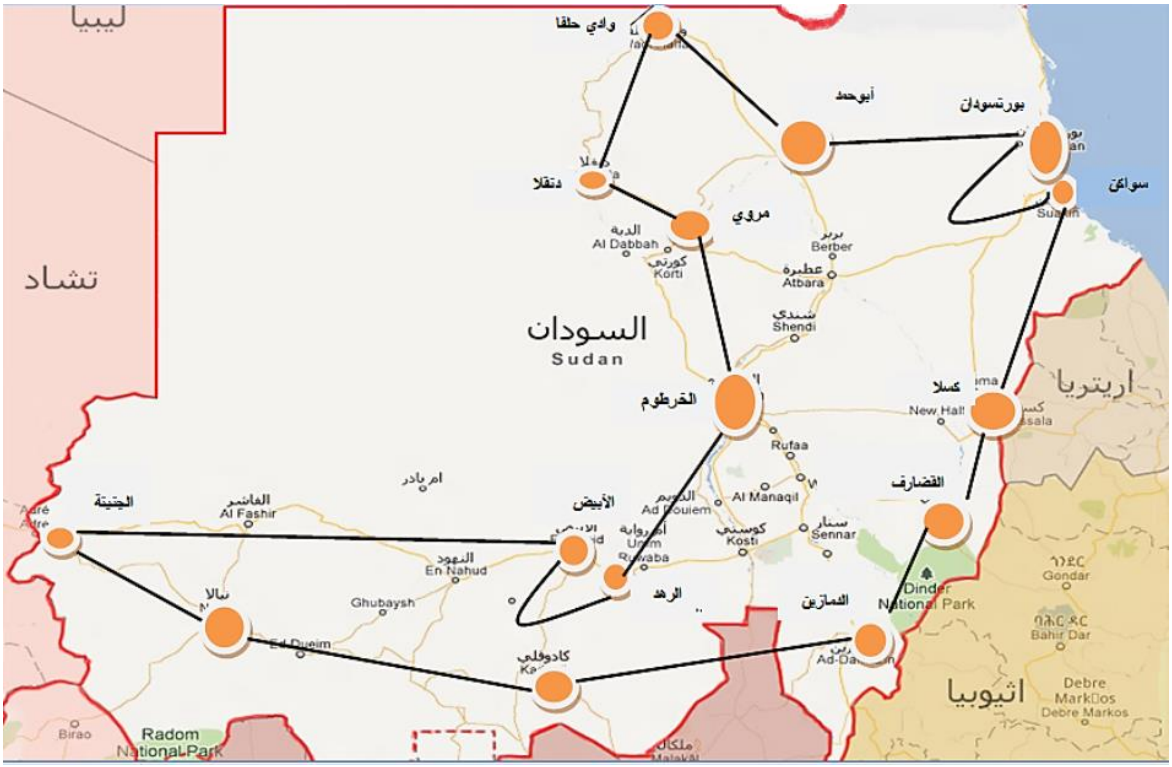
يجدر الإشارة هنا أنه لا يُفضل ربط المدينة بالشبكة عن طريق مسار واحد فقط، لأن ذلك لا يوفر إعتمادية جيدة للشبكة في حالة إنقطاع هذا المسار الوحيد. عليه يجب ربط المدينة الواحدة بمدينتين أو أكثر لضمان عدم إنفصال المدينة عن الشبكة.



شكل 1.5 أفضل طريقة لربط مدينة واحدة بمدينة أو أكثر [26]

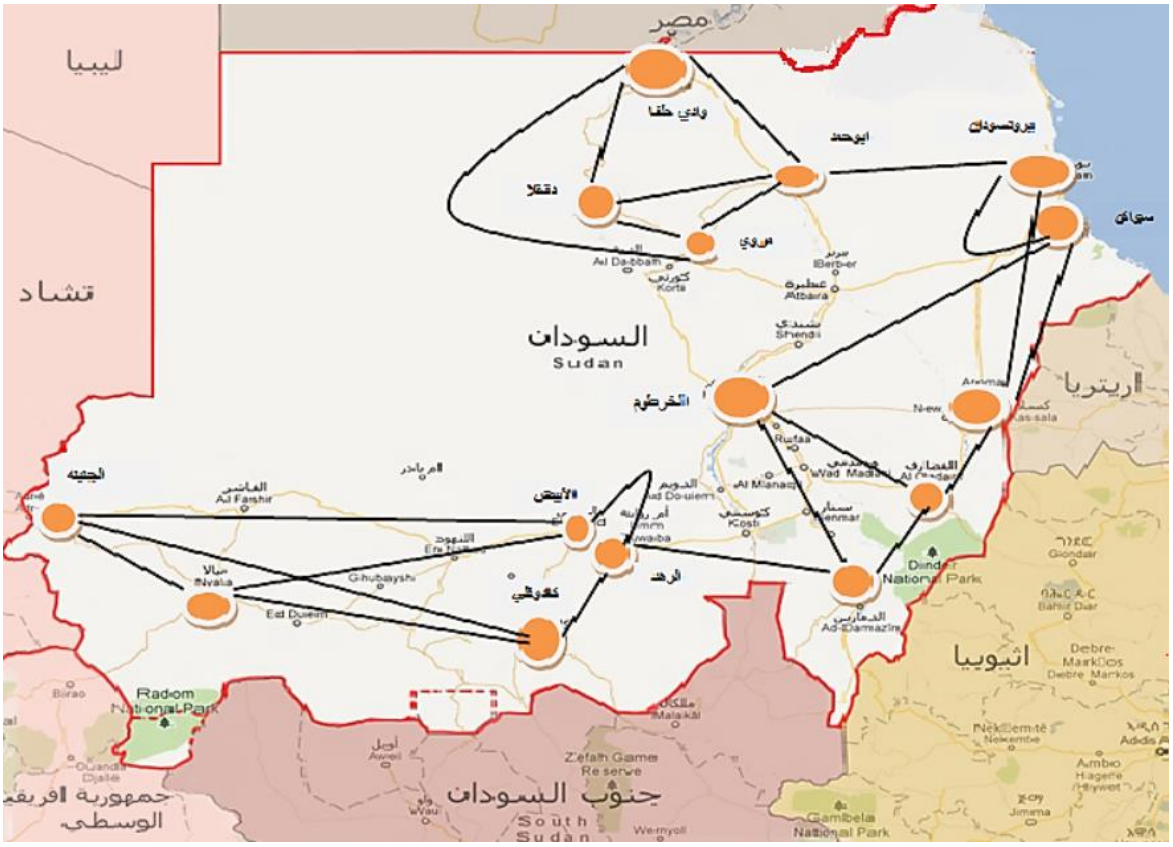
تم تنفيذ البرنامج مرة أخرى بعد تغيير الشرط ليقوم بربط كل مدينة بمدينتين على الأقل لمعرفة التغييرالذي سيحدث على طريقة الربط. وكانت النتيجة أنه في هذه الحالة يتبع سير البيانات طريقين للإنتقال بين المدن.

يوضح شكل 2.5 أفضل طريقة لربط المدينة بمدينتين . نلاحظ أن كل مدينة ارتبطت بأقرب مدينتين جغرافياً. أي أنها ارتبطت بأقصر طول ممكن للألياف الضوئية. مثلاً ارتبطت القضارف بكسلا والدمازين بينما ارتبطت بورتسودان بسواكن وأبوحمد.



شكل 2.5 أفضل طريقة لربط المدينة بمدينتين

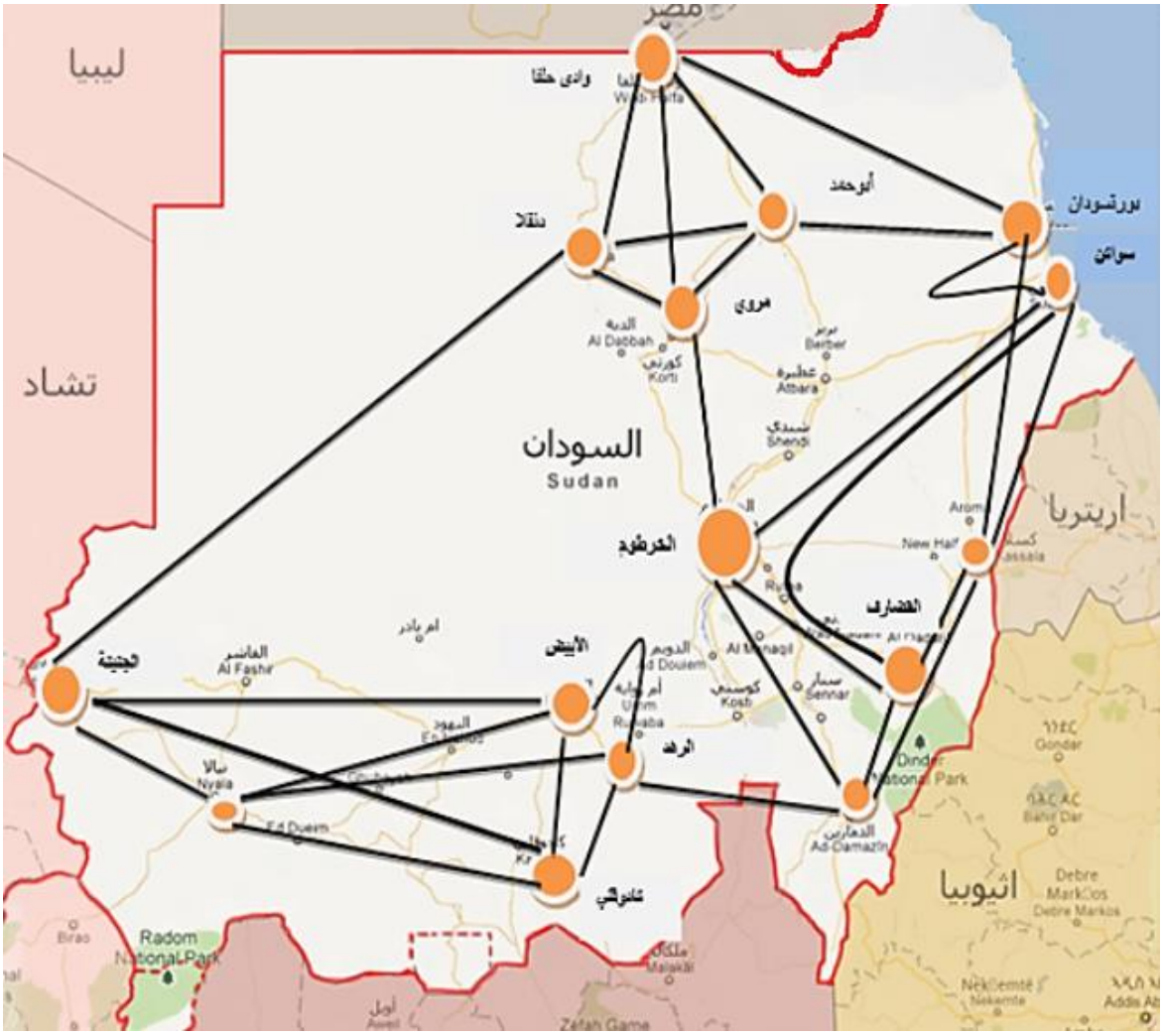
تم إعادة التنفيذ مرة ثالثة مع تغيير شرط الربط ليستوجب ربط كل مدينة بثلاث مدن للحصول على طريقة ربط مختلفة يتم من خلالها الوصول إلى المدينة المراد إرسال البيانات إليها أو جلبها كما هو موضح على الخريطة في شكل 3.5 أفضل طريقة لربط المدينة بثلاث مدن



شكل 3.5 أفضل طريقة لربط المدينة بثلاث مدن

في هذه المرة تم وضع الشرط على أنه يجب توصيل كل مدينة بأربع مدن لمعرفة تأثير زيادة عدد المدن المربوطة على التكلفة وعلى الطريقة المستخدمة في الربط بين المدن، والخريطة في شكل 4.5 أفضل طريقة لربط المدينة بأربع مدن

نلاحظ أنه كلما زاد عدد الوصلات التي تربط بين المدن، زادت المسارات المحتملة للبيانات، مما يزيد الإعتمادية ويقلل الإزدحام. ولكن يجب مراعاة إحتياجات الشبكة وتكلفة إنشاء هذه الألياف الضوئية واختيار العدد الأنسب حسب كمية البيانات التي تمر عبر الشبكة والسعة الكلية للألياف.



شكل 4.5 أفضل طريقة لربط المدينة بأربع مدن

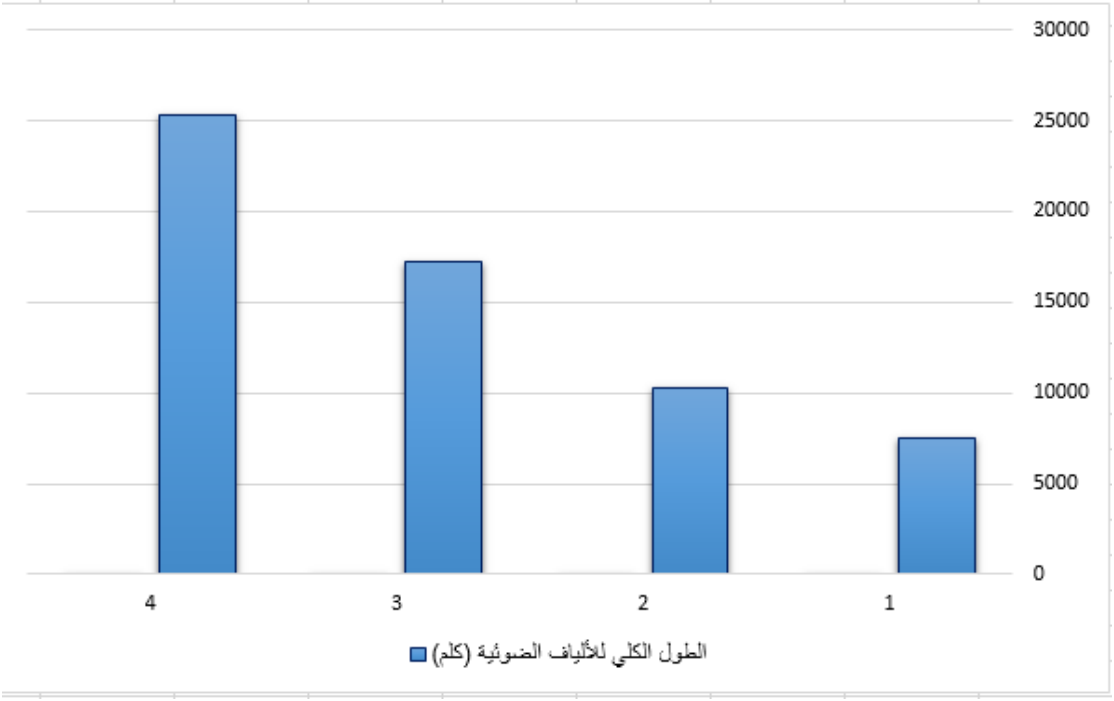
2.2.2.5 طلب البيانات المضاعف

قمنا كذلك في هذه الدراسة بمضاعفة كمية البيانات الداخلة إلى مدينة الخرطوم والخارجة منها لمحاكاة حركة البيانات في شبكة السودان، حيث أن كمية البيانات الداخلة إلى الخرطوم من بقية مدن السودان والخارجة من الخرطوم إلى بقية المدن أكبر بكثير من تلك المتبادلة بين مدن السودان الأخرى. وقد قمنا بتمثيل ذلك في النموذج عن طريق مضاعفة البيانات الخارجة من الخرطوم والداخلة إليها عشرة أضعاف. أي ضرب العمود الخاص بمدينة الخرطوم في مصفوفة طلب البيانات الموضحة في جدول 2.5 مصفوفة طلب البيانات في عشرة. وبعد التنفيذ لم تتغير طريقة ربط الشبكة لجميع حالات الربط وأيضاً تم ربط كل مدينة بالمدن الأقرب لها من حيث المسافة.

3.2.2.5 أطوال الألياف الضوئية

يوضح شكل 5.5 الطول الكلي للألياف الضوئية مع تغيير عدد الوصلات بين المدن في الشبكة لكل عدد من الروابط بين المدن. نلاحظ زيادة هذا الطول الكلي مع زيادة عدد الروابط. يمكن ترجمة هذا الطول الكلي إلى

تكلفة إنشاء الوصلات في الشبكة أو حساب متوسط التأخير في الشبكة. وبالتالي يمكن استخدام هذا الشكل في تقدير حساب تكاليف إنشاء وتقييم كفاءة الشبكة ومن ثم اختيار كثافة الربط الأنسب للشبكة.



شكل 5.5 الطول الكلي للألياف الضوئية مع تغيير عدد الوصلات بين المدن

4.2.2.5 مناقشة النتائج

تعتبر هذه النتائج التي توصلنا إليها غاية في الأهمية خصوصاً عند توسعة أو صيانة الشبكة. فعندما يتم توصيل عقد الشبكة مع بعضها البعض باستخدام هذا النموذج، فإنه يضمن أن تكون هذه الطريقة هي الأفضل من حيث التكلفة. وعند توسعة الشبكة يتم تحديد طريقة الربط الجديدة الأمثل ومقارنتها مع طريقة الربط الحالية لمعرفة الروابط الأنسب لإضافتها. وهذا من شأنه تقليل تكلفة توسعة الشبكة مع الحصول على أفضل مسارات للبيانات.

يتضح أيضاً من النتائج التي حصلنا عليها أن أفضل طريقة لربط الشبكة لا يعتمد على كمية البيانات الداخلة إلى العقدة والخارجة منها، وإنما تتأثر بطول الرابط بين العقد.

3.5 تحسين مواقع مراكز البيانات

يعمل هذا البرنامج على الحصول على أفضل مواقع لإنشاء مراكز البيانات، حيث يقوم باختيار مواقع مراكز البيانات ومن ثم حساب دالة الهدف وهي تكلفة توصيل طلب البيانات العادية وطلبات تخزين وتحميل البيانات حسب عدد ومواقع مراكز البيانات في الشبكة. تتكون دالة الهدف من تكلفة مراكزالبيانات والمحولات الضوئية والمتلقيات والمكبرات والمنافذ. يتم تكرار حساب دالة الهدف بمواقع أخرى لمراكز البيانات حتى يتم الوصول لأقل قيمة لدالة الهدف. وعندها نكون قد حصلنا على أفضل مواقع لمراكز البيانات والتي تحقق أقل تكلفة.

1.3.5 المدخلات

يتم إدخال مصفوفة الربط الموضحة في شكل 6.5 أفضل طريقة لربط المدن في حالة ربط المدينة الواحدة بمدينتين الناتجة من نموذج تحسين طريقة ربط المدن وهي عبارة عن خمسة عشر صف وخمسة عشرعمود، وتحتوي على الرقمين 1 و0 حيث يعني الرقم 1 ربط المدينتين بالألياف والرقم 0 عدم وجود ربط. وبالتالي يتم تحويل الرقم 1 إلى قيمة تمثل المسافة بين المدن بالكيلومترات وتكون هذه المصفوفة مدخلة لنموذج تحسين مواقع مراكز البيانات، إضافة إلى مصفوفة طلب البيانات الموضحة في جدول 2.5 مصفوفة طلب البيانات.كما يؤخذ في الإعتبار عدد من العوامل الأخرى مثل: تكلفة مركز البيانات، تكلفة المحولات الضوئية، تكلفة المتلقيات، تكلفة المكبرات والتي تعتمد على طول الرابط بين المدينة والأخرى، إضافة إلى تكلفة المجمعات/المفرقات، سعة الموجة الضوئية في الليف الضوئي، عدد الموجات الضوئية في الليف الضوئي، الطلب بين المدينتين، طلب التخزين (Uplink)، وطلب التحميل (Downlink) الموضحة قيمهم في

جدول 3.5 قيم المعاملات [**18**].

```
ampl: display con;
con [*,*]
:    1   2   3   4   5   6   7   8   9  10  11  12  13  14  15    :=
1    0   0   0   0   0   0   0   1   0   0   0   0   0   0   1
2    0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   1   1   0
3    0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   1   0   0   1   0
4    0   0   0   0   1   0   0   0   0   0   0   0   1   0   0
5    0   0   0   1   0   1   0   0   0   0   0   0   0   0   0
6    0   0   0   0   1   0   1   0   0   0   0   0   0   0   0
7    0   0   0   0   0   1   0   0   1   0   0   0   0   0   0
8    1   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   1   0   0   0
9    0   0   0   0   0   0   1   0   0   1   0   0   0   0   0
10   0   0   0   0   0   0   0   0   1   0   0   1   0   0   0
11   0   0   1   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   1
12   0   0   0   0   0   0   0   1   0   1   0   0   0   0   0
13   0   1   0   1   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0
14   0   1   1   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0
15   1   0   0   0   0   0   0   0   0   0   1   0   0   0   0
;
```

شكل 6.5 أفضل طريقة لربط المدن في حالة ربط المدينة الواحدة بمدينتين

2.3.5 المخرجات

وتنقسم إلى قسمين هما:

1.2.3.5 طلب البيانات العادي

قمنا بتنفيذ البرنامج باستخدام عدة قيم لعدد مراكز البيانات الأقصى في الشبكة CMax، موضحة في جدول 4.5 مواقع مراكز البيانات في حالة طلب البيانات العادي وربط المدينة الواحدة بمدينتين وجدول 5.5 مواقع مراكز البيانات في حالة طلب البيانات العادي وربط المدينة الواحدة بثلاث مدن. يوضح العمود الأول أرقام المدن، والعمود الثاني يوضح أسماء المدن.

وتوضح الأعمدة التالية المواقع الأفضل لمراكز البيانات لكل قيمة من قيم CMax (من 1 إلى 6).

جدول 4.5 مواقع مراكز البيانات في حالة طلب البيانات العادي وربط المدينة الواحدة بمدينتين

الرقم	المدينة	CMax=1	CMax=2	CMax=3	CMax=4	CMax=5	CMax=6
١	الخرطوم	٠	٠	٠	٠	١	١
٢	بورتسودان	٠	٠	٠	٠	٠	٠
٣	وادي حلفا	٠	٠	١	١	١	١
٤	كسلا	٠	١	١	١	١	١
٥	القضارف	٠	٠	٠	٠	٠	٠
٦	الدمازين	٠	٠	٠	٠	٠	٠
٧	كادوقلي	٠	٠	٠	٠	٠	٠
٨	الرهد	٠	٠	٠	٠	٠	٠
٩	نيالا	١	١	١	١	١	١
١٠	الجنينة	٠	٠	٠	٠	٠	٠
١١	دنقلا	٠	٠	٠	٠	٠	٠
١٢	الأبيض	٠	٠	٠	٠	٠	٠
١٣	سواكن	٠	٠	٠	٠	٠	١
١٤	أبوحمد	٠	٠	٠	٠	٠	٠
١٥	مروي	٠	٠	٠	١	١	١

جدول 5.5 مواقع مراكز البيانات في حالة طلب البيانات العادي وربط المدينة الواحدة بثلاث مدن

الرقم	المدينة	CMax=1	CMax=2	CMax=3	CMax=4	CMax=5	CMax=6
١	الخرطوم	٠	٠	٠	٠	١	١
٢	بورتسودان	٠	٠	٠	٠	٠	٠
٣	وادي حلفا	٠	٠	١	١	١	١
٤	كسلا	٠	١	١	١	١	١
٥	القضارف	٠	٠	٠	٠	٠	٠
٦	الدمازين	٠	٠	٠	٠	٠	٠
٧	كادوقلي	٠	٠	٠	٠	٠	٠
٨	الرهد	٠	٠	٠	٠	٠	٠
٩	نيالا	١	١	١	١	١	١
١٠	الجنينة	٠	٠	٠	٠	٠	٠
١١	دنقلا	٠	٠	٠	٠	٠	٠
١٢	الأبيض	٠	٠	٠	٠	٠	٠
١٣	سواكن	٠	٠	٠	٠	٠	١
١٤	أبوحمد	٠	٠	٠	٠	٠	٠
١٥	مروي	٠	٠	٠	١	١	١

يوضح جدول 4.5 مواقع مراكز البيانات في حالة طلب البيانات العادي وربط المدينة الواحدة بمدينتين، ويوضح جدول 5.5 مواقع مراكز البيانات في حالة طلب البيانات العادي وربط المدينة الواحدة بثلاث مدن، حيث نلاحظ تطابق اختيار المدن في الحالتين. فمثلاً عندما CMax=1 تم اختيار مدينة نيالا كأفضل موقع لإنشاء مركز البيانات في الشبكة، مهما كان عدد الوصلات التي تربط مدينة نيالا بالمدن الأخرى في الشبكة. وعند تكرار التجربة في حالة ربط المدينة بمدينة واحدة وبأربع مدن تم الحصول على نفس النتائج كذلك. من هنا نستنتج أن اختيار المواقع الأفضل لمراكز البيانات لا يعتمد على طريقة ربط الشبكة.

2.2.3.5 قيم مرور البيانات المضاعف

يوضح جدول 6.5 مواقع مراكز البيانات في حالة مضاعفة قيم طلب البيانات لمدينة الخرطوم وربط المدينة الواحدة بمدينتين و جدول 7.5 مواقع مراكز البيانات في حالة مضاعفة قيم طلب البيانات لمدينة الخرطوم وربط المدينة الواحدة بثلاث مدن حيث قمنا بضرب صف وعمود طلب بيانات مدينة الخرطوم*10 لمحاكاة كثافة مرور البيانات الحقيقي لمدينة الخرطوم.

جدول 6.5 مواقع مراكز البيانات في حالة مضاعفة قيم طلب البيانات لمدينة الخرطوم وربط المدينة الواحدة بمدينتين

الرقم	المدينة	CMax=1	CMax=2	CMax=3	CMax=4	CMax=5	CMax=6
١	الخرطوم	١	١	١	١	١	١
٢	بورتسودان	٠	٠	٠	٠	٠	٠
٣	وادي حلفا	٠	٠	١	١	١	١
٤	كسلا	٠	١	١	١	١	١
٥	القضارف	٠	٠	٠	٠	٠	٠
٦	الدمازين	٠	٠	٠	٠	١	١
٧	كادوقلي	٠	٠	٠	٠	٠	٠
٨	الرهد	٠	٠	٠	٠	٠	٠
٩	نيالا	٠	٠	٠	٠	٠	٠
١٠	الجنينة	٠	٠	٠	٠	٠	٠
١١	دنقلا	٠	٠	٠	٠	٠	١
١٢	الأبيض	٠	٠	٠	٠	٠	٠
١٣	سواكن	٠	٠	٠	١	١	١
١٤	أبوحمد	٠	٠	٠	٠	٠	٠
١٥	مروي	٠	٠	٠	٠	٠	٠

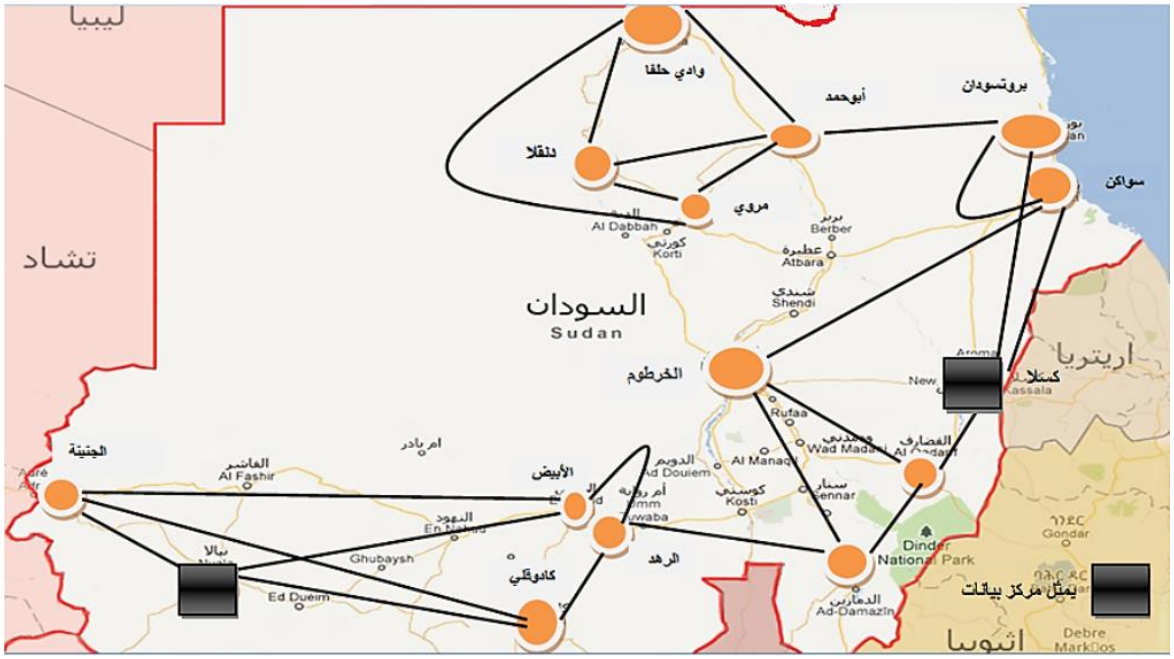
جدول 7.5 مواقع مراكز البيانات في حالة مضاعفة قيم طلب البيانات لمدينة الخرطوم وربط المدينة الواحدة بثلاث مدن

الرقم	المدينة	CMax=1	CMax=2	CMax=3	CMax=4	CMax=5	CMax=6
١	الخرطوم	١	١	١	١	١	١
٢	بورتسودان	٠	٠	٠	٠	٠	٠
٣	وادي حلفا	٠	٠	١	١	١	١
٤	كسلا	٠	١	١	١	١	١
٥	القضارف	٠	٠	٠	٠	٠	٠
٦	الدمازين	٠	٠	٠	٠	١	١
٧	كادوقلي	٠	٠	٠	٠	٠	٠
٨	الرهد	٠	٠	٠	٠	٠	٠
٩	نيالا	٠	٠	٠	٠	٠	٠
١٠	الجنينة	٠	٠	٠	٠	٠	٠
١١	دنقلا	٠	٠	٠	٠	٠	١
١٢	الأبيض	٠	٠	٠	٠	٠	٠
١٣	سواكن	٠	٠	٠	١	١	١
١٤	أبوحمد	٠	٠	٠	٠	٠	٠
١٥	مروي	٠	٠	٠	٠	٠	٠

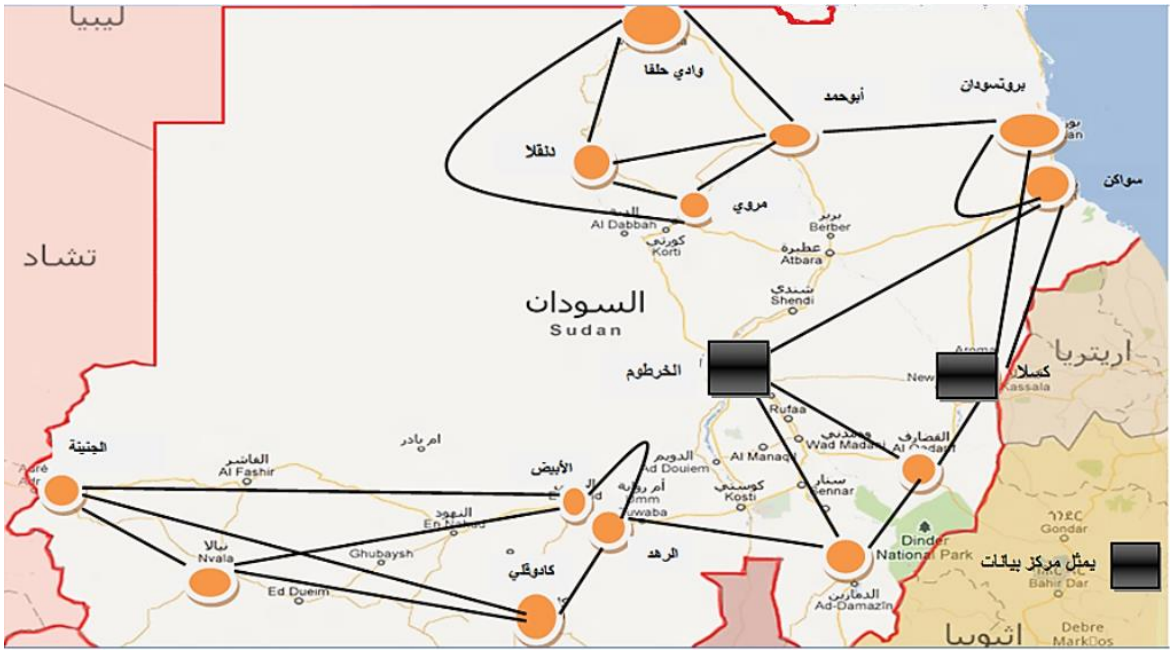
من الجدولين نلاحظ أن مواقع مراكز البيانات قد تغيرت في حالة مضاعفة قيم طلب البيانات وأن هذه القيم هي نفسها في حالة ربط المدينة الواحدة بمدينتين وربط المدينة الواحدة بثلاث مدن.

من ناحية أخرى فإن مواقع مراكز البيانات في حالة مضاعفة قيم طلب البيانات وربط المدينة الواحدة بمدينة، أو ربط المدينة الواحدة بأربعة مدن يكون مساوي جدول 6.5 مواقع مراكز البيانات في حالة مضاعفة قيم طلب البيانات لمدينة الخرطوم وربط المدينة الواحدة بمدينتين وجدول 7.5 مواقع مراكز البيانات في حالة مضاعفة قيم طلب البيانات لمدينة الخرطوم وربط المدينة الواحدة بثلاث مدن. عليه فإن اختيار موقع مركز البيانات يعتمد مباشرة على كمية واتجاه البيانات المراد تخزينها وتحميلها من مركز البيانات.

يوضح شكل 7.5 مواقع مراكز البيانات في حالة طلب البيانات العادي وشكل 8.5 مواقع مراكز البيانات في حالة طلب البيانات المضاعف . نلاحظ من الشكل أنه في حالة طلب البيانات العادي يكون أفضل موقع لمركزي البيانات في الشبكة هو مدينتي كسلا ونيالا. أما في حالة طلب البيانات المضاعف فقد تغير الموقع الأمثل للمركزين ليصبح مدينتي الخرطوم وكسلا.



شكل 7.5 مواقع مراكز البيانات في حالة طلب البيانات العادي



شكل 8.5 مواقع مراكز البيانات في حالة طلب البيانات المضاعف

3.2.3.5 مناقشة النتائج

بعد تجربة البرنامج بواسطة عدة مجموعات من المدخلات نجد أن اختيار المواقع الأفضل لمراكز البيانات مستقل عن عدد الوصلات التي تربط المدن. حيث نجد أنه عندما ترتبط المدينة بمدينة واحدة أو مدينتين أو ثلاث أو أربعة مدن في الشبكة نحصل على نفس المواقع الأمثل لمراكز البيانات.

تؤثر كمية طلب تحميل أو تخزين البيانات في مراكز البيانات على موقع المراكز الأمثل، وذلك لأن كمية البيانات التي تسير في الشبكة تؤثر على تكلفة التشغيل لأنها تتطلب عدد أكبر من أجهزة الشبكة. من هنا نستنتج أنه إذا تغيرت كمية واتجاه ومصدر طلب البيانات في الشبكة، قد يتغير الموقع الأمثل لمراكز البيانات في الشبكة.

بتحليل النتائج التي حصلنا عليها نلاحظ أنه عند زيادة عدد مراكز البيانات الأقصى في الشبكة، من 2 إلى 3 مثلاً، فإن النموذج يختار نفس الموقعين اللذين حصل عليهما في حالة وجود مركزين، بالإضافة إلى الموقع الجديد الثالث. وهذه النتيجة هامة، حيث تعني أنه عند إنشاء مراكز البيانات في الشبكة في مواقعها المثلى فإنه عند الرغبة في إنشاء مركز أو مراكز بيانات إضافية، لاتتغير مواقع المراكز المثلى في الشبكة. أي أنه لا يتحتم نقل مركز بيانات من موقعه الحالي إلى موقع آخر لتقليل تكلفة نقل البيانات، وهو أمر غاية في الصعوبة. عليه نستنتج أن الموقع الأمثل لمراكز البيانات يظل هو الأمثل حتى بعد إضافة مراكز بيانات أخرى في الشبكة.

تكون هذه النتيجة صحيحة إذا لم تتغير كمية طلب البيانات في الشبكة أو تغيرت بنفس المعدل للمدن المختلفة.

4.5 الخلاصة

عرض هذا الباب النتائج التي توصلنا إليها بعد تنفيذ نموذج تحسين طريقة ربط المدن في الشبكة ونموذج تحسين مواقع مراكز البيانات. في الباب السادس نذكر خلاصة البحث والتوصيات.

الباب السادس

الخاتمة والتوصيات

1.6 مقدمة

يتناول هذا الباب نتائج البحث التي تم التوصل إليها وما تم إنجازه من أهداف البحث التي حددت سابقاً بعد تنفيذ النماذج. يحتوي الباب كذلك على التوصيات والخاتمة.

2.6 نتائج البحث

بعد تحليل البيانات وتجربة تنفيذ النماذج بمدخلات متعددة تم التوصل إلى النتائج التالية:

- يضمن اختيار أفضل طريقة لربط المدن تقليل تكلفة نقل البيانات فيما بينها ويعتمد على عدد المدن والمسافة بينها. وبتنفيذ نموذج تحسين ربط الشبكة لوحظ عدم تأثرمضاعفة كمية مرور البيانات بين المدن على اختيار طريقة ربط معينة، أي أن تغير كمية البيانات في الشبكة لايتطلب معه تغيير في طريقة ربط الشبكة لتقليل التكلفة.
- يعتمد اختيارأفضل المواقع لإنشاء مراكز البيانات على كمية مرورالبيانات، بالإضافة إلى تكلفة مركز البيانات. وبالتجارب المستمرة لوحظ عدم اختلاف هذه المواقع عند تغيير طريقة ربط المدن.

3.6 التوصيات

بعد الإنتهاء من هذا المشروع، وللإستفادة القصوى من هذه النماذج لتحسين كفاءة الشبكة وتطويرها بصورة أفضل نوصي بالاتي:

- تطبيق هذه النماذج على عدد أكبر من مدن السودان.
- استخدام بيانات حقيقية لكمية البيانات الداخلة للمدينة والخارجة منها.
- تطبيق هذه النماذج داخل المدينة الواحدة للوصول إلى أفضل طريقة لربط شبكة المدينة وأفضل مواقع لمراكز البيانات داخل المدينة.

4.6 الخاتمة

نحمد البارئ سبحانه وتعالى الذي وفقنا لما قدمناه من دراسات ونتائج بعد المشوار الذي خضناه، فقد كانت رحلة ممتعة وجاهدة للإرتقاء بدرجات الفكر والعقل. لم يكن هذا بالجهد القليل ولا ندَّعي فيه الكمال ولكن لنا عذرنا أننا بذلنا فيه عصارة جهدنا.

بعد الإنتهاء من هذا البحث بعون الله وتوفيقه تمكنا من تحسين طريقة ربط مدن السودان لتقليل تكلفة نقل البيانات بين المدن. كما نجحنا في اختيار أفضل المواقع لإنشاء مراكز البيانات في الشبكة لتضمن سهولة الوصول إلى البيانات وتقليل التكلفة. تم ذلك بتكوين معادلات برمجة الأعداد الصحيحة المختلطة (MILP) والذي يستخدم الدالة (Dual simplex) ومن ثَم تحويل هذه المعادلات إلى لغة البرمجة الخطية باستخدام برنامج AMPL.

نسأل الله أن يوفقنا لما يحب ويرضاه، فإن وفقنا الله وأصبنا ما هدفنا إليه فإن ذلك هو هدفنا، وإن أخطئنا فلقد نلنا شرف المحاولة والتعلم. ونرجو من الله أن يكون ماقدمناه في هذا البحث علماً يُنتفع به وصل اللهم وسلم تسليماً كثيراً على سيدنا وحبيبنا أشرف خلق الله محمد بن عبدالله وعلى آله وصحبه أجمعين.

المصادر والمراجع

[1] Library, The Internet Coaching. Links to the African Continent - 58 countries and regions. Internet World Stats. [Online] [Date accessed: October Tuesday, 2017.] Africa by Country Internet User Stats and 2017 Population.http:// www.internetworld stats.com /africa.htm

[2] ويكيبيديا. مركز بيانات. ويكيبيديا. [موقع] [تاريخ الاقتباس: الاحد مارس، 2017.] https://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%85%D8%B1%D9%83%D8%B2_%D8%A8%D9%8A%D8%A7%D9%86%D8%A7%D8%AA.

[3] مناف عقيل مهدي. ماهو مركز البيانات؟ وكيف نستفيد من مركز البيانات مع خطوات تصميمه. الموقع الرسمي للمبرمج مناف عقيل مهدي. [موقع] الإثنين أغسطس، 2016. [تاريخ الاقتباس: الاحد مارس، 2017.] http://munafaqeelmahdi.blogspot.com/2016/08/Data-Center.html.

[4] Bertsekas, Dimitri P. Network Optimization. Network Optimization:Continuous and Discrete Models. 1998, 1 and 2, p. 585.

[5] Moutinho, João Miguel da Costa Sousa / Alexandra. NETWORK OPTIMIZATION.

[6] Fernandez, Jose M Sallan Oriol Lordan Vicenc. Modeling and solving linear programming with R. 2015.

[7] Introduction to Linear Programming chap03.

[8] أسماء محمد باهرمز. مقدمة في بحوث العمليات الجزء الثاني(البرمجة الخطية). رواق.

[9] Ferguson, Thomas S. LINEAR PROGRAMMING A Concise Introduction.

[10] Duality in Linear Programming. Business Jargons. [Online] [Date Accessed: May Thursday, 2017.] http://businessjargons.com/duality-in-linear-programming.html.

[11] Robert Fourer, Gay, David M. and Kernighan, Brian W. AMPL. s.l. : Published simultaneously in Canada, 2003.

[12] شبكة الأبحاث و الدراسات الإقتصادية. "بحوث العمليات" ،"www.RR4EE.NET".

[13] Dimitris Bertsimas and Tsitsiklis, John N. Introduction to Linear Optimization.

[14] درية عبد الله عبد الرحمن. تطوير سياسة الإقراض باستخدام اسلوب البرمجة الخطية: دراسة تطبيقية لبنك التضامن الإسلامي.

[15] Jing Fang. Traffic grooming in IPover WDM optical networks. 2004.

[16] Dixit, Sudhir. IP over WDM:Building the Next Generation. Canada : John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2003.

[17] Fernando Pinto, et al. IP over WDM: Designing an Optical IP Router. Porto : s.n., 2002.

[18] Niemah, I. Osman. Cost and Power Minimized Content Placement for CDNs. Digital Communications And Networks DCAN: s.n., 2016.

[19] Niemah I. Osman, Taisir El-Gorashi, Louise Krug, and Jaafar M. H. Elmirghani. Energy-Efficient Future High-Definition TV. s.l. : JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY, 2014.

[20] Ahmed, Awadallah Mohammed. Optimizing Gateway Placement in Wireless Mesh Network using Genetic Algorithm and Simulated Annealing. SUST Repository. [Online] [Date Accessed: May Wednesday, 2017.] http://repository.sustech.edu/handle/123456789/14112.

[21] Fan Wanga, Xiaofan Laib, Ning Shia. A multi-objective optimization for green supply chain network. ScienceDirect. [Online] 2011. [Date Accessed: May Wednesday, 2017.] file:///G:/Final_Project/A%20multi-objective%20optimization%20for%20green%20supply%20chain%20network%20design.html.

[22] Elmirghani, Niemah I. Osman Taisir El-Gorashi Jaafar M. H. Reduction of energy consumption of Video-on-Demand services using cache size optimization. Scheduled System Maintenance. [Online] [Date Accessed: October Tuesday, 2017.] file:///G:/Final_Project/Reduction%20of%20energy%20consumption%20of%20Video-on-Demand%20services%20using%20cache%20size%20optimization%20-%20IEEE%20Conference%20Publication.html.

[23] IBM ILOG CPLEX Optimization StudioGetting Started with CPLEX. Chicago : s.n., 2015.

[24] Jin, Hongwei. A Tutorial of AMPL for Linear Programmings. 2014.

[25] المسافات بين المدن. toponavi. [موقع] [تاريخ الاقتباس: Satarday May, 2017.] http://sd.toponavi.com/67641-67637.

[26] مقاتل من الصحراء. جمهورية السودان. مقاتل من الصحراء. [موقع] [تاريخ الاقتباس: Monday Septemper, 2017.] http://www.moqatel.com/openshare/Behoth/Dwal-Modn1/Sudan/Sudan02.jpg_cvt.htm.

الملاحق

ملحق (أ) المدن المختارة والأبعاد بين كل مدينة والمدن الأخرى

البعد بين مدينة بورتسودان وبقية المدن

المدينة 1	المدينة2	البعد بينهم بالكيلومتر
بورتسودان	الخرطوم	673 كلم
بورتسودان	بورتسودان	0 كلم
بورتسودان	وادي حلفا	655 كلم
بورتسودان	كسلا	470 كلم
بورتسودان	القضارف	652 كلم
بورتسودان	الدمازين	924 كلم
بورتسودان	كادوقلي	1250 كلم
بورتسودان	الرهد	1039 كلم
بورتسودان	نيالا	1564 كلم
بورتسودان	الجنينة	1715 كلم
بورتسودان	دنقلا	710 كلم
بورتسودان	الابيض	1034 كلم
بورتسودان	سواكن	58 كلم
بورتسودان	أبو حمد	408 كلم
بورتسودان	مروي	582 كلم

البعد بين مدينة وادي حلفا وبقية المدن

المدينة 1	المدينة2	البعد بينهم بالكيلومتر
وادي حلفا	الخرطوم	712 كلم
وادي حلفا	بورتسودان	655 كلم
وادي حلفا	وادي حلفا	0 كلم
وادي حلفا	كسلا	882 كلم
وادي حلفا	القضارف	963 كلم
وادي حلفا	الدمازين	1158 كلم
وادي حلفا	كادوقلي	1213 كلم
وادي حلفا	الرهد	1013 كلم

وادي حلفا	نيالا	1285 كلم
وادي حلفا	الجنينة	1324 كلم
وادي حلفا	دنقلا	310 كلم
وادي حلفا	الابيض	967 كلم
وادي حلفا	سواكن	689 كلم
وادي حلفا	أبو حمد	323 كلم
وادي حلفا	مروي	373 كلم

البعد بين مدينة كسلا وبقية المدن

المدينة 1	**المدينة2**	**البعد بينهم بالكيلومتر**
كسلا	الخرطوم	412 كلم
كسلا	بورتسودان	470 كلم
كسلا	وادي حلفا	882 كلم
كسلا	كسلا	0 كلم
كسلا	القضارف	231 كلم
كسلا	الدمازين	465 كلم
كسلا	كادوقلي	877 كلم
كسلا	الرهد	692 كلم
كسلا	نيالا	1301 كلم
كسلا	الجنينة	1518 كلم
كسلا	دنقلا	752 كلم
كسلا	الابيض	317 كلم
كسلا	سواكن	417 كلم
كسلا	أبو حمد	559 كلم
كسلا	مروي	592 كلم

البعد بين مدينة القضارف وبقية المدن

المدينة 1	**المدينة2**	**البعد بينهم بالكيلومتر**

القضارف	الخرطوم	298 كلم
القضارف	بورتسودان	652 كلم
القضارف	وادي حلفا	963 كلم
القضارف	كسلا	231 كلم
القضارف	القضارف	0 كلم
القضارف	الدمازين	254 كلم
القضارف	كادوقلي	651 كلم
القضارف	الرهد	478 كلم
القضارف	نيالا	1103 كلم
القضارف	الجنينة	1341 كلم
القضارف	دنقلا	739 كلم
القضارف	الابيض	511 كلم
القضارف	سواكن	625 كلم
القضارف	أبو حمد	636 كلم
القضارف	مروي	593 كلم

البعد بين مدينة الدمازين وبقية المدن

المدينة 1	**المدينة2**	**البعد بينهم بالكيلومتر**
الدمازين	الخرطوم	456 كلم
الدمازين	بورتسودان	924 كلم
الدمازين	وادي حلفا	1158 كلم
الدمازين	كسلا	465 كلم
الدمازين	القضارف	254 كلم
الدمازين	الدمازين	0 كلم
الدمازين	كادوقلي	512 كلم
الدمازين	الرهد	415 كلم
الدمازين	نيالا	1030 كلم
الدمازين	الجنينة	1302 كلم
الدمازين	دنقلا	918 كلم

الدمازين	الابيض	474 كلم
الدمازين	سواكن	875 كلم
الدمازين	أبو حمد	869 كلم
الدمازين	مروي	791 كلم

البعد بين مدينة كادوقلي وبقية المدن

المدينة 1	**المدينة2**	**البعد بينهم بالكيلومتر**
كادوقلي	الخرطوم	587 كلم
كادوقلي	بورتسودان	1250 كلم
كادوقلي	وادي حلفا	1213 كلم
كادوقلي	كسلا	877 كلم
كادوقلي	القضارف	651 كلم
كادوقلي	الدمازين	512 كلم
كادوقلي	كادوقلي	0 كلم
كادوقلي	الرهد	215 كلم
كادوقلي	نيالا	539 كلم
كادوقلي	الجنينة	833 كلم
كادوقلي	دنقلا	909 كلم
كادوقلي	الابيض	247 كلم
كادوقلي	سواكن	1216 كلم
كادوقلي	أبو حمد	1024 كلم
كادوقلي	مروي	860 كلم

البعد بين مدينة الرهد وبقية المدن

المدينة 1	**المدينة2**	**البعد بينهم بالكيلومتر**
الرهد	الخرطوم	372 كلم
الرهد	بورتسودان	1039 كلم
الرهد	وادي حلفا	1013 كلم

الرهد	كسلا	692 كلم
الرهد	القضارف	478 كلم
الرهد	الدمازين	415 كلم
الرهد	كادوقلي	215 كلم
الرهد	الرهد	0 كلم
الرهد	نيالا	631 كلم
الرهد	الجنينة	890 كلم
الرهد	دنقلا	715 كلم
الرهد	الابيض	69 كلم
الرهد	سواكن	1007 كلم
الرهد	أبو حمد	810 كلم
الرهد	مروي	652 كلم

البعد بين مدينة نيالا وبقية المدن

المدينة 1	**المدينة2**	**البعد بينهم بالكيلومتر**
نيالا	الخرطوم	914 كلم
نيالا	بورتسودان	1564 كلم
نيالا	وادي حلفا	1285 كلم
نيالا	كسلا	1301 كلم
نيالا	القضارف	1163 كلم
نيالا	الدمازين	1030 كلم
نيالا	كادوقلي	539 كلم
نيالا	الرهد	631 كلم
نيالا	نيالا	0 كلم
نيالا	الجنينة	305 كلم
نيالا	دنقلا	990 كلم
نيالا	الابيض	593 كلم
نيالا	سواكن	1546 كلم
نيالا	أبو حمد	1228 كلم
نيالا	مروي	1031 كلم

البعد بين مدينة الجنينة وبقية المدن

المدينة 1	المدينة2	البعد بينهم بالكيلومتر
الجنينة	الخرطوم	1111 كلم
الجنينة	بورتسودان	1715 كلم
الجنينة	وادي حلفا	1324 كلم
الجنينة	كسلا	1518 كلم
الجنينة	القضارف	1341 كلم
الجنينة	الدمازين	1302 كلم
الجنينة	كادوقلي	833 كلم
الجنينة	الرهد	890 كلم
الجنينة	نيالا	305 كلم
الجنينة	الجنينة	0 كلم
الجنينة	دنقلا	1064 كلم
الجنينة	الابيض	840 كلم
الجنينة	سواكن	1706 كلم
الجنينة	أبو حمد	1314 كلم
الجنينة	مروي	1145 كلم

البعد بين مدينة دنقلا وبقية المدن

المدينة 1	المدينة2	البعد بينهم بالكيلومتر
دنقلا	الخرطوم	462 كلم
دنقلا	بورتسودان	710 كلم
دنقلا	وادي حلفا	310 كلم
دنقلا	كسلا	752 كلم
دنقلا	القضارف	739 كلم
دنقلا	الدمازين	918 كلم
دنقلا	كادوقلي	909 كلم

دنقلا	الرهد	715 كلم
دنقلا	نيالا	1064 كلم
دنقلا	الجنينة	990 كلم
دنقلا	دنقلا	0 كلم
دنقلا	الابيض	664 كلم
دنقلا	سواكن	721 كلم
دنقلا	أبو حمد	302 كلم
دنقلا	مروي	160 كلم

البعد بين مدينة الابيض وبقية المدن

المدينة 1	**المدينة2**	**البعد بينهم بالكيلومتر**
الابيض	الخرطوم	373 كلم
الابيض	بورتسودان	1034 كلم
الابيض	وادي حلفا	967 كلم
الابيض	كسلا	713 كلم
الابيض	القضارف	511 كلم
الابيض	الدمازين	474 كلم
الابيض	كادوقلي	247 كلم
الابيض	الرهد	69 كلم
الابيض	نيالا	593 كلم
الابيض	الجنينة	840 كلم
الابيض	دنقلا	664 كلم
الابيض	الابيض	0 كلم
الابيض	سواكن	1006 كلم
الابيض	أبو حمد	781 كلم
الابيض	مروي	613 كلم

البعد بين مدينة سواكن وبقية المدن

المدينة 1	المدينة2	البعد بينهم بالكيلومتر
سواكن	الخرطوم	460 كلم
سواكن	بورتسودان	58 كلم
سواكن	وادي حلفا	986 كلم
سواكن	كسلا	417 كلم
سواكن	القضارف	625 كلم
سواكن	الدمازين	875 كلم
سواكن	كادوقلي	1216 كلم
سواكن	الرهد	1007 كلم
سواكن	نيالا	1546 كلم
سواكن	الجنينة	1706 كلم
سواكن	دنقلا	721 كلم
سواكن	الابيض	1006 كلم
سواكن	سواكن	0 كلم
سواكن	أبو حمد	423 كلم
سواكن	مروي	585 كلم

البعد بين مدينة أبو حمد وبقية المدن

المدينة 1	المدينة2	البعد بينهم بالكيلومتر
أبو حمد	الخرطوم	456 كلم
أبو حمد	بورتسودان	408 كلم
أبو حمد	وادي حلفا	323 كلم
أبو حمد	كسلا	559 كلم
أبو حمد	القضارف	636 كلم
أبو حمد	الدمازين	869 كلم
أبو حمد	كادوقلي	1024 كلم
أبو حمد	الرهد	810 كلم
أبو حمد	نيالا	1228 كلم
أبو حمد	الجنينة	1314 كلم
أبو حمد	دنقلا	302 كلم

أبو حمد	الابيض	781 كلم
أبو حمد	سواكن	423 كلم
أبو حمد	أبو حمد	0 كلم
أبو حمد	مروي	198 كلم

البعد بين مدينة مروي وبقية المدن

المدينة 1	**المدينة2**	**البعد بينهم بالكيلومتر**
مروي	الخرطوم	339 كلم
مروي	بورتسودان	582 كلم
مروي	وادي حلفا	373 كلم
مروي	كسلا	592 كلم
مروي	القضارف	593 كلم
مروي	الدمازين	791 كلم
مروي	كادوقلي	860 كلم
مروي	الرهد	652 كلم
مروي	نيالا	1031 كلم
مروي	الجنينة	1145 كلم
مروي	دنقلا	160 كلم
مروي	الابيض	613 كلم
مروي	سواكن	585 كلم
مروي	أبو حمد	198 كلم
مروي	مروي	0 كلم