مجلة جامعة الملك سعود، م ٨، علوم الحاسب والمعلومات، ص ص ٢٥ - ٤٨ ، الرياض (١٤١٦هـ/ ١٩٩٦م).

التخطيط لشبكة القمر الصناعي لتراسل البيانات والمكالمات الهاتفية بالمناطق القروية في المملكة العربية السعودية

سامي صالح الوكيل و محمد قاري سمرقندي*

كلية علوم الحاسب والمعلومات ،ة كلية الهندس، جامعة الملك سعود*

الرياض، المملكة العربية السعودية

(قدم للنشر في ١٦/ ١٠/ ١٩٩٤م، وقبل للنشر في ٢٦/ ٣/ ١٩٩٥م)

ملخص البحث . أصبح مقبولاً بشكل كبير قيام الأقمار الصناعية بدور أساسي في خدمة الشبكات القروية الواسعة بما في ذلك معظم شبكة الاتصال Access network للشبكة الأرضية الأساسية المحلية ، وإن النتيجة الطبيعية لهذا المفهوم هو أن الشبكة الأرضية للاتصالات يمكن الاستغناء عنها بالكامل باستخدام نظم القمر الصناعي عند كون ذلك مجديًا اقتصاديًا ، وبناء عليه فإن دراسة التكلفة الاقتصادية لنظم الأقمار الصناعية المستخدم للاتصال بالمناطق القروية يعدا أمرًا مهمًا للغاية عند بناء شبكات الاتصال لتلك المناطق .

ومن هذا المنطلق يقدم هذا البحث دراسة تطبيقية للتخطيط لشبكة الاتصالات البعيدة للمناطق القروية بالمملكة التي تشمل الأقمار الصناعية والاتصالات المحلية . وتهدف الدراسة إلى بيان أن عدد كبير من المناطق القروية بالمملكة يمكن توفير خدمات الاتصالات البعيدة لها بجدوى اقتصادية عاليه اذا استخدمت الأقمار الصناعية بدلاً من البدائل الأرضية .

ولقد استخدم هذا البحث نموذج دراسة روسنر (Rosnar) الوصفي لشبكات الاتصال عبر الأقمار الصناعية . وتم تطبيق هذا النموذج على مقاطعات مختلفة بالمملكة العربية السعودية ثم جرى تعميم النتائج للحصول على الحل الأمثل للشبكة القروية السعودية بأكملها . واظهر البحث أن الحل الأقل ثمناً Least-cost solution عبارة عن شبكة قروية تحتوى على كل من خدمات الأقمار الصناعية والتقنيات الأرضية المتوفرة حالياً بالشبكة السعودية للاتصالات . بالإضافة إلى ذلك قام البحث بدراسة العلاقة بين الأجزاء المختلفة للشبكة القروية السعودية والتى تؤثر على الحل

الأمثل لتصميم الشبكة ثم مقارنة تكلفة الاتصال باستخدام المحطات الأرضية للأقمار الصناعية مع البدائل المختلفة لوسائل الاتصالات الأرضية في المناطق القروية السعودية .

١ . مقدمة

ظهر في العقدين الماضيين اهتمام على مستوى عالمي كبير لدور الأقمار الصناعية في توفير خدمات الاتصالات البعيدة Telecommunication للمناطق القروية [١-٣] . ويرجع ذلك الاهتمام إلى عوامل عدة منها تقدم تقنية الأقمار الصناعية التي جعلت خدمات الاتصالات البعيدة يمكن تحملها اقتصادياً لكل المناطق القروية Rural areas بالإضافة إلى تنفيذ العديد من مشاريع الأقمار الصناعية التي أثبتت نجاحها في كل من المكسيك والهند واندونيسيا واستراليا والولايات المتحدة الأمريكية [٣;٤] .

ولقد أثبتت الاتصالات عبر الأقمار الصناعية جدواها الاقتصادية مقارنة بالنسبة للبدائل الأرضية Terrestrial alternatives للمناطق القروية التي تتوزع فيها القرى على مساحات شاسعة أو التي تفصلها حواجز طبيعية ، ومما تتميز به الاتصالات عبر الأقمار الصناعية على الاتصالات الأرضية ما يلي [٥] :

١- لا تعتمد تكلفة دوائر الأقمار الصناعية على المسافة داخل مدى تغطية Coverage range القمر الصناعي الواحد .
٢- إن المعوقات التى تتراكم في دوائر الميكروويف الأرضية نتيجة لتعدد الوثبات Hops يمكن تجنبها باستخدام الأقمار الصناعية ، والسبب في ذلك هو أن الطريق Path من محطة أرضية إلى محطة أخرى يتكون من وثبة واحدة Single hop تمر خلال مكبر القمر الصناعي Satellite repeater .
٣- إن المناطق القروية الوعرة المتباعدة والتي يصعب الوصول اليها يمكن تغطيتها بقمر صناعي موفرة خدمة اتصالات عالية المستوى لتلك المناطق وهذه المناطق قد يستحيل الوصول اليها احيانا . وهذه التغطية أيضا لا تعتمد على التضاريس أو أي معوقات أخرى قد تعترض وسائل الاتصالات الأرضية .

ومع وجود هذه المزايا للاتصالات عبر الأقمار الصناعية الا إن للأقمار الصناعية حدودها Limitations التي تقيد استخدامها . ولعل اكبر عائق على المدى الطويل هو نقص الترددات . وحتى إذا أمكن تطوير ترددات عالية يعتمد عليها وأصبح هناك

وفـرة من الطيف التـرددي Frequency spectrum فـإن المعـوقـات الجـوية قـد تمنع من استخدام تلك الترددات في الاتصالات البعيدة على مستوى تجاري .

ومن معوقات الأقمار الصناعية أيضًا : وجود زمن تأخير ذهابًا وإيابًا Round - trip delay بين المحطات الأرضية يعادل تقريبا نصف ثانية وهو ما يمكن تحمله في الاتصالات الصوتية عندما تستخدم لاغيات الصدي Echo cancelers ، بينما لا يعد ذلك مقبولا بالنسبة لبروتوكولات نقل البيانات بأحجام كبيرة Block-mode data protocols ودوائر البيانات الاستجوابية Polled data circuits . ويتنبأ بعض المراقبين بأن الشبكات الأرضية باستخدام الألياف الضوئية Fiber optics سوف تقلل بشكل كبير من الاعتماد على الأقمار الصناعية لخلوها من مشكلات الاتصال عبر الأقمار الصناعية ولأن المعوقات الخاصة بها أقل أثراً منها بالنسبة للأقمار الصناعية . وجدير بالذكر أنه ليس هناك ما يدعو إلى الشك بأن اتصالات الألياف الضوئية عبر القارات Transcontinental سوف يكون لها دور مهم في اتصالات المستقبل . إلا أن الأقمار الصناعية تتمتع بخصائص فريدة تؤكد دورها في المستقبل ذلك أنه ليس هناك وسيلة اتصال أخرى يمكن لها أن تغطى سطح الأرض بتكلفة لا تعتمد على موقع المستفيد .

ولكل المزايا المذكورة سابقًا فإن الأقمار الصناعية تعتبر اكثر مرونة بالنسبة لحجم شبكات الاتصالات للمناطق القروية بالمملكة وإمكانية توسعتها ، خاصة مع ظهور تقنية الأقمار الصناعية للمحطات صغيرة الفوهة VSAT وهذا ما لا تسمح به الأنظمة الأرضية Terrestrial systems . فالمحطة الأرضية للقمر الصناعي Earth station من نوع VSAT يمكن تركيبها لخدمة مستفيد واحد فقط ، ويمكن ادخال توسعة اضافية بسهولة لها كلما دعت الحاجة ، كما أن هناك خدمات أخرى يمكن أن تقوم بها المحطة الأرضية صغيرة الفوهة مثل نقل البيانات وعقد المؤتمرات عن بعد والاستقبال الاذاعي والتلفزيوني [٦] ، وعلى العكس من ذلك بالنسبة للأنظمة الأرضية مثل الميكروويف التي يجب أن تصمم بحيث توفر حد أقصى للسعة Maximum capacity لجعل تلك الخدمات ممكنة ويحدث هذا كذلك بالنسبة لتقنية السلك المفتوح Open wire technology التي لا يمكن توسعتها في المواقع البعيدة بدون تخصيص استثمار كبير لها .

وخلاصة القول أن التطور التقني للاقمار الصناعية جعل هذة التقنية ميسورة للاستخدامات وتطبيقات الاتصالات بعيدة المدى ، الا ان هذا الاستخدام يعتمد الى

حد كبير على العوامل الاقتصادية . ولذا فإن الدراسات الاقتصادية لإستخدام الأقمار الصناعية تعد ذات اهمية قصوى لإتخاذ القرار المناسب بشأن هذه التقنية [٧] . ولهذا قدم الباحثون بهذا المجال دراسات عديدة تتعلق بالجوانب الاقتصادية لتقنية الأقمار الصناعية ، كان من أوائلها البحث المنشور في مرجع [١] والذي تم استخدامه في هذا البحث التطبيقي للاتصالات بالأقمار الصناعية في المملكة . وتبين المراجع [٨-١١] بعض البحوث الاخرى المنشورة لدراسات اقتصادية مقارنة لتكلفة أقمار VSAT مع أنواع مختلفة من بدائل الاتصالات الأرضية لنقل البيانات والمكالمات الهاتفية .

وباعتبار ماذكر يقدم هذا البحث دراسة اقتصادية لتقنية الأقمار الصناعية في شبكة الاتصالات بالمملكة العربية السعودية بهدف توفير خدمات الاتصالات للمناطق القروية بمجملها بأقل تكلفة ممكنة باستخدام هذه التقنية .

٢ . اعتبارات الحل الأمثل للشبكة القروية

لقد توصل نموذج روسنر للحل الامثل الى إن ايجاد السعر الاجمالي الامثل Cost optimization لتكلفة الشبكات القروية يعتمد على مقارنة تكلفة الامكانيات الفنية والاقتصادية لمعدات وتركيبات شبكات الأقمار الصناعية مع تلك للوسائل الأرضية . وفي هذا البحث نقوم باستخدام هذا النموذج لدراسة اقتصادية مقارنة لتقنية الأقمار الصناعية بالبدائل الأرضية بالمملكة ، بهدف التوصل إلى زيادة عدد المحطات الأرضية للأقمار الصناعية للشبكة السعودية بشكل اقتصادي بحيث تغطى كل مناطق الاتصال Access Areas القروية السعودية في الشبكة وبالتالي يمكن الاستغناء عن الشبكة الأرضية بالكامل [١٢] . وبتحقق الحل الأمثل لشبكة الاتصال عبر الأقمار الصناعية بوضع محطات أرضية في بعض مواقع المستفيدين وليس جميعها .

ولقد أبرز نموذج روسنر أن التخطيط للحل الأمثل Optimization model للشبكة يبدأ بمجموعة من مواقع المستفيدين ، ومعلومات عن تركيز هذه المواقع Concentration profile ومواصفات الشبكة الأساسية Blackbone network التى تقدم خدمات الصوت والبيانات للمستفيدين [١] ، وباستهداء هذا النموذج فإننا بهذا البحث سنقوم بدلاً من التعامل مع كل موقع على حدة بتجميع كافة حركة متطلبات المستفيدين User demands وتصنيفها إلى فئات مختلفة ، علمًا أن تصميم وتنفيذ الشكل المختار للشبكة القروية في المملكة بهذا البحث هو تصميم افتراضي وقد يحتاج إلى دراسة أكثر تفصيلا لكل موقع على حدة .

وبتطبيق هذا النموذج على الشبكة السعودية جرى توزيع شبكة المملكة إلى عدد من المقاطعات بحيث يكون مركز كل منها إحدى المدن الأساسية في المملكة . ولتسهيل إمكانية توسعة الشبكة للمملكة في المستقبل فإن هذا البحث يفترض وجود اثنتي عشرة مقاطعات قروية في المملكة وبداخل كل منطقة يوجد على الأقل مقسم أساسي Backbone switch واحد للشبكة الأرضية بالمملكة، ويفترض أن حركة المرور Traffic إلى مناطق اتصال المستفيدين في كل منطقة أو عناقيد المستفيدين User clusters تتناسب مع عدد المستفيدين ، ويبين الجدول رقم (١) متوسط احتياجات المستفيدين القرويين في مقاطعة مختارة والتي هي منطقة تبوك في شمال المملكة ، لقد تم افتراض الفئات المعتبرة نفسها في مرجع [١] ، حيث اعتبر وجود خمس فئات مختلفة لمواقع المستفيدين بالمنطقة: مواقع معزولة سعة مستفيد واحد ، ومواقع صغيرة جداً سعة ستة مستفيدين لكل منها في المتوسط ، ومواقع صغيرة في كل منها أربعون مستفيداً في المتوسط ، ومواقع متوسطة بحجم ٤٠٠ مستفيد في المتوسط، ومواقع كبيرة كالمراكز الصناعية أو التجارية أو المدن العسكرية بحجم ١٥٠٠ مستفيد في المتوسط . وتعتبر مدينة حالة عمار في منطقة تبوك مثال على المناطق ذات التركيز الكبير للمستفيدين . ومن المناطق ذات التركيز المتوسط المناطق القروية مثل قارص (١٠٥٠ نسمة) والشعبان (٣٥٠ نسمة)، أما المناطق الصغيرة فتشمل عدد كبير من القرى موزعة في منطقة تبوك . أما المدن الكبيرة في منطقة تبوك مثل إملج (٢٨٠٠٠ نسمة) أو تيماء (١٥٤٠٠ نسمة) فإنها لا تعد مواقع قروية لأنها تتصل مباشرة بالشبكة الأساسية الأرضية للمسافات البعيدة Backbone terrestrial long distance network .

ولو افترضنا ان مقاطعة تبوك تعتبر ممثلة للمقاطعات الأخرى بالمملكة فإن متوسط المتطلبات الكلية للمناطق القروية بالمملكة يمكن تقديرها بضرب عدد خطوط الاتصال Access lines في الجدول رقم (١) بـ(١٢) وهو العدد الكلي للمقاطعات القروية بالمملكة . ويلاحظ أيضًا أنه يمكن الأخذ بافتراضات أخرى بالنسبة لعدد المستفدين في كل فئة بغية الحصول على العدد الحقيقي للمستفيدين الذي يتمشى مع توزيعهم في المملكة ، وبالنسبة حركة سير البيانات Data traffic فانه يمكن تقديرها بعيداً عن حركة سير المكالمة الهاتفية Voice traffic ومن ثم إضافتها مباشرة إلى السعة المطلوبة لحركة سير المكالمة الهاتفية ، ثم يتم اجراء تحليل لتكلفة خدمة المستفدين لتحديد التكلفة الإجمالية للنقل Transmission cost للشبكة الكلية كدالة في عدد محطات الأقمار الصناعية . وبناء على ذلك يتم إيجاد سعر التكلفة الأمثل بإيجاد العدد المناسب للمحطات الأرضية للأقمار الصناعية الذي يعطى أقل سعر تكلفة للشبكة السعودية .

٣. حساب احتياجات المستفيد

User Requirement Profile

بناء على الاعتبارات المذكورة سابقا جرى تحديد سعة خطوط المستفيدين ومتطلبات حركة السير للمملكة ، ويبين الجدول رقم (١) عينة للحسابات اللازمة لمقاطعة تبوك القروية والتي اختيرت في هذه الدراسة .

جدول ١. حركة السير للمستفيدين User traffic capacity والسعة المطلوبة في منطقة مختارة بمقاطعة تبوك

نوع	موقع المستفيد	كبير	متوسط	صغير	صغير جدًا	مستفيد واحد	ملاحظات
فئات مواقع المستفيدين	متوسط عدد الخطوط في الموقع	١٥٠٠	٤٠٠	٤٠	٦	١	
	عدد المواقع في المنطقة	١	٣٥	٤٩	٣٦	٢٢	اجمالي ١٤٣
حركة المكالمات الهاتفية	حجم الحركة للموقع	٧٥	٢٠	٢	٠,٣	٠,٠٥	باستخدام ٠ر٠٥ ايرلانج لكل خط
	عدد القنوات الهاتفية المطلوبة لكل موقع مستوى الخدمة =٠ر٠١	٩٧	٣٠	٧	٣	١	باستخدام صيغة ايرلانج - ب
	العدد الكلي للقنوات الهاتفية للمنطقة	٩٧	١٠٥٠	٣٤٣	١٠٨	٢٢	
حركة سير البيانات	حركة سير البيانات في الساعات المشغولة(kb)/ موقع	٢١٤٥٠	٤٢٧٩٥	٣٨٠٠	١٨١٠	٥١٢	سرعة القناة = ٣٢ك ب/ ثانية
	حجم حركة سير البيانات المكافئة بالايرلانج / موقع	٢ر١	٠ر٧٤	٠ر٠٦٦	٠ر٠٣	٠ر٠٠٩	حركة سير x ٢ / سرعة القناة x ٣٦٠٠
	عدد قنوات البيانات/ موقع	٧	٤	٢	١	١ باستخدام صيغة ايرلانج - ب	
	اجمالي عدد قنوات البيانات/ منطقة	٧	١٤٠	٩٨	٣٦	٣٢	
العدد الكلي للقنوات للمنطقة		١٠٤	١١٩٠	٤٤١	١٤٤	٤٤	العدد الكلي للقنوات =١٩٢٣
متوسط المسافة إلى المقسم الرئيسي للمنطقة		٢٠٠	١٧٠	١٣٨	٢٢٠	٢٧٠	
المسافة x عدد القنوات في المنطقة		٢٠٨٠٠	٢٠٢٣٠٠	٦٠٨٥٨	٣١٦٨٠	١٨٨٠	المسافة الكلية x القنوات في المنطقة= ٣٢٧٥١٨

وفي هذا الجدول اخترنا مستوى الخدمة Grade of service (G.O.S.) بـ (٠,٠١) لحساب الخطوط المطلوبة باستخدام صيغة "إيرلانج - ب" Erlang-B formula ، وهذا يعني أن واحدة من كل مائة محاولة Call attempt مكالمة اتصال تفشل خلال ساعات اليوم الأكثر اشغالاً Busy hours ، وهو ما يعتبر عملياً تقديراً متحفظاً جداً لمستوى الخدمة . لذلك يمكن افتراض مستويات أخرى للخدمة بدراسة دقيقة لواقع المنطقة . أيضاً تم اختيار سرعة القناة Channel bit rate المستخدمة في حساب الخطوط المطلوبة لحركة سير البيانات بحدود ٣٢ ك ب/ ث (32 kb/s) حيث إن هذه السرعة توفر جودة مقبولة لنقل الصوت رقميا Digitized voice بسعة منخفضة باستخدام وسائل الضغط Compression techniques . بالإضافة إلى أن سرعة ٣٢ ك ب/ ث توفر عرض نطاق لنقل Transmission bandwidth البيانات تفوق ما تحتاجه معظم متطلبات معالجة البيانات، وفي الحقيقة فإن معدلاً منخفضاً لنقل الصوت رقمياً مثل ٨ ك ب/ ث يمكن استخدامه وذلك سيقلل احتياجات الطاقة والبيانات Power and data requirement وبالتالي يقلل تكاليف كل من المعدات الأرضية ونظام القمر الصناعي [٧] .

٤ . تحليل تكلفة الشبكة

يتم تقويم التكلفة الاجمالية لشبكة نقل مختلطة Hyprid تستخدم تقنية الأقمار الصناعية جنباً إلى جنب مع الإمكانات الأرضية المتوافرة للشبكة السعودية وقت إجراء هذه الدراسة . ويهدف التحليل الى ايصال المستفيد من الشبكة الى وضع يمكنه من الحصول على معظم احتياجاته باستخدام إمكانات الأقمار الصناعية وفي هذا التحليل نبحث عن العدد المناسب للمحطات الأرضية للأقمار الصناعية الذي يوفر بناء الشبكة الكلية بالمملكة بأقل سعر تكلفة وفق نموذج روسنر [١] .

و سنستخدم في هذا التحليل طريقة تدفق المال المقطوع Disconnected cash flow approach ، هذه الطريقة في أساسها تحسب القيمة الحالية Net present value لأي تدفق مالي Cash flow عبر الزمن ، إن القيمة الحالية المكافئة Present worth value (PWV) بالريال السعودي خلال فترة من الزمن اعتباراً من الآن تعدل بمقدار 1/1+r حيث ان (r) عبارة عن ثمن المخاطرة المعدل Risk adjusted average cost لرأس المال Capital ويسمى عادة معدل الخصم Disconnect rate وتحتسب القيمة الحالية المكافئة بـ :

$$PWV = \sum_{K=1}^{H} F_K / (1+r)^K$$

حيث إن F_k هو تكلفة المعدات/ شهر و H هو عمر الشبكة بالأشهر .

وفي هذا البحث جرى تقدير القيمة الحالية للشبكة بافتراض أن عمر الشبكة هو ١٠ سنوات ومعدل الخصم السنوي هو ١٠٪ مع الأخذ بالاعتبار الأسعارالتقديرية المبينة في الجدول رقم(٢) .

١ , ٤ . تكلفة الشبكة الأرضية

تتكون الشبكة الأرضية من دوائر الاتصال عن بعد والتي تربط بين المقاسم الموجودة بالشبكة ومن قنوات الاتصال الأرضية التي تربط كل مقسم مباشرة بمناطق تركيز المستفيدين . وبالتالي فإن تكلفة الشبكة الأرضية هو مجموع تكلفة مكوناتها من دوائر اتصال عن بعد وقنوات اتصال .

ومن ثم يمكن ايجاد تكلفة الشبكة الأرضية الكلية كالتالي :

$$TC = CT + CA \cdot N$$
$$CT = CTC.\ D.NT + 2.\ TT.\ NT$$
$$CA = CCK.\ D.\ NA + 2.\ CL.\ NA$$

حيث أن :
- TC = التكلفة الكلية للشبكة الأرضية بدون أي محطات أرضية .
- CT = تكلفة شبكة دوائر الاتصال بعيدة المدى
- CA = تكلفة وصلات الاتصال إلى مواقع تركيز المستفيدين
- CCK = تكلفة الوصلة الأرضية لكل قناة إتصال لكل كم .
- D = المسافة بالكيلو متر
- NA = العدد الكلي لقنوات الاتصال المطلوبة .
- CL = تكلفة كل نهاية وصلة اتصال لكل قناة اتصال .
- CTC = تكلفة دائرة الاتصال عن بعد (ترنك) لكل كم ولكل دائرة .
- NT = العدد الكلي لدوائر الاتصال عن بعد (ترنكات)
- TT = تكلفة نهاية دائرة الاتصال عن بعد لكل دائرة اتصال عن بعد .
- N = عدد المقاطعات القروية

يبين الجدول رقم (٢) تقديرين للتكلفة ، الأول هو متوسط التكلفة الشهري لوصلة اتصال أرضية لكل كيلو متر لكل قناة اتصال أما الثاني فيبين التكلفة الثابتة الشهرية التي لا تعتمد على المسافة لنهاية كل وصلة[١] . ويلاحظ أن التكاليف المبينة في الجدول هى تكاليف تقديرية يجب تعديلها بما يتلائم مع تقنية الاتصالات الأرضية

المستخدمة لربط موقع المستفيد بالمقسم الرئيسي للمنطقة غير أن هذا التعديل لا يغير من الطريقة الأساسية لايجاد الحل الأمثل للنموذج المقترح .

جدول رقم٢. القيمة الحالية المكافئة لاحدى التركيبات الأرضية Terrestrial facility

نوع التكلفة	ثمن العينة في الشهر (ريال سعودي)	القيمة الحالية المكافئة (ريال سعودي)
ثمن وصلة الاتصال (Access link) / قناة / كم (CC K)	١٥	١١٣٥
الثمن الثابت لكل نهاية وصلة إتصال (Link termination) لكل قناة (CL)	١٠٠٠	٧٥٦٧٥
ثمن دائرة الاتصال ذات المسافة البعيدة (Long distance trunk) / دائرة (Circuit) / كم (CTC)	٨	٥٦٨

إن تقدير التكلفة للمستفيدين يتم باستخدام البيانات الموضحة في الجدولين رقما (١و٢) وبافتراض القيم التالية :

NA = ١٩٢٣ قناة إتصال
CCK = ١١٣٥ ريال سعودي/ خط/ كم (القيمة الحالية المكافئة عن ١٠ سنوات) .
D.NA = ٣٢٧٥١٨ قناة إتصال – كم
CL=TT = ٧٥٦٧٥ ريال سعودي/ دائرة/ نهاية
CTC = ٥٦٨ ريال سعودي/ كم/ دائرة ترنك .

إن عدد دوائر الترنك الأرضية ذات السعة العالية High capacity والمجموعة الفائقة ذات الكثافة العالية High density super group (NT) التي تصل بين المقاسم الأساسية بالمملكة تقدر بـ ٣٠٩٠ دائرة ترنك (تقدير سنة ١٤٠٥هـ) [١٣] ، كما هو مبين في الجدول رقم (٣). وعدد دوائر الاتصال عن بعد-كم هو ١١١٩٧٣٥ . بالتعويض بهذه القيم في معادلات التكلفة نحصل على التالي :

جدول رقم٣. شبكة الترنك ذات المسافة الطويلة

الطريق	عدد مجموعات الحمل الفائقة دوائر (Circuits)	الطول التقريبي للطريق (كم)	الطول x دائرة
الدمام - الهفوف	٢٧٥	١٤٠	٣٨٥٠٠
الهفوف - الرياض	٢٧٥	٤١٣	١١٣٥٧٥
الدمام - الجوف	١٦	١٢٨٧	٢٠٥٩٢
الرياض - بريدة	١٥٠	٣٦٩	٥٥٣٥٠
الرياض - الطائف	٤٤٠	٣٠٢	٣٦٩٨٨٨
الرياض - أبها	٣٢	١٠٢	٣٢٦٤
جدة - المدينة	٢١٢	٤١١	٨٧١٣٢
المدينة - تبوك	١٦٦	٥٦٣	٩٣٤٥٨
المدينة - بريدة	١٢٠	٥٣٠	٦٣٦٠٠
تبوك - الجوف	٣٠	٤٠٢	١٢٠٦٠
الطائف - مكة	٤٨٢	٨٤	٤٠٤٤٨
مكة - جدة	٥١٢	٨٤	٤٣٠٠٨
أبها - نجران	١٥٠	١٢٥	١٨٧٥٠
نجران - عراة	٦٠	٢٦٨	١٦٠٨٠
عراة - باحة	٨٠	٩٨	٧٨٤٠
عراة - الطائف	٩٠	٢٣٥	٢١١٥٠
الاجمالي	٣٠٩٠ دائرة		١١١٩٧٣٥ دائرة ترنك.كم

CT = ٥٦٨ × ١١١٩٧٣٥ + ٢ × ٧٥٦٧٥ × ٣٠٩٠ = ١,١ × ١٠^{٣} مليون ر.س.

CA = ١١٣٥ × ٣٢٧٥١٨ + ٢ × ٧٥٦٧٥ × ١٩٢٣ = ٦٢٦,٧٧٩ × ١٠^{٣} مليون ر.س

TC = ١,١ × ١٠^{٣} + ١٢ × ٦٢٦,٧٧٨ = ٩,٠٥ × ١٠^{٣} مليون ر.س. لمدة ١٠ سنوات أو ٩٠٥ مليون ر.س. لسنة واحدة.

٤,٢. تكلفة شبكة القمر الصناعي

يتكون نظام القمر الصناعي من مجموعة من الأقمار الصناعية ذات التقنية المتقدمة ومحطات أرضية مختلفة الأحجام. وبإستخدام حزمة ٦/ ٤ جيجا هرتز التي تبثها الأقمار الصناعية التجارية مثل أربسات Arabsat أو انتلسات Intelsat فإن ذلك يوفر سعة كافية للتعامل مع حركة السير لمعظم الحالات. إن استخدام قمر صناعي ذو حزمة

تردد عالي (١٤/ ١٢ جيجا هرتز) يسمح بتطوير محطات أرضية صغيرة وقد يثبت على أنه أكثر كفاءة من ناحية التكلفة بالنسبة لكثير من المستفيدين ذوي التركيز الصغير .

ومن ناحية أخرى فإن استخدام قمر صناعي للأغراض الداخلية بحزمة ٣٠/ ٢٠ جيجا هرتز يمكن من التعامل مع جزء كبير من حمل الذروة Peak load في نفس الوقت الذي يمكن فيه استخدام محطة أرضية في مواقع المستفيدين ذات التركيز الصغير جدا وذات المستفيد الواحد .

وتتوزع تكلفة القمر الصناعي على المحطات الأرضية ، وعلى تكلفة المحطة الفضائية Space segment ومن المعروف أن زيادة احجام الهوائيات في المحطات الأرضية وبالتالي زيادة نسبة الربح/ درجة الحرارة للشوسرة (G/T) سيؤدي الى استخدام محطات فضائية أقل تكلفة وبالتالي إن استخدام محطة أرضية كبيرة ذات قيم G/T عالية يضمن سعر تكلفة منخفض لكل قطعة قمر صناعي Satellite segment / قناة هاتفية . إلا أن هذا يزيد من تكلفة المحطة الأرضية بشكل كبير . وبالتالي فإنه من الواضح أن السعر الاجمالي للشبكة يعتمد على عدد وأحجام المحطات الأرضية وتكلفة المحطة الفضائية (القمر الصناعي) اللازمة .

أيضًا يلاحظ ان تكلفة نظام القمر الصناعي تعتمد على نوع التعديل الموجي لها Modulation technique حيث يتوافر تقنياً ثلاث طرق تعديل هي TDMA/TA, SPADE, FDM/FM وبهذا البحث جرى اختيار طريق TDMA/TA باعتبار أنها تقنية رقمية بحتة . وهو ما يمثل التوجه التقني المستقبلي . ولتحديد هذه التكلفة تراعي الاعتبارات التالية :

أ) تركيب محطة أرضية كبيرة بـ G/T = ٤٠ ديسبل/ك في المناطق القريبة من مقسم رئيسي في شبكة المملكة ، وهذه المحطة تركب في المواقع ذات التركيز الكبير جداً مثل المدن القروية المتصلة بشبكة نقل أرضية ذات مسافة طويلة مثل مدينة تيماء (١٥٫٤٠٠ نسمة) في منطقة تبوك .

ب) في مواقع المستفيدين الكبيرة والمتوسطة تركب محطات أرضية بـ G/T = ٣٠ ديسبل/ك .

جـ) في المواقع الصغيرة والصغيرة جدا والمواقع ذات المستفيد الوحيد تركب محطات أرضية صغيرة بـ G/T = ١٨ ديسبل/ك .

بناء على ما تقدم فإن التكلفة الإجمالية للشبكة يمكن ايجادها كالتالي :

$$C(N) = TC - SV + SC$$

حيث إن : C (N) = التكلفة الإجمالية لنظام الأقمار الصناعية ومحطات أرضية عددها N

SC = تكلفة نظام القمر الصناعي = GS+SS

GS = تكلفة القطعة الأرضية Ground segment

SS = تكلفة قطع المحطة الفضائية (القمر الصناعي)

SV = التوفير في تكلفة الشبكة الأرضية نتيجة لاستخدام الأقمار الصناعية .

٤,٢,١ . تكلفة قطعة القمر الصناعي

إن تكلفة قطعة القمر الصناعي تعتمد على عدد وحجم المحطات الأرضية كما ذكرنا من قبل . فكلما ازداد عدد المحطات الأرضية تزداد تكلفة القمر الصناعي بما يتناسب مع الاحتياجات الاضافية المطلوبة والتحكم المعقد في حزمة البث Beam control بالقمر الصناعي . ويعطي الجدول رقم (٤) تكلفة القمر الصناعي كدالة في عدد المحطات الأرضية . وتشمل الأسعار المبينة بالجدول تكلفة الأقمار الصناعية للمحطة الفضائية وتكلفة الاطلاق لها لوضعها بالمدار المطلوب [١] .

جدول رقم ٤ . تكلفة قطعة القمر الصناعي

عدد المحطات الأرضية	تكلفة قطعة القمر الصناعي (SS) مليون ر . س .
٠ - ٥٠	٣١٢
٥١ - ١٠٠	٦٢٤
١٠١ - ٣٥٠	٧٩٢
٣٥١ - ١٠٠٠	١١٨٨

كما أن الأسعار المبينة في الجدول رقم (٤) تفترض استخدام أقمار صناعية محلية تعمل بحزمة Ku (Ku-band) لتوفير اتصالات الشبكة وقد يحتاج الأمر لأكثر من قمر صناعي واحد لدعم حركة السير في الشبكة .

٤,٢,٢ . تكلفة قطعة المحطة الأرضية :

إن تكلفة القطعة الأرضية (GS) للنظام تعتمد على عدد وحجم وسعر الوحدة للمحطات الأرضية . وباعتبار أن ١٥٪ (القيمة الحالية المكافئة = ٠,٧٨) من التكلفة

الأساسية للمحطة الأرضية يخصص للصيانة والتشغيل السنوي فإن تكلفة القطعة الأرضية (GS) يحسب كالتالي :

$$GS = 1.78 \times N \times GU$$

حيث أن : N = عدد المحطات الأرضية

GU = سعر المحطة الأرضية الواحدة

ويختلف هذا السعر تبعاً لاختلاف حجم الهوائي وعدد المحطات الأرضية المزمع تركيبها . وعند استخدام عدد صغير من المحطات الأرضية فإن تكلفة قطعة القمر الصناعي الفضائي تفوق تكلفة تركيب محطات أرضية كبيرة . كذلك إذا قل عدد المحطات الأرضية عن ٦٠ محطة يصبح من الأجدى اقتصادياً استخدام محطات أرضية كبيرة بـ ٤٠ ديسبل/ك . وبالتالي كلما ازداد عدد المحطات الأرضية المطلوبة فإن تكلفة القطعة الأرضية تطغى على تكلفة النظام الكلي مما يجعل من الضروري استخدام محطات أرضية ذات أحجام متوسطة وصغيرة ، وبناءاً عليه فإن تكلفة المحطات الأرضية يمكن تقسيمها إلى ثلاثة أنواع مختلفة .

تكلفة محطة كبيرة الحجم :

$GU = C_L$ ، $N \leq 60$ بإعتبار أن N هي عدد المحطات الأرضية . واذا قلت N عن ٤٠٠ محطة فإن استخدام محطات ذات حجم متوسط يصبح أقل تكلفة .

تكلفة محطة متوسطة الحجم :

$GU = C_M$ ، $60 < N \leq 400$ ،

تكلفة محطة صغيرة الحجم :

$GU = C_S$ ، $N > 400$

والنتيجة أنه باستخدام الجدول رقم (٤) وأسعار القطع المبينة سابقًا تصبح التكلفة الكلية لنظام القمر الصناعي كما هو موضح في الجدول رقم (٥) .

ونظراً لما تحتاجة حركة السير فإنه لـ N>400 تستخدم أيضًا محطات أرضية متوسطة الحجم في مواقع المقاسم الأساسية ومواقع المستفيدين ذات التركيز العالي والمتوسط . أما المحطات الأرضية الصغيرة فتركب بالقرب من مواقع المستفيدين صغيرة التركيز .

جدول ٥. تكلفة نظام القمر الصناعي (مليون ر.س.)

عدد المحطات الأرضية (N)	التكلفة الكلية لنظام القمر الصناعي (SC)	تكلفة قطعة المحطة الأرضية (GS)	تكلفة قطعة القمر الصناعي الفضائي (SS)
N≤50	$312+1.78.N.C_L$	$1.78.N.C_L$	312
51≤N≤60	$624+1.78.N.C_L$	$1.78.N.C_L$	624
60<N≤100	$624+1.78.N.C_M$	$1.78.N.C_M$	624
100<N≤350	$792+1.78.N.C_M$	$1.78.N.C_M$	792
350<N≤400	$1188+1.78.N.C_M$	$1.78.N.C_M$	1188
N>400	$1188+712.C_{M+}$ $1.78(N-400)C_S$	$1.78x400xC_{M+}$ $1.78(N-400)C_S$	1188

٤,٢,٣. التوفير في تكلفة الشبكة الأرضية :

لقد جرى احتساب التوفير في تكلفة الشبكة الأرضية عند ادخال الاتصال عبر الأقمار الصناعية على اساس أنه عندما يقل عدد المحطات الأرضية (N) عن مجموع عدد المقاسم الأساسية ومواقع المستفيدين عالية التركيز (تقدر بـ ٨٠ موقع في المملكة) فإن جزءاً فقط من تكلفة تجهيزات دوائر الاتصال عن بعد (الترنك) الأرضية Trunk facilities يمكن توفيره. وإذا قاربت N من (٨٠) فإن كل تجهيزات الترنك يمكن الاستغناء عنها وبالتالي توفير تكلفة كل الشبكة الأرضية للمسافة البعيدة. أما اذا تجاوزت N الـ (٨٠) فإن التوفير يصبح في كل من تجهيزات دوائر الاتصال عن بعد (الترنك) وقنوات الاتصال للمستفيدين.

وبناء على هذا يمكن تقسيم التوفير الناتج في الشبكة الأرضية تبعاً لعدد المحطات الأرضية كما يلي :

التوفير في الشبكة الأرضية = SV

تكلفة تجهيزات دوائر الاتصال عن بعد (الترنك) الأرضية للشبكة = CT .

ولاحتساب التوفير الناتج في الشبكة الأرضية يتم البدء عن علاقة تحدث انخفاضاً كبيراً في تكلفة دوائر الاتصال عن بعد الترنك الأرضية بحيث تصل الى الصفر بعد تركيب استبدال المحطات الأرضية الكبيرة لجميع مواقع المقاسم الرئيسية للشبكة .

ولهذا فإن التوفير الخاص باستبدال دوائر الاتصال عن بعد للمحطات الأرضية الكبيرة هو :

$$SV = CT(1-1/N) \qquad 1<N<80$$

حيث CT هو تكلفة شبكة دوائر الاتصال عن بعد . ولقد تم اختيار هذه المعادلة بهدف تحقيق انخفاض كبير في عدد دوائر الاتصال عن بعد عند إدخال عدد محدود من المحطات الأرضية نظراً لأن وجود المحطة الأرضية قد يؤدي إلى الاستغناء عن عدد كبير من دوائر الاتصال عن بعد .

ولهذا عند $N = 80$ فإن ذلك سيؤدي إلى توفير تكلفة دوائر الاتصال كافة عن بعد للمحطات الأرضية الكبيرة .

أي توفير مليون ر . س . $SV = CT = 1.1 \times 10^3$

عند $N > 80$ ، فان التوفر في التكلفة سيكون مساويًا :

التوفير في قنوات الاتصال للمستفيدين $SV = CT +$

وكما ذكر من قبل فإنه تركيب محطات أرضية متوسطة إنما يكون بالقرب من مواقع التركيز الكبير . ويبين الجدول رقم (١) أن هناك موقع واحد ذو تركيز كبير لكل مقاطعة أو ١٢ موقع في المملكة ، وبالتالي إن عدد الخطوط اللازمة لتوصيل المستفيدين في المواقع ذات التركيز الكبير هو ١٠٤ خط لكل موقع ، وباعتبار أن متوسط بعد هذه المواقع هو ٢٠٠ كم . فإن التوفير في التكلفة :

$$SV = CT + (N - 80)\ [104 \times 200\ Km \times 1135] + (2 \times 75675 \times 104)(N - 80) =$$

ر . س . كم / خط $CT + 39.35\ (N - 80)$

مليون ر . س $= 1.1 \times 10^3 + 39.35\ (N - 80)$

عند $89 < N \leq 92$

وعند $N = 92$ يتم خدمة تجميع المواقع ذات التركيز الكبير في الشبكة باستخدام الأقمار الصناعية . ويصبح التوفير :

$$SV = 1.1 \times 10^3 + 39.35 \times 12$$

مليون ر . س . $= 1.572 \times 10^3$

أما عند N>92 فإنه يتم تركيب محطات أرضية في مواقع المستفيدين ذات التركيز المتوسط . ويوضح جدول رقم (١) أن هناك ٣٥ موقعًا متوسطًا لكل مقاطعة ، أي أن العدد الإجمالي لهذه المواقع في المملكة هو ٣٥x١٢ =٤٢٠ موقعاً ويبلغ عدد الخطوط في كل موقع ٣٤ خطاً، ويبعد كل منها مسافة ١٧٠ كم في المتوسط عن المقسم الرئيسي . فيكون التوفير لـ 92 < N < 512 هو :

$$SV = 1.572 \times 10^3 + (34 \times 1135 \times 170)(N - 92) + (2 \times 75675 \times 34)(N - 92)$$

$$= 1.572 \times 10^3 + (N - 92) \quad \text{مليون ر . س .}$$

وعند N=512 فإن كل المواقع المتوسطة الحجم يتم خدمتها باتصالات الأقمار الصناعية . ويكون التوفير هو :

$$SV = 1.572 \times 10^3 + 11.71 \times 420$$

$$= 6.49 \times 10^3 \quad \text{مليون ر . س .}$$

وعندما تكون N>512 فإنه يتم تركيب محطات أرضية صغيرة في المواقع الصغيرة والصغيرة جداً، حيث يقدر عدد هذه المواقع بـ٤٩ موقعا في كل مقاطعة أي ٤٩×١٢=٥٨٨ موقعًا بالمملكة ويلزم لكل موقع ٩ خطوط ، وبعده عن المقسم الرئيس هو ١٣٨ كم في المتوسط . فيكون التوفير لـ 512 < N ≤ 1100 :

$$SV = 6.49 \times 10^3 + (9 \times 1135 \times 138)(N - 512) + (9 \times 2 \times 75675)(N - 512)$$

$$= 6.49 \times 10^3 + 2.772 (N - 512) \quad \text{مليون ر . س .}$$

وعند N=1100 تستخدم الأقمار الصناعية في خدمة كل المواقع الصغيرة . ويكون التوفير هو :

$$SV = 6.49 \times 10^3 + 2.772 \times 588$$

$$= 8.12 \times 10^3 \quad \text{مليون ر . س .}$$

وأخيراً لـ N>1100 فإنه يتم تركيب محطات أرضية صغيرة في مواقع المستفيدين الصغيرة جداً . ويبين الجدول رقم (١) ان هناك ٣٦ موقع صغير في كل منطقة أي ٣٦ × ١٢ =٤٤٢ موقعًا صغيراً في المملكة ، كل منها يحتاج إلى ٤ خطوط ومتوسط بعده عن المقسم الرئيسي هو ٢٢٠ كم . وبذلك يكون التوفير :

لـ $1100 < N \leq 1532$ هو :

$$SV = 8.12 \times 10^3 + (1135 \times 4 \times 220)\ (N - 1100) + (2 \times 75675 \times 4)\ (N - 1100)$$

$$= 8.12 \times 10^3 + 1.604\ (N - 1100)$$ مليون ر . س .

وعند N=1532 فإن كل المواقع الصغيرة جداً يتم خدمتها باستخدام الأقمار الصناعية . ويكون التوفير :

$$SV = 8.12 \times 10^3 + 1.604 \times 432 = 8.12 \times 10^3$$ مليون ر . س .

إن إدخال محطات أرضية في المواقع ذات المستفيد الواحد قد لا يساهم في خفض التكلفة الاجمالية للنظام بشكل كبير . إلا أن التطور في تقنيات المحطات قد يؤدي إلى استحداث محطات أرضية صغيرة بتكلفة قليلة ، حينئذ قد يكون مستحقا للدراسة تأثير هذه المحطات الصغيرة على التكلفة الاجمالية للنظام .

ولتلخيص النتائج ، يبين الجدول رقم (٦) التوفير في التكلفة كدالة في عدد المحطات الأرضية . وبالنظر إلى إن التكلفة الإجمالية للشبكة باستخدام تقنية الأقمار الصناعية كما سبق بيانه هي :

$$C(N) = TC + SC - SV$$

حيث تبلغ تكلفة الشبكة الأرضية بالكامل مبلغ :

$$TC = 9.05 \times 10^3$$ مليون ر . س .

جدول . ٦ . التوفير في التكلفة

عدد المحطات الأرضية N	التوفير في التكلفة (مليون ر.س.) SV
$0<N\leq80$	$1.1\times10^3(1-1/N)$
$80<N\leq92$	$1.1\times10^3+39.35(N-80)$
$92<N\leq512$	$1.572\times10^3+11.71(N-92)$
$512<N\leq1100$	$6.49\times10^3+2.772(N-512)$
$1100<N\leq1532$	$8.12\times10^3+1.604(N-1100)$
N=1532	8.812×10^3

وبدمج التكاليف المختلفة التي تشمل تكلفة قطعة القمر الصناعي وتكلفة قطعة المحطة

الأرضية والتوفير في تكلفة الشبكة الأرضية والمبينة في الجدولين رقما (٥و٦) فإننا نحصل على التكلفة الاجمالية لنظام القمر الصناعي كما هو موضح في الجدول رقم (٧).

جدول ٧. التكلفة الاجمالية للشبكة (مليون ر.س.)

عدد المحطات الأرضية N	التكلفة الاجمالية للشبكة C(N)
N≤ 50	$9.05x10^3+312+1.78\ N\ C_L-1.1x10^3(1-1/N)$
50<N≤60	$9.05x10^3+624+1.78\ N\ C_L-1.1x10^3(1-1/N)$
60<N≤80	$9.05x10^3+624+1.78\ N\ C_M-1.1x10^3(1-1/N)$
80<N≤92	$9.05x10^3+624+1.78\ N\ C_M-1.1x10^3-39.35(N-80)$
92<N≤100	$9.05x10^3+624+1.78\ N\ C_M-1.572x10^3-11.72(N-92)$
100<N≤350	$9.05x10^3+792+1.78\ N\ C_M-1.572x10^3-11.72(N-92)$
350<N≤400	$9.05x10^3+1188+1.78\ N\ C_M-1.572x10^3-11.72(N-92)$
400<N≤512	$9.05x10^3+1188+712\ C_M+1.78(N-400)C_s-1.572x10^3\ 11.72(N-92)$
512<N≤1100	$9.05x10^3+1188+712\ C_M+1.78(N-400)C_s-6.49x10^3-2.772(N-512)$
1100<N≤1532	$9.05x10^3+1188+712\ C_M+1.78(N-400)C_s-8.12x10^3-1.604(N-1100)$

ولاحتساب التكلفة نحسب الجدول رقم (٧) يبقى افتراض قيم لكلفة المحطات الأرضية ولهذا تم حساب المعادلات المعطاه في الجدول رقم (٧) لقيم مختلفة لعدد المحطات الأرضية N ، وتكلفة المحطات الأرضية الكبيرة والمتوسطة والصغيرة : C_S ' C_M ' C_L ، على الترتيب وقد أخذت أسعار المحطات بقيم انفرادية Discrete values محصورة بين نهايتين عظمى وصغرى Maximum and minimum values وتقدر هذه القيم بما يلي :

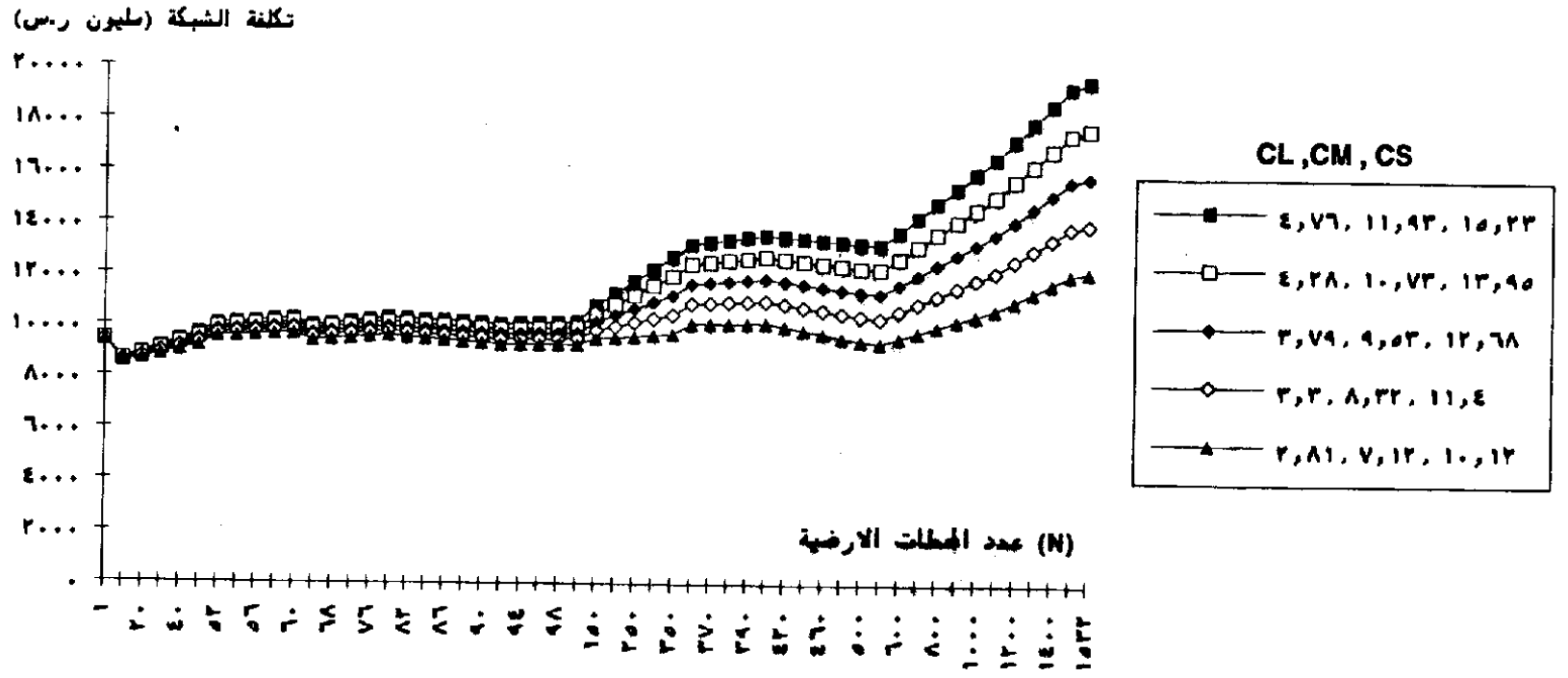
القيم العظمى(C_S ' C_M ' C_L) هما : (٣٢,١٥ ، ٩٣,١١ ، ٧٦,٤) مليون ر.س.

القيم الصغرى (C_S ' C_M ' C_L) هما : (٧٥,٣ ، ١٣,١ ، ٣٧٥,٠) مليون ر. س.

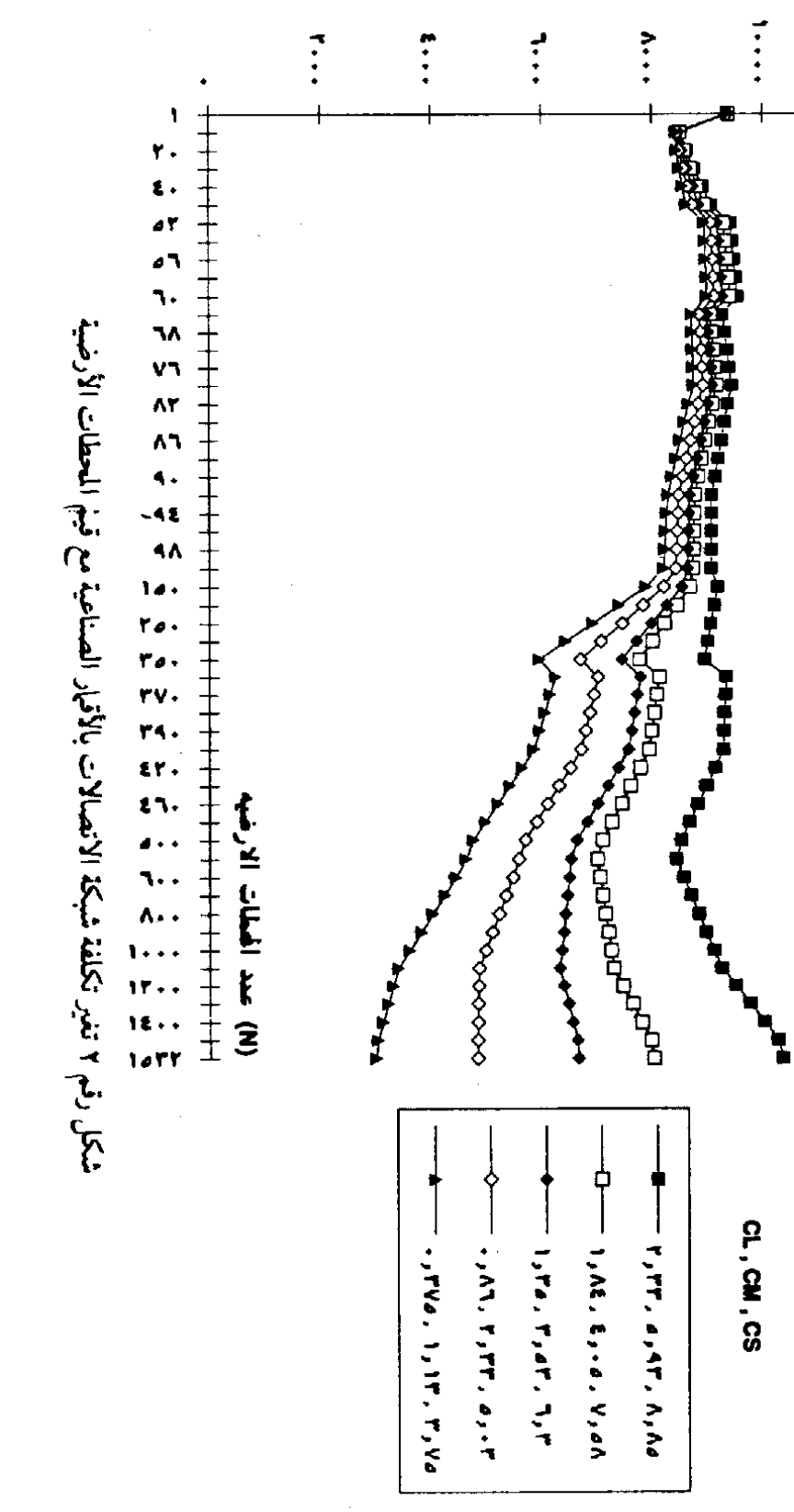
وبالتعويض في المعادلات بالجدول رقم (٧) لمجموعة القيم في المدي المبين يمكن

الحصول على عدة منحنيات للتكلفة الإجمالية الشبكة كدالة من عدد المحطات الأرضية . ويبين الشكلان رقما (١ و ٢) عينات من النتائج لتكلفة الشبكة مع قيم مختلفة للمحطات الأرضية ، وبالنسبة للتقطعات Discontinuities بين الأجزاء المختلفة للمنحنيات فقد تم تسويتها Fitted كما هو مبين في الشكلين رقما (١ و ٢) بحيث تعطى منحنى واحد لكل مجموعة من المتغيرات . ويبين الشكل رقم (٢) تغير التكلفة مع عدد المحطات الأرضية بقيم مختلفة من تكلفة المحطات الأرضية الصغيرة والوسطى والكبيرة .

ويبين الشكل رقم (١) أنه لمجموعة الأسعار العظمى (١٥ر٢٣ ، ١١ر٩٣ ، ٤ر٧٦) فإن التكلفة الإجمالية للشبكة يتجاوز التكلفة الإجمالية للشبكة الأرضية لكل قيم N الممكنة ، غير أن هذه حالة شاذة لأننا استخدمنا تقديرات متحفظة جدا لـ C_s C_L ، C_M ، . أما بالنسبة لمجموعة الأسعار الصغرى لـ C_L ، C_M ، C_s في الشكل رقم (٢) فيلاحظ استخدام عدد كبير من المحطات الأرضية المتوسطة والصغيرة (١٥٠٠) للشبكة . ويلاحظ من الأشكال أن العدد الأمثل للمحطات الأرضية الذي يجعل التكلفة الكلية للشبكة تصل للحد الأدنى يزداد من ٥١٢ محطة أرضية لمجموعة الأسعار (٧,٥٨ ، ٤,٠٥ ، ١,٨٤) إلى ما يقارب ١١٠٠ محطة أرضية لمجموعة الأسعار (٥,٠٣ ، ٢,٣٣ ، ٠,٨٦) .



شكل رقم ١ تغير تكلفة شبكة الاتصالات بالأقمار الصناعية مع قيم المحطات الأرضية



شكل رقم ٢ تغير تكلفة شبكة الاتصالات بالأقمار الصناعية مع قيم المحطات الأرضية

٥. الخلاصة

يعد هذا البحث دراسة تطبيقية لاستخدام نموذج الحل الأمثل في مرجع [١] لاحتساب تكلفة نظم الأقمار الصناعية للاتصالات في المناطق القروية في مقاطعات المملكة العربية السعودية. وقد توصل البحث إن هذا التحليل التقريبي يبين أن الأقمار الصناعية يمكن أن يكون لها دور كبير في تطوير شبكة الاتصالات للمناطق القروية بالمملكة اذا ما جرى استخدم عدد كبير من المحطات الأرضية . حيث يمكن توفير ما يصل إلى ٦٠٪ من التكلفة الكلية للشبكة السعودية مقارنة بتكلفة الشبكة لو تم الاقتصار على الاتصالات الأرضية فقط، ومن المهم أن ندرك انه بالتقدم المستمر لتقنية الاتصالات بالأقمار الصناعية يمكن أن تحصل على توفير متزايد في التكلفة الاجمالية للشبكة . أضف إلى ذلك أن هذا التحليل يأخذ بالاعتبار التوفير في النقل Transmission cost saving فقط الناجم عن ادخال نظم الاتصال والأقمار الصناعية ، إلا إنه يبقى ملاحظة أنه يمكن أيضا خفض تكلفة التحويل Switching cost بشكل كبير بإدخال هذه التقنية . وأيضاً من العوامل الأخرى التي قد توفر في تكلفة الشبكة عند استخدام الأقمار الصناعية التوفير الحاصل في تكلفة الصيانة والعوائق الجغرافية.

إن تحليل الحل الأمثل الذي عرضناه في هذا البحث يفيد وزارات البرق والبريد والهاتف (PTT) إذا كانت هناك الرغبة في تطوير شبكة اتصالات للمناطق القروية باستخدام الأقمار الصناعية والبدائل الأرضية، علماً بأن تطوير مثل هذه الشبكة يمكن أن يتم عبر فترة طويلة من الزمن تبعاً لما توفره التقنية ولتكلفة المحطات الأرضية بما يؤول إلى احلال اتصالات الأقمار الصناعية على أساس اقتصادي . وأن الطريقة الموضحة في هذا البحث يمكن تطبيقها باستخدام قيم مختلفة لتكلفة المحطات الأرضية واحتياجات المستفيدين بما يوافق الأسعار المتوافرة فعلياً وبالتالي يجري تحديد جدوى الشبكة وتقليل تكلفتها الإجمالية بحسب القيم الواقعية لأثمان المحطات الأرضية والقمر الصناعي .

المراجع

[١] Rosner, Roy D. "Distributed Telecommunication Networks: via Satellite and Packet Switching." *Life Time Learning publications*, CA 94002, USA, (1982), 178-196.

[٢] Rancy, F.; Thebault, D.; Brachat,P.; Pene, F. and Roizel, T. du. "An Optimum Satellite System for Regional and Domestic Applications in Africa." *IEEE ICC '84 Conference Proceeding*, Vol. 2, Amestradum, May 14-17, (1984), 89-92.

[٣] Wagg ,M. and Dinh , K. " Satellite Services for Australia in The 1990s." *IEEE ICC '91 Conference Proceeding*, Vol. 2, Denever , U.S.A , (1991), 1112-1117.

Maral, Gerard and Bousquet, Michel . *"Satellite Communication Systems."* John Wiley & Sons, United Kingdom, (1986). [٤]

Casey Stahmer, A.; Goldsmith, D. and Lauffer, S. "Planning Considerations for a Rural Satellite-based Communication System." *4th World Telecommunication Forum' 83 Proceeding* , ITU, 29 Oct-1st Nov., Geneva, 1983. [٥]

Hamid Rana ,A. ; McCosksey ,J. and Check ,W. " VSAT Technology , Trends , and Applications." *Proceeding of the IEEE*, Vol. 78, No. 7 , (1990), 1087-1095. [٦]

Christoph, E. Mahle. ; Geaffrey, Hyde. and Thomas, Inukai " Satellite Scenarios and Technology for the 1990's." *IEEE Journal on Selected Area in Communications* , Vol. SAC-5, No. 4 , (May 1987) , 556-570. [٧]

Marthy,K. M. S. and Gordon, K. G. " Techno-Economic Analysis of Shared VSAT Networks." *IEEE Globecom '86 Conference Proceeding*, Houston , U.S.A, (1986), 1511-1516. [٨]

Ranjana, S. "VSAT Network Economics : A Comparative Analysis." *IEEE Communication Magazine* , Vol. 27 , No. 2 ,(1989), 1511-1516. [٩]

Saam, Thomas J. " The Economic Benefits of VSAT's." *IEEE ICC'90 Conference Proceeding* , (1990), 0370-0375. [١٠]

Hossein, Sharifi M. and Kenneth, Garber. "Economics of Private Packet Switching and VSAT Networks. " *IEEE Network Magazine* , Vol. 3, No. 3,(1989), 322-31 . [١١]

Samarkandy, M.; Al-Wakeel, S. and Bakáry, S. "Investigation of the Future Expansion of the Saudi Telecommunication Network." *KACST Project # '55-6-AT', Fourth Progress Report*, (Jan. 1987). [١٢]

Saudi Telcom Monthly Performance Results , 7th Year issues , (Ramadan 1405). [١٣]

Planning for a Rural Satellite Network for Telephony and Data Transmission in Saudi Arabia

Sami S. Alwakeel and Muhammed K.Samarkandy*
*College of Computer and Information Sciences College of Engineering**
King Saud University, Riyadh, Saudi Arabia

(Received, 16 Oct. 1994; accepted for publication, 26 Mar. 1995)

Abstract. There has been a general acceptance world-wide in the role of satellite in serving the telecommunication needs of rural areas, including most of the local access connections to the main terrestrial national network. Further, it is even possible to replace the whole basic terrestrial network entirely by a satellite network, whenever, it is economically feasible. Therefore, the study of the economic of satellite rural network is of a considerable importance.

This paper presents a case study of the rural telecommunication network in the Kingdom of Saudi Arabia that combines both satellite and local conductivity. The study aimed towards showing that for serving a large number of the Kingdom rural regions it may be more economical to fulfil the regions telecommunication requirements through satellite facilities rather than terrestrial alternatives. The cost optimization model developed by Roy D. Rosner was applied by this study on selected districts of the Kingdom. The averge overall rural requirement of the Kingdom is then estimated by generalization of the results obtained. The study shows that the least cost solution of the Saudi rural network can be achieved by a hybrid network that uses satellite technology as well as terrestrial facilities. In addition, this study examines the relationship among various elements of the rural network that influence the optimization of the network design, and presents a comparison of the economics of the satellite earth stations access with various terrestrial rural communication alternatives.