مجلة جامعة تشرين للدراسات و البحوث العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (26) العدد (1)2004
Tishreen University Journal for Studies and Scientific Research- Engineering Sciences Series Vol (26) No (1) 2004

تقييم الفعالية الاقتصادية والمعلوماتية لمنظومات الاتصال وفق برامترات أوساط النقل

الدكتورة ميسر الحسن*
عرب أحمد**

(قبل للنشر في 2004/3/30)

□ الملخّص □

تهدف الدراسة إلى الوقوف على الواقع الراهن لشبكات الاتصال الهاتفي ومدى تلبيتها للمتطلبات الحديثة من خلال حساب مؤشرات الفعالية المميزة لها.

لقد تم في هذا البحث استعراض أنواع خطوط الاتصال التوجهية المختلفة التي تخدم شبكات الاتصال الهاتفي مع التوسع الكبير الجاري فيها ومناقشة عقلانية استخدام هذه الخطوط في أجزائها المختلفة من وجهة نظر الكفاءة الفنية والجدوى الاقتصادية. وقد استطعنا على أساس التحليل الفني–الاقتصادي لمختلف أنواع الخطوط التوجهية (الكوابل المحورية، المتجانسة، البصرية وغيرها) الوقوف على التوجهات العامة لتطورها اللاحق وتحديد مجالات استخدامها ومكانها في الحلقات ابتداء من شبكة الاتصال الهاتفي ووصولا إلى وضع مجموعة من المقترحات الرامية إلى تطوير هذه الشبكة وتحسين أدائها.

* عضو الهيئة التدريسية في أكاديمية الأسد للهندسة العسكرية.
** طالب ماجستير في أكاديمية الأسد للهندسة العسكرية.

مجلة جامعة تشرين للدراسات و البحوث العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (26) العدد (1)2004
Tishreen University Journal for Studies and Scientific Research- Engineering Sciences Series Vol (26) No (1) 2004

Estimation of Economic and Informatics Efficiency for Communication Systems based on Transmission Media Parameters

Dr. Miassar Alhasan*
Arab Ahmad**

(Accepted 30/3/2004)

□ ABSTRACT □

The study aims at demonstrating the recent status of the telecommunication networks, and the range of their answering the modern needs, through calculating their specific efficiency indications.

The study illustrates the kinds of the different directional channels used in the telecommunication networks and the significant increase in these networks. It also discusses the rationality of using these channels in their different parts through specific efficiency and economical view points. The technical-economical analysis of the different kinds of the directional channels (optical fibers, axial and homogeneous cables, etc) enabled us to observe the coming development in order to specify the ranges of their use and their position in the different circles in the telecommunication network, and to establish a number of suggestions that aim at developing and improving the performance of the network.

***A Teacher In Asad Academy For Military Engineering.**
****M.A. Student In Asad Academy For Military Engineering.**

الكلمات المفتاحية:

PCM– التعديل النبضي المرّمز.

PDH– نظام النقل الرقمي شبه المتزامن.

SDH– نظام النقل الرقمي المتزامن .

مقدمة:

تميز العقدان الأخيران بتطور هام في مجال الاتصالات، حيث تم تحديث الكثير من منظومات إرسال المعلومات وبناء أخرى جديدة تماماً. وقد تغيرت تقانات تصميم وتصنيع واستثمار خطوط الاتصال بشكل نوعي فدخول خطوط الاتصال المصنوعة من الألياف البصرية خلق ثورة في تقنية تصنيع واستثمار شبكات الاتصال فبواسطتها تم مد خطوط اتصال كابليه بطول عدة آلاف من الكيلومترات عبرت انهاراً ومحيطات وبواسطتها أيضا تطورت شبكات كابلية محلية للتلفزة والبنوك والحواسب.

بالتزامن مع الكوابل البصرية تم إدخال منظومات الإرسال الرقمية في مسارات خطوط الاتصال، وهذا تطلَّب زيادة في عرض الحزمة، تحسين تصاميم معيدات الإشارة (المقويات)، وأيضاً زيادة وثوقية وسائط حماية خطوط الاتصال من التأثيرات الخطرة والمعيقة للحقول الكهرطيسية ومن تأثير عمليات التفريغ التي ترافق حدوث البرق.

تم في عام 1990 إنشاء أول شبكة ألياف بصرية تربط بين شرق أوروبا وغربها ووضعت في الخدمة سنة 1992. دخلت المحطات الرقمية البصرية 140Mbit إلى سورية في عام 1992 مع البدء بمشروع المليون خط وكانت من النوع شبه المتزامن (PDH) مع مقاسم (EWSD) وتجهيزات مشترك (PCM30G) وهذا مؤشر ايجابي واضح.وفي نفس العام تم البدء باستخدام الألياف البصرية في سورية لربط المقاسم مع بعضها ضمن المدينة، كما تم استخدامها في كافة شبكات الاتصال لمشروع تحديث وتوسيع الشبكة بمليون خط، وذلك لرخصها بالمقارنة مع الكوابل النحاسية وإمكانية الاستغناء عن تكلفة معيدات الإشارة لمسافات تصل إلى 300km وهي مسافة مقبولة جداً بين محطات التراسل الرقمية.

سنناقش في هذا البحث، ومع التوسع الكبير الجاري في مجال الاتصالات، بارامترات شبكات الاتصال الهاتفي (حزمة التمرير، الوثوقية، نوعية إرسال الإشارات، والجدوى الاقتصادية) لنقف على المعايير العلمية الصحيحة المعتمدة في اختيار منظومات الإرسال الملائمة للواقع المحلي في كل بلد والمواكبة للتطور العالمي السريع في هذا الاتجاه.

أهمية البحث وأهدافه:

لقد تم إيجاد نظام النقل الرقمي شبه المتزامن PDH من اجل نقل كمية كبيرة من المعلومات بين موقعين محددين أصلاً، حيث يتم فيهما توجيه هذه المعلومات، وبالتالي فإن نظام PDH لا يملك المرونة لمثل هذه الوظائف إلا في الموقع المحدد له تماما (المحطة)، حيث أن هذا النظام يؤمن تزامناً محلياً فكل موقع محطة يشابه غيره من المواقع الأخرى لكنه يختلف عنه بفارق زمني ما ويتعقد هذا الاختلاف في المستويات الرقمية الأعلى مما

يؤدي إلى صعوبة في التنضيد وفك التنضيد المباشر للأنظمة بسبب صعوبة تلاؤم مثل هذه الإجراءات للحصول على أنظمة أقل أو أقنية رقمية بمستوى 64 kbit/s.

نظراً لهذه المساوئ وبسبب زيادة حركة المعلومات وحاجة المستثمرين المتزايدة لتأمين خدمات متنوعة التطبيقات والمستويات ومن أجل تأمين الاستجابة الأسرع لإجراء عمليات الاتصال والربط بين كافة دول العالم وإمكانية مراقبة الشبكة بطريقة دقيقة جداً ولمزايا لا مجال لذكرها هنا تم إيجاد نظام آخر بديل هو نظام النقل الرقمي المتزامن SDH الذي يتميز باحتوائه على كافة المستويات الرقمية لنظام PDH السابق، مما أدى إلى انخفاض تكلفة إنشائه بشكل كبير، بالإضافة إلى التزامن الكامل بين كافة تجهيزات الشبكة الرقمية.

إذا ألقينا نظرة على الشبكة الهاتفية الوطنية نجد أنها تنقسم إلى مستويين:

أ- **رئيسية:** تصل بين قائم التجربة العمودي وغرفة الكوابل الرئيسية ومنها إلى غرف التفتيش عبر القساطل البلاستيكية تحت الأرض لتصل إلى الكبائن التي هي حصيلة توزيع الكبل الرئيسي ذي السعات المختلفة (900 -1200 -750- 450- 300) زوج.

ب- **فرعية:** يتم ربطها ضمن الكبين مع الشبكة الرئيسية من خلال جنبر يصل إلى الأبنية في قوائم الكبين الذي تخرج منه عدة كوابل على عمق 70-60 سم بسعات (300-200-150-100-75-50-20-10) خط توزع إلى علب التوزيع ذات السعات المختلفة (50-30-20-10) خط التي تخرج منها خطوط المشتركين الهوائية بكوابل نيوبرين أو كوابل ميدانية إلى المنازل.

الشبكات المستخدمة حالياً هي شبكات بلاستيكية (كوابل بوليتين محقونة) ضمن القساطل وغرف التفتيش وكوابل بوليتين محقونة مسلحة ضمن الأرصفة في المدن وشبكات هوائية معلقة ضمن المراكز الريفية، حيث تستخدم الأعمدة الخشبية لتحميل الكوابل الهوائية عليها وكوابل ضوئية لربط المقاسم (مقاسم المدينة مع بعضها والمقاسم الأم مع المراكز التابعة، ومراكز المدينة مع مراكز الريف)، علماً أنه كانت تستخدم الخطوط الرصاصية في الشبكات الرئيسية والفرعية، أما الآن فيتم الاستغناء عنها بشكل تدريجي ويستعاض عنها بالخطوط البلاستيكية المذكورة.

انطلاقاً من هنا تأتي أهمية الدراسة التي تلقي الضوء على واقع هذه الخطوط فتضئ إيجابياتها وتشير إلى سلبياتها ومن ثم تضع مجموعة من المقترحات التي من شأنها تطوير عمل الشبكات وتحسين أدائها.

طريقة إجراء البحث :

تم إجراء مقارنة بين خطوط الاتصال التوجهية (point to point) المختلفة: الكوابل الكهربائية (المتجانسة والمحورية)، الخطوط الهوائية، دليل الموجة، الكوابل البصرية، وعالية الناقلية من وجهة نظر ميزات نقل المعلومات والميزات الفنية- الاقتصادية، ثم تمت دراسة الشبكة الهاتفية السورية كنموذج عن الشبكات الهاتفية العامة يمكن من خلاله الوقوف على واقع هذه الشبكات واتجاه تطورها، حيث تمّ رسم منحنيات تغير الكلفة الفعلية من خلال قيم الأسعار الحقيقية الأخيرة التي نفذت بها الخطط الجديدة لتوسيع الشبكة.

إن المؤشرات الأساسية لخطوط الاتصال التوجهية عالية التردد تظهر في الجدول (1)، الذي يبين أنه ومن وجهة نظر المجال الترددي تملك الكوابل البصرية ودليل الموجة والكوابل المحورية إمكانيات واسعة، بينما تملك الكوابل المتجانسة مجالاً ترددياً محدوداً جداً. تستخدم الخطوط الهوائية والكوابل المتجانسة في مجال ترددي لا يتجاوز Hz (10^5-10^6)، بينما تعمل دارات الاتصال الرئيسية المحورية ودارات التلفزة في المجال حتى 10^8Hz،

ويتم إرسال الأمواج المترية، الديسمترية وفي أحيان قليلة السنتمرية بواسطة الكوابل المحورية المغذية للهوائيات في المجال حتى 10^6Hz. كما يشغل دليل الموجة مجال الأمواج المليمترية بشكل أساسي Hz (10^{10}-10^{11}) أما الكوابل البصرية فتعمل في المجال الترددي Hz (10^{14}-10^{15}) ويقترح عادة إرسال المعلومات في المجال الترددي حتى 10^9 Hz بالكوابل عالية الناقلية.

يبين الشكل (1) العلاقة الترددية لثابت تخامد المنظومات التوجهية المختلفة، ونرى منه أن تخامد الدارات المتجانسة (الهوائية والكابلية) يزداد بحدة مع زيادة التردد، وهي تتصف بالأنواع الثلاثة للضياعات: في المعدن a_m، في العازل الكهربائي a_o وبالإشعاع a_r. بالنسبة للكوابل المحورية يتضمن ثابت التخامد مركبتين ($a_m + a_o$) فقط ويتزايد بشكل أكثر انسيابية. في الظروف الأكثر ملاءمة تصادف منظومات دليل الموجة التي يتحدد تخامدها بالضياعات (a_m) فقط، بينما تغيب الضياعات a_o و a_r ويقل تخامد دليل الموجة بخلاف بقية المنظومات التوجهية مع زيادة التردد، وكما نرى من الشكل فهو لا يمرر المجال الترددي حتى قيمة 10^9 Hz تقريباً، أما المجالات الترددية الأعلى Hz (10^{10}-10^{11}) فهي تتمتع بتخامد قليل جداً.

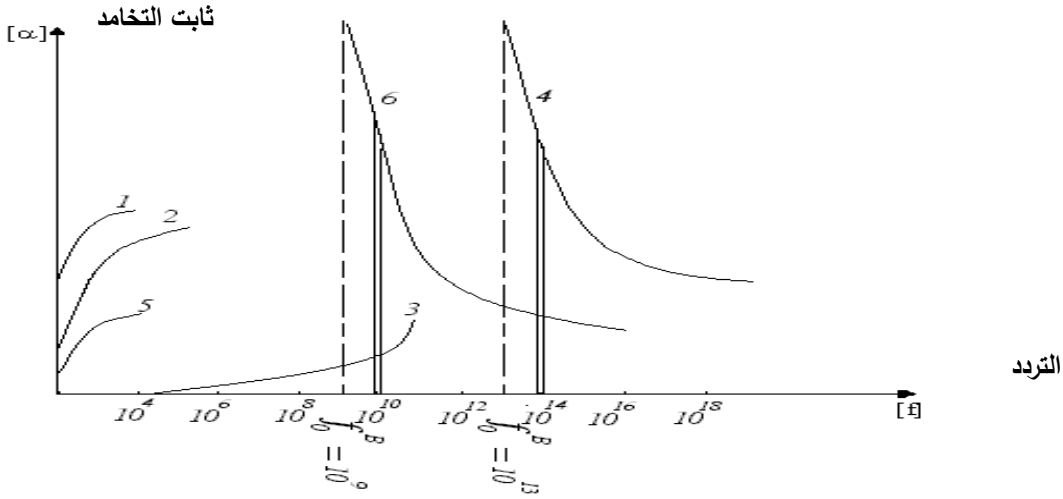
تملك الكوابل البصرية ضياعات ناتجة عن الامتصاص في العازل الكهربائي وعن التشتت المتعلقين بعدم التجانس الهندسي للمنظومات الحقيقية، فهي تمرر الإشارات بتخامد قليل نسبياً في المجال الترددي (10^{13}-10^{15} Hz). ويعتبر الكبل عالي الناقلية غير قابل للمنافسة من وجهة نظر التخامد لأن تخامده قليل جداً وأقل من تخامد الكبل العادي بحوالي 10^4 مرة في الترددات التي تقل عن 1MHz وبـ10^2 مرة في الترددات التي تقل عن 1GHz ثم يزداد هذا التخامد بشكل كبير، وهويتحدد بشكل رئيسي بالضياعات في العازل الكهربائي وبعدم التجانس في الخط.

بتقييم هذه المنظومات من وجهة نظر تأثير الحقل الكهرطيسي الخارجي والحماية من التشويشات الخارجية والمتبادلة يمكن الإقرار بأن الكبل المحوري ودليل الموجة يؤمنان الشروط الأكثر ربحاً وهما يعتبران من المنظومات المغلقة والمحجبة بشكل كامل، وليس لهما إشعاعات ولا يعانيان من التشويشات المتبادلة والخارجية. كما يتمتع الكبل البصري أيضاً بممانعة تشويش عالية جداً، أما الكبل عالي الناقلية فيتميز بخصائص التحجيب والضجيج الحراري القليل.

الجدول (1): المؤشرات الأساسية لخطوط الاتصال التوجهية

المنظومة التوجهية	منظومة الاتصال	عدد القنوات	نوع الموجة	المجال الترددي Hz	الحقل الخارجي	a_r	a_o	a_m	مجال الاستخدام
خط هوائي	B-12	10	T	حتى 10^5	+	+	+	+	اتصال منطقة
كبل متجانس	K-1020 K-60	100	T	حتى 10^6	+	+	+	+	اتصال منطقة
كبل محوري	K-1920, K-5400, K-10800	1000-10000	T	حتى 10^8	–	–	+	+	اتصال رئيسي
كبل عالي الناقلية	K-1920, K-5400, K-10800	1000-10000	T	حتى 10^9	–	–	+	–	اتصال رئيسي

دليل موجة	--	30000	Enm Hnm	10^{10}- 10^{11}	–	–	–	+	مغـــــــذيات الراديو
كبل بصري	PCM-120 PCM-480 PCM-1920 PCM-7680	30000	EHnm HEnm E_0m H_0m	10^{13}- 0^{15}	–	–	+	–	كل عقد الاتصال



الشكل(1): العلاقة الترددية لثابت التخامد

1– الكبل المتجانس 2– الكبل المحوري 3– الكبل عالي الناقلية 4 – الكبل البصري

5 – الخط الهوائي 6 – دليل الموجة

عنـد الإرسـال بالمنظومـات التوجهيـة المختلفـة تسـتخدم أنـواع مختلفـة مـن الأمـواج، فالكوابـل المحوريـة والمتجانسة وعالية الناقلية تعمل على الموجة الرئيسية التي تملك حقلاً كهرطيسياً عرضياً (T). تعتبر هذه الكوابل ثنائية الناقل والعنصر المحدد فيها هو تيارات الناقلية في المعدن، أما بدليل الموجة فترسل الأمواج ذات المرتبة العليا (E_{nm}, E_{mm}) المشترطة بتيارات إزاحة في العازل الكهربائي وبتيارات الناقلية في الجدران المعدنية لدليل الموجة، ويـتم الإرسـال هنـا بمنظومـة ذات ناقـل وحيـد (بـأنبوب) وعنـد الإرسـال بـدليل بصـري تسـتخدم أمـواج مختلطـة (EH_{nm},HE_{nm}) وأمواج متجانسة (E_{0m},H_{0m}) تشترط وجود تيارات إزاحة أيضاً.

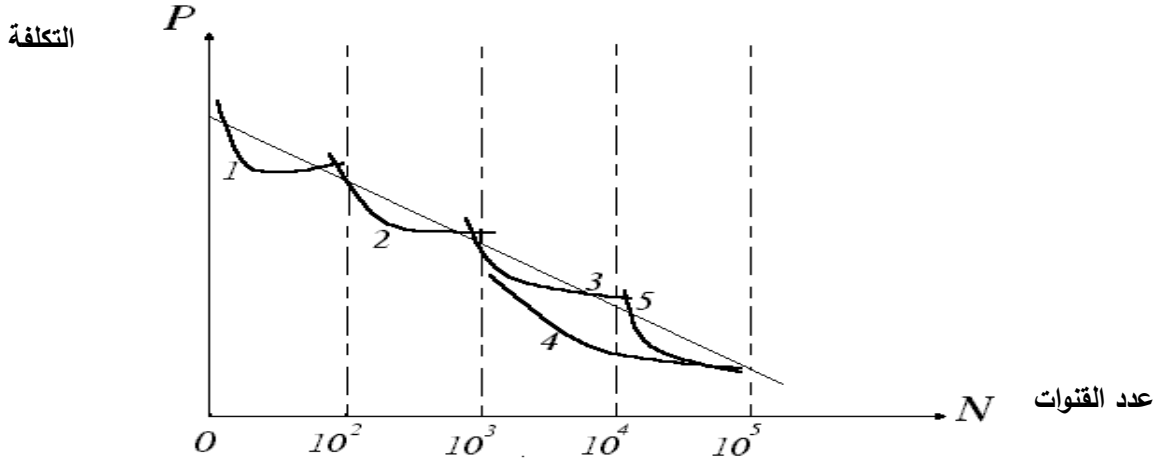
بمقارنة الخطوط المختلفة من وجهة نظر استطاعة الإرسال المسموحة يمكن القول بأن أفضل المعطيات تكون عند دليل الموجة، ثم تأتي الكوابل المحورية يليها الكبل المتجانس وأخيراً الخط الهوائي.

إن التقييم العام لمنظومات الإرسال التوجهية وفق جملة المؤشرات المذكورة يسمح بالقول أن الكوابل المحورية والبصرية هي الأفضل. فإيجابيات الكبل المحوري هي المجال الترددي العريض وممانعة التشويش العالية، أما الكوابل البصرية فيمكن أن تدرس كأداة إرسال مستقبلية للمعلومات ذات المجال الترددي العريض في مجال الشعاع البصري الضيق، وإيجابياتها الأساسية هي خفة الوزن، الأبعاد الصغيرة، المرونة، قدرة التمرير الكبيرة، وممانعة التشويش العالية، وممانعة كبيرة ضد سرقة المعلومات، عدا عن ذلك فهي تصنع بأطوال إنشائية كبيرة وبدون استخدام المعادن.

يعتبر دليل الموجة الأسطواني أيضاً وسيلة إرسال جيدة للمعلومات ذات الطيف الواسع عند استخدام الموجة H01، فدليل الموجة هذا يسمح بالحصول على عدد كبير من القنوات التلفزيونية والهاتفية، ولكن العيب الجوهري فيه هو ضخامة التصميم والأطوال الإنشائية الكبيرة. وتستخدم الدارات المتجانسة (الخطوط الهوائية والكوابل المتجانسة) بشكل واسع في وسائط الاتصال المحلّي والقطري ضمن مجال ترددي محدود (حتى 1MHzعادةً)، وتتصف هذه الدارات بكل عيوب المنظومات المفتوحة مثل الضياعات الكبيرة في الاستطاعة والحماية السيئة من التشويشات الخارجية والمتبادلة.

تمثل الكوابل عالية الناقلية لخطوط الاتصال أداة إرسال مستقبلية لمختلف المعلومات الحديثة على مسافات كبيرة ولكن الجدوى الفنية والاقتصادية لها ما زالت غير كبيرة، ويمكن بواسطة هذه الكوابل تنظيم اتصال متعدد الاقنية على مسافات هائلة بدون أجهزة تضخيم الكترونية، ولكن من أجل تدعيم العمل في ظروف الحرارة المنخفضة تستخدم محطات خاصة توزع على مسافة km (10-20) وهي عالية الكلفة، لذلك فالنفقات المصروفة على منشآت خطوط النقل الرئيسية عالية الناقلية تفوق كثيراً نفقات خطوط النقل الكابلية الرئيسية العادية، لذا فهذا النوع من الكوابل يستخدم حالياً في وسائط تغذية الهوائيات والمحطات اللاسلكية.

كمعيار لمقارنة الفعالية الفنية–الاقتصادية لمختلف خطوط الاتصال التوجهية تستخدم كلفة 1قناة/كم المبينة على الشكل (2) الذي يوضح مشروعية تخفيضها مع زيادة عدد القنوات. في الواقع تتناسب كلفة القناة عكساً مع المقدار ($\frac{1}{\sqrt{N}}$)[2]، حيث N هي عدد القنوات، وفي هذا السياق يظهر اتصال مباشر بين اقتصادية المنظومة وعرض طيفها. يبين الشكل (2) أن الاتصال بالدليل البصري ودليل الموجة هوالأقل كلفة يليه الاتصال بالكبل المحوري، أما الاتصال بالخطوط الهوائية فهو الأكثر كلفة، ويبين الجدول (2)[3] الفعالية الفنية–الاقتصادية النسبية لأوساط النقل التوجهية الأكثر استخداماً حالياً منسوبة إلى كلفة 1 قناة/كم من خط اتصال هوائي ذي نواقل نحاسية بقطر d=4mm وفق معطيات عام 1990.



الشكل(2): كلفة1قناة/كم بالعلاقة مع عدد القنوات من أجل الإرسال

1–بخط هوائي 2– بكبل متجانس 3–بكبل محوري 4–بكبل بصري 5– بدليل موجة

الجدول (2): الفعالية الفنية–الاقتصادية لنسبية أوساط النقل التوجهية

أوساط النقل التوجهية	الفعالية الفنية – الاقتصادية النسبية
كبل متجانس (d=1.2mm)	(35-50 %)

كبل محوري (2.6/9.4 mm)	% (15 – 10)
كبل محوري صغير الأبعاد (1.2 / 4.4mm)	9%
خط لاسلكي (N=600)	15 %

ويبين الجدول (3) الأسعار المحلية الفعلية للكوابل البصرية المختلفة وفق معطيات المؤسسة العامة للاتصالات عن عام 2003 كمؤشرات رقمية على الفعالية الاقتصادية مقدرة بالليرة السورية للمتر.

الجدول(3): الأسعار المحلية للكوابل البصرية

نوع الكبل	السعر (ل س/ م)	نوع الكبل	السعر (ل س/ م)
1800 X 2 X 0.4	892	900 X 0.5	234
1200 X 2 X 0.4	211	600 X 0.4	110
1200 X 2 X 0.5	313	300 X 0.4	59
1500 X 0.4	180	150 X 0.4	35
900 X 0.4	153	100 X 0.5	34

إن فعالية استخدام هذا النوع أو ذاك من خطوط الاتصال تتعلق بعدد القنوات المطلوب على الخط الرئيسي وبنوع منظومات الإرسال المعتمدة وبكلفة الكبل والتجهيزات وبعوامل أخرى، حيث تظهر ملاءمة استخدام خطوط الاتصال التوجهية المختلفة بالعلاقة مع عدد القنوات المطلوب كما يلي:

- خط اتصال سلكي حتى 50 قناة
- كبل متجانس 500 قناة
- كبل محوري 10000 قناة
- دليل موجة أعلى من 30000 قناة
- كبل بصري أعلى من 1000 قناة

من هنا يتضّح أن الكوابل المحورية فعّالة بالمقارنة مع الكوابل المتجانسة ابتداءً من 500 قناة ويمتد مجال استخدامها الفعال حتى 30000 قناة، عند الحاجة الماسّة لزيادة عدد القنوات تبدأ ايجابيات دليل الموجة بالظهور، ومن المناسب استخدام الكوابل البصرية عند الحاجة إلى 1000 قناة أو أكثر وفي كل الحالات التي تكون فيها مصادر النحاس محدودة. لنقارن الآن بين الأنواع المختلفة لخطوط الاتصال من وجهة نظر المؤشرات المعلوماتية والاقتصادية.

أ–مقارنة الفعالية المعلوماتية لخطوط الاتصال المختلفة:

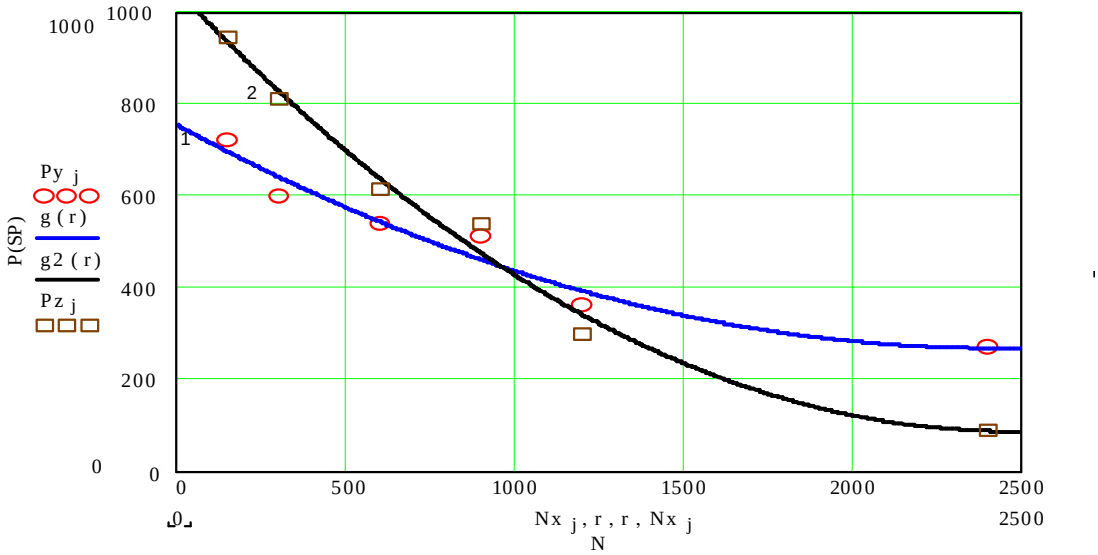
إن المعيار الموضوعي لتقييم أية منظومة إرسال معلومات هو الفعالية المعلوماتية، أي جداء قدرة تمرير الخط (سرعة الإرسالV) بطول قطاع البث (L) [2] أي: $I = V * L$ من أجل خطوط الاتصال المختلفة، وتظهر هذه المعطيات في الجدول(4) الذي يبرهن الفعالية العالية للكبل البصري ذي الألياف وحيدة النمط، كما يبين أن الخطوط اللاسلكية أيضا تملك مؤشرات معلوماتية جيدة. ولكن المهم طبعاً هو معرفة ثمن الحصول على هذه المؤشرات، أي يجب أن نحدد الفعالية الاقتصادية للخطوط، ومن جديد نعود إلى كلفة1قناة/كم كمؤشر أساسي على هذه الفعالية.

الجدول (4): الفعالية المعلوماتية لخطوط الاتصال

المؤشر	كبل متجانس	كبل محوري	خط لاسلكي	كبل عالي الناقلية	كبل بصري	
					ألياف وحيدة النمط	ألياف متعددة النمط
V (Mbit/sec)	34	140	140	140	140	500
L (km)	3	3	50	100	30	100
I=V*L (Mbit/sec.km)	102	420	7000	14000	5200	56000
عدد القنوات(N)	مئات	آلاف	آلاف	آلاف	آلاف	عشرات الآلاف

ب- مقارنة كلفة الكوابل النحاسية والبصرية:

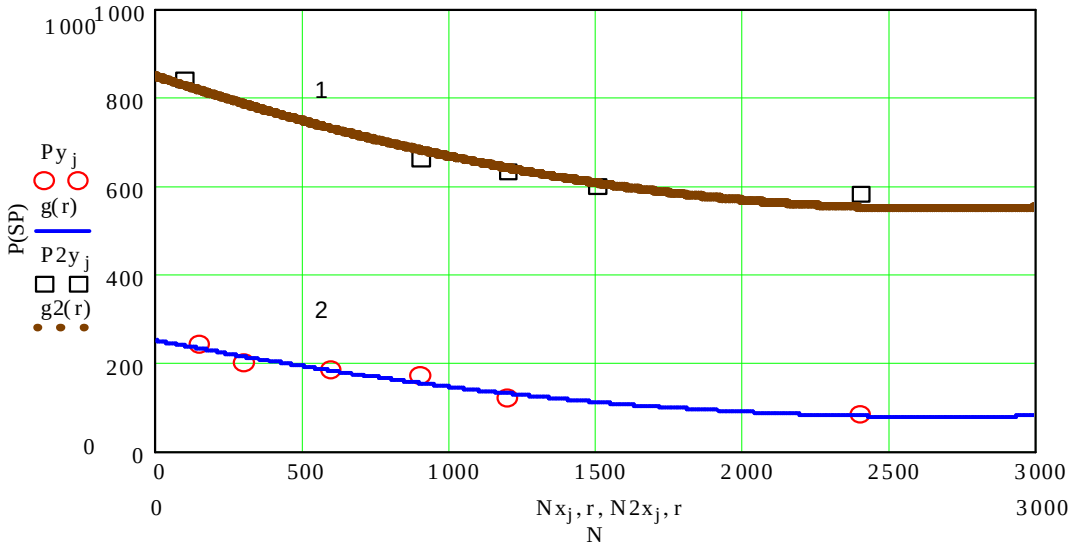
بين الشكل (3) نتيجة مقارنة كلفة 1قناة /كم للاتصال بالكوابل الكهربائية النحاسية مع كلفة1قناة/كم للكوابل البصرية حسب أسعار عام1990أي قبل البدء بمشروع المليون خط، ونلاحظ أنه إذا كان الاتصال البصري أكثر كلفة من أجل عدد قليل من القنوات، فخلال التدفقات الكبيرة يكون أرخص ثمناً، وحدّ الفصل هو تدفق (1000) قناة تقريباً.



الشكل(3): تغير كلفة1قناة/كم حسب أسعار عام1990
للكوابل النحاسية (1) والكوابل البصرية (2)

ويبين الشكل (4) نتيجة هذه المقارنة حسب أسعار عام 2003، حيث تناقصت كلفة الكوابل البصرية مع تزايد عدد الشركات المصنعة واستجرار كميات كبيرة منها لتلبية احتياجات العمل بالمشروع، وفي كلا الحالتين استمرت الكلفة بالتناقص مع زيادة عدد القنوات، أي أن الكبل البصري أصبح أكثر فعالية من أجل أي عدد من القنوات، وهذا يعتبر أساساً للاعتماد الواسع على الألياف البصرية في كل عقد شبكات الاتصال، وقد تم إيجاد التقريب الأمثل للتابع الرياضي الذي يصف هذا التناقص وهو من الشكل:

$$F(x) = 2.747 \times 10^{-5} \times x^2 - 0.133 \times x + 251.154$$



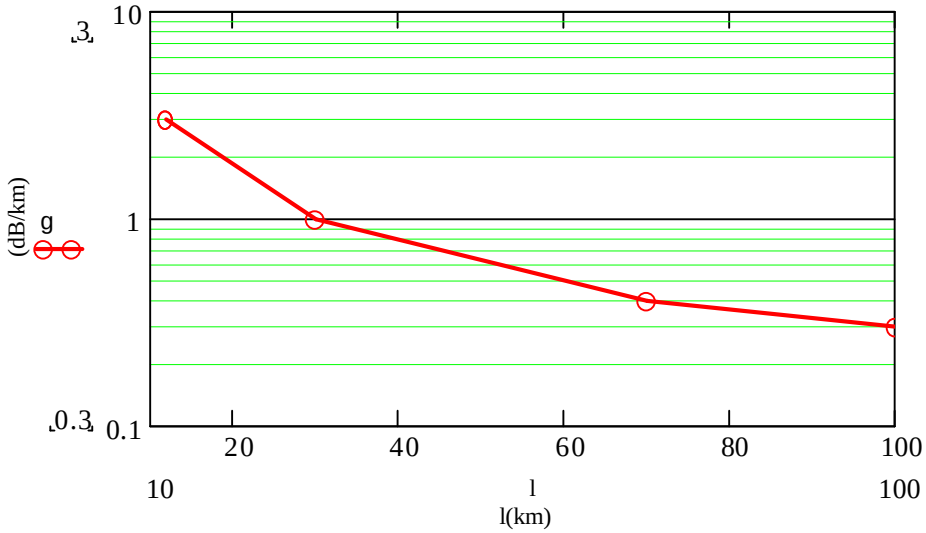
الشكل(4): تغير كلفة1قناة/كم حسب أسعار عام 2003

للكوابل النحاسية (1) والكوابل البصرية (2)

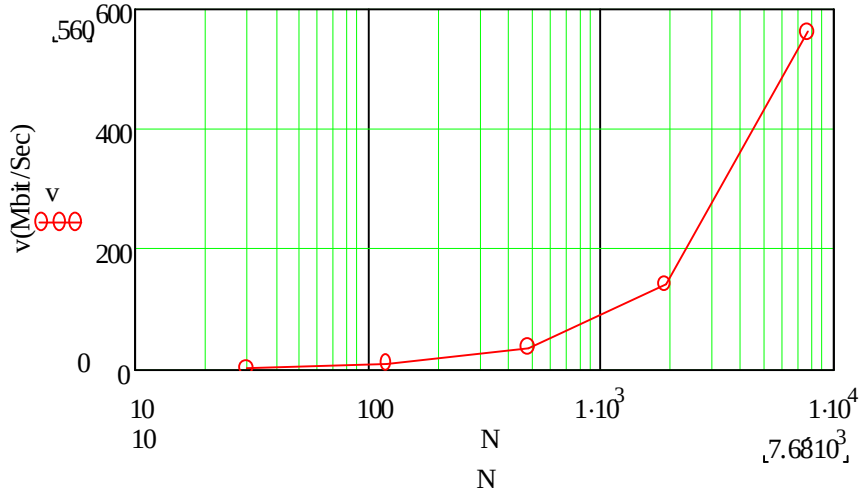
كما يبين الجدول (5) [3]معطيات أخرى تشهد لصالح الكوابل البصرية التي تملك أطوالاً أكبر بكثير لقطاعات البث، لذا فهي يجب أن تمتلك عامل تخامد يقل مع زيادة مدى الاتصال كما يبين الشكل (5) ومعدلاً أعلى لزيادة سرعة الإرسال بالعلاقة مع عدد القنوات الشكل(6).

الجدول (5): مقارنة معلوماتية للكوابل البصرية والكهربائية

الكبل				**المنظومة**	
بصري		**كهربائي**		**السرعة**	**عـــــدد**
الطول (km)	**التخامدdB\km**	**نوع الليف**	**الطولkm**	**النوع**	**Mb it/sec**	**القنوات**
12	3	متدرج(متعدد النمط)	2	متجـــانس– تـــردد منخفض	20	30
12	3	متدرج(متعدد النمط)	5	متجـــانس– تـــردد مرتفع	8.5	120
30	1	متدرج	3	محوري– 1.2 / 4.4	34	480
70	0.4	وحيد النمط	1.6….2	محوري– 2.6 / 9.4	140	1920
100	0.3	وحيد النمط	---	---	560	7680



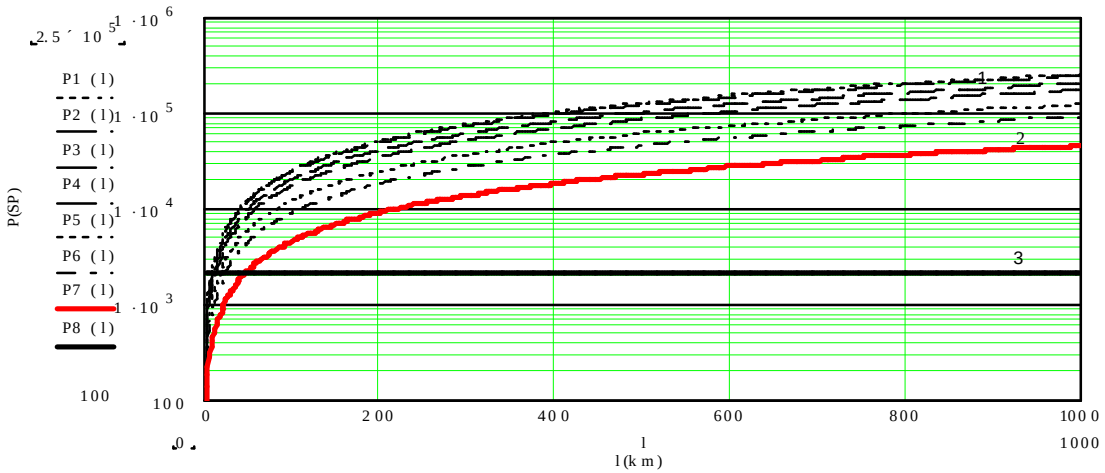
الشكل (5): تغير قيمة عامل التخامد بالعلاقة مع طول الكبل البصري



الشكل (6): تغير سرعة الإرسال في الكوابل البصرية مع زيادة عدد القنوات

ج- مقارنة كلفة خطوط الاتصال الكابلية مع الخطوط اللاسلكية والفضائية:

ثبت [2] أن رأس المال المصروف خلال بناء الخطوط الكابلية أكبر بحوالي (1.5-2) مرة من الاتصال اللاسلكي، علماً بأنه مع زيادة طول الخط تزداد الكلفة بطبيعة الحال. إن كلفة الخطوط الفضائية لا ترتبط عملياً مع طول الخط ومن أجل مسافات صغيرة تكون هذه الخطوط أغلى من الخطوط الكابلية واللاسلكية، أما من أجل المسافات الأكبر فتكون أقل كلفة. تظهر هذه الاعتبارات على الشكل (7) الذي يبين التغير التقريبي لكلفة 1قناة /كم للاتصال بخط كابلي ذي عدد متنوع من القنوات وخط لاسلكي وآخر فضائي بالعلاقة مع طول هذا الخط.



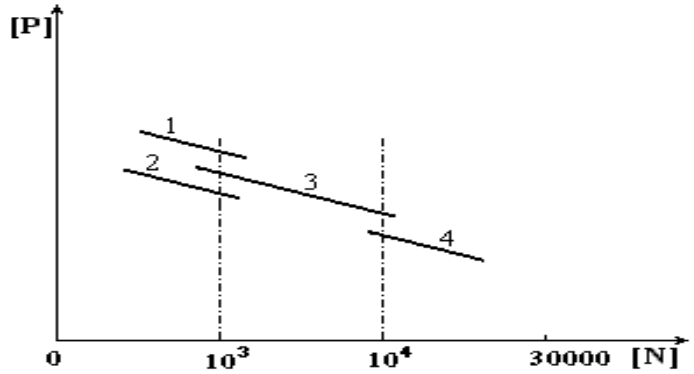
الشكل (7): تغير كلفة 1قناة/كم بالعلاقة مع طول
الخط الكابلي (1)، اللاسلكي (2) والفضائي (3)

من أجل اختيار الخط الملائم للاتصال عبر المسطحات المائية والبحار أجريت كثير من البحوث [3] تم فيها مقارنة الأنواع المختلفة للخطوط وظهرت المؤشرات الفنية–الاقتصادية لهذه الخطوط كما في الجدول(6).

الجدول (6): المؤشرات الفنية–الاقتصادية لخطوط الاتصال عبر المسطحات المائية

البارامتر	الخط		
	محوري(TAT-7)	بصري(TAT-8)	فضائي(Intelsat)
عدد القنوات	400	12000	10000
طول القطاع(km)	9	50	.....
مدة الخدمة(سنة)	25	25	5
كلفة القناة (ألف دولار)	50	12	16

تبرهن هذه المعطيات على الفعالية العالية لخطوط الاتصال البصرية بالمقارنة مع الخطوط المحورية، فهي تمتلك قدرة تمرير عالية وأطوالاً كبيرة لقطاعات البث. كما تخسر الخطوط الفضائية المنافسة مع الخطوط البصرية من ناحية مدة الخدمة وعدد القنوات المتاحة، ويظهر الشكل (8) الجدوى الاقتصادية لهذه الخطوط، حيث يبين تغير كلفة1قناة/كم لمختلف الخطوط بالعلاقة مع عدد القنوات .



الشكل (8): مقارنة الجدوى الاقتصادية لخطوط الاتصال الكابلية (1)، اللاسلكية(2)، الفضائية(3) والبصرية (4)

يمكن على أساس التحليل الفني–الاقتصادي لمختلف أنواع المنظومات التوجهية (المحورية، المتجانسة، البصرية وغيرها) التنبؤ باتجاه التطور اللاحق لشبكات الاتصال وتحديد مجال استخدام كل منظومة ومكانها في الحلقات المختلفة من الشبكة (خطوط رئيسية، قطرية وريفية).

النتائج والمناقشة:

من الدراسة السابقة يمكن الوقوف على النتائج التالية:

1–كانت أغلب شبكات الاتصال الهاتفي الرئيسية تعتمد على الكوابل المحورية مع استخدام منظومات الإرسال التشابهية والرقمية، وبأخذ ايجابيات الكوابل البصرية وحيدة النمط بعين الاعتبار يصبح من الواجب القيام بكل الإنشاءات الجديدة لخطوط الاتصال الرئيسية باستخدام هذه الكوابل مع منظومات اتصال رقمية بالإضافة إلى استخدامها للاتصال بين المناطق بشكل واسع مع الكوابل المتجانسة الموجودة حالياً. في حين يكون من المناسب في الشبكات الريفية استخدام الكوابل البصرية ذات البنية المبسطة من أجل تنظيم الاتصال والبث للمشتركين في القرى والمناطق الريفية.

2– ينحصر الاستخدام العقلاني للخطوط الهوائية السلكية في الكوابل التي تتضمن عدداً من القنوات لا يزيد عن 50 قناة، في حين يمكن استخدام الكوابل المتجانسة في الخطوط الحاوية على قنوات لا يزيد عددها عن 500 قناة وابتداءاً من هذه القيمة تظهر ملاءمة استخدام الكوابل المحورية التي يمتد مجال استخدامها الفعال حتى 30 000 قناة، ويفضل بعد هذه القيمة استخدام دليل الموجة. أما الكوابل البصرية فتشغل مجالاً واسعاً نسبياً يبدأ من 1000 قناة وهو يفضّل في كل الحالات التي تكون فيها مصادر النحاس محدودة.

3– بنتيجة مقارنة الفعالية المعلوماتية لخطوط الاتصال المختلفة تبيّن أن الأفضلية للكبل عالي الناقلية الذي تعيبه الكلفة المرتفعة في حين يثبت الكبل البصري نفسه كخيار مناسب يجمع بين الفعالية المعلوماتية العالية والكلفة المعقولة، حيث بّينت مقارنة كلفته مع بقية أنواع الخطوط الأخرى أنه أصبح الخيار الأفضل من أجل أي عدد من القنوات، وقد تم رسم منحنيات تغير كلفته مع زيادة عدد القنوات واستنتاج التابع الرياضي الذي يمثله، بحيث يمكن التنبؤ بالكلفة من أجل أي عدد من القنوات يمكن إنتاجها مستقبلاً.

4– إن المرحلة القادمة لتطوير شبكات الاتصال الهاتفي ستكون بناء شبكة متكاملة ذات خدمات متعددة باستخدام الكوابل البصرية، تقدم أنواع مختلفة من الخدمات للمشتركين. تسمح مثل هذه الشبكة بالاستغناء عن الشبكات المستقلة المتعددة الهاتف، التلفزة...الخ) من خلال إدخال ليفين بصريين إلى المشترك وتركيب طرفية موحدة يتم بواسطتها التعامل مع جميع أشكال المعلومات العصرية بالطرق الرقمية، وقد تم اعتماد القناة PCM ذات السرعة 64Kbit/sec بعد أن كانت اغلب القنوات ذات سرعة32Kbit/sec.

المراجع:

.....

1- Иванова. В.И, 1995, Цифровые и Аналоговые Системы передачи,230 ct.

2- Гроднев И.И., 1995, Линии Связи,488ct.

3- Senior. John. M, 1992,Optical Fiber Communication Principles And Practice,922 pages.

4- كوسا إياد، 2000. شبكات الحاسب، دار شعاع، حلب.