

## **ÖZET**

Yerel Çok Noktalı Dağıtım Sistemi (Local Multipoint Distribution System, LMDS) 20 GHz üzerinde çalışan bir kablosuz geniş band erişim teknolojisidir. Bu yeni teknoloji servis sağlayıcıların Internet erişimi, VPN ve çoklu ortam uygulamalarını hızlı bir şekilde devreye almalarına ve ATM alt yapısı ile bütünleştirilen bu teknoloji servis sağlayıcıların ayrıca QoS ve değişik tür hizmetler için CoS'u sağlamalarına olanak tanımaktadır.

Kuzey Amerika ve Avrupa hükümetleri 25-31 GHz frekans bandında LMDS lisanslarını vermeye başlamışlardır. Böyle bir lisans 1.3 GHz band genişliği sağlamakta, bu da kabaca 1.3 Gbps veri band genişliğine karşılık gelmektedir. Bu makalede, mevcut erişim hizmetlerine, hizmet gereksinimlerine, LMDS temellerine değinilmekte ve İstanbul için bir uygulama tasarımı önerilmektedir.

## **Giriş**

ATM, Gigabit Ethernet, xDSL, LMDS konusuna göre yüksek hız denildiğinde akla gelen güncel ağ teknolojilerdir. Genel olarak ağ teknolojileri denildiğinde ise Ethernet, Token Ring, FDDI, Cat 5, Modem, X.25, Frame Relay, Hücresel (Cellular), ISDN gibi terimler hatırlanır. Herşeyiyle büyükçe bir ağ LAN, Kampüs, WAN ve Uzaktan bağlantı olarak adlandırılan dört ayrı parçadan oluşur. Her birinin kendisine has özellikleri olan bu parçaların ayrı ayrı gözönüne alınması ve en optimum çözümü verecek seçimlerin yapılması gerekir. Bütünüyle bir ağda en önemli anahtar sözcük, ağa bağlı sistemlerde koşturulan uygulamalardır; ağ alt yapısı, o uygulamaların gerektirdiği servis kalitesi (QoS) ve servis sınıflarını (CoS) destekleyecek özellikte olmalıdır. Örneğin dosya aktarımı, ses aktarımı ve video bilgisi aktarımı için gerekli servis kalitesi ve sınıfları birbirlerinden farklıdır; çünkü gereksinimler aynı değildir [1].

Eğer ağda veri trafiği üreten sistemler dışında PBX, Video gibi cihazlar varsa, o ağ için en önemli iki parametre ağın uçtan uca hizmet kalitesi-QoS (Quality of Service) ve hizmet çeşitleri-CoS (Class of Service) dir. Günümüzde QoS'i garanti eden ağ teknolojileri ise ATM, ISDN, Frame Relay gibi hücre tabanlı (Cell Based) veya bağlantıya yönelik teknolojilerdir; çok yüksek hızlı Gigabit Ethernet için de, mimarisel olarak QoS'i garanti etmese de yüksek band genişliği sağlamasından dolayı belirli bir derecede QoS'i sağlıyor denilebilir. Hizmet kalitesi, genel olarak gecikmeyle ilgilidir; çerçeve veya hücrelerin aktarım gecikmesi, iletişim için gerekli

oturum kurulma hızı gibi değerleri kapsar. Hizmet sınıfları ise, farklı türde uygulamaların gereksinim duyduğu değişik özelliklere sahip trafik ihtiyaçlarını tanımlar. Örneğin, ATM gibi hücre tabanlı teknolojilerin terminolojisinde hizmet sınıfları CBR, VBR (rt-VBR, nrtVBR) ve ABR olarak adlandırılmaktadır. [2][3][4][5].

Var olan LAN teknolojileri, sağlamış oldukları yüksek band genişliğinden dolayı ağ içerisindeki sistemlerde koşan uygulamaların gerektirdiği çeşitli QoS ve CoS beklentilerini karşılayacak özelliktedir denilebilir; LAN teknolojilerinde her geçen gün yeni gelişmeler de yaşanmaktadır. Aynı gelişmelerin WAN ve uzak bağlantılar için de yaşanması söz konusudur; ev ve küçük ofis kullanıcıları hem ses (Telefon) ve İnternet erişimlerini hem de video tabanlı (TV, uzaktan eğitim) uygulamalarının gerektirdiği hareketli görüntü ve gelecekte gereksinim duyacakları trafik türünü taşıyacak bir ağ alt yapısı gereksinimi içerisinde dirler. Kısacası, uçtan uca QoS ve CoS sağlanmalıdır. Yeni nesil LAN ve WAN teknolojileri bunu sağlamaktadır denilebilir; uzak bağlantı için de xDSL ve LMDS teknolojilerinin uygulanması gündemdedir.

### **WAN Bağlantıları**

Geniş Alan Ağları (WAN), fiziksel olarak birbirinden çok ayrı konumlarda bulunan yerel ağların bağlantısını sağlayan ağ türleridir. Kullanılabilen fiziksel ortamların zenginliği ve zamanla iletilen veri türündeki artış, zaman içinde çok değişik WAN protokolünün geliştirilmesine sebep olmuştur. Yakın zamana kadar WAN bağlantısı denildiğinde göreceli olarak düşük hız, büyük gecikme ve hatanın bol olduğu iletim akla gelirdi. Ancak günümüzdeki hızlı gelişmeler bu tablonun görünümünü değiştirmeye başlamıştır. Klasik olarak WAN bağlantıları uzak noktalar arasında kamusal bir ağ üzerinden veri bağı kurulmasını sağlarlar. Kullanıcı birimlerinin bu ağa bağlantısı bakır teller ve uçlarına bağlı değişik türde modemler ile gerçekleştirilir. Bağlantı türüne göre temelde ses aktarımı için tasarlanmış PSTN omurgası üzerinden ses bantı modemler ile (V.34, V.90 veya V.92 gibi...) bağlantı gerçekleştirilebileceği gibi 64 Kbps veya daha üzeri hızlar için Temelband (Baseband) modemler kullanılır. [6] Sayısal iletim ortamlarının gelişmesi ile bakır hatlar üzerinden noktadan noktaya veri iletim kapasitesi 2 Mbps ve yukarısına çıkmıştır. Kanallanabilen sayısal iletim ortamlarıyla bir bir fiziksel devre üzerinden tanımlanabilen mantıksal sanal devrelerle (TDM bazlı kamusal ağlar, Frame Relay ve ATM) çok noktalı ağ

yapılarının gerçekleştirilebilmesi olasıdır [2][3].

Kampüs, sanayi bölgeleri gibi yarı kapalı ortamlarda ideal bir iletim ortamı olsa da bakır hatlar, telekomların hizmet verdiği yerleşim bölgelerinde oldukça problemlili iletim ortamlarıdır. Elektromagnetik etkilere karşı çok hassas oldukları gibi, nemisi gibi çevresel etkenlerden çok çabuk etkilenirler. Ayrıca yer üstü bakır kablolar kopma ve korozyondan dolayı kesintilere sebep olurlar. İşletme giderlerinin artmasına sebep olurlar.

Bakır ve fiber optik gibi karasal altyapının döşenmesi, son kullanıcıya kadar ulaştırılması zahmetlidir. Yeni erişim gereksinimlerinde oluşan artışla orantılı yaygınlaşmadığı görülmektedir. Bu iki iletim ortamına karşı infrared/lazer iletim teknolojileri veya radyo frekansında çalışan iletim ve dağıtım seçenek olarak görülmektedir. Infrared/lazer sistemleri noktadan noktaya yüksek hızlı iletim için uygulanabilen bir yöntem olmasına rağmen, nem, sis ve toz gibi çevresel etkenlerden daha çok etkilenirler. Radyo frekansında çalışan iletim/dağıtım sistemleri çevresel etkenlere daha bağımsız olmalarına karşın, radyo frekansı bandı sınırlı bir kaynaktır. Denetimsiz kullanımı birçok probleme sebep olabilmektedir. Ancak, planlı ve denetimli kullanımı sayısal iletim hizmetlerini hızlı ve verimli bir şekilde karşılanması söz konusudur. Frekans bandı kısıtı, hücresel yapılanma ile çözülebilir; belirli bir güçte yayın yapan merkezi birimlere bağlı uç istasyonlar hücreler şeklinde gruplandırılabilir. Geçtiğimiz on yıl içerisinde radyo frekansı iletim sistemleri oldukça olgunlaşmış ve özellikle ses iletimi için GSM 900/1800 gibi uygulamalar geliştirilmiştir ve bunlar üzerinde GPRS gibi veri hizmetleri de verilir hale gelmiştir [6].

### **LMDS**

LMDS genişband, noktadan çok noktaya ve 20 GHz üzerinde frekanslarda işletilen haberleşme sistemlerdir. Kullanılan frekans bandı sistemin kurulduğu ülkedeki lisanslama modeline göre belirlenir. Bu tür sistemler ses, görüntü ve veri iletimi için geniş band genişliği sunarlar.

LMDS, Local Multipoint Distribution System'in (Yerel Çok Noktalı Dağıtım Sistemi) kısaltmasıdır. Yerel oluşu bu frekans bandında yapılan yayının bir hücre oluşturacak şekilde sınırlı bir alanda kalması anlamına gelir. Bu mesafe sistemin çıkış gücüne ve coğrafi yerleşime bağlı olarak merkezi sistemle

**Yüksek  
Hızlı  
Kablosuz  
Hücresel  
Ağ  
Erişimi**

**Yasin Kaplan**  
**BNET İletişim**  
 Türkiye'de faaliyet gösteren ilk özel Internet Servis Sağlayıcılarından biri olan MagNet'in (1996) kurulmasında rol oynamış ve 2 yıla yakın bir süre ile MagNet'in teknik müdürü olarak çalışmalarında bulunmuştur. Daha sonra bilişim sektöründe ağ ürünleri üzerine uzmanlaşmış ve firmada teknik yöneticilik yaptıktan sonra Ekim 2000'de Borusan bünyesinde faaliyet gösteren BNET İletişim Hizmetleri A.Ş.'de Teknoloji Müdürü olarak göreve başlamıştır. MagNet'te iken Türkiye'de Internet kullanıcısı profiline belirlenmesi için ilk anket çalışmasını gerçekleştiren, sektör yayınlarında birçok makalesi yayınlanmış olan Yasin KAPLAN'nın, Papatya Yayıncılık tarafından basılan "Veri Haberleşmesi Kavramları" ve "Veri Haberleşmesi Temelleri" adlı iki kitabı bulunmakta olup yeni kitabı üzerinde çalışmaya devam etmektedir.

**Dr. Rifat ÇÖLKESEN**  
**Beykent Üniversitesi**  
 Beykent  
 Üniversitesinde  
 öğretim üyesi

kullanıcı arasında 3-4 Km'lik bir mesafedir. Kullanılan birimler uzun yıllardır hali hazırda noktadan noktaya kullanılan ve oldukça olgunlaşmış cihazlardan türetilmişlerdir. LMDS lisanslarının verildiği ülkelerde, lisans sahibi kurumun vereceği hizmet türlerine herhangi bir kısıtlama getirilmiş olmamasına rağmen ilk uygulamaların İnternet erişimi için olacağı öngörülmektedir.

LMDS'in avantajları:

- Başlangıç maliyetlerinin düşük olması,
- Uygulamanın kısa sürede çalışır hale getirilebilmesi,
- Talebe göre yapının ölçeklenebilmesi,
- Maliyetin karasal hatlardan müşteri tarafında konuşlandırılan ekipmana kayması; karasal sistemlerde maliyetlerin önemli bir bölümünü hatlarını çalışır durumda tutulması için gereken çalışmalar oluşturması,
- Bakım, yönetim ve işletme maliyetlerinin düşük olmasıdır.

LMDS ağ modellerinde değişik türde mimariler öngörülebilir. Noktadan noktaya veya çok noktaya işletim mümkündür. Ayrıca, yapı, ATM ve IP iletimi için de kurulabilir. Sayısal veri iletiminin dışında TV yayıncılığı içinde uygulamalar bulunmaktadır.

En tipik yaklaşım 3-3,5 Km'lik hücreler ve bunları birbirine bağlayacak fiber optik hatlardan oluşan karasal bir omurga sistemi olabilir. Karasal omurga SONET veya SDH iletim sistemlerinin kullanıldığı yıldız, ağaç veya halka yapıda gerçekleştirilebilir. Omurganın genişletilmesi için noktadan noktaya RF linklerinin de konuşlandırılması mümkündür. E3 (34 Mbps), STM-1 (155 Mbps) veya STM-4 (622 Mbps) kapasitesindeki linkler hücre başına ihtiyaç duyulan band genişliklerinin taşınması için ihtiyaç duyulan omurga bağlantılarıdır. Öte yandan başlangıç maliyetlerin düşürmek için nx2 Mbps'lik E1 linkleri de düşünülebilir. Söz konusu omurga yapısı üzerinde POS (Packet over SONET) veya ATM protokolünün kullanımı mümkündür. Ancak QoS gereksinimleri ve servis çeşitliliğinin artırılabilmesi (CoS) açısından ATM daha uygun bir seçim olur; hali hazırdaki cihaz örnekleri ATM tabanlı tasarlanmıştır. Ayrıca, ATM, var olan diğer haberleşme hizmetlerinin (Ses ve görüntü gibi...) LMDS ile bütünleştirilebilmesi içinde seçenektir.

LMDS ağ mimarisi temel olarak dört bileşenden

görevini sürdüren ve Bilgisayar Mühendisliği alanında Sektör& Üniversite işbirliğine derinden inanan, yazdığı kitaplarıyla, köşe yazılarıyla, araştırma ve makaleleriyle bilişim sektörüne önemli bir katma değer sunan Sayın ÇÖLKESEN, en son "Lojik Devre Tasarımı", "Bilgisayar Haberleşmesi ve A Teknolojileri" ve "Network TCP/IP ve UNIX" adlı kitapların da (Papatya Yayıncılık) yazarıdır. şu anda Bilişim alanında birkaç proje ve "Program Tasarımında Veri Yapıları ve Algoritmalar" adlı kitabı üzerinde çalışmaktadır. Araştırma alanları: Bilgisayar Haberleşmesi ve Ağ Teknolojileri, Bilgisayar Mimarileri, Kodlama ve Sıkıştırma, Algoritma sentezi ve Internet Uygulamalarıdır. Ayrıntı için bkz. <http://ozgur.beykent.edu.tr/colkesen/>

oluşur: ağ operasyon merkezi, fiber tabanlı omurga, baz istasyonları ve kullanıcı cihazları (CPE, Customer Premises Equipment). Yüksek band genişliklerinin taşındığı omurgalar için karasal fiber bağlantıları uygun olur. Omurgaya bağlantılar, nxE1, E3 veya STM-1 bağlantıları olabilir. Ağ işletim merkezlerinde ATM ve IP anahtarlama cihazları ile ağ yönetim yazılımlarının çalıştığı sunucular bulunmaktadır. Baz istasyonları omurga bağlantısının sonlandırıldığı ve kablosuz altyapıya geçiş yapıldığı konumlardır. Baz istasyonları harici ve dahili birimlerden oluşur. Harici ünite mikro dalga frekanslarında alışı verişin gerçekleştirildiği noktadan noktaya bir anten veya çok sayıda aboneye hizmet eden sektörel antenlerden oluşur. Harici birime bağlı dahili birimde omurga bağlantısı için arayüzler bulunur ve modülasyon ve demodülasyon gerçekleştirilir.

Baz istasyonları için iki farklı tasarım öngörülebilir. Yerel anahtarlamanın kullanıldığı durumlarda aynı hücre içindeki kullanıcıların birbirlerine olan trafikleri omurgaya çıkmadan hücre içinde anahtarlabilir. Ancak bu trafiğin türüne göre dahili ünitenin IP veya ATM anahtarlama yeteneğine sahip olmasını gerektirir ki bu durum maliyetleri artıran bir etkidir. Öte yandan kullanıcı trafiklerine göre gerçekleştirilen ücretlendirme modellerinde hesaplama işlevlerinin yine bu dahili birimlerde uyarlanması gereklidir. Alternatif olarak anahtarlama ağ merkezlerinde gerçekleştirilebilir. Daha basit ağ yapısının söz konusu olduğu bu tür tasarımlarda, aynı hücre içindeki kullanıcıların birbirlerine olan trafiklerinin omurga üzerinden anahtarlama söz konusudur.

LMDS, kablosuz sistemleri için ATM Forum, DAVIC, ETSI ve ITU tarafından standartlaştırma çalışmaları sürdürülmektedir; bunların çoğunda, temel taşıma birimi ATM hücreleridir. Baz istasyonları ile oluşturulan hücrelerde erişim yoğunluğunu artırmak için sektörel antenler kullanılmaktadır; 90, 45, 30, 22.5 ve 24 derece açılı antenlerle uygulamalar mevcuttur. Her baz istasyonunun tek bir antene sahip olduğu veya bir baz istasyonuna fiber ara bağlantılarla birçok antenin bağlı olduğu yapılar olasıdır. [7]

CPE ve baz istasyonu arasında erişim için kullanılacak yine birkaç çoğullama yöntemi mevcuttur. Bu yöntem TDMA, FDMA veya CDMA olabilir. Günümüzdeki uyarlamalarda tercih edilen yöntemler FDMA ve TDMA'dir. Kullanıcı tarafındaki arayüz, x64 Kbps seri, 10BaseT Ethernet, ATM 25, E1, E3, STM-1 olabilir. Kullanıcı tarafında, ayrıca, tek bir dahili birim birden fazla kullanıcı tarafından

paylaşılabilir. Üstelik bir bina veya iş merkezi için yapılan tek bir bağlantı, bina veya iş merkezi dahilinde DSL teknolojileri kullanılarak dağıtılabilir. DSL ile kullanıcı tarafında dahili birimde sonlandırılan ATM devreleri, kullanıcılara uzatılabilir. Erişim yapılandırılmalarında kullanıcılara sunulan hizmet türleri belirleyicilik sağlamaktadır. Genel yaklaşım alışı kanalının TDMA ile ortaklaşa kullanılması, veri için FDMA ile kullanıcı başına ayrı bir band genişliği tahsisinin sağlanmasıdır. İnternet erişim hizmetinin verildiği durumlarda asıl trafik ağdan kullanıcıya ve kullanıcıdan da ağa doğru zamanla çok az bir trafik olacağından bu yaklaşım istenen sonucu sağlayabilir; zira TDMA zamanla değişen patlamalı trafiğin gözlemlediği ağ yapılandırmaları için daha uygun bir seçimdir (Şekil 3.). Ancak MAC katmanında kapsüllemenin getireceği bir kayıp söz konusudur; başarımlar yaklaşık %88 olur. Ancak ağdan kullanıcıya sabit band genişliğinin sağlanması gerektiği durumlarda, VPN uygulamaları gibi, FDMA da göz önünde bulundurulması gereken bir seçimdir. Öte yandan ATM devreleri üzerinden özellikle PBX'ler arası ses taşıma için ana bağlantı (trunking) yapılması gerektiğinde sadece kullanılan zaman dilimlerinin taşınmasını sağlayan teknolojiler mevcuttur ve bunlar FDMA kullanımını gereksiz kılabilir. Bu tür yöntemler ATM hücrelerinin LMDS' de temel taşıma birimi olarak tercih edilmesinin temel sebeplerinden biridir.

LMDS sistemlerinde modülasyon yöntemi olarak faz (PSK, Phase Shift Keying) ve genlik (AM, Amplitude Modulation) yöntemleri kullanılmaktadır. FDMA ve TDMA için yaklaşık olarak aynı modülasyon yöntemleri kullanılmaktadır. FDMA için BPSK, DQPSK, QPSK, 8PSK, 4-QAM, 16-QAM ve 64-QAM modülasyon seçenekleri mevcuttur. Kullanılan sembol uzayının genişliği, birim band genişliğinde taşınabilen verinin miktarını artırır; ancak, iletim mesafesi kısalmaktadır. LMDS sistemlerinde kapasite veri oranı ve desteklenen kullanıcı sayısı ile ölçülmektedir. Her hücredeki kapasite, hücredeki sektör sayısı ve sektör başına kullanıcı sayısının çarpımına eşittir. Baz istasyonlarındaki anten ile kullanıcı antenlerinin görüş hizasında olması gereklidir. Benzeri diğer iletim sistemlerinden etkilenmemesi için bina çatıları veya yüksek kuleler tercih edilmelidir. LMDS'de erişim mesafesi, kullanılan modülasyonla ilgili olduğu kadar, nemlilik ve yağış miktarı ile de yakından ilgilidir.

Hücre başına kullanıcı sayısı kullanılabilir frekans

aralığı ve sektör sayısı ile orantılıdır. 250 MHz alışı band genişliğinin söz konusu olduğu bir durumda 5 MHz'lik kanallar kullanılarak, kanal başına 80 DS0 (64 Kbps) taşıma kapasitesi ile, 4000 kullanıcıya (80x (250 MHz/5 MHz)) 64 Kbps'lik erişim hizmeti sunulabilir. Ayrıca zaman paylaşılımlı bir modelde tüm kullanıcıların aynı anda ağa erişmeyeceğini düşünerek overbooking ile öngörülecek bir oranla daha fazla sayıda abone edinilmesi mümkündür. [7] (Bu oran, Türkiye'de PSTN üzerinden İnternet erişiminde 1:6 olduğu gözlenmektedir)

### **İstanbul İçin Örnek Uygulama**

İstanbul için söz konusu olabilecek bir LMDS modelinde yerleşim, Türk Telekom altyapısı ve coğrafi şartlar göz önüne alındığında ATM tabanlı bir omurga üzerinde Şekil 4'teki gibi bir yapı oluşturulabilir. Şehir merkezine yakın yerlerde yoğunluk gözönüne alınarak küçük ancak fazla abone sayısının desteklenebileceği hücreler seçilmiştir. Ana omurga fiber (SDH) altyapısının uygun olduğu işlek Telekom santrallerinin bulunduğu noktalar arasında tespit edilmiştir. Yine yerleşimin ve iş merkezlerinin yoğunlaştığı Bostancı, Maslak ve İkitelli'de omurganın uç noktalarına bağlı hücreler oluşturulmuştur. Yerleşimin nispeten daha seyrek olduğu bu bölgelerde hücre çapı geniş tutularak kapsama alanı genişletilebilir. Coğrafi koşullar gözönünde bulundurularak, hücre merkezlerinde konuşlandırılacak baz istasyonlarının yüksek bina çatılarında veya kurulacak kulelerde işletilmesi gereklidir.

Abone maliyetlerinin iyileştirilmesi için LMDS ile sağlanan abone bağlantıları bina site veya iş merkezlerinde konuşlandırılacak xDSL yoğunlaştırıcılar ile paylaşılabilir. Önerilen ATM tabanlı LMDS sistemine bu DSL yoğunlaştırıcılar ATM ile (nxE1, E3 veya STM-1 kapasitelerinde) bağlanıp son kullanıcıya kadar ATM hizmetinin ekonomik olarak ulaştırılması için kullanılabilirler. Bu yaklaşım ayrıca lisanslanan spektrumun daha verimli kullanılabilmesini sağlar.

### **Sonuç**

LMDS önümüzdeki yıllarda en çok konuşulan ve sunulan erişim hizmetlerinden biri olmaya adaydır. Kuzey Amerika ve Avrupa'da 26 ve 28 GHz'de 1-1,2 GHz'lik frekans aralıkları lisanslanmaya başlanmıştır. Bu tür bir lisansın ulusal veya bölgesel olarak Türkiye'de de verilmesi gündeme gelecektir. Çoklu ortam uygulamalarında ihtiyaç duyulan yüksek band genişliği ihtiyaçlarına oldukça çabuk bir şekilde

cevap verilebilmesini sağlayan LMDS sistemlerinin yetenekleri ve kapasiteleri de önümüzdeki yıllarda artacaktır. Var olan Fiber ve xDSL teknolojileri ile birlikte oluşturulabilecek modeller ile İnternet erişimi ve kurumsal VPN uygulamaları için ekonomik ve verimli bir haberleşme yöntemi haline gelecektir. LMDS ile ATM ve IP yanında, Frame Relay, ses (Trunking için PRI veya POTS) ve video hizmetlerinin sunulması mümkündür. İstanbul için önerilen model, söz konusu bir lisanslama halinde hızlı bir şekilde uyarlanabilecek ve binlerce LMDS ucunun bağlanabilmesine olanak tanıyacaktır.

### **Kaynaklar**

1. ÇÖLKESEN, R., "Komple Network Kurulumunda Parametreler", PCWEEK Dergisi, 11 Haziran 1998.
2. ÇÖLKESEN, R., ÖRENCİK, B., "Bilgisayar Haberleşmesi ve Ağ Teknolojileri", Papatya Yayıncılık Eğitim, 2.basım, İstanbul 2000.
3. KAPLAN, Y., "Veri Haberleşmesi Temelleri", Papatya Yayıncılık Eğitim, İstanbul Ekim 2000.
4. ÇÖLKESEN, R., "Günümüzde WAN Teknolojilerinden Beklentiler", PCWEEK Dergisi, Haziran 19 98.
5. ÇÖLKESEN, R., "Güncel Bir Çözüm: Ses, Veri ve Görüntü İletimi", PCWEEK Dergisi, 1998.
6. KAPLAN, Y., "Veri Haberleşmesi Kavramları", Papatya Yayıncılık Eğitim, 2.basım, Eylül 2000.
7. International Engineering Consortium, "Local Multipoint Distrubiton System (LMDS)", Web Proforum Tutorials.