

# Yerel Çok Noktalı Dağıtım Sistemi (Local Multipoint Distribution System–LMDS)

Cemal Koçak<sup>1</sup>, İsmail Ertürk<sup>2</sup>, Hüseyin Ekiz<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Dumlupınar Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği 43100 Kütahya

<sup>2</sup> Kocaeli Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektronik Bilgisayar Bölümü 41380 Kocaeli

<sup>3</sup> Sakarya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektronik Bilgisayar Bölümü 54187 Sakarya  
ckocak@sakarya.edu.tr, erturk@kou.edu.tr, ekiz@sakarya.edu.tr

**Özet:** Bilgisayar ağları ve Internet'teki hızlı gelişmelerle birlikte kablosuz ağların kullanımı da üssel artmaktadır. Yerel Çok Noktalı Dağıtım Sistemi (LMDS), genişband, noktadan çok noktaya ve 20 GHz üzerinde frekanslarda işletilen kablosuz bir haberleşme sistemidir. Bu çalışmada LMDS hakkında genel bir bilgi sunulmuştur. LMDS, kablosuz sistemler için geliştirilmiş olup ATM Forum, DAVIC, ETSI ve ITU tarafından standartlaştırma çalışmaları sürdürülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** LMDS, TDMA/FDD, MAC

## Local Multipoint Distribution System–LMDS

**Abstract:** With rapid developments in computer networks and Internet technology, wireless networks usage are exponentially increasing. Local Multipoint Distribution Service (LMDS) is a broadband wireless point-to-multipoint communication system operating above 20 GHz. In this work, general information about LDMS is presented. LDMS is developed for wireless systems. Its standardization studies are maintaining by ATM Forum, DAVIC, ETSI and ITU.

**Keywords:** LMDS, TDMA/FDD, MAC

### 1. Giriş

Kablosuz bilgisayar ağ uygulamaları, kullanıcıların bilgiye her an her yerde erişebilme isteklerini karşılamak amacıyla yeni teknolojileri de beraberinde getirmiştir. Kablosuz ortamın sınırlamalarına rağmen kullanılması, kurulum kolaylığı ve basitliği, esnekliği, ileriye yönelik maliyet kazancı, hareketlilik ve mevcut yerel alan ağ yapısını genişletme gibi avantajlarından dolayı gün geçtikçe de artmaktadır [1].

LAN ve WAN teknolojilerindeki yeni gelişmeler sonucunda; kullanıcıların Internet erişimi, video, ses ve veri gibi uygulamaların gereksinim duyacakları trafik türünü taşıyacak bir alt yapı sistemi kullanma çalışması içerisinde. Uzak bağlantı için xDSL ve LMDS/MMDS

teknolojileri uygulaması gündemde olan teknolojiler haline gelmiştir [1].

Yerel Çok Noktalı Dağıtım Sistemi (Local Multipoint Distribution System–LMDS), Geniş bant Kablosuz Erişim (Wireless Broadband Access–WBA) çalışmasının bir ürünüdür. İlk olarak Dijital TV yayımları için geliştirilen Çok Noktalı Çok Kanallı Dağıtım Sistemi (Multipoint Multi-Channel Distribution System MMDS) ve LMDS, daha sonra ev ve işyerleri için etkileşimli hizmetler sunmak amacıyla geliştirilmiştir [2], [3].

Bildirinin 2. bölümünde LMDS ve Ağ Mimari- si, 3. ve 4. bölümlerinde ise sırasıyla Kablosuz MAC protokolleri ve Modülasyon Teknikleri ile birlikte Sistem Kapasitesi üzerinde durul-

maktadır. 5. bölümde LMDS'in Avantaj ve Dezavantajları verilmiştir.

## 2. LMDS

Kablosuz ağ teknolojilerindeki gelişmelerde akla ilk gelenler WLAN, HiperLAN, Bluetooth, GSM, GPRS, WAP, MMDS ve LMDS'dir. LMDS, genişband, noktadan çok noktaya ve 20 GHz üzerinde frekanslarda işletilen kablosuz bir haberleşme sistemidir. Mart 1999'da IEEE 802 LAN/MAN Standartları komitesi, genişband kablosuz erişimi üzerine 802.16 çalışma grubunu oluşturmuştur. Bu çalışmaların büyük bir bölümünde temel taşıma birimi olarak ATM hücreler kullanılmaktadır [2], [4]. LMDS kavramı içinde;

**L (yerel)**, bu frekans bandında yapılan yayının tek bir hücrenin kapsadığı alan içinde kalmasını belirtir. Bir metropol içinde LMDS'in merkez ile kullanıcı arasındaki iletimi 8 km kadardır.

**M (çoklu nokta)**, sinyalin noktadan çok noktaya veya yayın metoduyla (broadcast) iletilmesidir.

**D (dağıtım)**, ses, data, internet ve video trafik sinyallerinin zamanında dağıtılmasıdır.

**S (sistem)**, operatör ve kullanıcı arasında ilişkiyi içerir. Bir LMDS ağı boyunca hizmetler operatöre bağlı olarak seçilen işleri sunar [5].

LMDS, özel kullanıcılara ve şirketlere yüksek kapasiteli bağlantılar sunan hücresel mimariyi yeni bir radyo tabanlı erişim teknolojisi- dir. Yüksek hızlı radyo tabanlı sistemler ile dijital TV gibi açık yayın (broadcast) sistemlerini birleştirir [6].

## 3. Kablosuz Mac Protokolleri

Kablosuz ortam yani paylaşılmış ortam üzerinde, çoklu trafik akışı iletimlerini düzenlemek için MAC protokolü (Medium Access Control–MAC) kullanılır. MAC protokolleri, iletim ortamının

kullanıcıdan baz istasyonuna (uplink) ve baz istasyonundan kullanıcıya (downlink) olan kanalların aynı anda çift yönlü olarak kullanılması (duplexing) farkı ile ayrılır. Bu nedenle MAC protokolleri, iletim ortamını çift yönlü kullanma (duplexing) yöntemine göre Frekans Bölmeli (Frequency Division Duplexing–FDD) ve Zaman Bölmeli, (Time Division Duplexing–TDD) olarak ikiye ayrılır [7], [8].

TDD yönteminde, alışı ve verişi (uplink, downlink) kanallarında aynı frekans bandı aynı zaman dilimlerinden (time slot) faydalanılır. Asimetrik bağlantılar için çok uygundur. FDD yönteminde, alışı ve verişi yönünde farklı frekans bandına sahip iki tek yönlü kanal tahsis edilir. Terminaller sinyalleri eş zamanlı olarak alır ve iletir. Kısa mesafeli radyo haberleşmesinde TDD yöntemi daha çok kullanılır. Uzun mesafelerde zaman gecikmesi fazla olacağından FDD yöntemi daha avantajlıdır [7], [9].

### 3.1 Çoklu Erişim Yöntemleri

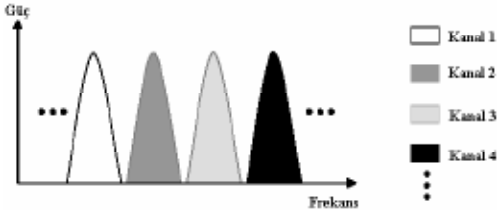
Çoklu erişim şekli kanal tahsisini ayarlamak için gereklidir. Çoklu erişim yöntemleri, veri transfer ortamının kullanıcılar arasında nasıl paylaşıldığını tanımlar. Çoklu erişim yöntemleri temel olarak; Frekans Bölmeli Çoklu Erişim (Frequency Division Multiple Access–FDMA), Zaman Bölmeli Çoklu Erişim (Time Division Multiple Access–TDMA) ve Kod Bölmeli Çoklu Erişim (Code Division Multiple Access–CDMA) olarak verilebilir. Bu teknikler de kendi aralarında dar bant (narrowband) ve genişband (wideband) sistemler olarak gruplandırılabilir [8], [10], [11].

Dar bant çoklu erişim sistemlerinde mevcut bant genişliği çok sayıda dar bantlı kanallara bölünür. Dar bant FDMA sisteminde her kullanıcıya diğerleri tarafından kullanılmayan frekans kanalı tahsis edilir. Diğer taraftan, dar bant TDMA sisteminde frekans kanalları zaman aralıklarına bölünerek çok sayıda kullanıcının aynı frekans kanalını farklı zaman aralıklarında kullanması sağlanır. FDMA/FDD, TDMA/FDD ve TDMA/TDD gibi çoklu erişim sistem-

leri dar bant uygulamalara örnek olarak gösterilebilir. Genişbant TDMA sisteminde, frekans kanalı çok sayıda zaman aralıklarına bölünerek kullanıcıların aynı frekans kanalını farklı zamanlarda kullanabilmesi sağlar. Böylece, belirli bir anda bantgenişliğinin tamamı sadece bir kullanıcı (aktif slotun sahibi) tarafından değerlendirilebilir. Genişbant CDMA sisteminde ise, frekans kanalı aynı zamanda çok sayıda kullanıcıya hizmet verebilir. Geniş bant sistemleri iletim ortamını çift yönlü kullanma yöntemlerinden FDD ya da TDD'yi kullanabilir.

### 3.2 Frekans Bölmeli Çoklu Erişim (FDMA)

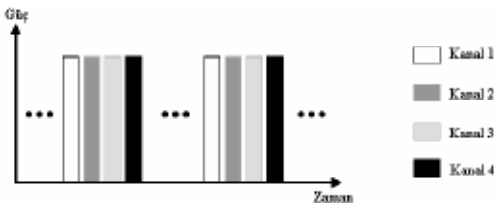
FDMA tekniğinde, toplam bant genişliği bağımsız frekans kanallarına bölünerek her bir kullanıcıya özel bir frekans kanalı atanmaktadır. Aynı iletim ortamına, aynı anda, çok sayıda kullanıcının erişmesine imkân verilir. Şekil 1'de gösterildiği gibi her bir sinyal, ilgili bant genişliğindeki belirli bir frekans aralığına modüle edilir [12], [13].



Şekil 1. FDMA kanallarında uygulama.

### 3.3 Zaman Bölmeli Çoklu Erişim (TDMA)

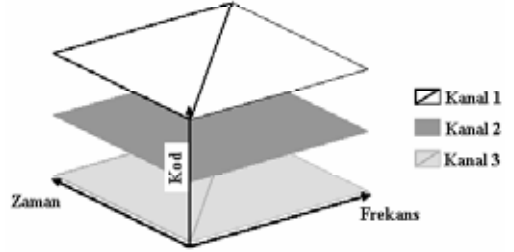
Bu uygulamada iletimde çerçeveler özel zaman dilimlerine bölünürler. Her frekans zaman dilimine ayrıldığından kullanıcılar aynı frekans fakat farklı zamanda aynı anda kullanılır. Her kullanıcı kendine ait frekans kanalını kullanır. Şekil 2'de TDMA tekniğinin uygulaması görülmektedir [14], [12], [13].



Şekil 2. TDMA'nın zaman slotlarına bölünmesi.

### 3.4 Kod Bölmeli Çoklu Erişim (CDMA)

CDMA yönteminde tüm kullanıcılar aynı frekans bandını kullanır ve aynı anda iletim yapar. CDMA tekniğinde tüm kullanıcılar aynı frekans bandını kullanabileceğinden, iletişim kanalının paylaşılmasıyla ilgili herhangi bir planlamaya gerek kalmaz. Şekil 3'de gösterildiği gibi CDMA'da göndericiler, aynı kanal içinde aynı zaman aralığında iletimi sağlar [12], [13].



Şekil 3. CDMA tekniği zaman-frekans karakteristiği.

## 4. Modülasyon Teknikleri ve Sistem Kapasitesi

TDMA ve FDMA için modülasyon seçenekleri hemen hemen aynıdır. Genişband kablosuz LMDS sistemleri için modülasyon metotları genellikle Faz Kaymalı Anahtarlama (Phase Shift Keying, PSK) ve genlik modülasyonu teknikleri; BPSK (Binary Phase Shift Keying), QPSK (Quaternary Phase Shift Keying), DQPSK (Differential QPSK), 8PSK (Octal PSK), 4-QAM (Quadrature Amplitude Modulation, 4 states), 16-QAM ve 64 QAM gibi çeşitli türevleri kullanılır [10].

LMDS sistemler için kapasite, veri iletim hızı ve kullanıcı cihazlarının maksimum sayısı ile ölçülebilir. TDMA ve FDMA bağlantılar için veri iletim hızları farklıdır. TDMA veri iletim hızı FDMA'de sağlanan veri iletim hızının %80'ni civarındadır [5], [10].

Bir sistemin toplam kapasitesi genellikle mevcut frekans kaynakları ile belirlenir. QPSK modülasyonu kullanan bir hücresel sistemde 2 GHz bir sistemin kapasitesi veriş ve alış yönleri için hücre başına 1,5 Gbps olabilir. 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 64 Kbps (80 DSO) taşıma kapasitesi ile, 4000 kullanıcıya;  $[80 \times (250 \text{ MHz} / 5 \text{ MHz})]$  64 Kbps’lik erişim hizmeti sunulabilir. Ayrıca zaman paylaşımli bir modelde tüm kullanıcıların aynı anda ağa erişmeyeceğini düşünerek öngörülecek bir oranla daha fazla sayıda abone edinilmesi mümkündür [6], [15].

## 5. LMDS Ağ Mimarisi

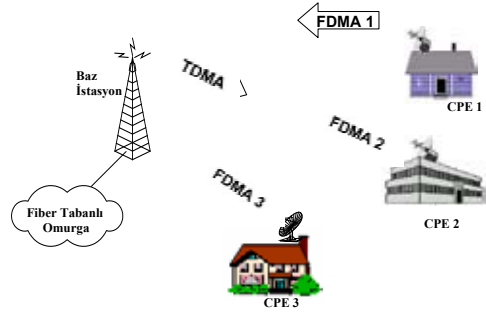
LMDS, noktadan çok noktaya ve 20 GHz üzerindeki frekanslarda (ülkedeki lisanslamaya bağlı olarak 28, 38 veya 40 GHz) işletilen ve 1,3 GHz bant genişliği sağlayan geniş bantlı kablosuz haberleşme sistemleridir. Bu frekans değerleri ile her kullanıcıya, 38 Mbps’ye kadar kesintisiz veri transferi imkânı sağlanır. Bu sistem, dijital iki yollu ses, veri, İnternet ve video servisleri sağlamak için kullanılır [5], [2], [16]. LMDS ses, veri ve video gibi veri kombinasyonlarını noktadan çok noktaya kablosuz yayın hizmeti ile sağlayan bir sistemdir. Bu nedenle ATM ve IP iletim teknolojileri ile uygulanabilir. LMDS ağ yapısı;

1. Ağ İşlem Merkezi (Network Operations Center–NOC),
2. Fiber Tabanlı Omurga,
3. Baz İstasyonları ve
4. Kullanıcı Cihazları (Customer Premises Equipment–CPE)

Olmak üzere 4 temel kısımdan oluşmaktadır [5], [10], [16]. LMDS ağ mimarisi Şekil 4’de görülmektedir.

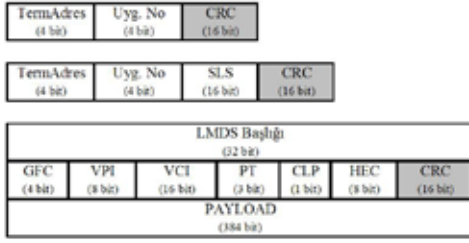
LMDS içinde merkez hub ile bütün uzak sunucular arasındaki bağlantılar noktadan-çok noktaya kablosuz geniş bant kullanılarak haberleşir. Hücreler ise merkez ağ aracılığı ile birbirlerine bağlantılıdır. LMDS, mantıksal olarak ATM ağ üzerinden birbirleri ile olan bağlantılarını sanal devreler (virtual circuits VC) ile ve öncelikli

trafik için bazı hızlı yönlendiriciler ile sağlar. Hizmet kalitesi desteği ile trafik sınıfları, IP başlığının TOS alanında tanımlanır. Bütün trafik baz istasyonu üzerinden akar; çünkü radyo kanalları üzerindeki bant genişliği tahsisini baz istasyonu kontrol etmektedir. Sabit geniş bantlı erişim sistemlerinde baz istasyonu; abone istasyonlarının trafik anlaşmasına göre QoS parametrelerini ve bant genişliği isteklerini planlar ve tahsis eder [7], [17].



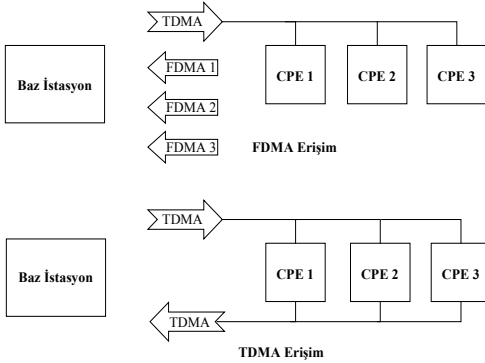
Şekil 4. LMDS ağ mimarisi.

LMDS üzerinde geri dönüş kanalında TDMA kullanılır. Bu erişim şeklinde MAC protokolü farklı kullanıcılar için zaman slotlarını ayırır. Her bir abone tanıma verici merkezi (CPE), sadece kendisi için ayrılan zaman slotunu kullanarak iletim yapabilir. Bu erişim şeklinde çerçeveler (frame) 3 ms ile 6 ms arasında bir uzunluğa sahiptir. Kanal bant genişliği 20 MHz ile 40 MHz arasında belirlenmiştir. Çerçeveler içindeki zaman slotlarının sayısı; başlama ve rasgele erişim slotları olmak üzere ayrılmıştır. Zaman bölümleri 68 bayt’tan oluşur. 4 bayt ön-ek ve son sırada 1 bayt’lık koruma bulunur. Kalan 63 bayt içinde 53 bayt’lık bilgi ve RS kodu (Reed Solomon) kullanmak için 10 bayt’lık eşlik-kontrol içerir. Geri dönüş kanalı, her blokta 5 bayt hata doğrulama ve 8 bit kod slotu bir ATM hücre ile taşınır. RS kodlamadan önce veri, baytlar şeklinde rasgele dağıtılır. Kanal filtreleme, kaynak ve hedef arasında eşit olarak bölünmüş, Yükseltilmiş Kosinüs Nyquist tip kullanılır [3], [16], [18]. Şekil 5’de LMDS paket formatı gösterilmiştir.



Şekil 5. LMDS paket formatı

Kullanıcı cihazları baz istasyona erişim için TDMA, FDMA veya CDMA çoğullama yöntemlerini kullanabilir. Erişim yapılandırılmalarında kullanıcılara sunulan hizmet türleri belirleyicilik sağlamaktadır. Uygulamada kullanıcıdan baz istasyona (uplink) bağlantıda FDMA ile her kullanıcıya ayrı bir band genişliği tahsisi tercih edilirken, baz istasyondan kullanıcıya (downlink) bağlantıda yaklaşım TDMA ile alışıkanalının ortaklaşa kullanılmasıdır. Bu şekildeki bir erişim mekanizması ile alışı yönünde noktadan çok noktaya (point-to-multipoint) bağlantı, veriş yönünde ise noktadan noktaya (point-to-point) bağlantı sağlanır (Şekil 6) [10].



Şekil 6. FDMA ve TDMA bağlantı.

### 5.1 LMDS'in Avantajları ve Dezavantajları

LMDS ağ modellerinde değişik türde mimariler önerilmesine rağmen veri iletimi noktadan noktaya/çok noktaya işletim ile mümkün olmaktadır. Ayrıca, ATM ve IP iletimi için de kurulabilir. Sayısal veri iletiminin dışında TV yayıncılığı uygulamaları da bulunmaktadır. LMDS'in sunmuş olduğu bazı önemli avantajlar şunlardır [8], [19];

1. Kullanılan kablosuz teknolojileri arasında maksimum bant genişliği sunar (LMDS hatları arasında 1,300 GHz ve tek bant içinde 850 MHz)
2. Kablolu ağların yeterli desteği ile 1 Gbps ve daha fazla veri iletim hızları sunabilir. Kullanıcılara sırasıyla ses, görüntü ve veri hizmetlerini sağlama yeteneğine sahiptir.
3. Başlangıç maliyetleri düşüktür, tüm alan bağlantılarında maliyet yüksek değildir.
4. Uygulama kısa sürede çalışır hale getirilebilir (kablolu ağlara bağlantı fiber ile erişilebiliyorsa).
5. Talebe göre ağ yapısı ölçeklenmesi kolaydır.
6. Maliyetin büyük bir bölümü karasal hatlardan müşteri tarafında konuşlandırılan donanım üzerindedir. Karasal sistemlerde maliyetlerin önemli bir bölümünü, hatların çalışır durumda tutulması için gereken çalışmalar oluşturur.
7. Bakım, yönetim ve işletme maliyetleri düşüktür.

Uygulama çeşitliliği ile kablosuz haberleşme sistemlerine getirdiği avantajlar yanında LMDS'in dezavantajları da vardır [8], [19]. Bunlar;

1. Hava şartlarından etkilenir.
2. Görüş açısı veya kapsama alanı ile ilgili sorunlar bulunmaktadır. LMDS görüş mesafesi ile ilgili bir teknolojidir. Bu ise, baz istasyonu ile (hub) uzak antenlerin birbirini görmesi (görüş açısı) anlamına gelir. Bu görüşü sağlamak, özellikle tepe alanlarda ve birçok yüksek katlı binaların olduğu yerlerde zor olabilir.
3. Kullanıcı antenlerinin ve baz istasyonları estetik olarak görüntü bozukluğu oluşturur.
4. Henüz fiber ile hizmet veren alanlarda LMDS'in maliyet açısından karşılaştırılması pek uygun değildir. Çünkü LMDS'in ilk kurulumundaki gerekli maliyet, var olan fiber ile erişim sağlanan yerlerin maliyetlerine göre yüksektir.
5. Abone sayılarının artması, her abone başına düşen ortalama maliyeti düşürürken, ilk kurulum süresindeki maliyetten daha fazla

olabilir. Kırsal alanlarda LMDS yerleşimi avantajlı olmasına rağmen denemek pahalı olabilir.

6. Frekans işlemlerinde (28 GHz) mesafenin mm dalga antenlerle, kapsamı alanı içine alınması çok sınırlıdır. Bu yüzden düşük gürlütle alıcılar ve yüksek güçlü vericilerin maliyeti yüksek olmamasına rağmen uzaklık (8 km) maliyeti sınırlayan faktördür.
7. Kullanıcı binalarındaki cihazların maliyetleri xDSL veya kablolu modem hizmetleri ile karşılaştırıldığında yüksektir fakat azaltılmaya çalışılmaktadır
8. Bu alandaki standartlaşmanın eksikliği önemli bir sorundur.

## 6. Sonuç

LMDS, ev ve küçük iş yerleri için dijital abone hatları (xDSL) gibi kablolu çözümlere alternatif olarak uygulanabilir ve xDSL, koaksiyel kablo ve fibere benzer kablolu teknolojilerle yarışabilir. Bu yeni teknoloji servis sağlayıcıların; İnternet erişimi, VPN ve çoklu ortam uygulamalarını hızlı bir şekilde devreye almasına ve ayrıca ATM alt yapısı ile bütünleştirildiğinde hizmet kalitesini (Quality of Service, QoS) ve değişik tür hizmetler için hizmet sınıfını (Class of Service, CoS) sağlamasına imkân tanımaktadır.

Çoklu ortam uygulamalarında erişim sistemleri için ihtiyaç duyulan spektrum milli ve uluslararası olarak tahsis edilmiş durumdadır. İlk etapta ilave spektruma ihtiyaç olmayabilir. Ancak; multimedya hizmetinin tipi, kullanıcı arayüzü aletleri ve istenilen hizmet kalitesi gibi parametrelere bağlı olarak, daha fazla bant genişliğine ihtiyaç duyulabilecek ve bu durumda spektrum araştırması ve gerekli düzenlemeler yapılması gerekecektir. Çoklu ortam uygulamalarında ihtiyaç duyulan yüksek band genişliği ihtiyacına cevap verilebilen LMDS sistemlerinin yetenekleri ve kapasiteleri sürekli artmaktadır. Özellikle fiber ve xDSL teknolojileri ile birlikte oluşturulabilecek modeller ile İnternet erişimi ve kurumsal VPN uygulamaları için ekonomik ve verimli bir haberleşme teknolojisi olabilir.

## Kaynaklar

- [1] KOÇAK, C., “ATM ve LMDS Ağlarında MPLS Kullanarak servis Kalitesi Desteği Sağlanmış Gerçek Zamanlı Veri Transferi”, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, Ağustos 2004.
- [2] MAHÖNEN, P., SAARINEN, T., and SHELBY, Z., “Wireless Internet over LMDS: Architecture and Experimental Implementation”, IEEE Communications Magazine, May 2001.
- [3] SARI, H., “Broadband radio access to homes and businesses; MMDS and LMDS”, El-sevier Computer Networks 31, pp.379-393, 1999.
- [4] KURI, J., and GAGNAIRE, M., “ATM Traffic Management in an LMDS Wireless Access Network”, Broadband Wireless Access Technologies and Applications, IEEE Communications Magazine, September 2001.
- [5] International Engineering Consortium, “Local Multipoint Distribution System (LMDS)”, <http://www.iec.org/online/tutorials/lmlds>.
- [6] NORDBOTTEN, A., “LMDS System and Their Application”, IEEE Communication Magazine, pp.150-154, June 2000.
- [7] BOSTIC, J., and KANDUS, G., “MAC Scheduling for Fixed Broadband Wireless Access Systems”, European Cooperation in the Field of Scientific and Technical Research, Jozef Stefan Institute, IJS., COST 263, Ljubljana Slovenia 2001.
- [8] KHOBARE, A., “Simulation Study of Local Multipoint Distribution Service (LMDS)”, Virginia Polytechnic Institute and State University, Master of Science in Computer Science, Blacksburg Virginia, 2000.
- [9] ÇEKEN, C., “Kablosuz ATM Kullanarak Servis Kalitesi Desteği Sağlanmış Gerçek Zamanlı Veri Transferi” Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi., Ocak 2004.

- [10] GURUMOORTHY, K.K., “Local Multipoint Distribution Service” Electrical Engineering and Computer Sciences-EECS KUID-706525.EECS., 2002, <http://www.itctiukans.edu>.
- [11] RAPPAPORT, T.S., “Wireless Communications Principles and Practice”, Prentice Hall, 1996.
- [12] MANAS, O., “Kablosuz Bilgisayar Ağları”, Wireless Networking Security, WINS 2002, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü 2002.
- [13] RYAN, M.J., and FRATER, M.R., “Communications and Information Systems” Argos Pres. ISBN: 098023808, January 2002.
- [14] International Engineering Consortium, “Time Division Multiple Access (TDMA)”, <http://www.iec.org/online/tutorials/tdma>
- [15] KAPLAN, Y., ve ÇÖLKESEN, R., “Yüksek Hızlı Kablosuz Hücreli Ağ Erişimi”, Elektrik Mühendisleri Odası (EMO) Dergisi sayı 409.
- [16] HAKEGARD, J.E., “Coding and Modulation for LMDS and Analysis of the Channel”, Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology, V.105, N.5, October 2000.
- [17] SCHMIDT, M., KOUDELKA, O., EBERT, J., SCHLEMMER, H., ADAMS, C.J., SHI, X., LINDER, H., and STERING, W., “EMBRACE System Demonstrator”, IST Mobile and Wireless Communications Summit, Thessalonica 17-19 June 2002.
- [18] CORNAGLIA, B., SANTANIËLLO, R., LEONARDI, E., CIGNO, R.L., MEO, M., and NERI, F., and SARACINO, D., “LMDS Systems: A Possible Solution for Wireless ATM Access Networks” IEEE 1998.
- [19] PARTHASARATHY, R., “A Framework for Policy-Based Quality of Service for fixed Broadband Wireless Network” Virginia Polytechnic Institute and State University, Master Science in Electrical Engineering, Blacksburg Virginia, 2003.