

**T.C HALIÇ ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İNTERNET PROTOKOLÜ ÜZERİNDEN SES AKTARIMINDA WESTPLAN  
YAKLAŞIMIYLA TRAFİK ANALİZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Elektronik ve Haberleşme Müh. Özgür ERTEM  
22.05.2006.008**

**Anabilim Dalı: Bilgisayar Mühendisliği  
Bölümü: Bilgisayar Mühendisliği**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ali OKATAN**

**ARALIK 2006**

## ÖNSÖZ

Bu tez çalışması boyunca yardımlarını ve ilgisini esirgemeyen danışman hocam Sayın Prof. Dr. Ali Okatan'a ve hayatımın her aşamasında olduğu gibi bu çalışma boyunca da bana olan desteklerinden ötürü dayım Dr. Hasan Günaydın ve tüm dostlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

ARALIK 2006

Özgür Ertem

## İÇİNDEKİLER

<b>TABLO LİSTESİ</b>	<b>v</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b>	<b>vi</b>
<b>ÖZET</b>	<b>vii</b>
<b>SUMMARY</b>	<b>viii</b>
<b>1.GİRİŞ</b>	<b>1</b>
1.1 Tezin Kapsamı	2
1.2 Tez Düzeni	2
<b>2.İNTERNET PROTOKOLÜ ÜZERİNDEN SES AKTARIMININ TANITIMI</b>	<b>3</b>
2.1 VoIP'in Büyümesine Etkiyen Faktörler	3
2.2 VoIP Transport ve Network Katmanı Protokolleri	5
2.2.1 İnternet Protokolü	6
2.2.2 Taşıma Kontrolü Protokolü ve Kullanıcı Veri Birimi Protokolü	6
2.3 Gerçek-Zaman İletim Protokolü ve Gerçek-Zaman Denetim Protokolü	8
2.4 Kaynak Ayrılması Protokolü	9
2.5 H.323 İşaretleşme Protokolü	10
2.5.1 H.323 Bileşenleri	10
2.5.1.1 Terminaller	10
2.5.1.2 Ağ Geçitleri	11
2.5.1.3 Ağ Kapı Sorumluları	12
2.5.1.4 Çok-Uçlu Denetim Birimleri	12
2.5.2 H.323 Protokolleri ve Ayrıntıları	12
2.5.2.1 Ses Kodlayıcıları/Çözücüler	13
2.5.2.2 Görüntü Kodlayıcıları/Çözücüler	14
2.5.2.3 H.225 Kayıt, Kabul ve Durum Protokolü	14
2.5.2.4 H.225 Çağrı İşaretleşme Protokolü	14
2.5.2.5 H.245 Denetim İşaretleşme Protokolü	15
2.5.3 H.225 RAS Kanalı	15
2.5.3.1 Ağ Kapı Sorumlusunun Bulunması	16
2.5.3.2 Kayıt	17
2.5.3.3 Konum	19
2.5.3.4 Çağrı Kabulü ve Bant Genişliği	20
2.5.3.5 Durum Bilgisi	22
2.5.3.6 Bağlantının Kesilmesi	23
2.5.4 H.225 Çağrı İşaretleşmesi	24
2.5.5 H.245 Çağrı Kontrolü	30
2.6 Oturum Başlatma Protokolü	32
2.6.1 SIP İsimleri ve Adresleri	32

2.6.2 SIP'in Temel Bileşenleri	32
2.6.3 SIP Mesajları	33
2.6.4 SIP'de Konuşma Yolunun Kurulması	35
<b>3.SES KALİTESİNİ ETKİLEYEN UNSURLAR</b>	<b>38</b>
3.1 Gecikme	38
3.1.1 Yayılma Gecikmesi	39
3.1.2 Kodek İşlem Gecikmesi	39
3.1.3 Paketleme Gecikmesi	40
3.1.4 Sıralama Gecikmesi	42
3.1.5 Yönlendirme ve Kuyruklama Gecikmesi	42
3.1.6 Gecikme Değişimi Tamponu Gecikmesi	42
3.2 Gecikme Değişimi	43
3.3 Paket Kaybı	43
3.4 Bağlantı Hataları	44
3.5 Yankı	46
3.6 Ses Faaliyet Algılama	48
<b>4.SES KALİTESİNİN ÖLÇÜLMESİ</b>	<b>50</b>
4.1 Ortalama Düşünce Derecesi	50
4.2 E – Model	51
<b>5.İNTERNET PROTOKOLÜ ÜZERİNDEN SES AKTARIMI UYGULAMASI</b>	<b>55</b>
5.1 VoIP Ağları için Tasarım Önerileri	55
5.1.1 Sıkıştırılmış Gerçek-Zaman İletim Protokolü Kullanımı	56
5.1.2 Ses Faaliyet Algılama Aktif Hale Getirilmeli	57
5.1.3 Ses Verisi Mümkün Olduğunca Küçük Tutulmalı	59
5.1.4 Uyarlamalı Gecikme Değişimi Tamponu Kullanılmalı	59
5.1.5 Uygun Kodek Seçilmeli	60
5.1.6 Yankı Bastırıcı Kullanılmalı	61
5.2 Simülasyonun Açıklanması	63
5.3 Simülasyonun Sonuçları	67
5.4 Simülasyon Sonuçlarının Analizi	69
5.5 Özet	73
<b>6.SONUÇLAR</b>	<b>74</b>
6.1 Konu Hakkında Gelecekte Yapılabilecek Çalışmalar	76
<b>KAYNAKLAR</b>	<b>77</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ</b>	<b>79</b>

## TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
<b>Tablo 1:</b> VoIP'in Büyümesini Etkileyen Faktörler	3
<b>Tablo 2:</b> Ses Paketi	6
<b>Tablo 3:</b> H.323 Protokoller Kümesi	13
<b>Tablo 4:</b> Ses Kodekleri	14
<b>Tablo 5:</b> Q.931 ve Q.932 Mesajları	25
<b>Tablo 6:</b> SIP İsim Örneği	32
<b>Tablo 7:</b> Gecikme Tanımlamaları için ITU.T G.114 Tavsiyesi	39
<b>Tablo 8:</b> Çeşitli Ses Kodeklerinin Karakteristikleri	40
<b>Tablo 9:</b> Ses Paketi Başlık Bilgisinin Getirdiği Ek Yük	41
<b>Tablo 10:</b> Bant Genişliği Verimliliği	41
<b>Tablo 11:</b> Sıralama Gecikmesi	42
<b>Tablo 12:</b> G.723.1 ve G.729 Kodekleri için Rastgele Hatalar Sonucu Oluşan Paket ve Çerçeve Kayıpları	45
<b>Tablo 13:</b> G.723.1 ve G.729 Kodekleri için Patlamalı Hatalar Sonucu Oluşan Paket ve Çerçeve Kayıpları	46
<b>Tablo 14:</b> Geleneksel Devre Anahtarlama Ses Kalitesinin Değişik Durumlar Altında Elde Edilebildiği ms Cinsinden Ağızdan Kulağa Gecikme Değerleri	48
<b>Tablo 15:</b> Sessizlik Bastırma ile Kazanılan Bant Genişlikleri	49
<b>Tablo 16:</b> MOS için Sınıflandırma Cetveli	51
<b>Tablo 17:</b> ITU.T Kodek MOS Derecelendirmesi	51
<b>Tablo 18:</b> Konuşma Kalite Kategorilerine Göre Ayrılmış R Değerleri	52
<b>Tablo 19:</b> E – Model'de Kullanılan R Değerlerinin Hesaplanması	53
<b>Tablo 20:</b> cRTP Kullanılmadan Oluşan Başlık Bilgisi Ek Yüğü	56
<b>Tablo 21:</b> cRTP Kullanılınca Oluşan Başlık Bilgisi Ek Yüğü	57
<b>Tablo 22:</b> Değişik Kodek Tiplerinde cRTP ve VAD Kullanımı Sonucu Ortaya Çıkan Bant Genişliği Kazanımları	58
<b>Tablo 23:</b> Test Konfigürasyonları	63
<b>Tablo 24:</b> Test Konfigürasyonları	66
<b>Tablo 25:</b> Konfigürasyonlar için Test Sonuçları	67

## ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1: IP Telefonu ve Geleneksel Ses Trafikçi Kullanım Süreleri	5
Şekil 2: Üç Yollu El Sıkışma Protokolü	7
Şekil 3: RTP ve RTCP Mesajları	9
Şekil 4: H.323 Bölgesi ve Bileşenleri	11
Şekil 5: Otomatik Keşif	17
Şekil 6: Kayıt Süreci	18
Şekil 7: Uç Nokta Konum Süreci	20
Şekil 8: Kabul ve Bant Genişliği Süreçleri	22
Şekil 9: Durum Bilgisi	23
Şekil 10: Ağ Kapı Sorumlusu Olmadan Bir Çağrının Kurulması	26
Şekil 11: Doğrudan Uç Nokta Çağrı İşaretleşmesi	27
Şekil 12: Ağ Kapı Sorumlusu Yönlendirmeli Çağrı İşaretleşmesi	28
Şekil 13: 2-Ağ Kapı Sorumlusu ile Ağ Kapı Sorumlusu Yönlendirmeli Çağrı İşaretleşmesi	29
Şekil 14: H.245 Çağrı Kontrolü Mesajları	30
Şekil 15: Vekil Sunucu Kullanılarak Oluşturulan SIP Çağrısı	36
Şekil 16: Yönlendirme Sunucusu Kullanılarak Oluşturulan SIP Çağrısı	37
Şekil 17: 1.Tarafın Gözlemlediği Konuşmacı ve Dinleyici Yankısı	47
Şekil 18: MOS Dereceleri ile R Değerleri Arasındaki İlişki	52
Şekil 19: Farklı Kodek Tipleri için Paket Kaybının Bir Fonksiyonu Olan Bozulma Katsayısı $I_e$	54
Şekil 20: Bloklama Hedefi ve Meşgul Saat Faktörü	64
Şekil 21: Bant Genişliğini Verimsiz Kullanan Konfigürasyon	65
Şekil 22: Bant Genişliğini Verimli Kullanan Konfigürasyon	66
Şekil 23: Her Bir Ses Kanalı Başına Harcanan Toplam Bant Genişliğinin Kbps Cinsinden İfadesi	69
Şekil 24: T1 Hattı Üzerindeki Kullanılabilir Bant Genişliği ile Sağlanan Toplam Ses Kanalı Sayılar	70
Şekil 25: Yaşanılan Çağrı Bloklamalarının Yüzdesi	71
Şekil 26: Mbps Cinsinden Her Bir Konfigürasyon için Optimum Bant Genişliği	71

## ÖZET

### İNTERNET PROTOKOLÜ ÜZERİNDEN SES AKTARIMINDA WESTPLAN YAKLAŞIMIYLA TRAFİK ANALİZİ

İnternet Protokolü üzerinden sesin taşınması 1990'ların sonlarında başlayan ve gün geçtikçe popüler hale gelen bir konudur. Özellikle, ekonomik açıdan sağladığı avantajlar ve ek harcamalar yapılmadan var olan internet alt yapısını kullanabilmesi sebebiyle VoIP, kurumsal şirketler için cazip hale gelmektedir. Ayrıca ses ve veri hizmetlerinin, aynı telekom şebekesi üzerinden paket anahtarlama mantığını baz alarak iletilmesi, bant genişliğinin oldukça verimli kullanılabilmesine olanak sağlamaktadır. Bununla birlikte VoIP sesin aksine veri iletimi gibi gerçek zamanlı olmayan trafik için tasarlanmış olan IP ağlarının doğasından, kaynaklanan birçok sorunla karşılaşmaktadır.

Bu tez VoIP sistemlerinde ses kalitesine etkiyen etmenleri analiz etmektedir. Bu etmenler; gecikme, gecikme değişimi (jitter), paket kaybı, bağlantı hataları, yankı ve Ses Faaliyet Algılama (Voice Activity Detection - VAD)'dır. İlaveten, bu faktörlerin etkilerini azaltmak için uygulama önerileri sunulmuş ve son olarak da sunulan öneriler simülasyonlar aracılığıyla analiz edilmiştir.

## **SUMMARY**

### **TRAFFIC ANALYSIS OF VOIP SYSTEMS BY USING WESTPLAN APPROACH**

After its introduction in late 1990s, Voice over Internet Protocol has become a popular subject by the day. Especially, the economical aspect of its advantages and ability not to spend additional expenses by using existent internet infrastructure, made VoIP attractive for enterprises. Moreover, transmission of combined data and voice services from the same telecom local loop based on packet switching provide efficient use of bandwidth. However, VoIP faces many problems mainly because of the nature of IP networks which were built to transport non-real time traffic unlike voice.

This thesis analyzes factors effecting the voice quality of VoIP. These factors are delay, jitter, packet loss, link errors, echo and Voice Activity Detection (VAD).Further, implementation suggestions to lessen the effects of these factors are presented and finally, these suggestions are analyzed by the mediation of simulations.



## I. GİRİŞ

IP Telefonu, İnternet Telefonu, Paket Anahtarlamalı Telefon olarak da bilinen VoIP, ses paketlerinin internet gibi paket-anahtarlamalı ağlar üzerinden iletimidir. 1995 yılının başlarında Vocal Tec Inc. tarafından tanıtımı yapılan ilk IP Telefonu yazılımı [1], günümüzde tüm dikkatleri üzerine çekmeyi başarmıştır. İnternet protokolünün evrensel varlığı, veri şebekeleri ile ses şebekelerinin birleştirilme fikri ve hem bireysel hem de kurumsal abonelerin tasarruf etme ümitleri sebebiyle VoIP en hızlı büyüyen telekomünikasyon sektörü haline gelmiştir. Ancak hali hazırda birçok sorun ve sıkıntı bu teknolojinin çok daha hızlı gelişmesine engel teşkil etmektedir.

PSTN (Public Switched Telephone Network), kamusal anahtarlamalı telefon şebekesi olarak da bilinen geleneksel ses şebekeleri, düşük gecikme, düşük gecikme değişimi (jitter) ve sabit bant genişliği gerektiren ses uygulamaları için tesis edilmişlerdi ve bir asırdan fazla süredir iyi kalitede servis vermekteydiler. Bundan ötürü, kullanıcılar PSTN tarafından sağlanan yüksek servis ve ses kalitesine alışmış ve benzer kaliteyi IP Telefonundan da beklemektedirler. Ancak, bu tezde analiz edilecek bazı etmenlerin yarattıkları etkilerden de anlaşılacağı üzere bu kaliteyi yakalamak oldukça güç bir durumdur.

IP şebekelerinde ses kalitesini etkileyen en önemli iki faktör gecikme (delay) ve gecikmedeki değişimdir (jitter). IP şebekeleri PSTN'in aksine veri iletişimi için tasarlanmış olan şebekelerdir. IP üzerinden ses ve verinin birlikte iletimi ise çok farklı gereksinimlere ihtiyaç duymaktadır; veri iletimi gecikme ve gecikme değişimine hassas değilken, ses iletimi bunun tam tersidir. Örnek vermek gerekirse; bir elektronik postanın iki dakika içinde hedefine ulaşması bir sorun teşkil etmezken, saniyenin belirli bir parçası kadar bile gecikme ses haberleşmesi için kabul edilemezdir. Gerçekte, yüksek kalite ses haberleşmesi 0,1 saniyeden fazla gecikmeyi tolere edememektedir.

Ses kalitesini etkileyen diğer bir faktör ise IP Şebekelerinin özellikle trafiğin tepe noktasına ulaştığı ve kullanılabilir bant genişliğinin doyuma gittiği zamanlarda tıkanmaya bağlı olarak paket kaybına maruz kalmasıdır. Paket kaybı, genel olarak TCP (Transmission Control Protocol)'yi kullanan veri paketleri için bir sorun değildir. TCP, hatta kaybolan veya düşürülen paketlerin yeniden iletimi yoluyla güvenilirliği sağlamaktadır. Mamafih, ses haberleşmesi paketlerin gerçek-zamanlı (real-time) iletimini gerektirdiğinden TCP'nin

yeniden iletim mekanizmasındaki gecikme faktöründen dolayı, ses haberleşmesinin TCP'yi kullanamayacağı aşıkardır.

Yankı ve sıkıştırma da ses kalitesine direkt etkisi olan etmenlerdir. Kullanıcı için yankı, kullanıcının kendi sesini telefon ahizesinden geri duyması olarak tanımlanmaktadır. Sıkıştırma ise, bant genişliği kullanımını azaltmak için ses işaretinin sıkıştırılması tekniğidir.

## **1.1 Tezin Kapsamı**

Bu tez Voice over IP'de ses kalitesini etkileyen faktörleri incelemekte ve altı spesifik çözüm önerisi ile bu faktörlerin minimize edilebileceğini savunmaktadır. İlâveten, altı VoIP konfigürasyonu, önerilerin etkilerinin ispatı için test edilmektedir. Son olarak, test edilen konfigürasyonların sonuçları analiz edilmektedir. Ancak başarılı bir VoIP uygulamasında eksiksiz bir çözüm elde etmek isteniyorsa; birlikte çalışabilirlik, güvenilirlik ve iletim hattı sorunlarının giderilmesi önem kazanacaktır. Bu konular, tezimizin kapsamı dışındadır.

## **1.2 Tez Düzeni**

Bu tez altı üiteden oluşmuştur. İkinci ünite VoIP teknolojisinin büyümesini etkileyen faktörleri açıklayarak, VoIP hakkında genel bir tanıtımı içerir. Üçüncü ünite internet protokolü üzerinden ses aktarımında ses kalitesini etkileyen problemleri, dördüncü ünite ses kalitesi ölçüm metotlarını, beşinci ünite ise çözüm önerilerini test ve analiz yöntemiyle sınamaya ayrılmıştır. Altıncı ve son ünite konu hakkında gelecekte yapılması muhtemel çalışmalara ışık tutmayı amaçlamaktadır.

## II. İNTERNET PROTOKOLÜ ÜZERİNDEN SES AKTARIMININ (VoIP) TANITIMI

Bu ünite VoIP'in büyümesine etkiyen faktörleri sunmakta ve VoIP tarafından kullanılan temel protokoller olan H.323, SIP, TCP, UDP, RTP, RTCP, RSVP ve tabii ki IP üzerinde durmaktadır.

### 2.1 VoIP'in Büyümesine Etkiyen Faktörler

Ses ve veri şebekelerinin birleştirilmesi uzun süredir hem servis sağlayıcılar hem de kurumlar için gerçekleştirilmek istenen bir amaç haline gelmiştir. Bu işlemin sonuçlanması beraberinde çok büyük maliyet kazançları ve daha iyi kontrol edilebilen şebekeler getirmektedir. Tablo – 1 VoIP'i etkileyen faktörleri özetlemektedir.

<b>VoIP TEKNOLOJİSİNİN GELİŞİMİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Uzak mesafe ve uluslararası görüşmelerdeki maliyet kazanımları</li><li>• Şirketlerin şubeleri arası görüşmelerindeki tasarruflar</li><li>• Şebekeler üzerindeki gelişmiş kontrol yeteneği</li><li>• Kullanıcı taşınabilirliği (hareketliliği)</li><li>• Şebeke kapasitesinin daha verimli kullanımı</li><li>• Yeni uygulamalara kolay adapte olabilme</li><li>• 3G kablosuz teknolojilerine giriş</li></ul>

**Tablo – 1 VoIP'in Büyümesini Etkileyen Faktörler**

İş dünyası için IP Telefonunu cazip kılan en önemli etmen uzak mesafe ve uluslararası telefon görüşmelerindeki maliyet kazanımlarıdır. Özellikle uluslararası görüşmelerdeki ara bağlantı ücretleri gibi konuşma ücretinin artmasına sebep olan etmenlerin internet ve türevleri olan paket-anahtarlamalı teknolojilerde uygulanmaması sebebiyle, VoIP telefon görüşmelerine büyük oranda indirim getirmektedir. VoIP bir bina veya yerleşke içindeki

haberleşmelerde de umut verici tasarruflar sağlamaktadır. Ek olarak, iki ayrı şebekenin birleştirilmesi, iki ayrı grup personelin (bir ses şebekesi bir de veri şebekesi için) de tek çatı altında toplanması, şebeke yönetiminin kolaylaştırılması ve muhtemelen şebeke personel sayısının azalması anlamına gelmektedir. VoIP'in başka bir avantajı ise, çalışanlar ofislerini değiştirdiklerinde dahi sistem konfigürasyonunu değiştirme ihtiyacı bulunmamasıdır. Ofisteki bir çalışanın, IP Telefonu ağdaki herhangi bir noktaya bağlandığında yine aynı numarayı alabilecektir. IP Telefonu kullanıcıları için, bu gelişmiş taşınabilirlik özelliği, IP Telefonlarının geleneksel telefonların santraller üzerindeki spesifik portlara bağlanma zorunluluğunun aksine Ethernet MAC (Media Access Control) adresi içermelerine dayanır.

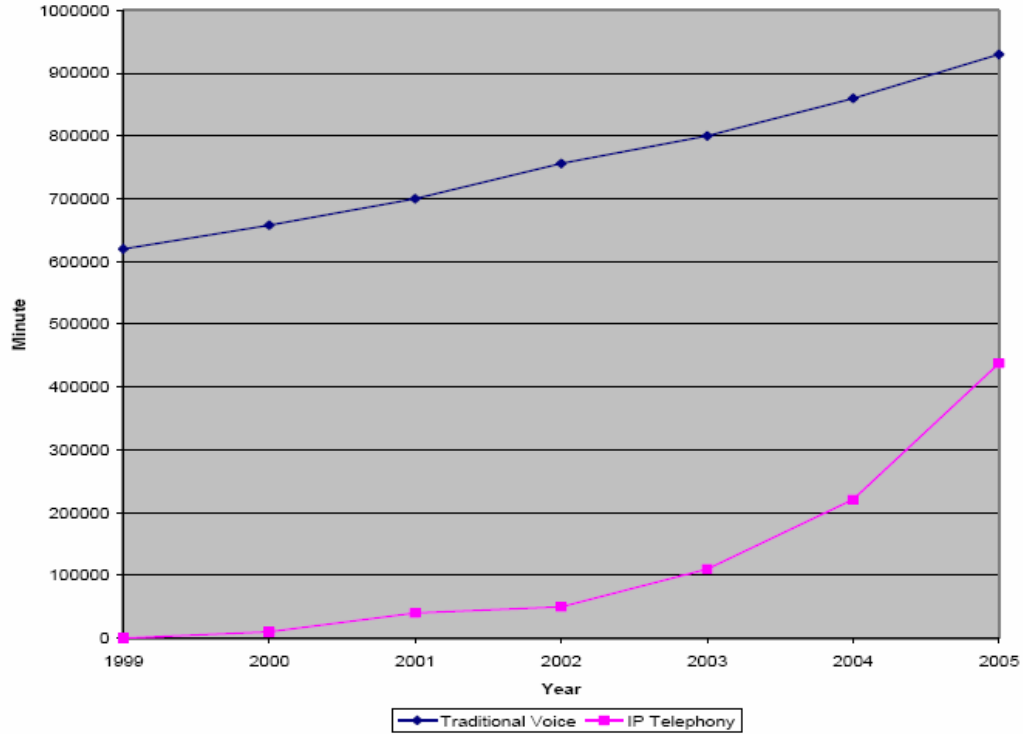
VoIP teknolojisinin bir diğer faydası ise bant genişliğini son derece verimli kullanan bir yapıya sahip olmasıdır. Geleneksel devre-anahtarlamalı telefon görüşmeleri, hatta o an konuşma olsa da olmasa da tüm atanmış bant genişliğini görüşme boyunca rezerve etmektedir. Tipik bir insan konuşmasında yaklaşık yarı sürenin karşılıklı sessizlik olarak geçtiği düşünülürse, çok büyük bir bant genişliğinin sessizliğin iletiminde harcandığı ortaya çıkmış olur. Bu da devre-anahtarlamalı görüşmelerin bant-genişliği açısından verimsiz olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, VoIP paketleri kullanılabilir bant genişliğini diğer paketlerle paylaşmaktadır. Geleneksel devre-anahtarlamalı şebekeler üzerinden ses iletimi Darbe Kod Modülasyonunu (PCM) kullandığından 64 kbps'lık bant genişliği harcarken, VoIP uygulamalarında bu oran 18 kbps'lara kadar düşmektedir. Sonuç olarak, Sessizlik Bastırma (Silence Suppression) adı verilen teknikle, VoIP çağrıları %50'ye varan oranlarda bant genişliği kazancı sağlamaktadır. Ses Faaliyet Algılama (Voice Activity Detection) olarak da bilinen Sessizlik Bastırma, üçüncü ünite de daha detaylı incelenecektir.

Bütünleşik ses ve veri mantığıyla kurulan VoIP, yeni ve gelişmiş haberleşme servislerini de bünyesinde toplamaktadır. Birleştirilmiş Mesajlaşma (Unified Messaging) ve Uzak Mesafe Konferans bunlardan bazılarıdır. Bu yeni yetenekleriyle VoIP, işyerlerinin verimliliğini pozitif yönde etkileyecektir.

Son olarak 2 Mbps'e kadar hızı destekleyen 3G kablosuz teknolojilerine giriş de VoIP için diğer bir tetikleyici olacaktır. 3G kablosuz haberleşmesindeki veri aktarım hızları 56K modemlerden 37 kat fazla olmasının yanında, bu teknoloji sayesinde taşınabilirlikle birlikte gelen tüm avantajlar da kullanıcılara sunulmaktadır. 3G üzerinden VoIP devre-anahtarlama yerine paket-anahtarlama kullanmasının sonucu olarak işletimsel giderleri de büyük oranda düşürmeyi vaat etmektedir.

Tüm bu saydığımız faktörler IP Telefonunun hızlı gelişimine katkıda bulunmaktadır. Şekil – 1, 2005 yılı itibarıyla dünya çapındaki telefon görüşmelerinin yaklaşık %47'sinin IP

ağları üzerinden gerçekleştiğini göstermektedir. Hali hazırda, uzak-mesafe telekom operatörleri, yerel telekom operatörlerine erişim ücreti ödememek için kendilerine gelen çağruları internet üzerinden yönlendirmektedirler.



Şekil – 1 IP Telefonu ve Geleneksel Ses Trafik Kullanım Süreleri [2]

## 2.2 VoIP Transport ve Network Katmanı Protokolleri

VoIP iletişim protokollerinden H.323 ve SIP (Oturum Başlatma Protokolü)'i daha iyi anlayabilmek için, ses paketlerinin geçtiği network ve transport katmanları protokollerini temel seviyede bilmek gerekmektedir. Bu protokoller İnternet Protokolü (IP), Taşıma Kontrol Protokolü (TCP) ve Kullanıcı Veri Birimi (Datagram) Protokolü (UDP)'dür.

Güncel VoIP mimarilerinde, analog ses işareti öncelikle sayısallaştırılır ve opsiyonel olmakla birlikte büyük çoğunlukla işareti IP ağı üzerinden taşıyabilmek için sıkıştırılır. Bu aşamadan sonra, sayısallaştırılan ses sinyali parçalara bölünür, Gerçek-Zaman İletim Protokolü (Real-Time Transport Protocol - RTP), UDP ve IP başlık bilgileriyle kapsüle edilip veri-bağı katmanına (data link layer) iletilir. Tablo – 2'de bir ses paketinin biçimi görülmektedir. Ses işaretinin ham bilgisinin bulunduğu payload adı verilen kısım veri-bağı

katmanı başlık bilgisi alanlarının büyüklüğü kullanılan kodek ve protokollere göre değişebilmektedir.

<b>LİNK HEADER</b>	<b>IP HEADER</b>	<b>UDP HEADER</b>	<b>RTP HEADER</b>	<b>VOICE PAYLOAD</b>
Link katmanı protokolüne göre değişken boyuttur.	20 byte	8 byte	12 byte	Kullanılan kodeke göre değişken boyuttur.

**Tablo - 2 Ses Paketi**

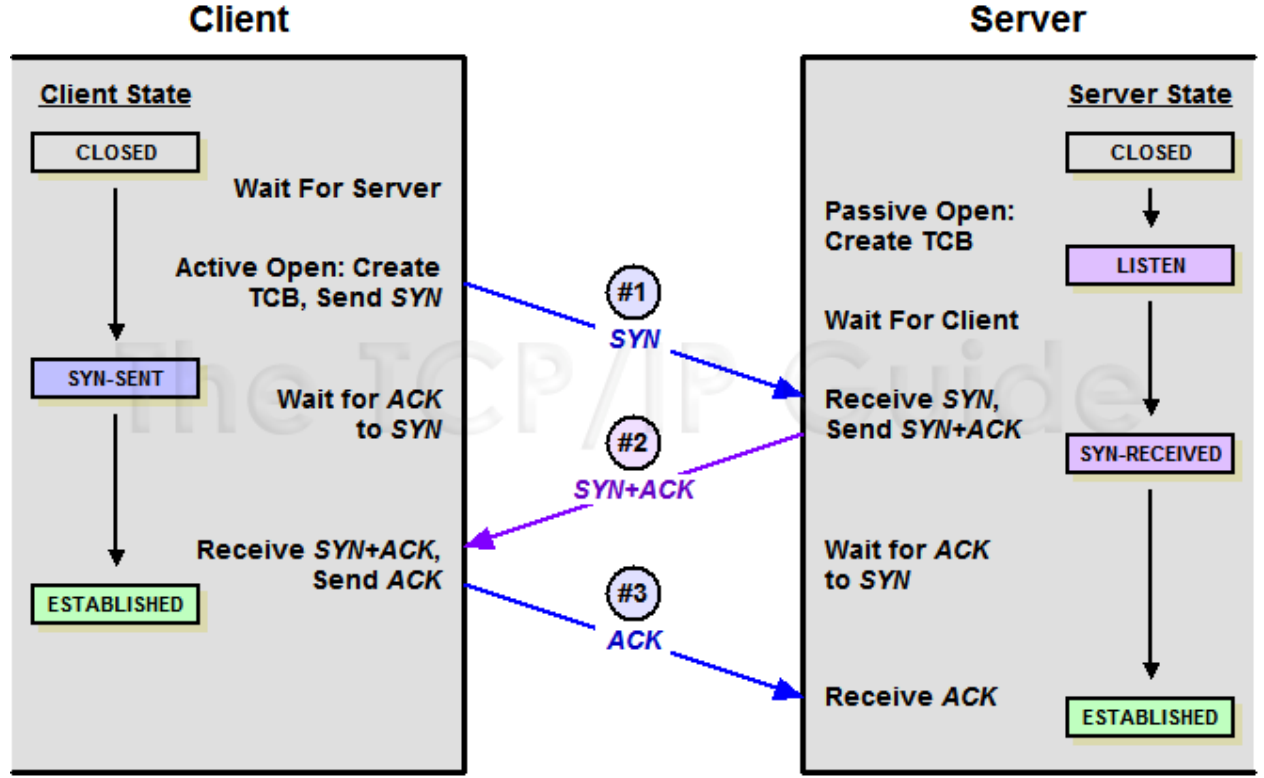
### **2.2.1 İnternet Protokolü (IP)**

TCP/IP protokol kümesinin bir parçası olan IP, bağlantısız (connectionless) bir protokoldür, iletişim paketlerinin adreslenmesi ve yönlendiriciler (routerlar) arasında yönlendirilmesinden sorumludur. Bağlantısız (connectionless) bir protokol olması, IP'nin paket dağıtımının doğruluğunu garanti edememesi sonucunu doğurmaktadır. IP her paket dağıtımını denemesinde yapabileceğinin en iyisini yapmasına karşın (best-effort), dağıtım sırasında paketlerin kaybolması, sıralarının karışması, gecikmesi ve aynı paketin iki kez gönderilmesi gibi durumlarla karşılaşmak olağandır. IP protokolünde verinin alındığına dair bir onay mesajı göndericiye gönderilmediğinden, gönderici veya alıcı verinin karşı tarafa doğru olarak erişip erişmediği konusunda bilgi sahibi olamaz. Paketlerin varışa doğru eriştiğine dair onay mesajının gönderilmesi daha üst seviyedeki TCP gibi bir protokolün görevidir.

### **2.2.2 Taşıma Kontrol Protokolü (TCP) ve Kullanıcı Veri Birimi Protokolü (UDP)**

TCP, kullanıcıdan gelen iletileri parçalara böler ve her bir parçayı veri birimi (datagram) adı verilen paketler halinde varışa gönderir. TCP'de paketler varışa gönderilmeden önce, kaynak ile varış arasında sanal devre kurularak oturum açılır ve paketler bu bağlantı üzerinden gönderilir. Taşıma Kontrol Protokolü, ağ katmanı (Network Layer) veri birimlerinin doğru şekilde gönderilip gönderilemediğini garantilemediğinden, veri birimlerine ait oldukları bağlantı ile ilgili başlıklar ekleyerek numaralandırır. Varışta bulunan taşıma ögesi (transport entity) ayrılmış veri birimlerini birleştirir ve kendisine doğru olarak erişen veriler için kaynağa onay mesajı gönderir. Bu şekilde doğru olarak dağıtımını garanti edilir.

TCP protokolünde veri aktarımı başlamadan açılan oturumu gerçekleştirmede üç yollu el sıkışma protokolü kullanılır (three-way handshake). Üç yollu el sıkışma protokolü paketlerin gönderilişinin ve alınışının eş zamanlı olarak çalışmasını sağlamak, diğer konak noktasını tek seferde alabileceği veri boyutu ile ilgili olarak bilgilendirmek ve kaynak ile varış arasında sanal bir devre kurmak amaçlı olarak kullanılır.



Şekil – 2 Üç Yollu El Sıkışma Protokolü

Şekil – 2’de gösterimi yapılan üç yollu el sıkışma protokolü şu aşamaları içerir:

- Bağlantı başlatmak isteyen uç-birim zamanlama (synchronization – SYN) bayrağını aktif yapar ve varış uç-birimine gönderir.
- Varış uç-birimi kaynak uç-biriminin bağlantı isteğinin veri kısmını, zamanlama bayrağı aktif, göndereceği veri parçasının başlangıç adresini işaretleyen sıralama numarası ve beklediği diğer veri kısmının sıralama numarası ve onay mesajı ile birlikte geri göndererek onaylar.
- İstekte bulunan kaynak uç-birimi, veri kısmını onaylanmış sıralama numarası ve onay mesajı numarası ile birlikte varış uç-birimine gönderir.

TCP/IP protokol kümesinin bağlantısız taşıma protokolü olan UDP, kullanıcı iletilerini veri birimlerine ayırarak, sıralama ve yerine ulaşma garantisi olmadan varışa gönderir.

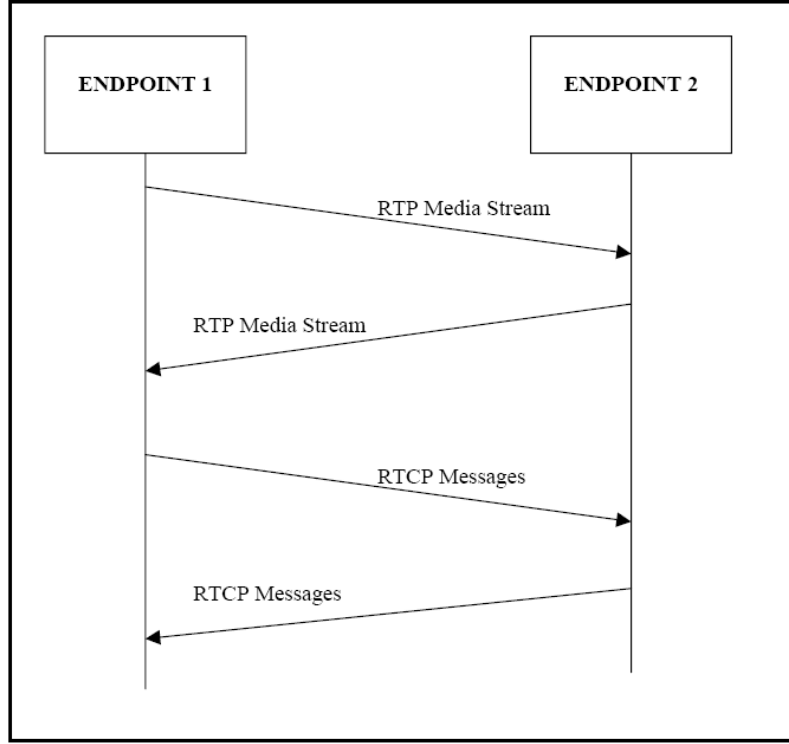
UDP protokolü onay mesajı gerektirmeyen ve küçük boyutlu verilerin iletiminde kullanılır. Ağ Temel Giriş Çıkış Sistemi (NetBIOS) adlandırma hizmeti, Basit Ağ Yönetim Protokolü (Simple Network Management Protocol – SNMP), UDP protokolünü kullanan daha üst katman protokollerine örnek olarak gösterilebilirler.

### **2.3 Gerçek - Zaman İletim Protokolü (RTP) ve Gerçek - Zaman Denetim Protokolü (RTCP)**

RTP protokolünün temel amacı gerçek-zaman trafiğinin (ses, görüntü, veri) desteğinin sağlanmasıdır. RTP genelde iletim katmanında yer alan ve güvenilir olmayan UDP protokolünü kullanarak veri iletişimini gerçekleştirmektedir. Veri bilgisinin tanımlanması, zamanlama - damgası (time stamp) ve paket diziliş numarası (sequencing number) bilgilerinin sağlanması RTP protokolünün görevleri arasındadır.

Gerçek-Zaman Denetim Protokolü (Real-Time Control Protocol), RTP'yi denetlemek için geliştirilmiştir. RTCP'nin görevleri; RTP'yi denetlemenin yanı sıra, uç-birimlere veri dağılımı hakkında hizmet kalitesi geri bildirimini sunulması, bir RTP kaynağa iletim kaynağı belirteci olarak adlandırılan Kanonik İsim (Canonical Name – CNAME) niteliğini sağlaması olarak sayılabilir. Şekil – 3, RTP ve RTCP iki uç birim arasındaki medya akışlarını göstermektedir.





**Şekil – 3 RTP ve RTCP mesajları**

#### **2.4 Kaynak Ayrılması Protokolü (Resource Reservation Protocol - RSVP)**

Kaynak Ayrılması Protokolü (Resource Reservation Protocol – RSVP), bütünleşik hizmetler (Integrated Services – IntServ) ara ağı için tasarlanmış bir kaynak ayırma protokolüdür. RSVP, hizmet kalitesi ayrılmasının kaynakların yeniden atanmasıyla desteklenebildiği ortamlar için kullanışlıdır.

RSVP tarafından desteklenen IP telefonu uygulamalarında hizmet kalitesinin sağlanması için ağ kaynaklarının bir kısmı (bant genişliği) ayrılır ve uygulama sonlanana kadar tutulur. Alıcı ile gönderici arasındaki tüm düğümler, yönlendiriciler ve diğer ağ elemanları RSVP protokolünü desteklemek zorundadır. Her biri, hizmet kalitesi isteğini karşılamak üzere bant genişliği, CPU ve bellek tamponları gibi sistem kaynaklarını rezerve ederler. Bu nedenle ISP'ler RSVP hizmet kalitesi rezervasyonları için yüksek ücret talep ederler. Yoğun trafiğin olduğu ağlarda RSVP'nin uygulanabilirliği çok düşüktür. Ağ kaynaklarının, her uygulama için tahsis ediliyor olması kaynak yetersizliğinin oluşmasına ve ağın tıkanma (congestion) noktasına gelmesine neden olur. Dolayısıyla RSVP'nin uygulandığı ağların daha küçük çaplı ağlar (yerel alan ağları vb.) olması gerekmektedir.

## **2.5 H.323 İşaretleşme Protokolü**

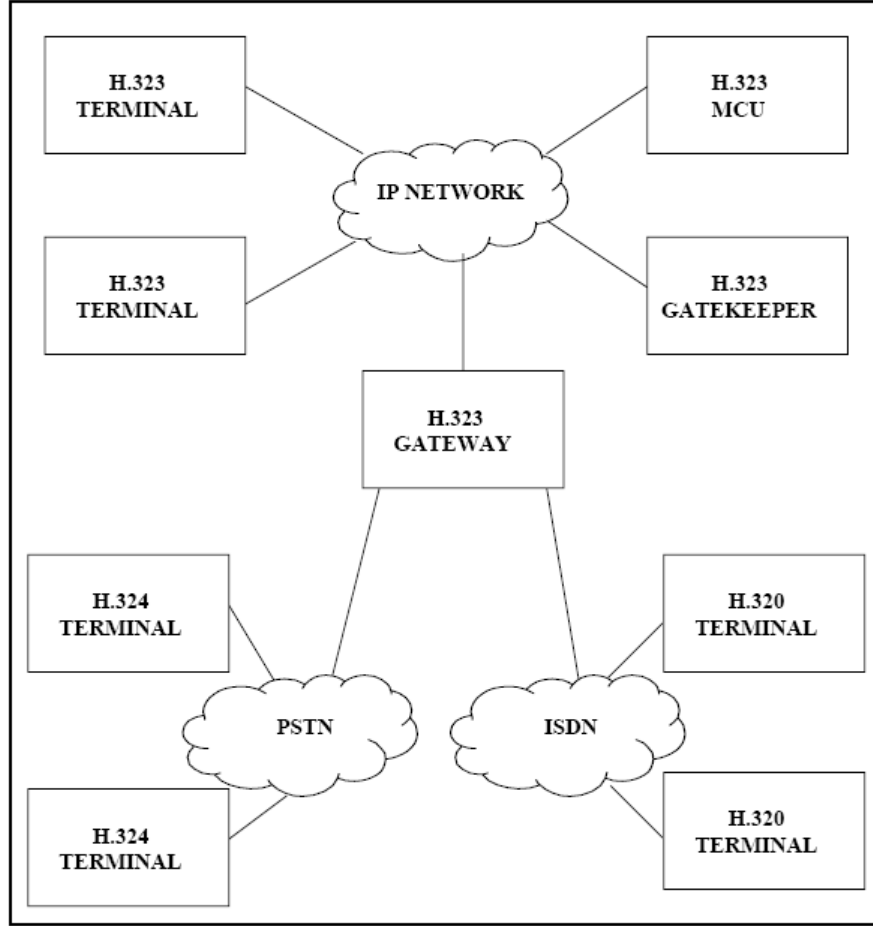
H.323, gerçek-zamanlı ses, görüntü ve veri iletiminin paket-tabanlı ağlar üzerinden yapılmasını sağlayan protokol kümesidir. H.323, paket-tabanlı bir haberleşme istemi için dört ana bileşen tanımlamaktadır:

- Terminaller
- Ağ geçitleri (Gateway)
- Ağ kapı sorumluları (Gatekeeper)
- Çok-uçlu denetim birimleri (Multipoint Control Unit – MCU)

### **2.5.1 H.323 Bileşenleri**

#### **2.5.1.1 Terminaller**

Gerçek-zamanda çift-yönlü ses, görüntü ve veri haberleşmesi sağlamak için kişisel bilgisayarlar (Personal Computer – PC), IP Telefonu makinesi gibi sunucular kullanılırlar. H.323 terminallerinin ses haberleşmesini sağlaması zorunludur. Buna karşılık görüntü ve veri haberleşmesini sağlaması isteğe bırakılmıştır. Temel anlamda ses haberleşmesi sunacağı için H.323 terminali, IP Telefonu hizmetlerinde ana bileşendir. H.323 terminalleri, Kamusal Anahtarlama Telefon Şebekeleri (PSTN) üzerinde tanımlanmış H.324 terminalleri, geniş-bantlı ISDN üzerinden tanımlanmış H.310/H.321 terminalleri, ISDN üzerinde tanımlanmış H.320 terminalleri ve hizmet kalitesi (Quality of Service) temin edilmiş yerel alan ağları üzerinden tanımlanmış H.322 terminalleri ile uyumludur. Şekil – 4, tüm bu bileşenleri özet olarak göstermektedir.



**Şekil – 4 H.323 Bölgesi ve Bileşenleri**

#### **2.5.1.2 Ağ Geçitleri (Gateway)**

Ağ geçitleri, farklı iki ağı birbirine bağlamak için kullanılırlar. Bir H.323 ağ geçidinden, H.323 ağı ile H.323 olmayan ağın birbiriyle haberleşmesi amacıyla faydalanılır, örneğin H.323 ağ geçitleri bir H.323 terminali ile PSTN ağını konuşTURUR ve iki ağ arasındaki iletişimi sağlar. Özetle ağ geçitlerinin görevi, farklı ortamlarda yer alan uç-birimler arasında çağruların kurulması ve çözülmesi, bilginin kodlanması/çözülmesi ve ardından paketlemenin sağlanabilmesidir.

Ağ geçidi, H.323 bünyesinde bulunan seçimli bir bileşendir. Çünkü farklı ağlarla haberleşmenin olmadığı durumlarda ağ geçitlerinin kullanılmasına gerek kalmamaktadır. Böyle durumlarda ağ içerisindeki terminaller birbirleriyle doğrudan bağlantı kurabilmektedirler.

### **2.5.1.3 Ağ Kapı Sorumluları (Gatekeeper)**

H.323 ağlarının en önemli bileşenidir ve ağın beyni olarak çalışmaktadır. Buna karşılık ağ içerisinde bulunması zorunlu değildir. Ağ kapı sorumluları, ağ içerisindeki en önemli işlevleri yerine getirmektedir şöyle ki, adres tercümesi (örneğin IP biçiminden E.164 biçimine çevrilmesi), yetkilendirme (authorization), doğrulama (authentication), ücretlendirme ve bant genişliği yönetimi gibi kritik görevlerin tamamından sorumludur. Ağ kapı sorumluları aynı zamanda çağrının yönlendirilmesini de sağlamaktadır.

### **2.5.1.4 Çok-Uçlu Denetim Birimleri (Multipoint Control Unit – MCU)**

MCU, üç veya daha çok H.323 terminali arasında konferans görüşmesi yapılmasını sağlamaktadır. Konferans içindeki tüm terminaller MCU ile bağlantı kurarlar. MCU, tüm konferans kaynaklarını yönetir, terminalleri kullanılacak ses veya görüntü kodlayıcı/çözücülerini (CODEC) kararlaştırmak için birbiriyle görüşür.

### **2.5.2 H.323 Protokolleri ve Ayrıntıları**

H.323 tarafından tanımlanan protokoller kümesi aşağıda listelenmiştir.

- Ses kodlayıcı /çözücülerini (Audio Codecs)
- Görüntü kodlayıcı /çözücülerini (Video Codecs)
- H.225 kayıt, kabul ve durum protokolü (Registration, Admission, Status - RAS)
- H.225 çağrı işaretleşme protokolü
- H.245 denetim işaretleşme protokolü
- T.12x Veri Haberleşme Protokolü
- Gerçek - Zaman İletim Protokolü (RTP)
- Gerçek - Zaman Denetim Protokolü (RTCP)

System Control User Interface			Audio	Video
H.245 Call Control	H.225 Call Signaling	H.225 RAS Channel	G.711	H.261
			G.722	H.262
			G.723.1	H.263
			G.728	
			G.729	
			RTP/RTCP	
TCP		UDP		
IP				

**Tablo – 3 H.323 Protokol Kümesi**

#### **2.5.2.1 Ses Kodlayıcı/Çözücüleri (Audio Codecs)**

H.323 ağındaki tüm terminallerde sesin kodlanması/çözülmesi için gerekli yazılımların bulunması zorunlu kılınmıştır. Mikrofondan gelen ses H.323 terminaline nakil edilmeden önce kodlanır ve H.323 terminalinden gönderilen ses bilgisi hoparlöre gelmeden önce çözülür. H.323 terminallerinin, ITU – T tarafından tavsiye edilen kodlama/çözme standartlarından G.711'i desteklemesi zorunlu kılınmıştır. Bunun yanında G.723, G.726, G.728, G.729 vb. standartları da desteklemektedirler.

Codec	Bit Rate (kbps)
G.711	64
G.726	32
G.728	16
G.729A/B	8
G.723.1	6.3
G723.1	5.3

**Tablo – 4 Ses Kodekleri**

### **2.5.2.2 Görüntü Kodlayıcı / Çözücüleri (Video Codecs)**

Daha önce de belirtildiği gibi H.323 ağındaki terminallerde görüntünün kodlanması/çözülmesi zorunlu kılınmamıştır. Ancak görüntüyü destekleyen terminaller için, görüntü kamerasından gelen görüntü bilgisi H.323 terminaline nakil edilmeden önce kodlanır ve H.323 terminalinden gönderilen görüntü bilgisi kameraya gelmeden önce çözülür. Görüntüyü destekleyen H.323 terminallerinde, ITU – T tarafından tanımlanan H.261 ve H.263 tavsiyelerinin (RFC) desteklenmesi gerekmektedir.

### **2.5.2.3 H.225 Kayıt, Kabul ve Durum Protokolü (Registration , Admission and Status – RAS)**

RAS, bir H.323 ağında uç-birimler (terminaller ve ağ geçitleri) ile ağ kapı sorumluları arasında tanımlanmış bir protokoldür. RAS, uç birimler ile ağ kapı sorumluları arasındaki kayıt, kabul denetimi, bant genişliği değişimleri, durum ve bağlantı kesme prosedürlerinin uygulanması için kullanılır. RAS mesajları, RAS kanalları üzerinden değiş tokuş edilir. Uç-birimler ile ağ kapı sorumluları arasında kurulmuş olan bir RAS işaretleme kanalı, diğer işaretleme kanallarına göre önceliğe sahiptir. RAS kanalları ünitenin ilerleyen kısımlarında daha detaylı incelenecektir.

### **2.5.2.4 H.225 Çağrı İşaretleme Protokolü**

ITU – T H.225 çağrı işaretleme protokolü, iki H.323 uç-noktası arasında çağrının başlatılmasını ve sonlandırılmasını sağlar. ISDN ağları için tanımlanmış olan Q.931

işaretleşme protokolü temel alınarak geliştirilmiştir. H.225, iki H.323 uç-birimi arasında veya bir uç-birim ile ağ kapı sorumlusu arasında bir çağrı işaretleşme kanalı oluşturur.

### **2.5.2.5 H.245 Denetim İşaretleşme Protokolü**

ITU – T H.245 denetim işaretleşme protokolü, telefon-tabanlı olmayan işaretler için hat transmisionunu gerçekleştirir. Daha doğrusu, terminal mesajlarının bilgi söz dizimini ve bu mesajların kullanılmasındaki prosedürü (akış-kontrolü) belirtmektedir. H.245, H.223 ve H.225 protokolleri tarafından kullanıldığı için genel denetim protokolünü temsil etmektedir. Terminal niteliklerinin belirlenmesi, mantıksal kanal işaretleşmeleri gibi mesaj bilgileri H.245 tarafından gerçekleştirilmektedir. Mesaj türleri istek, onay ve red komutlarıyla tanımlanmıştır.

### **2.5.3 H.225 RAS Kanalı**

Bir RAS kanalı ön konuşma denetimini sağlamak amacıyla uç birimler ve ağ kapı sorumlusu arasında kurulur. H.225 RAS kanalı çok güvenilir olmayan fakat daha verimli olan IP/UDP kapsüllemesini kullanmaktadır. Ağ kapı sorumlusu içeren ağlarda, RAS kanalı kayıt, kabul denetimi, bant genişliği değişimleri, durum ve bağlantı kesme prosedürlerini gerçekleştirebilmek için oluşturulması gereken ilk adımdır. Bununla birlikte bir IP ağı, ağ kapı sorumlusu olmadan da çalışabilir, böyle bir durumda uç-birimleri RAS kanalı mesajlarını atlar ve sonraki adıma geçerek H.225 çağrı işaretleşme mesajlarını değiş tokuşa başlar.

İlk olarak, bir uç birim ağ kapı sorumlusu keşif sürecini (gatekeeper discovery process) kullanarak ortamdaki ağ kapı sorumlusunu bulur ve sonra kayıt sürecini gerçekleştirip ağ kapı sorumlusuna kendi iletişim ve takma adreslerini iletir. İlaveten, bir uç-birimi için takma adres bilgisine sahip olan uç-birimleri ve ağ kapı sorumluları da, o uç birimiyle temas kurmak için gereken bilgileri konum mesajları vasıtasıyla edinir. Aynı zamanda, ağ kapı sorumluları durum bilgisi mesajlarını kullanarak bir uç kullanıcının ayakta ve çalışıyor mu yoksa çökmüş mü olduğunu öğrenebilir. Bir uç nokta, görüşme esnasında değişen bant genişliği ihtiyaçlarının güncellenmesi, görüşmenin başlatılması ve çağrı alınması durumlarında kapı sorumlusundan izin alma amacıyla kabul mesajlarını kullanır. Son olarak, bağlantı kesme mesajları ise ağ kapı sorumlularına çağrının sona erdirildiğini bildirmede kullanılmaktadır. Bu paragrafta özetlenen tüm RAS kanalı mesajları sonraki paragraflarda daha detaylı incelenecektir.

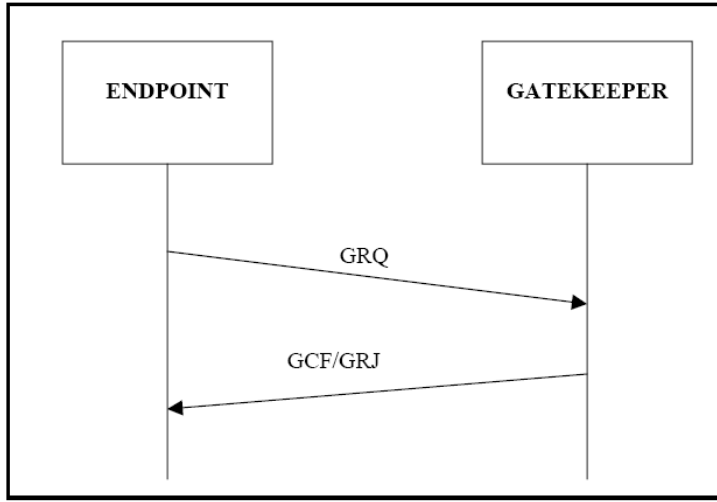
### 2.5.3.1 Ağ Kapı Sorumlusunun Bulunması (Gatekeeper Discovery)

Bir uç nokta, ağ kapı sorumlusuna (gatekeeper) sahip olan bir ağda oturum açmak istediğinde, mantıksal RAS kanalını kullanarak bu sorumluya kayıt olur. Eğer ağda birden fazla ağ kapı sorumlusu varsa, her bir uç nokta manuel veya otomatik olarak hangi ağ kapı sorumlusuna kayıt olacağına karar verir, bu işleme Ağ Kapı Sorumlusunun Bulunması (Gatekeeper Discovery) adı verilmektedir. Manuel süreçte, uç noktalar kendilerine daha önceden tanımlı ve statik olarak konfigüre edilmiş ağ kapı sorumlularına kayıt olurlar. Bu metot, uç noktadaki konfigürasyon dosyasının ağdaki ağ kapı sorumlusu değişikçe değişmesini gerektireceğinden sisteme ek bir yönetimsel yük getirmektedir. Otomatik süreçte ise, uç noktası üzerinde bulunduğu IP ağına çoklu (multicast) bir mesaj göndererek ağ kapı sorumlusunu bulur. Aşağıda belirtilen mesaj tipleri bu otomatik kayıt olma sürecinde kullanılırlar.

- GRQ (Gatekeeper Request – Ağ Kapı Sorumlusu Talebi)
- GCF (Gatekeeper Confirmation – Ağ Kapı Sorumlusu Onayı)
- GRJ (Gatekeeper Reject – Ağ Kapı Sorumlusu Reddi)

İlk olarak bir uç nokta kayıt olacağı ağ kapı sorumlusunu bulmak için ortama çoklu GRQ mesajını gönderir. Bunun için kullanılan UDP port numarası 1718'dir. İstenen fonksiyonu sağlayabilecek durumda olan ağ kapı sorumluları içinde ağ kapı sorumlusunun RAS kanalı iletişim adresini de barındıran GCF mesajıyla uç noktaya yanıt verirler. Gönderilen iletişim adresi, ağ adresini ve TSAP tanıtıcısını içerir ve o an kullanımda olan ağ katmanı protokolü tarafından belirlenir. Örnek vermek gerekirse, TCP/UDP/IP ağında iletişim adresi; IP adresi ve TCP/UDP port numarasından oluşmaktadır. Uç noktasının kayıt talebinin reddedilmesi durumunda ise geriye GRJ mesajı gönderilmektedir. Ortamda birden fazla ağ kapı sorumlusu bulunduğu uç kullanıcıya birden fazla GCF mesajı dönme ihtimali doğacaktır. Böyle bir durumda uç nokta hizmet alacağı ve kayıt olacağı ağ kapı sorumlusunu rastgele seçer. Bu otomatik süreç Otomatik Keşif (Auto Discovery ) adını alır ve Şekil – 5'de özet olarak sunulmaktadır.





Şekil – 5 Otomatik Keşif [3]

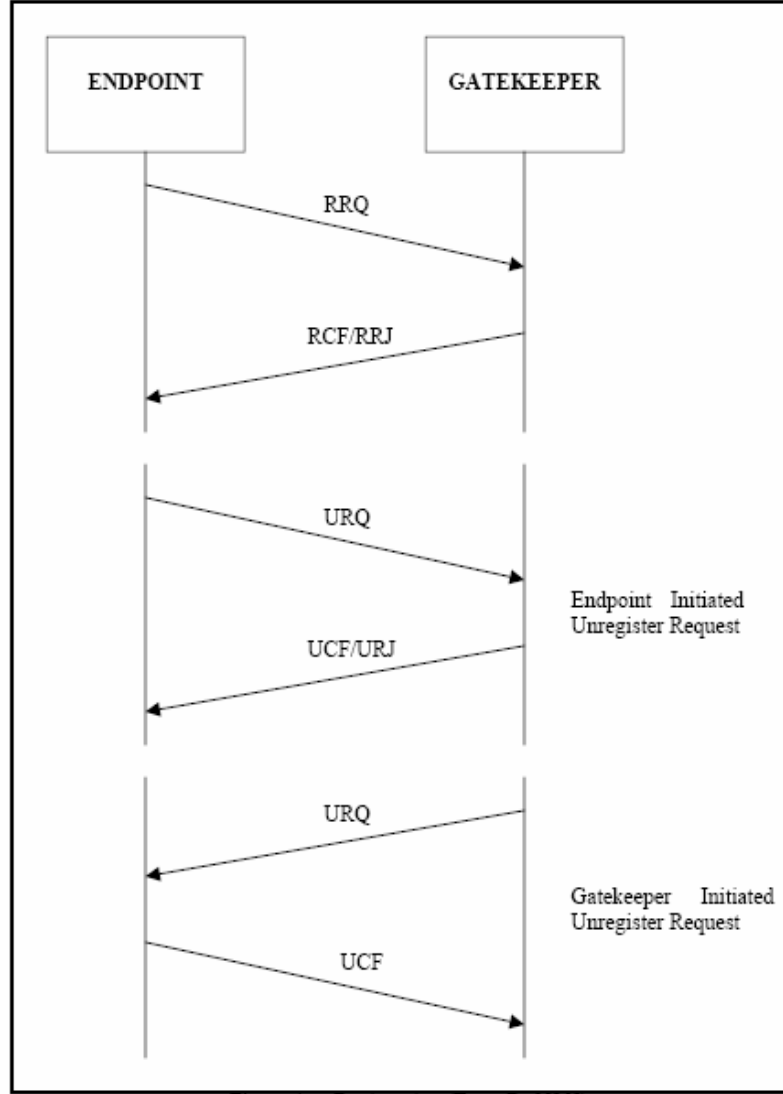
### 2.5.3.2 Kayıt (Registration)

Ağ kapı sorumlusu bulunması sürecinin ardından ağdaki uç noktalar (endpoints) herhangi bir çağrı başlatma girişimi öncesinde bağlı olacakları ağ kapı sorumlusuna kayıt olmak zorundadırlar. Uç noktalar, ağ kapı sorumlusunu kendilerine ait olan iletişim adresi ve takma adresleri (alias) vasıtasıyla bilgilendirirler. Takma adresler ağdaki uç noktaları adresleyebilmenin alternatif yollarından biridir. Bu adresler, telefon numaraları, alfanumerik diziler ve e-mail benzeri adresler içerebilirler. Aşağıdaki mesaj tipleri kayıt (registration) işlemi sürecinde kullanılan mesajlardır.

- RRQ (Registration Request – Kayıt Talebi)
- RCF (Registration Confirm – Kayıt Onayı)
- RRJ (Registration Reject – Kayıt Reddi)
- URQ (Unregister Request – Kayıt Silme Talebi)
- UCF (Unregister Confirm – Kayıt Silme Onayı)
- URJ (Unregister Reject – Kayıt Silme Reddi)

Şekil – 6, bir uç noktayla ağ kapı sorumlusu arasındaki kayıt sürecini göstermektedir. İlk olarak uç nokta ağ kapı sorumlusunun RAS kanalının iletişim adresine bir RRQ mesajı gönderir. Ardından ağ kapı sorumlusu buna RCF veya RRJ mesajlarından biriyle yanıt verir.

Daha sonra istenirse kayıt silme işlemi, hem uç nokta hem de ağ kapı sorumlusu tarafından başlatılabilir. Süreci başlatan taraf bir URQ mesajı gönderirken yanıt olarak da UCF veya URJ mesajlarından birini alır.



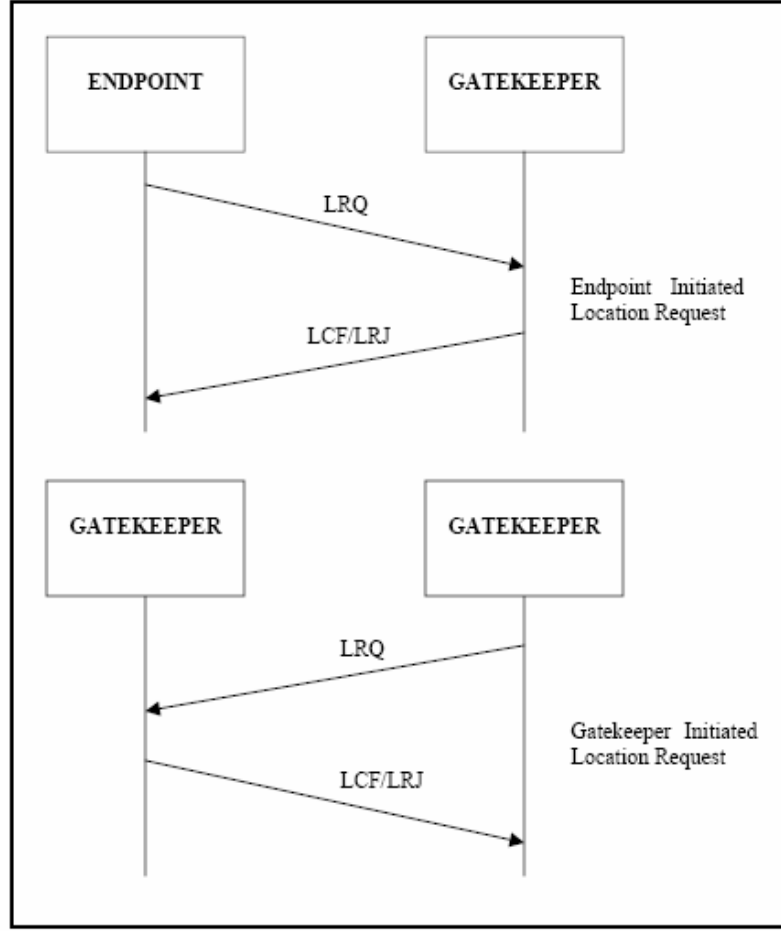
Şekil – 6 Kayıt Süreci [3]

### 2.5.3.3 Konum (Location)

Uç noktalar ve bir uç nokta için takma adres bilgisine sahip olan ağ kapı sorumluları, uç noktaların iletişim bilgilerini belirlemede konum (location) mesajlarından faydalanırlar. İletişim bilgisi, çağrı işaretleme kanalı ve RAS kanalı adreslerini içerir. Uç noktalar, konum taleplerini yerel ağ kapı sorumlularına, ağ kapı sorumluları da diğer ağ kapı sorumlularına iletirler. Aşağıdaki mesaj tipleri bu süreçte kullanılmaktadır.

- LRQ (Location Request – Konum Talebi)
- LCF (Location Confirm – Konum Onayı)
- LRJ (Location Reject – Konum Reddi)

Bir uç nokta veya ağ kapı sorumlusu, herhangi başka bir uç noktanın veya ağ kapı sorumlusunun iletişim bilgilerini talep etmek için bir LRQ mesajı gönderir. Ağ kapı sorumlusu bu isteğe içinde kendisinin ya da talep edilen uç noktanın çağrı işaretleme kanalı ve RAS kanalı adreslerini içeren LCF mesajıyla yanıt verebilir. Bir ağ kapı sorumlusu çağrı yönlendirme işlemini gerçekleştirdiği zaman her iki uca da kendi iletişim bilgilerini vermektedir. Uç noktalar direkt olarak birbirlerini aradıklarında ise, ağ kapı sorumlusu talep edilen uç noktanın iletişim bilgilerini sağlamaktadır. Bir LRJ mesajı istenen uç noktanın kayıtlı olmadığını veya ağ kapı sorumlusunun kullanılabilir kaynaklarının yeterli olmadığını işaret eder. Şekil – 7, uç nokta konum sürecini güzel bir şekilde tasvir etmektedir.



Şekil – 7 Uç Nokta Konum Süreci

#### 2.5.3.4 Çağrı Kabulü ve Bant Genişliği (Admissions and Bandwidth)

Uç noktalar, bir çağrı başlatmak veya çağrı almak için ağ kapı sorumlusundan kabul mesajlarını kullanarak izin alırlar. Aşağıdaki mesaj tipleri bu kabul süreci için kullanılan mesajları göstermektedir.

- ARQ (Admission Request – Kabul Talebi)
- ACF (Admission Confirm – Kabul Onayı)
- ARJ (Admission Reject – Kabul Reddi)

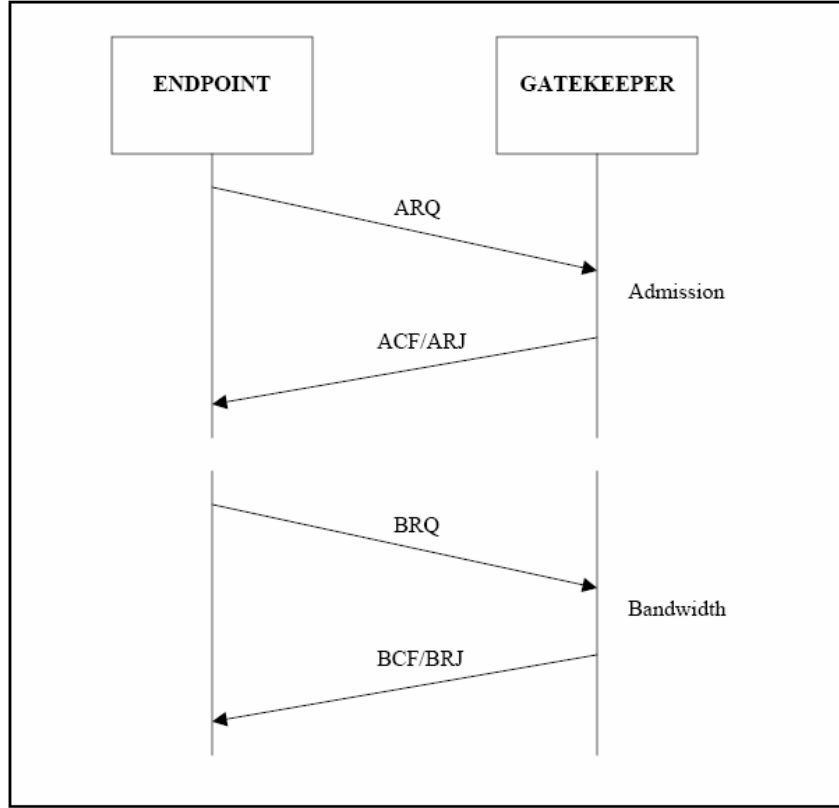
Bir uç nokta, ağ kapı sorumlusuna çağrı başlatma veya çağrı alma amacıyla talep edilen bant genişliğini de içeren bir ARQ mesajı gönderir. Cevap olarak, izin verilen bant genişliği (ki bu başlangıçta talep edilenden daha az olabilir) ve sonlandırma işlemini yapan ağ kapı sorumlusu veya ağ geçidinin IP adresini de içeren bir ACF mesajı göndererek müsaade verebilir. Ya da ağ kapı sorumlusu kabul talebini uç nokta kayıtlı değil/diğer bazı sebeplerden dolayı direkt olarak bir ARJ mesajıyla reddedebilir. Bir ARJ mesajı, red ile ilgili nedenleri ve opsiyonel olarak sorgu için diğer ağ kapı sorumlularının adreslerini içerir.

Bant genişliği kontrolü ilk olarak bir önceki paragrafta da değinildiği üzere kabul sürecinde yapılır. Lakin, bant genişliği ihtiyaçları çağrı esnasında değişebilecek kadar esnek yapıdadırlar. Aşağıdaki mesaj tipleri de bant genişliği kontrolünde kullanılmaktadır.

- BRQ (Bandwidth Request – Bant Genişliği Talebi)
- BCF (Bandwidth Confirm – Bant Genişliği Onayı)
- BRJ (Bandwidth Reject – Bant Genişliği Reddi)

Bir BRQ mesajı, başlangıçta ACF mesajıyla tahsis edilen bant genişliği ihtiyacında bir değişiklik olduğunda gönderilir. Örneğin, çağrı esnasında ses iletişiminin yanında görüntü aktarımının da başlaması böyle bir değişiklik ihtiyacı doğmasının en belirgin sebeplerinden biridir. BRQ mesajını alan bir ağ kapı sorumlusu, bir BCF mesajıyla bu talebe onay verebileceği gibi, bir BRJ mesajıyla bu isteği red de edebilir.

Şekil – 8, ağ kapı sorumluları ile uç noktalar arasındaki kabul ve bant genişliği mesajlarının akışını göstermektedir.



**Şekil – 8 Kabul ve Bant Genişliği Süreçleri**

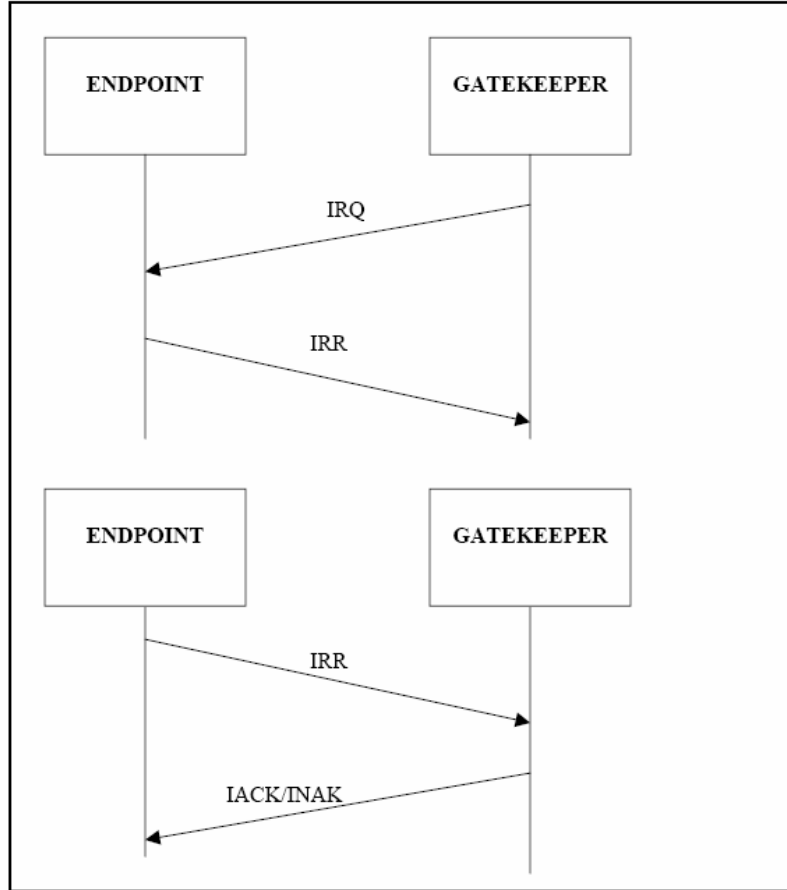
### 2.5.3.5 Durum Bilgisi (Status Information)

Ağ kapı sorumluları RAS durum bilgisi mesajlarını bir uç kullanıcının ayakta (çalışıyor) olup olmadığını öğrenmede kullanırlar. Aşağıdaki mesaj tipleri bu prosedürde ele alınabilir.

- IRQ (Information Request – Bilgi Talebi)
- IRR (Information Request Response – Bilgi Talebi Yanıtı)
- IACK (Information Acknowledged – Bilgi Onaylandı)
- INAK (Information not Acknowledged – Bilgi Onaylanmadı)

Durum bilgisi mesajlarıyla ilgili olarak iki farklı senaryo mevcut olabilir. Birinci senaryoda bir ağ kapı sorumlusu uç noktaya IRQ mesajı gönderir ve uç nokta da ona IRR mesajıyla cevabını iletir. İkinci olası durumda ise, ACF (Kabul Onayı) süresince ağ kapı

sorumlusu, uç noktadan periyodik olarak çağrı boyunca IRR mesajları göndermesini talep eder. Ağ kapı sorumlusu bu gelen mesajlara IACK veya INAK mesajlarından biriyle yanıt verir. Durum mesajlarının uç noktalar ve ağ kapı sorumluları arasındaki değişimi Şekil – 9’da gösterilmektedir.



**Şekil – 9 Durum Bilgisi**

### **2.5.3.6 Bağlantının Kesilmesi (Disengage)**

Şayet bir ağda H.225 çağrı kontrol kanalları ağ kapı sorumlusu üzerinden yönlendirme yapmıyorlarsa çağrı sonlandırma bilgisi çok önem kazanmaktadır. Bu durumda, uç noktalar ağ kapı sorumlularını bir bağlantı kesme mesajıyla bilgilendirmelidirler. Gönderilen mesaj yardımıyla bir ağ kapı sorumlusu az önce gerçekleşmiş bir çağrının sonlandığını anlayabilir ve dahası ağdaki kullanılabilir bant genişliğini de güncelleyebilir. Aşağıdaki mesaj tipleri iletişim kesme sürecinde kullanılırlar.

- DRQ (Disengage Request – İletişim Kesme Talebi)

- DCF (Disengage Confirm – İletişim Kesme Onayı)
- DRJ (Disengage Reject – İletişim Kesme Reddi)

Bir DRQ mesajı ağ kapı sorumlusuna çağrının bitirildiğini gösterme amacıyla gönderilir ve ağ kapı sorumlusu da bu mesajı bir DCF mesajıyla onaylar veya mesaj ona kayıtlı olmayan bir uç noktadan geliyorsa DRJ mesajıyla reddeder.

#### **2.5.4 H.225 Çağrı İşaretleşmesi**

ITU tavsiyesi olan H.225 protokolü, H.323 ağlarında çağrı kontrol prosedürlerini düzenlemektedir. Çağrının kurulması, sonlandırılması ve diğer tüm tamamlayıcı servisler H.225 çağrı işaretleşme kanalı vasıtasıyla ele alınırlar. H.225, TCP 1720 numaralı port üzerinden haberleşerek güvenilir bir çağrı kontrol kanalı yaratmaktadır.

H.225, ITU – T Q.931 ve Q.932 tavsiyelerini kullanmakta ve aynı zamanda desteklemektedir. Bilindiği üzere Q.931, çağrılarının başlatılması ve sonlandırılmasını sağlayan bir işaretleşme protokolüdür. Bu protokol, H.323 çağrılarında çevir sesi, zil sesi gibi geleneksel telefon ağlarındaki özellikleri getirmektedir. Q.932 ise tamamlayıcı servislerin H.323 ağlarında kullanılması işiyle ilgilenir.

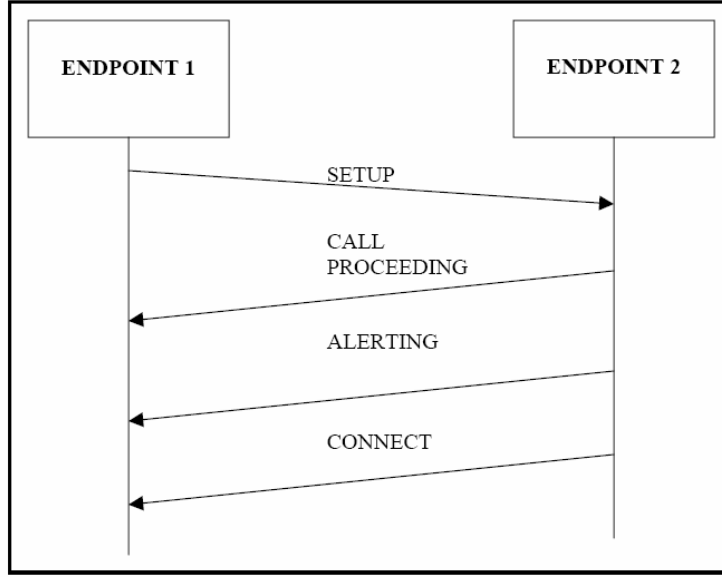
Tablo – 5, çağrı işaretleşmesinde kullanılan Q.931 ve Q.932 mesajlarını göstermektedir.



<b>Q.931/Q.932 Mesajları</b>	<b>Açıklama</b>
SETUP(KURULUM)	Çağrı başlatmada kullanılır.
CALL PROCEEDING (ÇAĞRI İLERLEMESİ)	Çağrının kurulma prosedürlerinin başladığını gösterir.
ALERTING (UYARI)	Aranan tarafa zil sesinin gittiğini yani telefonun çaldığını belirtir.
CONNECT(BAĞLANTI)	Aranan tarafın çağrıyı kabul ettiğini gösterir.
RELEASE COMPLETE (ÇAĞRI BIRAKMA TAMAMLANDI)	Çağrının sona erdirildiğini gösterir.
FACILITY (OLANAK)	Çağrının uç noktalar arasında doğrudan mı yoksa bir ağ kapı sorumlusunun yönlendirmesi sonucu mu oluştuğunu gösterir.
STATUS (DURUM)	RAS durum bilgisi mesajları için kullanılır.

**Tablo – 5 Q.931 ve Q.932 Mesajları**

H.225 RAS kanalı mesajları değişimi tamamlanınca, uç noktalar ağ kapı sorumlularına kayıt olmuş olurlar. Bir çağrı oluşturabilmek için bundan sonraki ilk adım H.225 çağrı işaretleme mesajlarının değişimidir. VoIP ağlarında çağrı işaretleme mesajları iki farklı şekilde geçebilirler. Birinci metot, doğrudan uç nokta çağrı işaretlemesidir ki bu yolla işaretleme mesajları direkt olarak uç noktalar arasında iletilir. İkinci metot ise ağ kapı sorumlusu yönlendirmeli çağrı işaretlemesidir. Bu metotta adından da anlaşılacağı üzere, mesajlar uç noktalara yönlendiriciler (routerlar) vasıtasıyla iletilir. İlaveten, bir ağda ağ kapı sorumlusu bulunmadığı durumda, H.225 çağrı işaretleme mesajlarının değişimi Şekil-10'da da gösterildiği gibi çağrının kurulmasındaki ilk basamak olmaktadır çünkü önceki konularda da belirttiğimiz şekliyle RAS kanalı mesajlarının değişimi ağ kapı sorumluları vasıtasıyla yapılır.

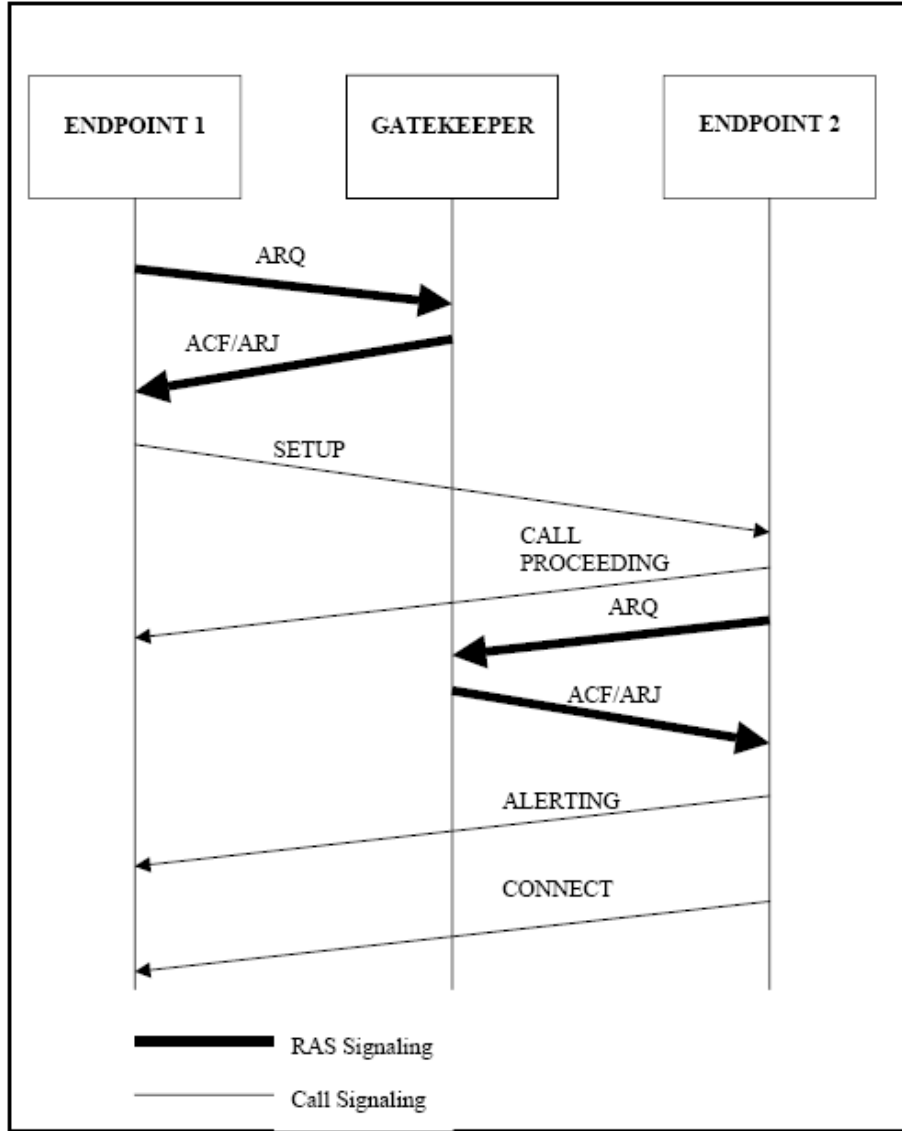


**Şekil – 10 Ağ Kapı Sorumlusu Olmadan Bir Çağrının Kurulması [3]**

Şekil –10’da uç nokta-1 uç nokta-2 ile bir çağrı oluşturabilmek için SETUP (kurulum) mesajını gönderir. SETUP mesajını alan uç nokta-2 sırasıyla, çağrı kurulma prosedürlerinin başladığını göstermek amacıyla CALL PROCEEDING (çağrı ilerlemesi) mesajını, aktif olarak zil sesi işaretini aldığını belirtmek için ALERTING (uyarı) mesajını ve çağrıyı kabul ettiğini işaret etmek maksadıyla da CONNECT (bağlantı) mesajını cevap olarak uç nokta-1’e iletir.

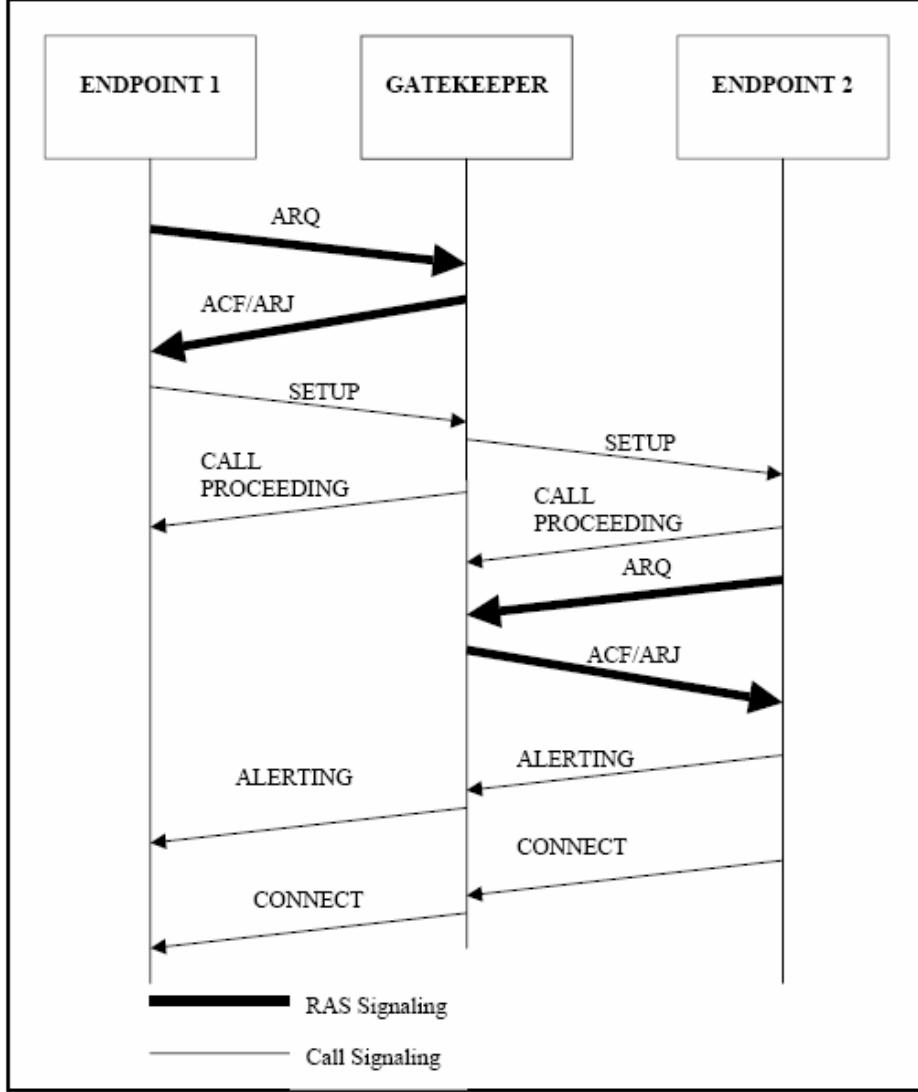
Ağ kapı sorumlusuna sahip olan ağlarda, uç noktalar ilk olarak ağ kapı sorumlusundan ARQ (admission request) mesajıyla kabul talebinde bulunmalıdırlar. İzin verme işlemi ise daha önce H.225 RAS kanalı işaretleşmesi kısmında açıklandığı gibi ACF mesajıyla gerçekleşir. Bir uç noktaya çağrı başlatma izni veren ACF mesajı aynı zamanda bünyesinde çağrının direkt mi yoksa ağ kapı sorumlusu yönlendirmeli mi olacağı bilgisini de barındırır. Bu adımdan sonra, uç nokta H.225 SETUP mesajıyla çağrıyı başlatabilir.

Eğer ağ kapı sorumlusu tarafından gönderilen ACF mesajı çağrının doğrudan uç noktalar arasında kurulacağı bilgisini içeriyorsa çağrı işaretleşme mesajları Şekil – 11 ‘de sunulduğu gibi direkt olarak uç noktalar arasında yönlendirilir. Böylece uç noktalar ağ kapı sorumlusu ile sadece RAS kanalı aracılığıyla H.323 ağına kabul izni alabilmek için etkileşime girerler ve daha sonra H.225 çağrı kontrol işaretleşme mesajları ağ kapı sorumlusunun müdahalesi olmaksızın uç noktalar arasında değişilir.



**Şekil – 11 Doğrudan Uç Nokta Çağrı İşaretleşmesi [3]**

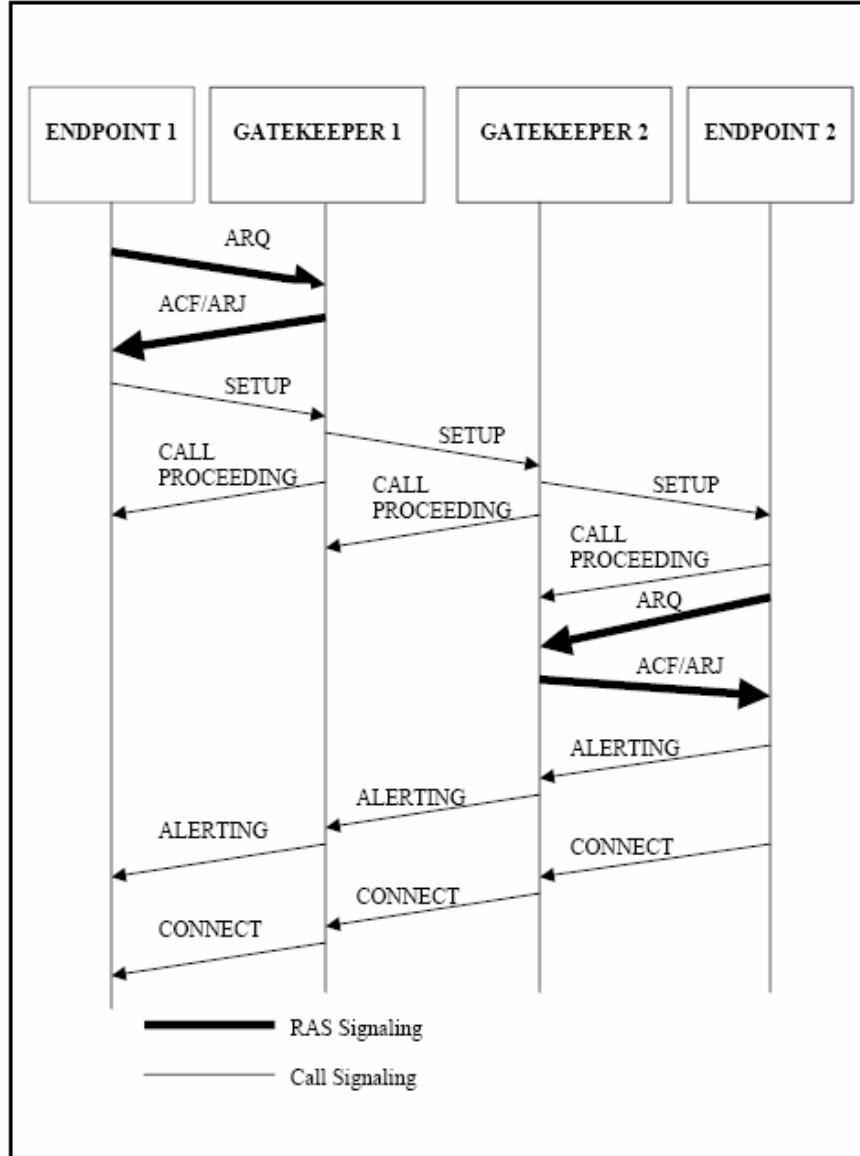
Eğer ağ kapı sorumlusu tarafından gönderilen ACF mesajı yukarıdaki aksine çağrının ağ kapı sorumlusunun üzerinden yönlendirileceği bilgisini taşıyorsa, bu kez H.225 çağrı işaretleşme mesajları Şekil – 12’de gösterildiği üzere ağ kapı sorumlusu üzerinden yönlendirilir. Bu tip çağrılara ağ kapı sorumlusu yönlendirmeli çağrı işaretleşmesi adı verilir. RAS mesajları bir önceki paragraftakine benzer şekilde uç noktalar ve ağ kapı sorumlusu arasında akar.



**Şekil – 12 Ağ Kapı Sorumlusu Yönlendirmeli Çağrı İşaretleşmesi [3]**

Son olarak Şekil – 13, her iki uç noktanın da ağdaki farklı ağ kapı sorumlularına kayıtlı olabileceği durumu simgelemektedir. Her iki ağ kapı sorumlusu da, çağrı kontrol işaretleşme mesajlarını yönlendirir. İlk olarak, uç nokta - 1 kendi ağ kapı sorumlusuyla ağa dahil olabilmek için RAS mesaj değişimini gerçekleştirir. Sonra, uç nokta - 1 yine kendi ağ kapı sorumlusuna uç nokta-2 ile çağrı oluşturabilme maksatlı SETUP mesajını gönderir. 1 no'lu ağ kapı sorumlusu ardından, bu mesajı uç nokta - 2'yi kayıtlı kullanıcı olarak barındıran 2 no'lu ağ kapı sorumlusuna yönlendirir. Uç nokta - 1'den uç nokta - 2'ye gönderilmek için yola çıkan bu mesajı 2 no'lu ağ kapı sorumlusu, uç nokta - 2'ye iletir. Mesajı alan uç nokta - 2 ağ kapı sorumlusu - 2'ye gönderdiği bir CALL PROCEEDING mesajıyla çağrı kurulumu prosedürünü başlatır ve ağa kabul edilebilmek için RAS mesajları değişimini yapar. Kabulü

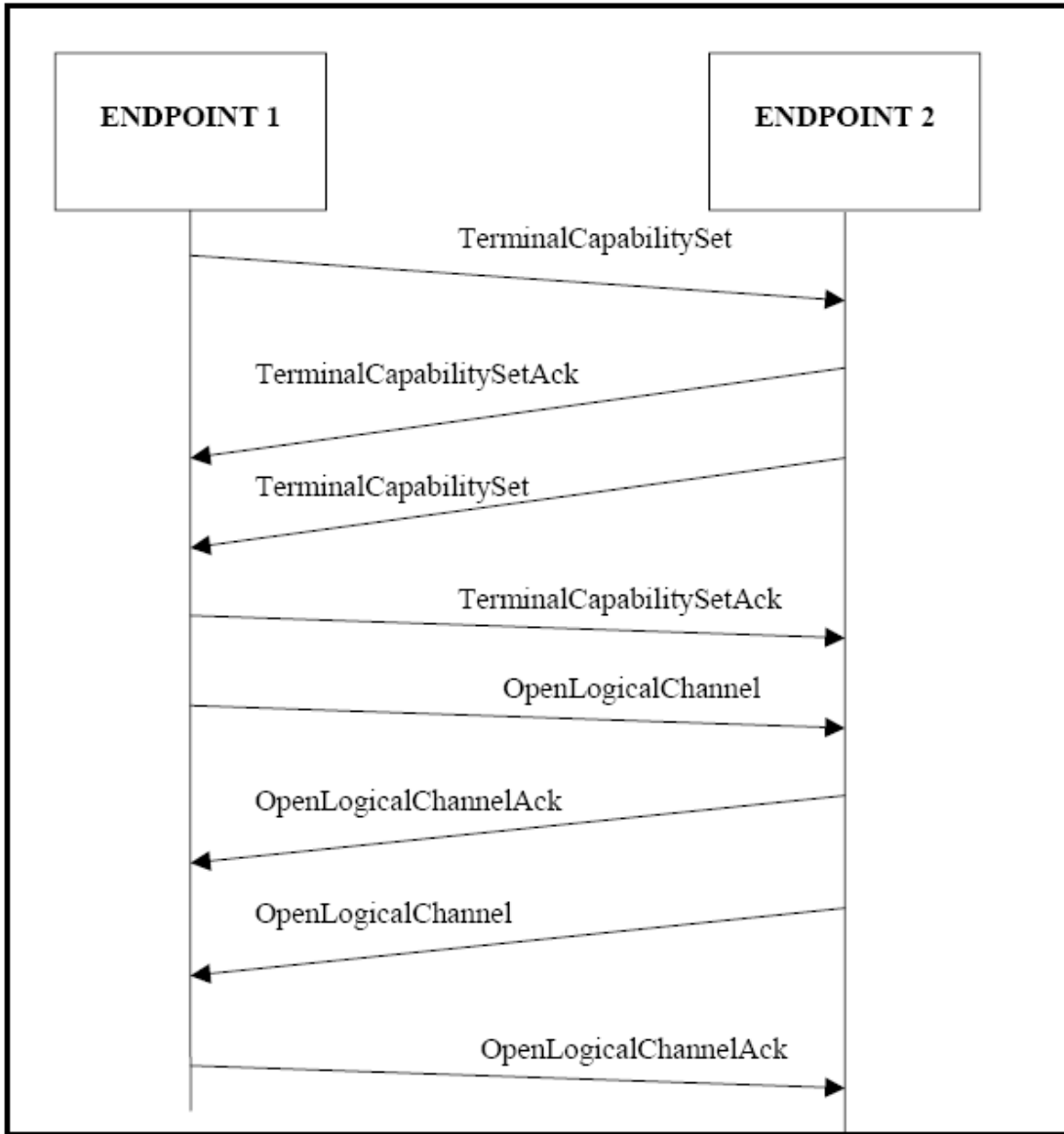
aldıktan sonra ise ALERTING mesajıyla aktif olarak zil sesi aldığını ve CONNECT mesajıyla da çağrıyı kabul ettiğini ağ kapı sorumlusu - 2'ye belirtir. Ağ kapı sorumlusu - 2 kendisine gönderilen bu mesajı, uç nokta - 1'i ağ kapı sorumlusu - 1'e kayıtlı bir kullanıcı olarak bildiğinden , ağ kapı sorumlusu - 1'e ; ağ kapı sorumlusu - 1'de çağrıyı başlatan taraf olan uç nokta - 1'e yönlendirir ve işlemi sonlandırır.



Şekil – 13 2-Ağ Kapı Sorumlusu ile Ağ Kapı Sorumlusu Yönlendirmeli Çağrı İşaretleşmesi [3]

### 2.5.5 H.245 Çağrı Kontrolü

Önceki paragraflarda bahsedildiği gibi H.225 çağrı işaretleşme mesajlarıyla bağlantı kurulduktan sonra, sıra tüm uç noktalara birlikte işlerlik sağlayan ve işlemleri yöneten H.245 çağrı kontrol kanalının kullanımına gelir. Bu hakiki ses paketlerinin değişimine başlayabilmek için gerekli olan son adımdır. H.245 mesajları, uç noktaların sahip oldukları özellikleri birbirleriyle senkronize hale getirebilmeleri, kanal açılma ve kapanması, akış kontrolü ve genel komutlar gibi bilgileri içerir. Uç noktalar her bir çağrı için bir H.245 çağrı kontrol kanalı tesis ederler. Şekil – 14, tipik H.245 mesajlarının 2 uç nokta arasındaki akışını temsil etmektedir.



Şekil – 14 H.245 Çağrı Kontrolü Mesajları [3]

Daha önceden H.225 mesajlarıyla 2 uç nokta arasındaki bağlantının kurulduğunu varsayarak, uç nokta - 1 uç nokta - 2'ye sahip olduğu özellikleri tanıtabilmek için bir H.245 TerminalCapabilitySet (Uç Nokta Yetenek Ayarı) mesajı gönderir. Uç nokta - 2 Uç nokta-1'in özelliklerini/yeteneklerini, TerminalCapabilitySetAck (Uç Nokta Yetenek Ayar Onayı) mesajıyla onaylar. Uç nokta - 2 ayrıca, kendi sahip olduğu özellik/yeteneklerinin Uç Nokta - 1 tarafından onaylanması için Uç Nokta - 1'e gönderir. Ardından Uç Nokta - 1 OpenLogicalChannel (Mantıksal Kanalı Aç) mesajı göndererek Uç Nokta - 2 ile bir sanal medya kanalı oluşturur ve cevap olarak Uç Nokta - 2'den OpenLogicalChannelAck (Mantıksal Kanal Aç Onayı) mesajını alır ki bu mesajın içinde çoklu ortam (multimedia) paketlerinin transferi için gerekli olan RTP (Real-Time Transport Protocol) iletişim adresi mevcuttur. Son olarak, aynı işlemi Uç nokta - 2'de Uç Nokta - 1 ile yapar ve Uç Nokta -1'den onay ile birlikte onun iletişim adresini alır.

H.245 mesajlarının değişiminin ardından, uç noktalar gerçek ses paketlerinin iletilmesine hazırdırlar. Bu işlevi ise önceki bölümlerde anlatılan ve UDP/IP protokol yığını üzerinde çalışan RTP (Real-Time Transport Protocol) ile gerçekleştirirler. RTP, ses paketlerinin iletiminde ağı ve ağda çalışan uygulamaların izlenmesi görevlerinin yürütülmesi için yine önceki bölümlerde anlatılan RTCP'den (Real-Time Control Protocol) faydalanır.

H.323'ü genel olarak tanıttığımız bu ünite de bir H.323 ağının temel bileşenleri ve H.323 'ü bina eden protokoller açıklanmıştır. Sonraki kısımda ise, H.323 ile kıyaslandığında çok daha basit ve anlaşılabilirliği kolay olan Oturum Başlatma Protokolü'ne (Session Initiation Protocol - SIP) değinilecektir.

## 2.6 Oturum Başlatma Protokolü (Session Initiation Protocol – SIP)

SIP (Session Initiation Protocol), kullanıcılar arasındaki iletişim mekanizmalarını ve oturumun açılması için gerekli olan parametreleri, hangi kodların kullanılacağı; konum bilgilerinin temini ve takası gibi tanımlamaları ve arabuluculuk işlemlerini yapar [4].

Bu protokolün sağladığı olanaklar şunlardır:

- Çok basit bir yapıya sahiptir ve HTML temellidir. HTML’de kullanılan kodlar ufak değişikliklerle SIP’de de kullanılabilir.
- Genişleme yeteneğine sahip bir protokoldür. Zamanla yeni özellikler bu protokole kazandırılabilir.
- Modüllerden oluşan bir yapıya sahiptir. En büyük özelliği oturumu kullanıcıyı oturuma davet eden protokolden ayırabilmesidir. Bu amaca yönelik Oturum Açıklama Protokolü (Session Description Protocol - SDP) tarzı protokoller kullanılmaktadır.
- Büyük trafik hacimlerini karşılayabilir.
- Web ile entegre olma yeteneğine sahiptir. Böylece e-posta, akan medya uygulamaları ve diğer protokollerle kolayca çalışabilir.
- TCP ve UDP’nin ikisini de destekler.

### 2.6.1 SIP İsimleri ve Adresleri

Oturum Başlatma Protokolünde kullanıcılar SIP adresleriyle tanımlıdır. Bu adresler aslında e-posta adresleriyle büyük bir benzerlik arz ederler. Bu tanımlayıcılar SIP URL olarak da bilinirler ve aşağıdaki formata sahiptirler

sip : kullanıcı @ servis_sağlayıcı
------------------------------------

**Tablo – 6 SIP İsim Örneği**

Kullanıcı bölümü bir kullanıcı adı olabileceği gibi bir telefon numarası da olabilmektedir. Servis sağlayıcı ise bir domain adı olabileceği gibi, bir IP adresi de olabilir.[5]

### 2.6.2 SIP’in Temel Bileşenleri

SIP protokolü 2 ana bileşenden meydana gelmektedir. Bunlar ;

1. Kullanıcı tarafı kullanıcı ajanı (UAC – User Agent Client)
2. Sunucu tarafı kullanıcı ajanı (UAS – User Agent Server)



Burada UAC, SIP isteklerinin başlatıldığı nokta olarak tanımlanabilir. UAS ise UAC'dan gelen istek mesajlarının alınmasından ve bu mesajların cevaplanmasından sorumludur. SIP şebeke sunucuları 3 gruba ayrılabilir. Bunlar vekil (proxy) sunucu, yönlendirme (redirect) sunucusu ve konum (location) sunucusudur.

### 2.6.3 SIP Mesajları

SIP mesajları 2 gruba ayrılırlar. Kullanıcı uç birimleri (client) tarafından çıkarılan istek (request) mesajları ve sunucular tarafından bu mesajlara verilen cevap (response) mesajlarıdır. Her mesaj bir başlık alanından ve opsiyonel olarak bir gövde alanından oluşur. İstek mesajları altı gruba ayrılırlar. Cevap mesajları ise HTTP'deki cevap mesajlarına benzer.[4]

- INVITE (DAVET) : Kullanıcının oturuma davet edilmesini sağlar. Mesajın gövdesi davet edilen yani aranan tarafla ilgili bilgiyi içeren bir açıklama alanı içerir. Bu mesajın başlığı ise aşağıdaki parametreleri içerir.
  1. Çağrı Kimliği (CALL - ID), daveti kendine has bir şekilde tanımlar.
  2. Aranan ve arayan tarafların adresleri
  3. Çağrının konusu
  4. Çağrı önceliği
  5. Çağrı yöneltme istekleri
  6. Kullanıcının yeriyle ilgili özellikler
  7. Cevabın istenen bölüm ve özellikleri
- ACK (ONAYLAMA) : Uygun mesaj alışverişinin yapılabileceğini bildirir. Bir bakıma iletişim kabul mesajı olarak da adlandırılabilir.
- BYE (ÇÖZÜLME) : UA tarafından kullanılır ve sunucuya görüşmeyi çözme isteğini bildiren mesajdır. Bu mesaj arayan ve aranan tarafların ikisinden de gönderilmiş olabilir. Böylece kurulmuş sanal devre çözülmüş olur.
- CANCEL (İPTAL) : Çağrının kurulmasını iptal etmek için kullanılır. Bu haliyle PSTN'de çevrilen numaranın daha düşmeden ahizenin yerine konulması ve yapılan aramanın iptali olarak da düşünülebilir.
- OPTIONS (SEÇENEKLER) : Karşı taraftan arananla ilgili kapasite ve yetenek/özellik bilgilerini ister. Böylece en uygun performansı sağlayan mantıksal bağlantı kurulabilir.

- REGISTER (KAYDOL) : Başlık alanında listelenen adrese kayıt olabilmek için kullanılır. Bu mesajın başlık alanında çeşitli bölgeler bulunmaktadır. Bu bölgeler ;
  1. To bölgesi; sunucu adresi bu bölgeye yazılır.
  2. From bölgesi; arayan tarafla ilgili bilgi bu bölüme yazılır.
  3. Request URL bölgesi; kayıt olanın domain adı bu bölgeye yazılır.
  4. CALL – ID bölgesi; davet mesajında kullanılanla aynı yapıdadır. Aranılan tarafın adresi bu bölgeye yazılır.

Bir SIP cevap mesajı ise SIP istek mesajlarının alınmasının ardından gönderilir. SIP cevap mesajının ilk satırı durum satırı (status line) olarak adlandırılır. Bu satır 3 haneli durum kodu ve metin öbeğinden oluşur. Durum kodu istekle ilgili sunucu tarafında neler yapıldığını belirtir. Metin öbeği kısmı ise küçük bir açıklama getirmek için kullanılır. Cevap mesajları başlıca 6 gruba ayrılır.

- 1XX (BİLGİLENDİRME) : İstek mesajının alındığını ve işleme konduğunu belirtir. Aşağıda SIP bilgilendirme mesajları verilmiştir.
  1. 100 = Deniyor
  2. 180 = Zil çaldırıyor
  3. 181 = Çağrı yönlendiriliyor
  4. 182 = Çağrı sıraya kondu
- 2XX (BAŞARI) : Arama faaliyetinin başarılı bir şekilde alındığını, anlaşıldığını ve kabul edildiğini anlatır.
  1. 200 = Tamam
- 3XX (YÖNLENDİRME) : İsteğin yerine getirilebilmesi için yeni faaliyetlerin yapılması gerektiğini bildirir.
  1. 300 = Çoklu seçim
  2. 301 = Kalıcı olarak yer değiştirmiş
  3. 302 = Geçici olarak yer değiştirmiş
  4. 305 = Vekil sunucu kullanılmalı

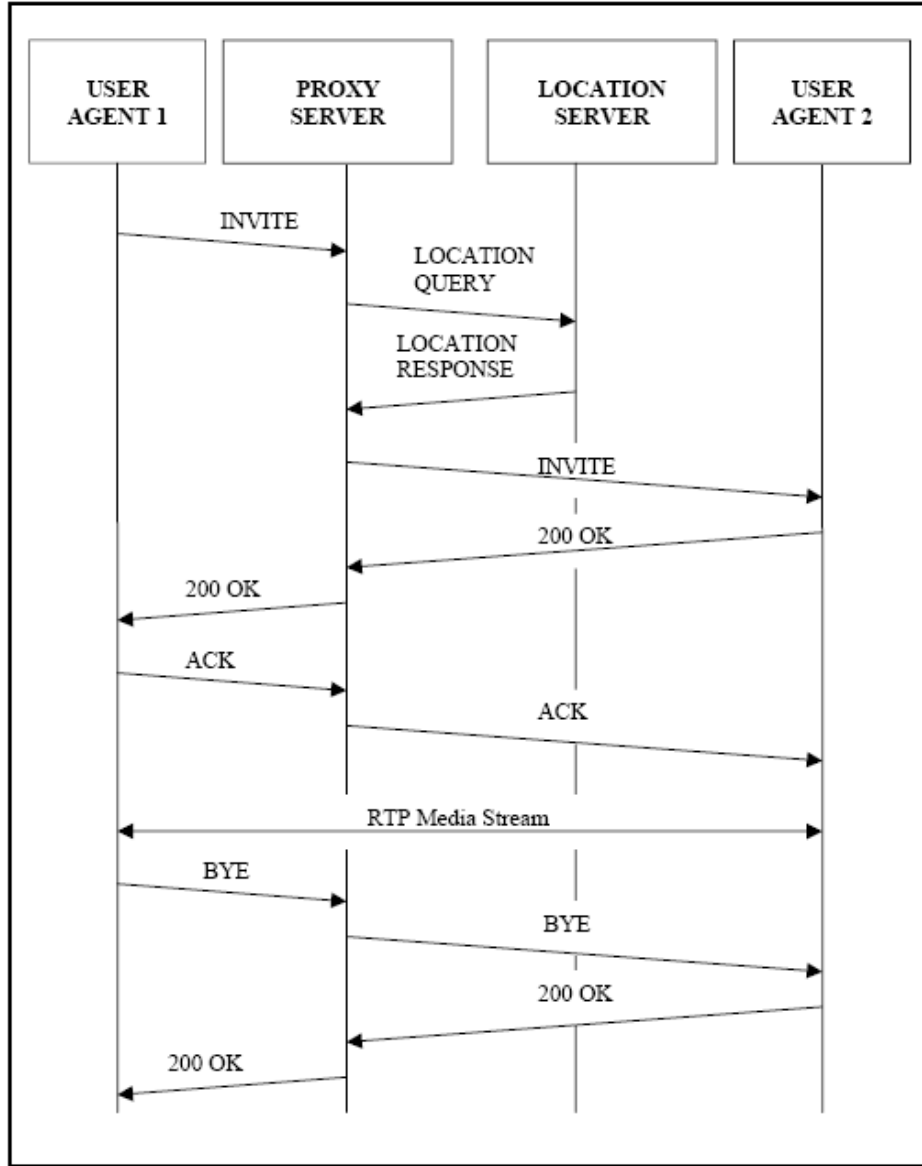
- 4XX (KULLANICI TARAFI HATA) : İsteğin kötü bir söz dizimine sahip olduğunu veya şuan yerine getirilemeyeceğini bildirir.
  1. 400 = Hatalı istek
  2. 401 = Gerekli izin bulunmuyor
  3. 403 = Giriş yasaklı
  4. 404 = Bulunamadı
  5. 405 = Metoda izin verilmiyor
  6. 406 = Kabul edilemez
  7. 408 = İstek zaman aşımına uğradı
  8. 415 = Desteklenmeyen medya türü
  
- 5XX (SUNUCU HATASI) : Sunucunun talep edilen çağrı isteğini yerine getiremiyor olduğunu belirtir.
  1. 500 = İç sunucu hatası
  2. 501 = Uygulanamadı
  3. 503 = Servis dışı
  
- 6XX (GLOBAL HATA) : Herhangi bir sunucu tarafından isteğin yerine getirilemediğini bildirir.
  1. 600 = Her yer meşgul
  2. 603 = Reddedildi
  3. 606 = Kabul edilemez

#### **2.6.4 SIP'de Konuşma Yolunun Kurulması**

SIP ağlarında vekil (proxy) sunucular kullanıcı ajanlarından gelen SIP oturum isteklerini kabul eder ve istemcilerin namına talepte bulunurlar. Yönlendirme (redirect) sunucuları, istemcilere aranan tarafın adres bilgisini sağlayarak iki tarafın doğrudan konuşmasına ön ayak olan sunuculardır. Konum (location) sunucuları ise, vekil ve yönlendirme sunucularına aranan tarafın olası konum bilgisini taşırlar.

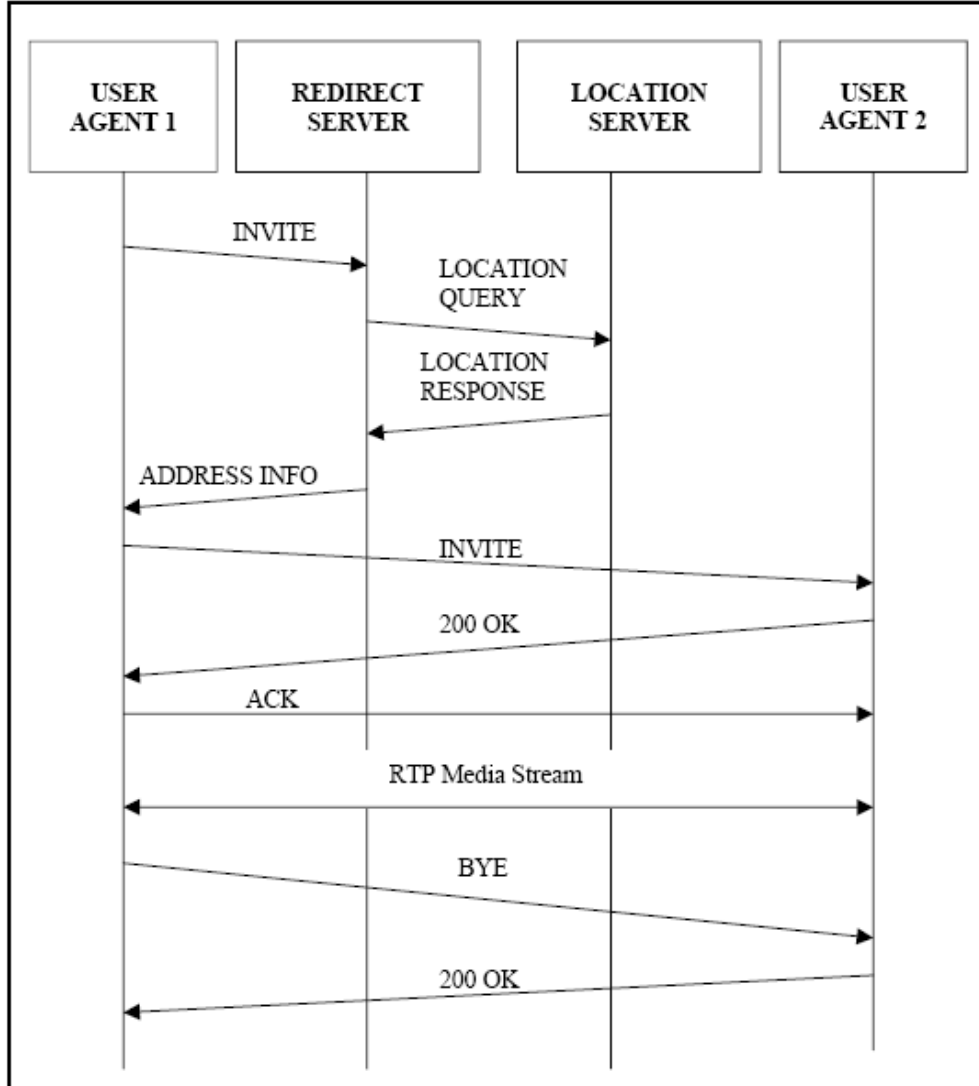
SIP sunucuları iki farklı şekilde çalışmaktadır. Bunlar vekil (proxy) ve yönlendirme (redirect - üzerindeki adresi silip yeni adrese yönlendirerek) modlarıdır. Vekil çağrı modunda, vekil sunucuları, kullanıcı tarafı kullanıcı ajanları ve sunucuları arasında anahtarlama noktası görevi görerek her iki grup kullanıcı ajanı adına SIP isteklerini yaparlar. Şekil – 15, vekil

modda çalışan basitleştirilmiş bir SIP çağrısını göstermektedir. Bu modu H.323'teki ağ kapı sorumlusu-yönlendirmeli çağrıya benzetmek mümkündür.



Şekil – 15 Vekil Sunucu Kullanılarak Oluşturulan SIP Çağrısı [6]

Yönlendirme (redirect) çağrı modunda ise, yönlendirme sunucuları çağrıyı başlatan kullanıcı ajanı tarafına aranan tarafın ağ adresi (IP adresi) bilgisini sağlamakta ve çağrının kurulması işini Şekil – 16'da görüldüğü gibi arayan kullanıcı ajanına bırakmaktadır. Bu tip arama modunu H.323'teki doğrudan uç nokta aramasına benzetmek yanlış olmayacaktır.



Şekil – 16 Yönlendirme Sunucusu Kullanılarak Oluşturulan SIP Çağrısı [6]

### III. SES KALİTESİNİ ETKİLEYEN UNSURLAR

Bundan önceki ünitelerde VoIP teknolojisinin genel bir açıklaması yapılmış olup, bu teknolojinin gelişiminde rol oynayan faktörler irdelenmiştir. Bu ünite ise VoIP'te ses kalitesini etkileyen ana unsurlar olan; gecikme (delay), gecikme değişimi (jitter), paket kaybı, bağlantı hataları, yankı (echo) ve ses faaliyet algılama (voice activity detection) kavramlarının üzerinde duracaktır. Bu konuların anlaşılmasıyla birlikte VoIP'in günümüzdeki büyümesinden daha hızlı bir büyümenin şuan için hangi sebeplerden dolayı elde edilemediği sonucu ortaya çıkmış olacaktır.

#### 3.1 Gecikme (Delay)

Gecikme, VoIP ağlarında kişinin konuşmaya başlamasıyla karşı tarafın bu sesi duyması arasında geçen zaman aralığı olarak tanımlanmaktadır. Gecikme kavramı, VoIP teknolojileri için ses kalitesinin belirlenmesinde en önemli faktördür ve neden olabileceği büyük sorunlardan biri her iki tarafın konuşmasının örtüşmesi yani üst üste binmesidir (speech overlap). Olağan bir konuşmada, konuşan taraf sustuğu zaman, karşı tarafın cevabını bekler. Eğer yanıt uygun bir zaman diliminde gelmezse, konuşan kişi bu kez tekrar konuşmaya başlayacaktır ki bu da geciken cevabın konuşmacının sözleriyle çakışmasına neden olacaktır. Çarpışmayı fark eden her iki taraf susup belirli bir süre bekleyecek ardından diğer tarafın sesini duyduğu anda susmak üzere konuşmalarına devam edeceklerdir. Konuşmaların birbirleriyle örtüşmesi sorunundan sıkıntı yaşamamak için gerekli olan gecikme eşiği 150 ms'dir.[7] Bununla birlikte, konuşmanın her iki tarafının da gecikmenin farkında olması halinde 400 ms'de kabul edilebilir bir gecikme eşiğidir.

Gecikmenin neden olduğu diğer bir problem ise tek-yol gecikme süresinin 25 ms'i geçmesidir ki bu da konuşan tarafın kulağında yankıya sebep olacaktır. Bu sebeple, tek-yol gecikmesinin 25ms'den büyük olduğu durumlarda yankı bastırma tekniklerine ihtiyaç duyulmaktadır.[8] Tablo – 7, uygun şekilde kontrol altına alınabilecek yankı sorunları için ITU.T G.114 tavsiyesinin gecikme yönergesini göstermektedir. Gecikme, eğer gecikme değişimi (jitter) büyükse, aynı zamanda paket kaybına da yol açabilir. Gecikme değişimine (jitter) bağlı paket kaybı sorunları bu ünitenin ilerleyen kısımlarında incelenecektir.

GEÇİKME	YORUMLAR
0 -150 ms	Tüm uygulamalar için kabul edilebilir.
150 – 400 ms	Hatta gecikme olduğu bilindiği sürece kabul edilebilir sınırdır.
400 ms ve üzeri	Kabul edilemez.

**Tablo – 7 Gecikme Tanımlamaları için ITU.T G.114 Tavsiyesi [8]**

Uçtan uca gecikme, yayılma (propagasyon) gecikmesi, kodak işlem gecikmesi, paketleme gecikmesi, sıralama gecikmesi, yönlendirme/kuyruklama ve gecikme değişimi (jitter) tamponu gecikmesi gibi bileşenleri içermektedir.

### **3.1.1 Yayılma (Propagasyon) Gecikmesi**

Yayılma gecikmesi, bir işaretin bir uçtan diğere kablolü veya kablosuz ortamdan geçerken harcadığı süredir. Bu gecikme, boşlukta 300.000 km/s, bakır ve fiber kablolarda bunun yaklaşık 2/3'ü olan ışık hızıyla orantılıdır.

### **3.1.2 Kodak İşlem Gecikmesi**

Bir ses kodaki (kodlama ve kod çözme) analog ses işaretini sayısallaştırma ve tersi görevleriyle yükümlüdür. Kodak işlem gecikmesi, bir kodakin ses işaretlerini kodlama, sıkıştırma, açma ve kod çözme işlemlerine tabi tutarken oluşan gecikme çeşididir. Kodlamadan kasıt, analog ses işaretlerinin sayısallaştırılmasıdır. Bazı kodaklar tarafından kullanılan sıkıştırma, özel algoritmalarla faydalanarak verinin saklanması ve iletiminde gerekli olan bant genişliği ihtiyacının azaltılmasını sağlamaktadır. Kod çözme ve açma ise sırasıyla kodlama ve sıkıştırma işlemlerinin ters süreçleridir. Genellikle, düşük bit oranlı G.723.1 ve G.729 gibi kodaklar sıkıştırma için kullandıkları algoritmaların daha karmaşık yapıda olmasından dolayı daha fazla gecikme süreleriyle çalışmaktadırlar. Ses sinyallerinin sıkıştırılması harcanan bant genişliğini azaltırken daha yüksek işlem zamanları ve doğal olarak daha fazla gecikmeyi ise beraberinde getirmektedir. Kullanılabilir işlem gücü, talep edilen ses kalitesi ve ağdaki bant genişliği ihtiyaçlarına binaen optimum bant genişliği ve ses kalitesi belirlenmelidir.

Tablo – 8, çeşitli ses kodaklarının bit oranlarına göre sıralı karakteristiklerini göstermektedir. Yüksek bit oranlı kodaklar, düşük bit oranlı kodaklara göre kullandıkları algoritmanın basitliği ve daha az işlem zamanından dolayı çok daha az işlem gecikmesi sunmaktadırlar. Bununla birlikte, bu yüksek bit oranlı kodaklar daha fazla bant genişliği tüketimine yol açmaktadırlar. Tipik VoIP uygulamalarında, DSP'ler (Sayısal İşaret İşleyici)

her 10 ms’de 1 çerçeve (frame) üretirler. Bu çerçevelerin 2’si bir ses paketinin içine yerleştirilir. Tablo – 8, değişik kodeklerin 20 ms’lik bir ses paketini yukarıda açıklandığı gibi ele almak için geçen kodek işlem gecikmelerini göstermektedir. Son olarak, lookahead zamanı (bir sonraki pakete bakma zamanı) bazı kodek algoritmalarınca kullanılan ve güncel pakete işlem yaparken bir sonraki ses paketinin içeriğine bakma amacıyla harcanan süre olarak tanımlanmaktadır. Ünite 5’te kodek seçimi hususunda dikkat edilmesi gereken detaylar tartışılacaktır.

Codec	Bit Rate (kbps)	Codec processing delay (ms)	Lookahead Time (ms)
G.711	64	0.75	0
G.726	32	1	0
G.728	16	3 to 5	0
G.729A	8	10	5
G.723.1	6.3	30	7.5
G723.1	5.3	30	7.5

**Tablo – 8 Çeşitli Ses Kodeklerinin Karakteristikleri ( [9] ve [10] )**

### 3.1.3 Paketleme Gecikmesi

Paketleme gecikmesi, pakette verinin taşındığı asıl kısmın (payload) sayısal ve muhtemelen sıkıştırılmış ses örnekleriyle doldurulması için harcanan süredir. Bu gecikme tek bir pakete kaç kodek çerçevesinin yerleştirildiğine bağlı olarak değişir. Bir pakete konulan kodek çerçeve sayısı arttıkça, ilk kodek çerçevesi diğerlerinin üretilmesi ve aynı pakete konması için beklemek zorunda kalacağından, paketleme gecikmesi de artacaktır. Özet olarak, paketleme gecikmesi paketin muhteviyatı büyüdükçe artar. Büyük paketlerin seçilme sebebi bant genişliğini daha verimli kullanma amacına dayanır. Bir uygulamada küçük paketlerin fazlaca kullanılması gönderilecek paket sayısını arttıracak bu da her paketin bir başlık bilgisi (header) kısmı olduğundan daha fazla ek yük (overhead) ve hatta daha yüksek çarpışma ihtimali anlamına gelecektir. Bu durumda, bant genişliği kullanım verimliliği ile paketleme



gecikmesi yani ses kalitesi arasında bir tercih söz konusudur. Tablo - 9 'da ifade edildiği üzere bir ses paketinin başlık bilgisi her bir paket için toplam 40 byte tutmaktadır.

<b>RTP – 12 byte</b>	<b>UDP – 8byte</b>	<b>IP – 20byte</b>
----------------------	--------------------	--------------------

**Tablo – 9 Ses Paketi Başlık Bilgisinin Getirdiği Ek Yük**

Tablo –10, 5.3 kb/s kodlama oranlı G.723.1 ile 8 kb/s kodlama oranlı G.729A tipi 2 kodekin ek yük oranı (overhead) ve bant genişliği verimliliğini tasvir etmektedir. Hesaplamalar her 2 kodek için de paket başına tek çerçeve ve 2 çerçeve kullanılması durumları göz önüne alınarak yapılmıştır. G.723.1 ve G.729A için ana verinin bulunduğu kısmın (payload) büyüklükleri sırasıyla 20 byte ve 10 byte'tır. Tablo – 10'da görüldüğü üzere, %50 bant genişliği verimliliğine sahip olan 2 çerçeveli G.723.1 kodeki en verimli alternatif olarak gözükmektedir. Voice Over IP uygulamalarında iki sebepten ötürü bant genişliğinden tam verim alamama durumu hasıl olabilir. Bunlar:

- Paketleme gecikmesini azaltma amacıyla ses verisinin asıl kısmının (payload) küçük tutulması
- Gerçek Zamanlı İletim Protokolü olan RTP'nin UDP'nin üstünde kullanılma zorunluluğu. Bu zorunluluk VoIP uygulamalarında paketin başlık kısmına RTP için ekstra 12 byte eklenmesi anlamına gelmektedir. Sıkıştırılmış RTP (Compressed Real - Time Protocol, cRTP) kullanımı problemi nispeten azaltabilmektedir.

Codec	Frames per packet	IP packet size (bytes)	UDP packet size (bytes)	Payload size (bytes)	Overhead	Bandwidth efficiency
G.723.1	1	60	40	20	66.7%	33.3%
5.3 kb/s	2	80	60	40	50.0%	50.0%
G.729A	1	50	30	10	80.0%	20.0%
8 kb/s	2	60	40	20	66.7%	33.3%

**Tablo – 10 Bant Genişliği Verimliliği [11]**

### 3.1.4 Sıralama Gecikmesi

Sıralama gecikmesi, verideki bitleri hatta vermek için geçen süredir. Bu gecikme, hattın hızıyla ters orantılıdır. Yani, hat hızı yüksek oldukça bitleri hatta yerleştirmek için geçen süre düşmektedir. Diğer bir deyişle, elinizde ne kadar hızlı bir hattınız varsa, sıralama gecikmeniz o denli azalacaktır. Tablo – 11, 64 byte büyüklüğündeki bir paketin değişik hat hızları altındaki sıralama gecikmelerini göstermektedir.

Packet Size (byte)	Link Speed				
	64 kbps	256 kbps	512 kbps	1 Mbps	10 Mbps
64	8 ms	2 ms	1 ms	0.5 ms	0.05 ms

Tablo – 11 Sıralama Gecikmesi [12]

### 3.1.5 Yönlendirme ve Kuyruklama Gecikmesi

Yönlendirme gecikmesi, ağdaki bir elemanın paketi yönlendirirken paketin kaybettiği süre olarak özetlenebilir. Bu zaman aralığı, ağdaki yönlendirici (router) gibi bir aygıtta paketin ulaşması ve ondan ayrılması için geçen dilimdir. Yönlendirme zamanı, ağın barındırdığı cihazların mimarisine, konfigürasyonlarına, performanslarına ve o anki yük durumlarına göre değişebilmektedir. Her zaman için donanım tabanlı sistemler yazılım tabanlılardan daha hızlı yönlendirme yapmaktadırlar.

Kuyruklama gecikmesi ise ağdaki cihazlardan birine o an için işlem yapabileceğinden daha fazla sayıda paket gelmesi ve o aygıtın da bu paketleri kuyruğa alarak iletim işlemi yapması sonucu doğar. Ses paketlerine öncelik tanınması VoIP uygulamalarındaki gecikmeyi azaltabilmektedir ancak kuyrukta bekleyen başka ses paketleri de mevcutsa o an gönderilmiş olan ses paketi sırasını beklemek zorunda kalacaktır.

### 3.1.6 Gecikme Değişimi (Jitter) Tamponu Gecikmesi

Gecikme değişimi (jitter), sonraki bölümde detaylı açıklanacağı gibi ses paketlerinin varış oranlarının değişimidir. Bu değişimin tolere edilebilmesi için, alıcı uçta paketlerin sabit-zamanlı gidişatını yaratabilme amacıyla bir gecikme değişimi tamponu oluşturulmalıdır. Bu tampon, tahmin edilebileceği üzere uçtan uca gecikmeyi arttıracaktır.

İnternet Protokolü üzerinden ses aktarımı uygulamalarında, gecikme değişimi tamponlarını çok yüksek veya çok düşük ayarlamamak aşırı derecede önemlidir. Tamponların çok düşük ayarlanması gelen paketler içinde gecikme değişimi (jitter) tampon gecikme aralığı

dışında kalanların alınmadan atılmasına sebep olacaktır. Bu tamponun çok yüksek tutulması ise gereksiz gecikmelere sebebiyet verecektir. Sonuç olarak, gecikme değişimi tamponunun gecikme aralığı, yukarıda sözü edilen negatif etkilerle karşılaşılması için dikkatlice seçilmelidir.

### **3.2 Gecikme Değişimi (Jitter)**

Gecikme değişimi (jitter), ses paketlerinin varış noktasına geliş hızlarının değişimidir. Bu değişim, paketlerin varış noktalarına değişik güzergahlar üzerinden iletilmeleri ve bu güzergahların da farklı gecikme süreleriyle paketleri yönlendirmeleri sebebiyle oluşmaktadır.

Gecikme değişimi tampon gecikmesi kısmında tartışıldığı üzere bir gecikme değişimi tamponu, gecikme değişimi sorununu ses çerçevelerinin akışını sabit bir oranda tutarak gidermeye çalışmaktadır. Tamponun gereksiz gecikme veya paket kaybına mahal vermemesi için uyarlanabilir (adaptive) olması, gelen paketlerin zaman damgalarını (timestamp) görüntüleyebilmesi ve tampon büyüklüğünü buna göre ayarlaması gerekmektedir. Bu tip bir uyarlamalı tampon büyüklüğü gecikmenin az olduğu ortamlarda kendini minimize edecektir. İnternet gibi gecikmenin değiştiği ortamlarda ise gecikme değişimi (jitter) tamponu kendini artan veya düşen gecikme değişimlerine göre uyarlayacaktır.

### **3.3 Paket Kaybı**

Paket kaybı, hem genel hem de özel IP ağlarında sık karşılaşılan bir sorundur. Özellikle ağda çok yoğun trafik yaşandığı veya bant genişliği aşıldığı zaman; ağın kalitesi çok zayıf olduğu ve kararsız bileşenler içerdiği zaman paket kayıplarıyla yüzleşmek olasıdır. Yukarıda bahsedilen sebepler hem ses hem de veri paketleri için geçerlidir. Bununla birlikte ses paketlerinin hattan düşürülmelerinde maalesef bir faktör daha etkindir ki o da, bu paketlerin varış noktasına gecikme değişimi tampon süre limitini aşarak ulaşmalarıdır.

Paket kaybı TCP (Transmission Control Protocol)'yi kullanan veri paketleri için sorun teşkil etmez. TCP hattan düşürülen paketleri sezip yeniden gönderilmelerini sağlar. Halbuki, paketlerin gerçek zamanlı iletimine ihtiyaç duyan VoIP, TCP'nin yeniden gönderilme mekanizmasını kullanamaz çünkü İnternet Protokolü üzerinden ses aktarımı uygulamalarında geç kalmış bir paket kayıp bir pakete eşdeğerdir ve TCP ses paketleri için kabul edilemez gecikme yaratacaktır. Bağlantı hatalarının inceleneceği sonraki bölümde farklı kodlar için katlanılabilir paket kaybı oranları sunulacaktır.

### 3.4 Bağlantı (Link) Hataları

Bağlantı hataları VoIP çağrılarını çeşitli şekillerde etkilemektedir:

- Ağ kapı sorumluları arası işaretleşme mesajlarını taşıyan TCP paketleri bozulabilir ve böylelikle çağrı kurulumu gerçekleşemez.
- IP başlık bilgisi (header) bozulabilir ki bu durum yönlendiricilerde IP paketlerinin düşürülmesine sebebiyet verir.
- Esas ses içeriğinin taşındığı payload kısmı bozulabilir ki bu da ses kalitesinin düşmesine yol açar.

Bilgisayar ağlarında en genel halde 2 çeşit bağlantı hatası görülür, bunlar: Rastgele Bit Hataları (Random Bit Errors) ve Patlama Hatalarıdır (Burst Errors). Rastgele Bit Hataları periyodik şekilde meydana gelmeyen ve bit hata oranı (Bit Error Rate – BER) ile ölçülen hatalardır. Bu tip hatalar patlama kaynaklı hatalara göre daha dağınık durumdadırlar ve bir ses paketini tamamen bozucu etkileri düşüktür. Diğer bir deyişle ses paketleri için rastgele bit hataları patlamalı hatalara oranla daha az tahrip edici etkiye sahiptir. Tablo – 12, G.723.1 ve G.729 kodekleri için paket ve çerçeve kayıplarını izah etmektedir. Ses çerçeve kayıp değerleri, IP paketlerinin kayıp değerlerinden daha yüksektir. Bunun sebebi IP paketlerinin varış noktalarına bozulmamış başlık bilgileri sayesinde varabilmeleri ancak geçtikleri noktalarda esas ses verisinin taşındığı payload kısmındaki ses bilgisinin hasara uğrama ihtimalidir.  $10^{-5}$ 'e kadar olan bit hata oranları kabul edilebilir seviyedir.  $10^{-4}$  BER seviyesinde paket ve çerçeve kaybı oranları, ses görüşmeleri için katlanılabilir eşik değeri olan %5'i aşacaktır.  $10^{-3}$  BER seviyelerinde ise bağlantılar tamamen çöker.[11]

G.723.1			G.729	
BER	IP packet loss	Voice frame loss	IP packet loss	Voice frame loss
$10^{-7}$	0.009%	0.089%	0.006%	0.100%
$10^{-6}$	0.065%	0.168%	0.052%	0.145%
$10^{-5}$	0.699%	1.427%	0.558%	0.653%
$10^{-4}$	6.860%	9.168%	5.363%	5.453%
$10^{-3}$	Connections down			

**Tablo – 12 G.723.1 ve G.729 için Rastgele Hatalar Sonucu Oluşan Paket ve Çerçeve Kayıpları [11]**

Tablo – 13, patlama hataları nedeniyle oluşan paket ve çerçeve kayıp oranlarını tasvir etmektedir. Referans kaynaklarda genellikle bu hatalar iki parametre kullanılarak karakterize edilmektedir. Bunlar:

- Patlama Uzunluğu : Bit bazında patlama hatasının uzunluğu (Tabloda 40 ve 60’a ayarlı)
- Patlama Yoğunluğu : Patlama süresince oluşan hata oranı (Tabloda 0,2’ye ayarlı)
- Boşluk Uzunluğu : Hata patlamaları arası geçen hatasız zaman aralığı (Tabloda 1,10,100,1000 ms’ye ayarlı)

Patlama ve rastgele hatalar nedeniyle oluşan paket/ses çerçevesi kayıp oranlarının karşılaştırıldığı Tablo – 12 ve Tablo – 13 patlama hatalarının rastgele bit hatalarına oranla çok daha bozucu olduğunu ispatlamaktadır. Tablo – 13’de gösterildiği gibi bağlantılar,  $10^{-5}$  BER’lik seviyede tamamen çökmekte veya birçoğu bozulmaktadır. Lakin önceki paragrafta değindiğimiz üzere bu seviye rasgele bit hataları için kabul edilebilir kalmaktadır.

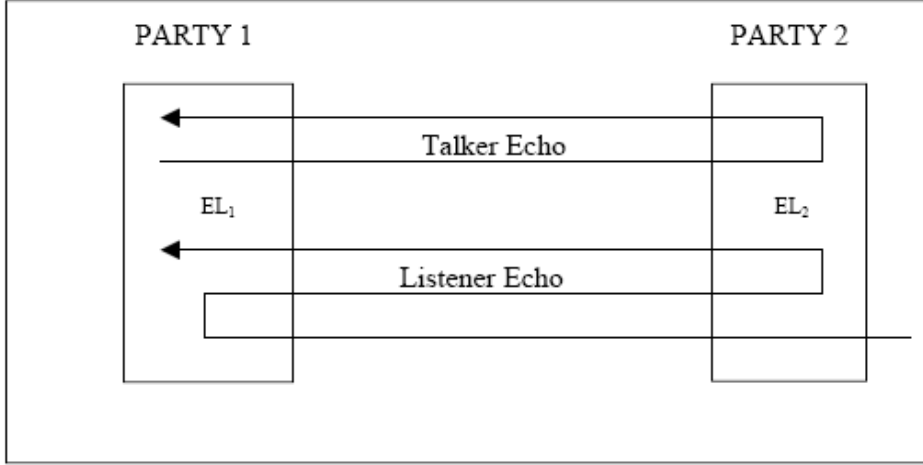
Burst error (x, y, z) <sup>1</sup>	Equivalent BER	G.723.1		G.729	
		IP packet loss	Voice frame loss	IP packet loss	Voice frame loss
(40, 0.2, 1000)	2.60 x 10 <sup>-7</sup>	0.044%	0.116%	0.026%	0.240%
(40,0.2,100)	2.80 x 10 <sup>-6</sup>	0.495%	0.592%	0.426%	0.635%
(40,0.2,10)	2.62 x 10 <sup>-5</sup>	4.527%	4.610%	1.892%	2.106%
(40,0.2,1)	1.30 x 10 <sup>-4</sup>	Connections down		Connections down	
(60,0.2,1000)	3.85 x 10 <sup>-7</sup>	0.069%	0.147%	0.034%	0.253%
(60,0.2,100)	3.70 x 10 <sup>-6</sup>	0.775%	0.830%	0.139%	0.354%
(60,0.2,10)	3.76 x 10 <sup>-5</sup>	Connections down		3.917%	4.126%
(60,0.2,1)	1.86 x 10 <sup>-4</sup>	Connections down		Connections down	

<sup>1</sup>(x, y, z) – x: average error burst length (bits), y: error density within a burst, z: average error-free period length in ms.

**Tablo – 13 G.723.1 ve G.729 için Patlamalı Hatalar Sonucu Oluşan Paket ve Çerçeve Kayıpları [11]**

### 3.5 Yankı (Echo)

Yankı, bir ağ topolojisinde işaretin elektriksel olarak yansması olarak tarif edilmektedir. Yankı genellikle 4-telli ağ anahtar bağlantılarının 2-telli telekom operatörü şebekesiyle aralarındaki empedans uyumsuzluğu sonucu oluşur. Konuşan tarafın yankısı, konuşmayı başlatan kişinin alıcı uçtan yansıyan kendi sesini duymasıdır. Eğer yansıyan yankı işareti yeniden yansırsa bu durumda daha az karşılaşılan dinleyen taraf yankısı ile karşılaşılır. EL (echo loss) yankı kaybını belirtmektedir ve ilerleyen bölümlerde tartışılacaktır. Yankı, hem faydalı hem de yansıma gecikme süresine göre konuşmaya zarar verir nitelikte olabilir. 16-20 ms arası gecikmeye sahip bir yankı kişinin telefon görüşmesi esnasında kendi sesini duymasına yol açacaktır ki [13] bu çoğu insan için karşı tarafa sesinin iletildiği fikrini verdiği için önemli bir özelliktir. Bununla birlikte 25 ms ve üzeri gecikmeye sahip bir yankı işareti doğru şekilde bastırılmadığı sürece ses kesilmelerine neden olabilir.



**Şekil – 17 1.Tarafın Gözlemediği Konuşmacı ve Dinleyici Yankısı [8]**

PSTN gibi devre anahtarlamalı ağlar yankı sorununu yankı bastırıcı kullanarak ve işaretlerin güç seviyelerini azaltıp yansıyan işaretin seviyesini minimize ederek çözmeye çalışırlar. Paket anahtarlamalı ses ağlarında ise, yankı bastırıcılar Sayısal İşaret İşleyiciler (DSP – Digital Signal Processor) içine yerleştirilirler. Yankı bastırıcıların çalışma prensibi, üzerlerinden geçen ses sinyallerinin ters çevrilmiş modellerini belirli bir zaman aralığı boyunca saklayarak, alıcı uçtan geri gelen yankı işaretini bu sakladıkları ters çevrilmiş modelle birleştirmelerine dayanır.

Tablo – 14, geleneksel devre anahtarlamalı ağlardaki ses kalitesinin elde edilebildiği, paket kaybı değerlerinin sırasıyla %0,1 , %1 ve %5 olduğu, yankı kaybının (EL – echo loss) 51 dB ve sonsuz alındığı ağızdan kulağa gecikmeleri (mouth-to-ear delays) resmetmektedir. Yankı kaybı (EL) ses işaretinin gücünün yansıyan işaretin gücüne oranıdır. Yani, EL değeri büyüdükçe ağda daha az yankı sorunu olduğu anlaşılır. Bu sebepten EL sonsuz ise ağda hiç yankı yok demektir. Paket Kaybı Gizlemesi (PLC - Packet Loss Concealment) kayıp paketleri kompanze etmeye yarayan, muhtelif metotlar içeren bir tekniktir. Ses Faaliyet Algılama (VAD - Voice Activity Detection) ise bir konuşma esnasında sessizlik olduğu sürece, paket gönderimini durdurarak bant genişliği kazanımı sağlanmasına yardımcı olur. VAD'ın diğer bir ismi de sessizlik bastırmadır (Silence Suppression) ve bu ünite de daha sonra incelenecektir. Tablo – 14, yankı kaybının tüm kodek tipleri üzerindeki negatif etkisini açıkça göstermektedir. Örnek vermek gerekirse G.723.1 kodeki için tolere edilebilir gecikme yankı kaybı 51 dB olduğunda 192 ms iken, yankı kaybı sonsuz olduğunda 250 ms'e kadar çıkmaktadır.

	EL = 51 dB	EL = ∞
(a) Packet loss ratio = 0.1%		
G.711 @ 64 kb/s	282	373
G.711 @ 64 kb/s (+PLC)	296	397
G.729 @ 8 kb/s (+VAD)	221	284
G.723.1 @ 6.3 kb/s (+VAD)	192	250
(a) Packet loss ratio = 1%		
G.711 @ 64 kb/s		
G.711 @ 64 kb/s (+PLC)	264	345
G.729 @ 8 kb/s (+VAD)	195	253
G.723.1 @ 6.3 kb/s (+VAD)	145	221
(a) Packet loss ratio = 5%		
G.711 @ 64 kb/s		
G.711 @ 64 kb/s (+PLC)	195	253
G.729 @ 8 kb/s (+VAD)		
G.723.1 @ 6.3 kb/s (+VAD)		

**Tablo – 14 Geleneksel Devre Anahtarlamalı Ses Kalitesinin Değişik Durumlar Altında Elde Edilebildiği ms Cinsinden Ağızdan-Kulağa (Mouth-to-Ear) Gecikme Değerleri. Boş Alanlar O Değerlerde PSTN Kalitesine Ulaşamadığını Gösterir. [8]**

### 3.6 Ses Faaliyet Algılama (Voice Activity Detection)

Ses kalitesine etkileyen en son faktör VAD veya Sessizlik Bastırma olarak bilinen metottur. Normal bir insan görüşmesinde bir taraf konuşurken diğeri dinlemektedir. Ek olarak, olağan durumlar göz önüne alındığında insanlar konuşmalarının birçok evresinde duraklamakta veya susmaktadırlar. Bu da bahsettiğimiz sessiz dönemler boyunca ses paketi üretimi durdurulmazsa bant genişliğinin yaklaşık %50'sinin çöpe atılacağı anlamına gelir. Ses Faaliyet Algılama (VAD) konuşma esnasında sessiz kalınan dönemleri algılayarak, ses çerçeve üretimini o periyotlarda engelleyen bir tekniktir. Tablo – 15, G.723.1 kodaki için sessizlik bastırma (VAD) kullanılması ile kazanılan bant genişliğini ifade etmektedir. Bilinmesi gereken önemli bir husus ortamda arka plan gürültüsü olduğu takdirde herhangi bir bant genişliği kazancının olmayacağıdır. Diğer bir deyişle, VAD ses ile arka plan gürültüsü



arasındaki farkı ayırt edemez ve tüm konuşma boyunca ses paketlerinin üretilmesine devam eder. Elbette bu durum her arka plan gürültü tipi için geçerli değildir fakat her ne olursa olsun VAD'ın ses ile gürültüyü ayırt edebilmesi için eşik seviyesini uydurabilmek çok güçtür.

Codec	Silence Suppression	Background Noise	Number of IP packets	Number of bytes	IP-level bandwidth (kb/s)	BW gain by silence suppression
G.723.1	ON	Quiet	8047	636,989	5.7	1.88
	OFF	Quiet	15,062	1,203,289	10.7	-
5.3 kb/s	ON	Car Noise	15,053	1,202,545	10.7	1.00
	OFF	Car Noise	15,053	1,202,569	10.7	-

**Tablo – 15 Sessizlik Bastırma ile Kazanılan Bant Genişlikleri [11]**

VAD, sohbet esnasında sessizlikle konuşma periyotlarını süzebilmek için ses sinyallerinin güç seviyelerindeki değişimleri görüntülemektedir. VAD, işaretin güç seviyesinde bir düşüm algıladığında, 200 ms kadar bekleyerek bunun konuşmadaki küçük bir duraklama olmadığından emin olmaya çalışır ve ardından ses paketi üretimini sonlandırır.

Günümüzde VAD metodunun karşılaştığı iki önemli problem bulunmaktadır. Bunlardan ilki yukarıda bahsedilen arka plan gürültüsüyle ses işaretinin ayırlamaması durumudur. Diğer ise ön-uç kırılması (front-end clipping) adı verilen sorundur. Ön-uç kırılması, VAD'ın sessizlik bastırma modundan, paket üretimi moduna geçerken aradaki geçiş süresinde ses paketlerinin bir kısmını kaybetmesi ile meydana gelir ki bu da konuşma başlangıcında her iki tarafın kısa süreli birbirlerinin ilk sözlerini duyamamaları anlamına gelir.

## IV. SES KALİTESİNİN ÖLÇÜLMESİ

Bir önceki ünite de ses kalitesini etkileyen faktörler incelenmiştir. Bu ünite ses kalitesinin nasıl ölçülmesi gerektiği konusunda özet bilgiler verecektir.

Konuşma veya ses kalitesi hem öznel hem de nesnel metotlar vasıtasıyla ölçülebilir. Öznel ölçüm yöntemleri belirli sayıda deneğin ses örneklerini dinleyip derecelendirmesiyle şekillenir. Öznel metotlar yaygın olarak kullanılmakla birlikte zaman kaybına yol açmaları ve maliyetlerinin yüksek olması sebebiyle sıkıntı yaratabilmektedirler. Bu bölümde en yaygın öznel konuşma kalitesi ölçüm metodu olan Ortalama Düşünce Derecesi (Mean Opinion Score – MOS) konusuna değinilecektir.

Nesnel ölçüm yöntemleri makine bazlıdır ve bundan dolayı öznel metotlar gibi farklı bireylerin yorumlarını içermezler. Nesnel yöntemler ses kalitesini ölçerken gönderilen ve alınan sinyaller arasındaki nicel bozulmayı hesaba katarlar. ITU – T P.861 tavsiyesi olan Algısal Konuşma Kalitesi Ölçümü (Perceptual Speech Quality Measurement – PSQM) ve ITU – T P.862 tavsiyesi olan Konuşma Kalitesinin Algısal Değerlendirilmesi (Perceptual Evaluation of Speech Quality – PESQ) nesnel ses kalite ölçüm yollarından bazılarıdır. PSQM, kodeklerin kalitesini değerlendirirken, PESQ ise hem ses kodekleri hem de uçtan uca bağlantıları ölçümlerken kullanılabilir. Tezimizin ilgi alanına girmedikleri için nesnel ölçüm yöntemlerine daha fazla değinilmeyecektir.

Avrupa Telekomünikasyon Standartları Enstitüsü (European Telecommunications Standards Institute – ETSI) tarafından geliştirilen E – Model, ağ parametrelerine dayanarak bir ağdaki öznel ses kalitesi hakkında tahminde bulunabilir. Bu model MOS (Mean Opinion Score) testleri gibi öznel testlerin sonuçlarını öngörmeyi amaçlar. E – Model ITU – T standartları arasına G.107 adıyla girmiştir ve bu ünitenin ikinci kısmında açıklanacaktır.

### 4.1 Ortalama Düşünce Derecesi (Mean Opinion Score – MOS)

ITU – T P.800 tavsiyesinde kesin olarak belirtilen MOS, en sık kullanılan konuşma kalitesi ölçüm metotlarından biridir. Tablo – 16 ‘da listelendiği üzere MOS testleri bireylerin bir takım konuşma örneklerini dinleyip ses iletim kalitesine göre 1’den 5’e kadar olan (1 – kötü, 5 – mükemmel) puanları vermeleri esasına dayanırlar. Ses kalitesi öznel bir kavram olduğundan herkesin değerlendirme kriterleri de farklı olacaktır. Bu sebeple MOS testlerinde daha doğru sonuçlar elde edebilmemiz için geniş kapsamlı katılımcı gruplarına ve konuşma numunelerine ihtiyaç duyulmaktadır. Tabii ki, bu testlere bir çok kişiyi dahil etmek hem zahmetli hem de masraflı olacaktır.

MOS DERECESESİ	DİNLEME KALİTE ÖLÇEĞİ	DİNLEME ÇABA ÖLÇEĞİ
5	Mükemmel	Hiçbir çaba gerektirmez, hat mükemmel kalitededir.
4	İyi	Değer biçilecek seviyede çabaya gerek olmamakla birlikte dikkatli olunmalıdır
3	Yeterli	İlımlı orta seviyede çaba gereklidir.
2	Zayıf	Hatırı sayılır seviyede çabaya ihtiyaç vardır.
1	Kötü	Hatta kullanılabilir çabayla hiçbir bilgi anlaşılmamaktadır.

**Tablo – 16 MOS için Sınıflandırma Cetveli [7]**

MOS farklı ses kodeklerinin performansını nicelemeye yardımcı olur. Her bir ses kodeki için MOS dereceleri, aşağıda açıklandığı gibi MOS testlerinin yol göstericiliğiyle türetilirler. Tablo – 17, çeşitli ses kodeklerinin MOS değerlerini ihtiva etmektedir.

Voice Codec	Bit Rate (kbps)	MOS
G.711	64	4.1
G.726	32	3.85
G.728	16	3.61
G.729A	8	3.7
G.723.1	6.3	3.9
G.723.1	5.3	3.65

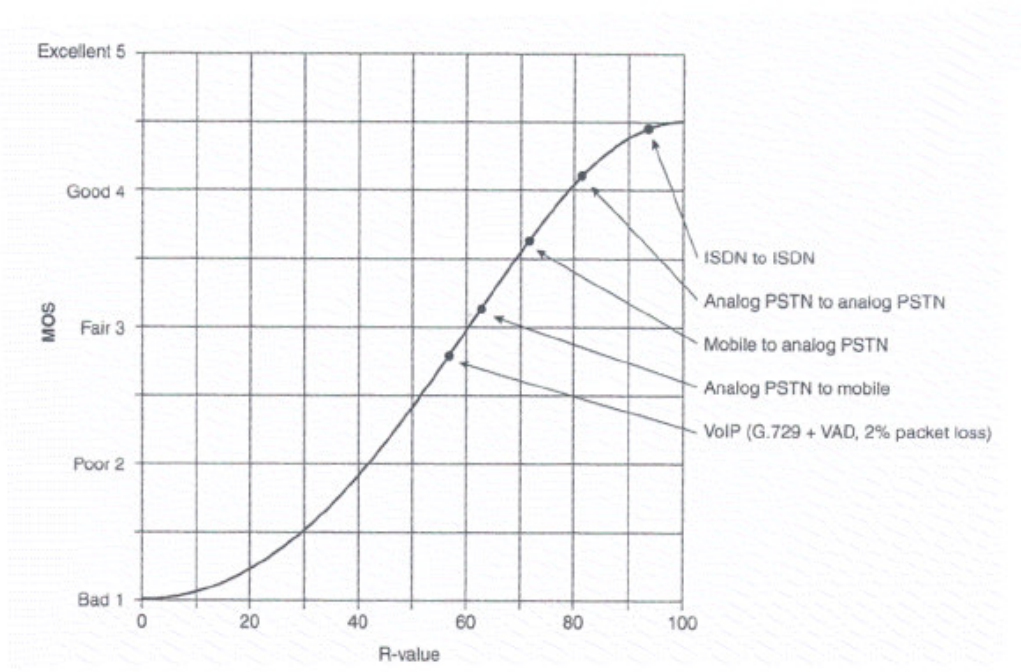
**Tablo – 17 ITU –T Kodek MOS Derecelendirmesi [14]**

#### 4.2 E - Model

ITU – T G.107 tavsiyesinde değinilen E – Model 0’dan 100’e kadar değişen R değerleri üretmektedir. R değerleri, MOS testleri gibi öznel testlerin sonuçlarını tahmin etme amacıyla kullanılabilirler ve bir R değeri arttıkça ses kalitesinin de arttığı anlaşılır. ITU – T G.109 tavsiyesinden türetilen Tablo – 18, R değerleriyle ilişkili oldukları konuşma kalitesi testlerini göstermektedir. Ek olarak, Şekil – 18’de R değerleriyle MOS dereceleri arasındaki bağıntıyı temsil etmektedir.

R Değer Aralığı	Kalite Kategorisi	Kullanıcı Memnuniyeti
$90 \leq R \leq 100$	En Yüksek	Çok Memnun
$80 \leq R \leq 90$	Yüksek	Memnun
$70 \leq R \leq 80$	Orta	Bazı Kullanıcılar Memnun Değil
$60 \leq R \leq 70$	Düşük	Çok Sayıda Kullanıcı Memnun Değil
$50 \leq R \leq 60$	Zayıf	Neredeyse Tüm Kullanıcılar Memnun Değil

**Tablo – 18 Konuşma Kalite Kategorilerine Göre Ayrılmış R Değerleri [7]**



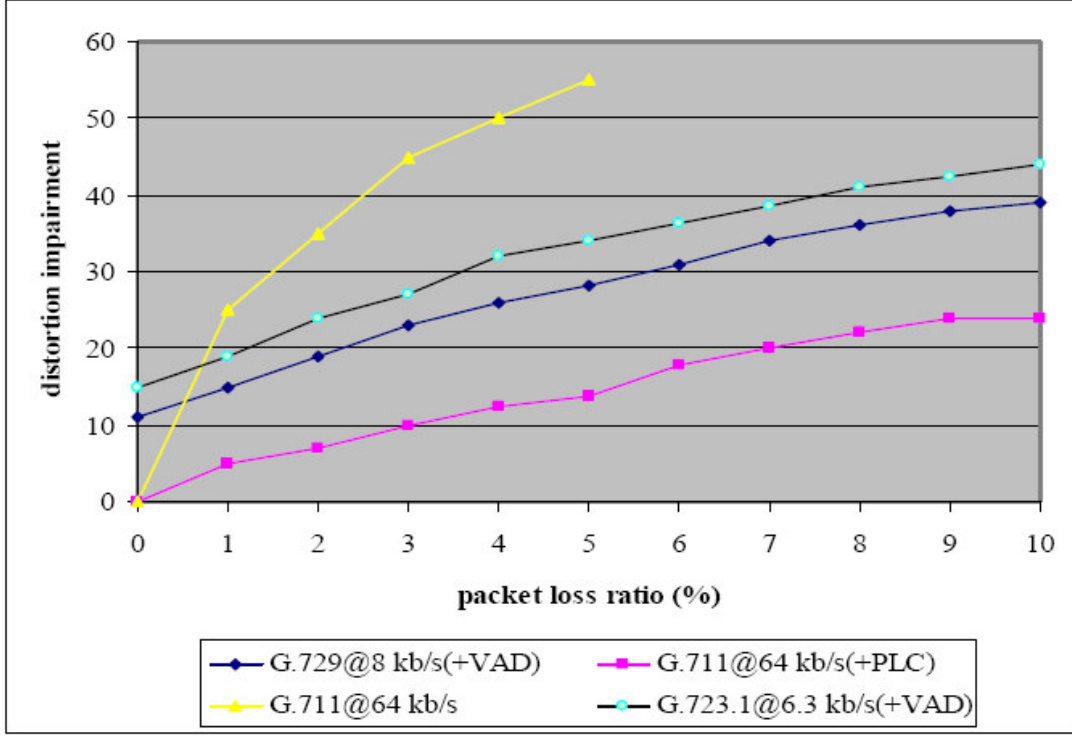
**Şekil – 18 MOS Dereceleri ile R Değerleri Arasındaki İlişki [7]**

R değerini elde etmede kullanılan denklem  $R = R_o - I_s - I_d - I_e + A$  şeklindedir. Denklem bileşenleri Tablo –19’da izah edilecektir.

KISALTMA	SEBEPLERİ
$R_o$	Oda gürültüsü (Gönderen ve alıcı taraftaki oda gürültüsü, devre gürültüsü)
$I_s$	Eşzamanlı sebepler (Aşırı yüksek ses, telefon görüşmesinde kişinin kendi sesini duyması, kuantalama bozulması)
$I_d$	Gecikme faktörleri (Konuşmacı yansıması, dinleyici yansıması, toplam gecikme)
$I_e$	Özel ekipman (Dalga formu olmayan düşük bitli kodekler, paket anahtarlamalı ağların etkileri)
A	Avantaj veya Beklenti Faktörü : Son kullanıcıların azaltılmış beklentisi
R	Hesaplanmış Planlı Kısaltma Faktörü : Kullanıcı memnuniyetinin beklenen Seviyesini işaret eder.

**Tablo – 19 E – Model’de Kullanılan R Değerinin Hesaplanması [7]**

$R_o$ , arka plan ve devre gürültü etkilerini muhteva etmektedir.  $I_s$ , sesle eş zamanlı oluşan kuantalama bozulması ve kişinin kendi sesini duyması gibi faktörleri barındırır.  $I_d$ , sestten sonra ortaya çıkan yankı tarzı gecikme etmenleriyle ilişkilidir.  $I_e$  ise düşük bit oranlı kodeklerin kullanımı sonucu meydana gelen bozulma katsayısıdır. Örneğin, Şekil – 19’da gösterildiği üzere her kodek, kendine has paket kayıp oranı arttıkça yükselen bir  $I_e$  değerine sahiptir. Beklenti çarpanı A ise faydalı bir durum oluşması sonucu beklentinin azalmasıdır. Kablosuz ağ kullanıcılarının konforundan dolayı kablosuz ağdaki düşük ses kalitesini kabul etmeleri bu duruma verilebilecek güzel örneklerdendir.



**Şekil – 19 Farklı Kodek Tipleri İçin Paket Kaybının Bir Fonksiyonu Olan Bozulma**

**Katsayısı  $I_e$  [8]**

Bu ünite, en sık rastlanan öznel ses kalitesi ölçüm metotlarından olan MOS'u açıklamış ve MOS testleri gibi öznel testlerin sonuçlarını tahmin amaçlı kullanılan E – Model'e değinmiştir. Bir sonraki kısım tezimizin ana gövdesi olup WestPlan yaklaşımıyla 6 farklı VoIP uygulama önerisini öncelikle sunacak ardından test edip simulasyon sonuçlarını analiz edecektir.

## V. İNTERNET PROTOKOLÜ ÜZERİNDEN SES AKTARIMI UYGULAMASI

Önceki 2 ünite de ses kalitesine etkiyen etmenlerle birlikte onları ölçmenin farklı yöntem bilimleri incelenmiştir. Ünite 3'te üzerinde durulduğu kadarıyla, ses kalitesini etkileyen ana hususlar gecikme, gecikme değişimi (jitter), paket kaybı, bağlantı hataları, yankı (echo) ve ses faaliyet algılama (VAD) 'dır. Bu bölüm ilk olarak VoIP tasarımı önerilerimizi sunacak, ardından 6 VoIP konfigürasyonunu WestPlan yazılım aracıyla test edip bu önerilerin etkilerini simülasyon aracılığıyla gösterecek ve son olarak da arz edilen konfigürasyon için test sonuçlarını analiz edecektir.

### 5.1 VoIP Ağları için Tasarım Önerileri

Tasarım önerilerine geçmeden önce yönetilebilirlik açısından 2 farklı VoIP ortamının vasıfları değerlendirilmelidir. Birinci ortam herhangi bir otorite tarafından yönetilmeyen İnternet, ikincisi ise Yerel Alan Ağları (Local Area Network – LAN) gibi kontrol edilebilen ve önceden tahmin edilebilen özel ağlardır.

İnternet milyonlarca kullanıcıya sahip binlerce ağın birleşiminden oluşur. Her gün yeni kullanıcılar ve ağlar, internetin sınırlı bant genişliğini kullanmak için oturma açmaktadır. Bu aşırı yüklenme, beraberinde gecikme, gecikme değişimi (jitter) ve paket kayıplarını da getiren tıkanmalara sebep olmaktadır. İlâveten, internetin bağlantısız protokolü IP sebebiyle, bireysel ses paketleri farklı güzergahlar üzerinden gidecekleri noktaya ulaşmakta bu da meseleyi daha da karmaşık hale getirmektedir. En önemlisi ise interneti kontrol edebilen tek bir otoritenin olmamasıdır. Tüm bu etmenler internetin sınırlı bant genişliği, güvenilmeyen ve öngörülemeyen etkileri yüzünden VoIP uygulamaları için cazibesini düşürmektedir. Haliyle, bu ünite de sunacağımız uygulama önerilerinin bir kısmı internet üzerinden VoIP için fazlaca uygulanabilir olmayacaktır.

VoIP uygulamaları için ikinci ve diğer ortam ise özel ağlardır. Özel ağlar internete göre daha fazla öngörülebilir, yönetilebilir bant genişliği sunmaktadırlar. Günümüzde özel ağlar (private networks) için VoIP teknolojisi daha yaygın hale gelmekte, birçok kurum ve kuruluş kendi ağlarına bu tekniği entegre etme yolunu seçmektedir. Aslında dikkatli bir ön uygulama denetimiyle oldukça başarılı çalışmalar yapmak mümkündür. Bu tip bir denetim ağ için bant genişliği tüketimi, paket kaybı, gecikme ve gecikme değişimi değerlerini içermelidir. Denetim sonucunda örneğin eski ağ anahtarlarını güncelleştirme veya ağın bant genişliğini arttırma gibi önlemler alınarak kabul edilemeyecek sonuçların önüne geçilmiş olur.

Tezin bundan sonraki kısımları ses kalitesinin negatif etkilerini azaltmak için sunacağımız önerilerden oluşacaktır. Yine de unutulmamalıdır ki bu öneriler VoIP çözümleri için sadece belirli bir aşamayı kapsamaktadır. Tamamıyla başarılı bir VoIP uygulaması; birlikte çalışabilirlik, güvenlik, servis kalitesi (Quality of Service – QoS) ve iletim ortamı konuları gibi daha detaylı uyulması gereken hususları da içermelidir. Saydığımız unsurlar tezimizin kapsamı dışındadır.

### 5.1.1 Sıkıştırılmış Gerçek-Zaman İletim Protokolü (Compressed Real-Time Transport Protocol – cRTP) Kullanılmalı

Daha önce de değinildiği gibi VoIP çağrılarının performansı ana olarak bant genişliğine bağlıdır, bu nedenle bant genişliği tasarrufu için yapılacak her çalışma çok önemlidir. Tablo – 20’de sunulduğu şekliyle ses paketlerinin, bant genişliğini verimsiz kullanmalarına sebep olan husus başlık bilgisinin getirmiş olduğu ek yüküdür (header overhead). Veri bağı katmanı (data link layer) başlığı hesaba katılmadan dahi sadece IP/UDP/RTP başlığı toplam 40 byte’lık bir ek yüküdür.

VERİ BAĞI BAŞLIĞI	IP BAŞLIĞI	UDP BAŞLIĞI	RTP BAŞLIĞI	SES PAKETİ KISMI
Veri bağı katmanı protokolüne bağımlı olarak değişebilir.	20 byte	8 byte	12 byte	Kullanılan kodeke göre değişebilir.

**Tablo – 20 cRTP Kullanılmadan Oluşan Başlık Bilgisi Ek Yükü**

Varsayılan değer olarak sesin ana kısmının düşük bit oranlı kodeklerle 20 byte olduğu düşünüldüğünde, IP/UDP/RTP başlık bilgisi büyüklüğünün esas ses büyüklüğünden 2 kat fazla olduğu gerçeği ortaya çıkmaktadır. Diğer bir deyişle bant genişliğinin 2/3’ü başlık bilgisini taşıma uğruna harcanmaktadır. Bu soruna çözüm olarak IP/UDP/RTP başlık bilgisini 40 byte’tan 2 veya 4 byte ‘a sıkıştırabilen cRTP (Sıkıştırılmış Gerçek – Zaman İletim Protokolü) kullanımı çözüm olabilir (Tablo – 21). Bu kayda değer tasarruf, her ses paketinin IP/UDP/RTP başlıklarının tamamının gönderilmesi yerine yalnızca başlık bilgisinin değişen kısımlarının (sıra numarası bilgisi vb.) gönderilmesi esasına dayanır.[15]



VERİ BAĞI BAŞLIĞI	IP BAŞLIĞI	UDP BAŞLIĞI	RTP BAŞLIĞI	SES PAKETİ KISMI
Veri bağı katmanı protokolüne bağımlı olarak değişebilir.		2 veya 4 byte		Kullanılan kodeke göre değişebilir.

**Tablo – 21 cRTP Kullanılınca Oluşan Başlık Bilgisi Ek Yükü**

UDP protokolünde Dönüşsel Fazlalık Kontrolü (Cyclic Redundancy Check – CRC) alanı kullanılıp kullanılmamasına göre cRTP 2 veya 4 byte'lık başlık bilgisi üretir. CRC alanı hata kontrolü amaçlı kullanılan ve 2 byte yer kaplayan bir kısımdır. Veri Bağı Katmanı Protokolleri genellikle aynı amaçlı CRC alanını içerdiklerinden, cRTP kullanılırken UDP'nin bu alanı seçilemez kılmak iyi bir fikirdir. Bu işlem başlık bilgisini 4 byte'tan 2 byte'a düşürür ve VoIP için hatırı sayılır bir bant genişliği kazancı sağlar. İster 2 ister 4 byte olsun, cRTP kullanımı ciddi kazanımlar sağlamaktadır. cRTP hakkında unutulmaması gereken son nokta cRTP'nin karşılıklı bağlantı temelli olmasına binaen görüşmedeki her iki ucun da cRTP için konfigüre edilmesi gereğinin ortaya çıkmasıdır.

### **5.1.2 Ses Faaliyet Algılama (Voice Activity Detection – VAD) Aktif Hale Getirilmeli**

VAD, konuşma sırasında sessiz geçen dönemleri algılayan ve bu periyotlar süresince ses çerçeve üretimini askıya alan bir tekniktir. Olağan insan görüşmeleri bir tarafın konuşurken diğerinin dinlemede olduğu yarı çift-yönlü (half-duplex) görüşmeler oldukları için VAD %50'ye varan bant genişliği tasarrufu sağlayabilmekte ve bu da kayda değer bir iyileştirme olmaktadır. Doğal olarak VoIP ağlarında VAD'ın aktive edilmesi yüksek oranda önerilmektedir. Ünite 3'ten hatırlanacağı gibi VAD'ın sessizlik sıkıştırması (silence suppression) modundan paket üretimi moduna geçtiği durumlarda konuşmanın başlangıç kısımlarındaki ses paketleri kaybolabilmektedir. Bu durum ön uç kırılması olarak bilinir (front end clipping). Diğer bir sorun ise VAD'ın sesle arka plan gürültüsünü ayırmada yaşadığı büyük güçlüklerdir. Hatta tamamen sessizlik olması durumunda, tarafların birinde veya her ikisinde bağlantının kopmuş olabileceği fikrinin uyanması da akılda tutulması gereken hususlar arasındadır. Bundan dolayı sessizlik periyotları boyunca hatta az miktarda

gürültü işareti gönderimi uygundur. Sessizlik Ekleme Tanımı (Silence Insertion Description - SID) paketleri, sessizlik dönemlerinde üretilerek bahsedilen sorunu hafifletmede kullanılırlar.

Tablo – 22, VAD ve cRTP kullanımı sonucu oluşan bant genişliği kazancını göstermektedir. İlk olarak, her kodemin cRTP ve VAD aktive edilmeden tükettiği bant genişliği ifade edilmiş ardından cRTP sunulunca oluşan durum göz önüne serilmiş, son olarak da cRTP ve VAD birlikte kullanılmıştır. Ses Faaliyet Algılama (VAD), %65'e ayarlı olarak bırakılmıştır ki bunun anlamı çağrı süresinin %65'i boyunca karşılıklı ses paketi dönüşümünün olduğu yani bant genişliğinden çağrı süresinin %35'inde paket gönderimi askıya alınarak tasarruf yapılacağıdır. İhtiyaç duyulan bant genişliğinin (required bandwidth) hesaplanması bu ünite de ilerleyen bölümlerdeki test sonuçları başlığı altında incelenecektir.

Codec	Codec Bit Rate (kbps)	Payload Size (Byte)	IP/UDP/RTP Header Size (Byte)	VAD (65%)	Required Bandwidth (kbps)
G.711	64	160	40	—	82.955
G.711	64	160	4 (CRTP)	—	68.52
G.711	64	160	2(CRTP)	Yes	45.8
G.729B	8	20	40	—	26.955
G.729B	8	20	4(CRTP)	—	12.52
G.729B	8	20	2(CRTP)	Yes	9.439
G.723.1	5.3	20	40	—	18.022
G.723.1	5.3	20	4(CRTP)	—	8.387
G.723.1	5.3	20	2(CRTP)	Yes	6.354

**Tablo – 22 Değişik Kodex Tiplerinde cRTP ve VAD Kullanımı Sonucu Ortaya Çıkan Bant Genişliği Kazanımları**

### 5.1.3 Payload Mümkün Olduğunca Küçük Tutulmalı

VoIP uygulamaları için gecikme büyük önem taşıdığından bu uygulamalar paketin sesi taşıyan bölümünün (payload) doldurulması ve gönderilmesi esnasında işlenilen gecikmenin önüne geçebilmek adına mümkün olduğunca küçük ses verisi kısmı (payload) yaratmalıdırlar. Bilindiği üzere büyük ses verileri içeren çerçevelerin seçimindeki amaç bant genişliğini daha verimli kullanmaya dayanır. Küçük ses paketlerinin kullanımı ise esas ses verisinin azlığının yanında birçok başlık bilgisinin olacağı anlamına gelmektedir ki bu da bant genişliği kapasitesinin verimsiz olarak ele alınması sonucunu doğuracaktır. Kısaca, burada bant genişliği kullanım verimliliğiyle, gecikme süresi yani ses kalitesi arasında bir tercih söz konusudur. Bununla birlikte yukarıda açıklandığı gibi cRTP kullanımının başlık ek yükünü (header overhead) ciddi oranda azalttığı unutulmamalıdır.

Müteakip örneğimizde ses veri (payload) büyüklüğünün arttırılmasıyla sıralama gecikmesinin nasıl artacağı ifade edilecektir. Elimizde 160 byte ( $160 * 8 = 1280$  bit) ve 720 byte ( $720 * 8 = 5760$  bit) büyüklüğünde 2 ses verisi olduğunu varsayalım. İlk verdiğimiz büyüklük G.711 kodekleri için varsayılan değerken diğer i yine G.711 kodekleri için olası seçeneklerden biridir. İlaveten, kaynak ve alıcı nokta arasındaki transmisyon ortamının iletim hızının da 64 kbps olduğunu farz edelim. Ses verisi byklklerimiz hattın hızına böldüğümüzde 1.veri için kaynak kullanıcının veriyi gönderebilmesi ( $1280 \text{ bit} / 64 \text{ kbps} = 20 \text{ ms}$ ) iken büyük ses verisinde bu durum ( $5760 \text{ bit} / 64 \text{ kbps} = 90 \text{ ms}$ ) olmaktadır. İki durum arasındaki fark 70 ms olarak gözükmekte ve bu da ses için çok büyük bir gecikme anlamına gelmektedir. nite 3'te tartışıldığı gibi, uçtan uca gecikmeyi etkileyen birçok faktör mevcuttur ve bizim örneğimizde sadece sıralama gecikmesi 70 ms fark yaratmaktadır. VoIP uygulamalarında PSTN'e yakın ses kalitesi için kabul edilebilir gecikmenin 150 ms olduğu düşünüldüğünde 70 ms'nin önemi daha da çok anlaşılacaktır.

### 5.1.4 Uyarlamalı (Adaptive) Gecikme Değişimi (Jitter) Tamponu Kullanılmalı

Gecikme değişimi (jitter) nceki kısımlarda vurgulandığı üzere varış noktasında ses paketlerinin ulaşım hızlarının (gecikmenin) değişimi olarak tanımlanmaktadır. Gecikme değişiminin oluşma sebebi, başlı başına her paketin varış noktasına giderken değişik güzergahları takip etmesi bu güzergahların da farklı gecikmelere neden olmasıdır. Bu sebeple, varış noktalarına ulaşan ses paketleri hemen o an ses olarak alıcı kulağına iletilemezler. Gecikme değişimi tamponu kullanılarak gelen ses paketleri kısa bir süre saklanıp daha sonra sabit bir hızla işlem yapılarak ses çerçevelerinin düzgün ve sıralı olarak duyulması sağlanabilir.

Gecikme değişimi tamponlarını çok düşük ayarlamak paket kayıplarına sebep olabilirken çok yüksek ayarlamak da gereksiz gecikmeler yaratabilmektedir. Bununla birlikte gecikme bazı ağlarda zamanla değişebilen bir parametre olduğundan ideal bir tamponu önceden normal zamanlamaya ayarlanmışken belirli bir süre sonunda ağın değişen gecikme karakteristiği sebebiyle tampon çok düşük veya çok yüksek hale gelebilir.

Gecikme değişimi tamponlarının gereksiz gecikme ve paket kaybına yol açmamaları için statik yerine uyarlamalı (adaptive) olmaları tavsiye edilebilir. Bunu gerçekleştirebilmenin yolu varış noktasına gelen paketlerdeki zaman damgalarını (time stamp) görüntüleyip tampon büyüklüğünü ona göre uyarlamaya dayanır. Bahsettiğimiz tarzdaki uyarlamalı tamponların kullanımı internet gibi değişen karakterli gecikmeye sahip ortamlarda can alıcı öneme sahiptir.

#### 5.1.5 Uygun Kodek Seçilmeli

Kodlayıcı / Kod Çözücü (Coder / Decoder) anlamına gelen kodek (codec) analog ses işaretini sayısallaştırma ve tersi işlevlerini yerine getirir. Kodeklerin akıllıca seçimi başarılı bir VoIP uygulaması yaratabilmek için çok önemlidir. Ünite 3'teki Tablo – 8, birçok kodekin değişik karakteristiklerini göstermektedir.

Codec	Bit Rate (kbps)	Codec processing delay (ms)	Lookahead Time (ms)
G.711	64	0.75	0
G.726	32	1	0
G.728	16	3 to 5	0
G.729A	8	10	5
G.723.1	6.3	30	7.5
G723.1	5.3	30	7.5

**Tablo – 8 Çeşitli Ses Kodeklerinin Karakteristikleri ( [9] ve [10] )**

Bant genişliği kapasitesi sistem için önemli bir sorun haline geldiğinde düşük bit oranlı kodlar tercih edilmelidir fakat bu kodların karmaşık sıkıştırma algoritmaları nedeniyle yüksek gecikmeye neden oldukları da unutulmamalıdır. Ses sinyallerinin sıkıştırılması bant genişliği ihtiyaçlarını azaltmakla birlikte daha yüksek işlem zamanları ve gecikme doğal olarak düşmüş ses kalitesi anlamına gelmektedir. Bu noktada G.726 ve G.728 kodları bant genişliği tüketimi / işlem gecikmesi açısından orta seviyede bulduklarından tavsiye edilebilirler.

Dikkat edilmesi gereken diğer bir önemli husus da ağda patlamalı trafik / hatalar (bursty traffic / errors) yaygınsa düşük bit oranlı kodların tercih edilmemesi gerektiğidir. Düşük bit oranlı kodlar az bit kullanarak çok bilgi taşıdıklarından patlamalı hatalar fazlaca ses kaybına yol açabilirler.

Özetlemek gerekirse bant genişliği ve ses kalitesi arasındaki seçim işlem gücü, istenilen ses kalitesi ve ağı bant genişliği ihtiyaçları düşünülerek dikkatlice yapılmalıdır.

#### **5.1.6 Yankı Bastırıcı Kullanılmalı**

Yankı, ağda iletimde olan elektriksel işaretin uçların birinden yansımadır. Kullanıcı açısından bakıldığında ise yankı, telefon ahizesinden kendi sesimizin duyulmasından başka bir şey değildir ve önceki ünitelerde de üzerinden geçildiği gibi 4-telli ağ cihazları bağlantılarıyla 2-telli telekom operatörlerinin şebekeleri arasındaki empedans uyumsuzluğu sebebiyle ortaya çıkar.

Yankı yansıyan işaretin gecikme süresine binaen faydalı da zararlı olabilir. 20 ms'e kadar olan gecikme süresine sahip yankı çeşitleri (sidetone) kişinin telefon ahizesinden kendi sesini duymasının sağlayacaktır ki bu da konuşan tarafa sesinin iletiildiği hissini verdiğinden faydalı bir yankı çeşididir. Ancak 25 ms ve üzeri gecikme süresine sahip yankı görüşme esnasında kesilmelere sebep olacağından yankı bastırıcılar vasıtasıyla bastırılmalıdır.

Yankı bastırıcılar üzerlerinden geçen ses sinyallerinin ters çevrilmiş modellerini belirli bir zaman aralığı boyunca saklayarak alıcı uçtan geri gelen yankı işaretini bu sakladıkları ters çevrilmiş modellerle birleştirip yankıyı söndürürler. Ek olarak çok fazla işlem zamanı gerektirmemeleri, birkaç ms'nin bile önemli olduğu ses haberleşmesinde yankı bastırıcıların cazibesini arttırmaktadır. Ünite 3'teki Tablo – 14, değişik kod tipleri için yankı bastırıcı ve bastırmasız tolere edilebilir gecikmeleri sunarak yankı bastırıcıların önemini vurgulamaktadır.

	EL = 51 dB	EL = ∞
(a) Packet loss ratio = 0.1%		
G.711 @ 64 kb/s	282	373
G.711 @ 64 kb/s (+PLC)	296	397
G.729 @ 8 kb/s (+VAD)	221	284
G.723.1 @ 6.3 kb/s (+VAD)	192	250
(a) Packet loss ratio = 1%		
G.711 @ 64 kb/s		
G.711 @ 64 kb/s (+PLC)	264	345
G.729 @ 8 kb/s (+VAD)	195	253
G.723.1 @ 6.3 kb/s (+VAD)	145	221
(a) Packet loss ratio = 5%		
G.711 @ 64 kb/s		
G.711 @ 64 kb/s (+PLC)	195	253
G.729 @ 8 kb/s (+VAD)		
G.723.1 @ 6.3 kb/s (+VAD)		

**Tablo – 14 Geleneksel Devre Anahtarlamalı Ses Kalitesinin Değişik Durumlar Altında Elde Edilebildiği ms Cinsinden Ağızdan-Kulağa (Mouth-to-Ear) Gecikme Değerleri. Boş Alanlar O Değerlerde PSTN Kalitesine Ulaşamadığını Gösterir. [8]**

## 5.2 Simülasyonun Açıklanması

Bu bölüm 6 farklı VoIP konfigürasyonunu açıklamakta ve analiz etmektedir. Test amaçlı yazılım aracı olarak Westbay Engineers Ltd. of Crawley, UK. [12] firmasının geliştirdiği, tezimizin isminde de yaklaşım tarzıyla atıfta bulunduğumuz WestPlan kullanılmıştır.

Konfigürasyonlar 3 çeşit kodek kullanılarak yapılmışlardır (Yüksek Bit Oranlı, Düşük Bit Oranlı ve En Düşük Bit Oranlı). İlaveten her kodekin ilk olarak başlık sıkıştırmanın kullanıldığı (header compression) ve ses faaliyet algılamasının (voice activity detection – VAD) aktive edildiği, ikinci olarak da sıkıştırılmamış başlık bilgisiyle birlikte VAD'ın seçili kılınmadığı durumların yer aldığı 2 farklı konfigürasyonu olacaktır. Tek istisnai durum WestPlan yazılım aracının G.711 kodeki için VAD'ı desteklememesi sonucu bu kodekte her 2 konfigürasyonda da VAD'ın kullanılmamasıdır. Tablo – 23 bu bölümde incelenecek olan konfigürasyonları tanımlamaktadır.

KONFIGÜRASYON	KODEK	BAŞLIK	VAD
1	Yüksek Bit Oranlı	Sıkıştırılmamış	Seçili Değil
2	Yüksek Bit Oranlı	Sıkıştırılmış	Seçili Değil
3	Düşük Bit Oranlı	Sıkıştırılmamış	Seçili Değil
4	Düşük Bit Oranlı	Sıkıştırılmış	Seçili
5	En Düşük Bit Oranlı	Sıkıştırılmamış	Seçili Değil
6	En Düşük Bit Oranlı	Sıkıştırılmış	Seçili

**Tablo – 23 Test Konfigürasyonları**

Simülasyon, bir firmanın coğrafi olarak 2 ayrı noktasının bulunduğu ve o 2 nokta arasındaki trafiğin en meşgul olduğu saatte 100 çağrı kanalına ihtiyaç duyulduğunu varsaymaktadır. Bu ise 84 erlang'lık bir trafik anlamına gelmektedir. Erlang, telekomünikasyon sektöründe trafik ölçümlerinde kullanılan bir birimdir [12] ve 1 saat içinde toplam trafik yoğunluğunu ifade etmede kullanılır. Aşağıda basit bir erlang hesabı verilmiştir:

Ağda 1 saat içinde dakika bazındaki trafik = Çağrı Sayısı \* Ortalama Çağrı Süresi

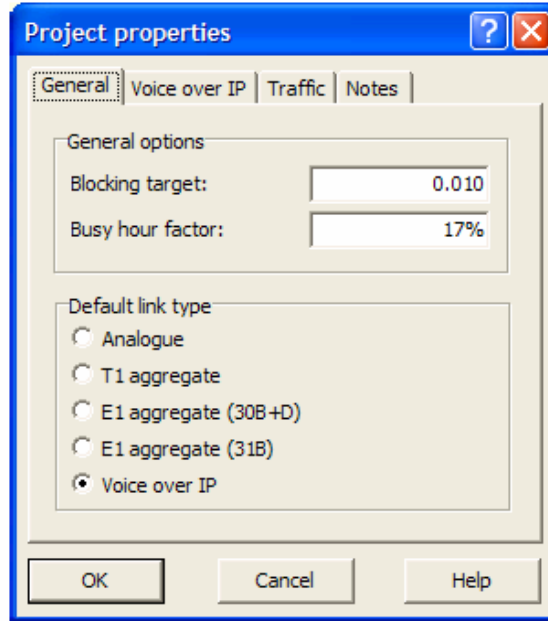
Ağda 1 saat içinde dakika bazındaki trafik = 1260 \* 4 = 5040 dakika

Ağda 1 saat içinde saat bazındaki trafik = 5040 / 60 = **84 erlang**

2 nokta 1,544 Mbps hızında çalışan T1 kiralık devresiyle (leased line) bağlanmaktadır. Veri bağı katmanı protokolü olarak 7 byte başlık ek yüküne sahip olan Noktadan Noktaya Protokolü (Point-to-Point Protocol – PPP) seçilmiştir.

Simülasyonda kullanılan kodekler G.711, G.729B ve G.723.1 'dir. Simülasyon için G.729B ve G.723.1 kodeklerinin seçilmelerinin nedeni her 2 kodekin de düşük bit oranlı ve yaygın kullanılan ayrıca sıkıştırma algoritmalarıyla ciddi seviyede bant genişliği tasarrufu sağlayan algoritmalar olmalarıdır. 64 kbps'de çalışan G.711 kodeki de ses sıkıştırması yapmamasıyla ilişkili olarak doğabilecek bant genişliği kullanımı verimsizliğini ispatlayabilmek amacıyla ele alınmıştır. G.711 ve G.729B kodekleri için simülasyondaki varsayılan paket aralığı zamanı 20 ms iken, G.723.1 kodeki için 30 ms'dir.

Şekil – 20, test konfigürasyonları için bloklama hedefi (blocking target) ve meşgul saat faktörünü (busy hour factor) göstermektedir. Bloklama hedefi %0,1 olarak seçilmiş yani her 1000 çağrıdan 1'inin bloklanabileceği düşünülmüştür. Meşgul saat faktörü ise %17'ye ayarlanarak günlük trafiğin %17'sinin günün en meşgul saatinde oluşacağını ele alınması uygun görülmüştür.

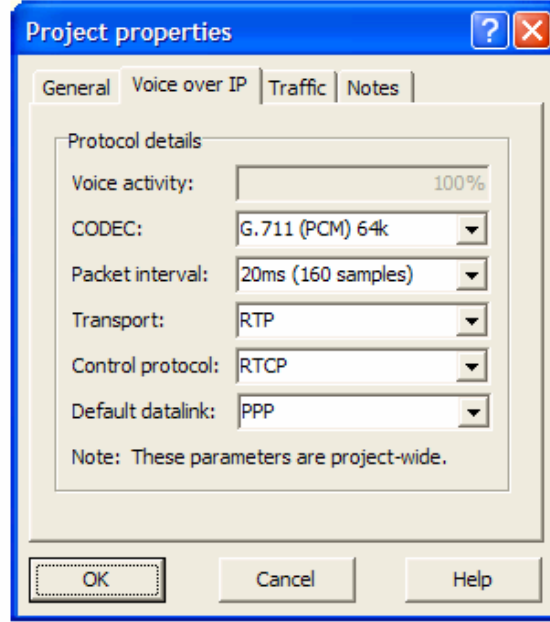


**Şekil – 20 Bloklama Hedefi ve Meşgul Saat Faktörü**

Her bir kodek 2 farklı konfigürasyonla test edilmiştir ki bunların biri bant genişliğini verimsiz kullanan diğeri ise verimli kullanan durumlardır. İlk konfigürasyon olağan hiçbir sıkıştırılmanın yapılmadığı 40 byte'lık RTP/UDP/IP başlık bilgisini ve kontrol protokolü

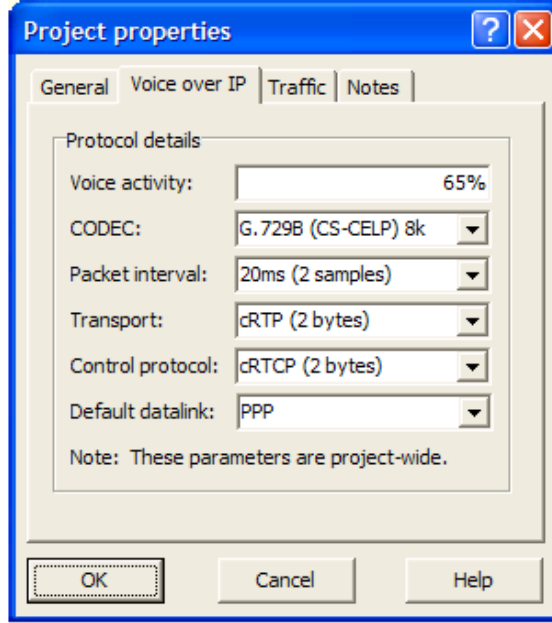


olarak da RTCP'yi seçmiştir. İlâveten bu konfigürasyonda VAD aktive edilmemiştir. G.711 kodeki için örnek konfigürasyon Şekil – 21'de gösterilmektedir.



**Şekil – 21 Bant Genişliğini Verimsiz Kullanan Konfigürasyon**

İkinci konfigürasyon 2 byte'lık cRTP başlığını ve cRTCP'yi kullanmaktadır. Ayrıca VAD %65'e ayarlanarak bant genişliğinde takribi olarak %35 tasarruf yapılması hedeflenmiştir. Şekil – 22, G.729B kodeki için örnek konfigürasyonu göstermektedir. Bu konfigürasyonda bir tek G.711 kodekinde VAD'ın desteklenmemesi sonucu istisna ortaya çıkmaktadır.



**Şekil – 22 Bant Genişliğini Verimli Kullanan Konfigürasyon**

Seçilmiş olan 3 kodeke iki konfigürasyonun uygulanması sonucuyla 6 farklı durum elde edilmiştir. Test edilecek bu 6 konfigürasyon Tablo – 24’te özetlenmiştir.

Configuration #	Codec	Codec Bit Rate (kbps)	Transport Protocol	Control Protocol	Voice Activity
1	G.711	64	RTP	RTCP	100%
2	G.711	64	CRTP	CRTCP	100%
3	G.729B	8	RTP	RTCP	100%
4	G.729B	8	CRTP	CRTCP	65%
5	G.723.1	5.3	RTP	RTCP	100%
6	G.723.1	5.3	CRTP	CRTCP	65%

**Tablo – 24 Test Konfigürasyonları**

### 5.3 Simülasyonun Sonuçları

WestPlan programıyla 6 farklı konfigürasyonun çalıştırılmasının ardından Tablo – 25’teki sonuçlar elde edilmiştir. Kanal başına bant genişliği (bandwidth per channel), bir ses kanalı için ihtiyaç duyulan bant genişliğini, kullanılabilir kanal sayısı (available number of channels) 1.544 kbps’lık kullanılabilir bant genişliği kapasitesiyle oluşturulabilecek kanal sayısını, bloklama deneyimi (blocking experienced) yetersiz bant genişliği sebebiyle bloklanan kanalların yüzde cinsinden değerini ve optimum bant genişliği (optimum bandwidth) de 84 erlang’lık trafiği kaldırabilmek için ihtiyaç duyulan toplam bant genişliğini ifade etmektedir.

Configuration #	Bandwidth per channel (kbps)	Available # of channels	Blocking experienced	Optimum bandwidth (Mbps)
1	82.960	18	78.9%	8.296
2	67.714	22	74.2%	6.772
3	26.955	57	34.3%	2.696
4	9.439	163	0%	0.944
5	18.022	85	7.5%	0.181
6	6.354	243	0%	0.636

**Tablo – 25 Konfigürasyonlar için Test Sonuçları**

WestPlan programı bu hesaplamaları bazı varsayımlara ve kullanıcı olarak bizim girdiğimiz verilere dayanarak yapmaktadır. Aşağıdaki paragraflarda hesaplamaların nasıl yapıldığı 1. konfigürasyonun hesaplamaları örneklenerek açıklanacaktır.

Önceden beyan edildiği gibi tüm konfigürasyonlar için bloklama hedefi %0.1 ve meşgul saat faktörü %17’dir. Kullanılabilir bant genişliği 1. 544 kbps ve meşgul saat trafiği 84 erlang’tır. Bu konfigürasyonun ses faaliyet algılaması %100’e ayarlanmış yani VAD aktive edilmemiştir.

#### **Saniye Başına Ses Verisi Taşıyan IP paketlerinin Sayısı (Number of IP Datagrams Containing Voice Per Second)**

Seçilen zaman aralığı 20 ms ve Ses Faaliyet Algılaması (VAD) da %100 olarak ayarlandığından, 1 saniyede ( 1 sn = 1000 ms ;  $1000 / 20 = 50$  datagram) 50 tane aktif ses örneği taşıyan IP paketi üretilmektedir.

#### **Her Paketteki Ses Verisinin (Payload) Büyüklüğü**

Her bir datagramdaki ses verisinin ana kısmının (payload) büyüklüğü G.711 (PCM) 64k sıkıştırma şeması kullanımı sebebiyle 1280 bit (160 byte) olmaktadır.

### **Her Bir Ses Paketinin Toplam Büyüklüğü**

IP, UDP ve RTP 320 bitlik (40 byte) ek yük getirerek her bir ses paketinin toplam büyüklüğünü (160 + 40 = 200 byte / 1600 bit) yapmaktadır.

### **Sessizlik Ekleme Tanımı (Silence Insertion Description – SID) Paketleri Üretimi**

Ses Faaliyet Algılama %100'e ayarlandığı için herhangi bir SID çerçevesi iletilmeyecektir.

### **RTCP Paket Büyüklüğü ve Frekansı**

RFC 1889'da önerildiği üzere her saniyede 0,2 kontrol paketi üretilmekte ve RTCP veri büyüklüğü 496 bit (62 byte) olmaktadır. İlaveten IP ve UDP başlıkları 224 bitlik (28 byte) bir ek yük getirmekte ve RTCP IP paketlerinin toplam boyutu (62 + 28 = 90 byte / 720 bit ) olmaktadır.

### **PPP Başlık ve Çerçeve Boyutları**

Her PPP çerçevesi IP paketlerine ek olarak 56 bitlik (7 byte) bir yük getirmektedir. Dolayısıyla PPP çerçeve büyüklükleri;

Ses IP Paketleri Taşıyan PPP Çerçeveleri = 1600 + 56 = 1656 bit (207 byte)

RTCP IP Paketleri Taşıyan PPP Çerçeveleri = 720 + 56 = 776 bit (97 byte) olmaktadır.

### **Her Bir Ses Kanalı için İhtiyaç Duyulan Bant Genişliği**

İletilen paketlerin büyüklükleriyle frekanslarını çarptığımızda her bir çeşit çerçeve tipinin işgal ettiği bant genişliğini aşağıdaki şekilde bulmuş oluruz:

Ses Bant Genişliği = 1656 \* 50 = 82,8 kbps

SID Bant Genişliği = 0 kbps

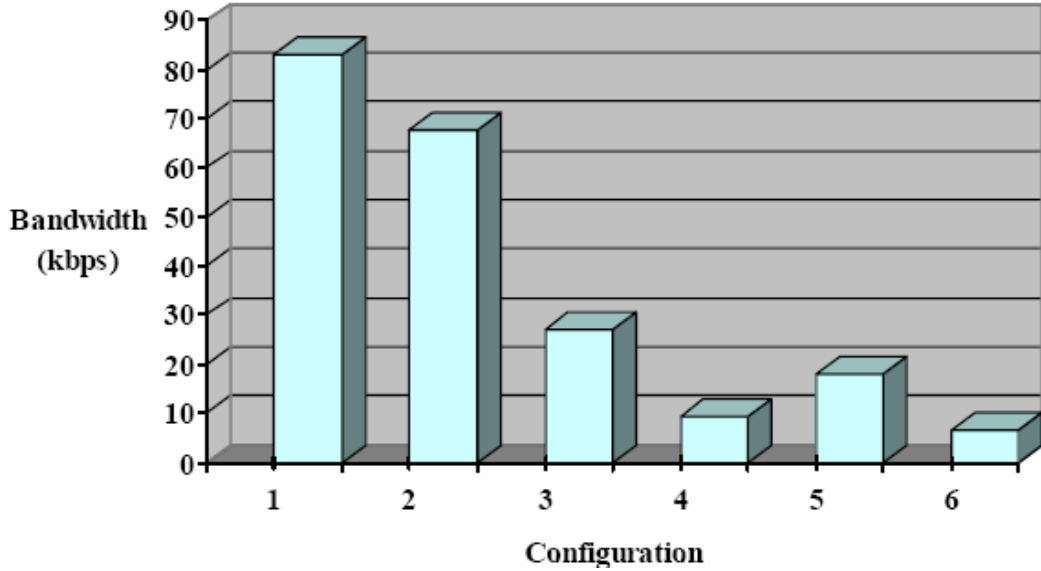
RTCP Bant Genişliği = 776 \* 0.2 = 0.155 kbps

Bir Ses Kanalı Başına Düşen Toplam Bant Genişliği = 82,8 + 0.155 = **82,955 kbps**

#### 5.4 Simülasyon Sonuçlarının Analizi

Bu bölümde Tablo – 25 ‘te sunulan test sonuçlarını analiz edilecektir. Şekil – 23, 6 konfigürasyonun tamamı için ayrı ayrı ihtiyaç duyulan bant genişliklerini tasvir etmektedir. İlk hatırd tutulması gereken nokta sıkıştırma yapmayan G.711 kodekini kullanan konfigürasyon 1 ve 2’nin, devre anahtarlamalı şebekelerin harcadığı bant genişliği olan 64kbps’i aştığıdır. Yani diğer bir deyişle bant genişliği tüketimi açısından bu iki konfigürasyon devre-anahtarlamalı ağlardan bile kötü performans sergilemiştir.

Diğer bir önemli husus ise cRTP ve VAD kullanılmadan dahi düşük bit oranlı kodelerin hatırı sayılır ölçüde bant genişliği tasarrufu sağladığı gerçeğidir. Konfigürasyon 3 ve 5’te sırasıyla **26,955** ve **18,022 kbps** bant genişliği harcanmaktadır. cRTP ve VAD’ın yeteneklerinin eklenmesiyle konfigürasyon 4 ve 6’da sırasıyla **9,439** ve **6,354 kbps** ‘lık bant genişliği tüketimi mevcut olmuştur. Tabii ki bu büyük oranda kazançlar beraberinde daha fazla işlem zamanı ve daha az anlaşılabilir bir ses kalitesini de getirmiştir. Bununla birlikte gecikme 150 ms’den az olduğu ve bağlantılarda hata bulunmadığı sürece saydığımız konfigürasyonlar belirli bir ağın ihtiyaçlarına karşılık verebilecek niteliktedirler.

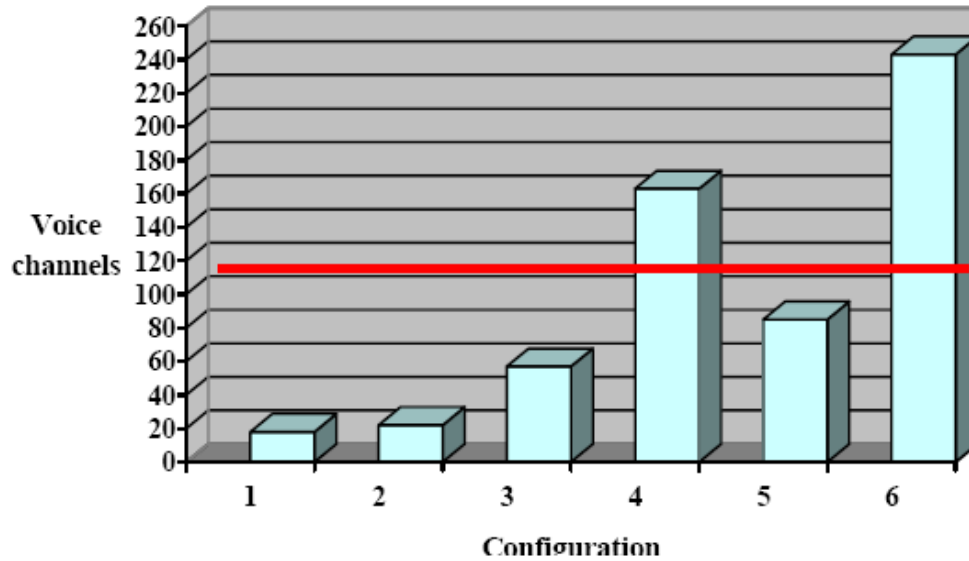


Şekil – 23 Her Bir Ses Kanalı Başına Harcanan Toplam Bant Genişliğinin Kbps Cinsinden İfadesi

Şekil – 24, her bir konfigürasyon için kullanılabilir durumda olan ses kanalı sayısını ifade etmektedir. Akılda tutulması gereken önemli bir nokta bu hesaplamaların tüm bant genişliği kapasitesinin sadece ses haberleşmesi için tahsis edildiği durumlarda yapıldığıdır. Mamafih, olağan haberleşme ağlarında kullanılabilir bant genişliğinin belirli bir kısmı network yönetimi için ayrılmalıdır.

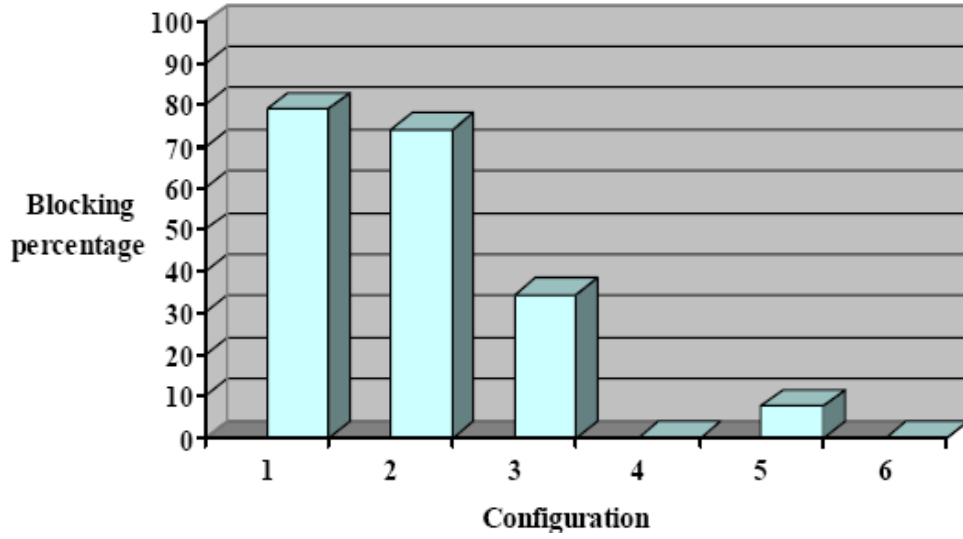
Şekil – 24’teki kalın çizgi şirket için gerekli olan 100 kanalı işaret etmektedir. Yine cRTP kullanarak veya kullanmayarak konfigürasyon 1 ve 2 ‘nin yani G.711 kodekinin şirketin ihtiyaçlarını karşılamadığı açıktır. Konfigürasyon 1 ve 2 sırasıyla **18** ve **22** kanal sağlamaktadırlar ki bir T1 hattıyla devre anahtarlamalı ağlar dahi **24** kanal sunmaktadırlar.

Diğer önemli bir konu düşük bit oranlı kodeklerin bile cRTP ve VAD kullanmadan (konfigürasyon 3 ve 5’te) firmanın talebine karşılık veremedikleri görülmektedir. Bununla birlikte cRTP ve VAD’ın sisteme katılmasıyla (konfigürasyon 4 ve 6) kanal sayısı hatırı sayılır biçimde artmaktadır. Örneğin G.723.1 kodekinin kullanılabilir kanal sayısı konfigürasyon 5’ten 6’ya geçtiğimizde **85**’ten **243** ‘e çıkarak cRTP ve VAD kullanımının VoIP sistemleri üzerinde ne denli büyük etkiler yapabileceğini göstermektedir.

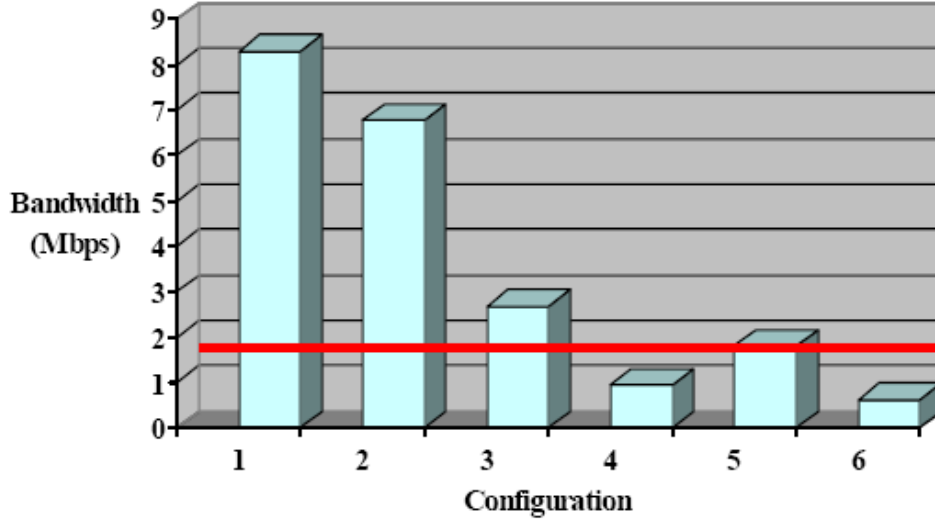


**Şekil – 24 T1 Hattı Üzerindeki Kullanılabilir Bant Genişliği ile Sağlanan Toplam Ses Kanalı Sayıları**

Şekil – 25, yetersiz ağ kapasitesi yüzünden engellenen (bloklanan) çağrılarının yüzdesini göstermektedir. Şekil, cRTP ve VAD uygulanmayan konfigürasyonların tamamında öyle veya böyle bir şekilde çağrı bloklanması yaşandığını ispatlamaktadır.



Şekil – 25 Yaşanılan Çağrı Bloklamalarının Yüzdesi



Şekil – 26 Mbps Cinsinden Her Bir Konfigürasyon için Optimum Bant Genişliği

Şekil – 26, her bir konfigürasyon için gerekli olan optimum bant genişliğini izah etmektedir. Konfigürasyon 1, **8,296 Mbps** 'lık bant genişliği kapasitesine ihtiyaç duyarak elimizde kalın çizgiyle belirlenen kullanılabilir 1,544 Mbps'lık hattın 5,38 katına çıkmaktadır. Bu hızlardaki bir hattın yıllık kirasının ülkemizde 6 - 7 bin YTL civarı olduğu düşünüldüğünde örneğimizdeki firma için IT bütçesi 30-35 bin YTL 'nin bile üzerine çıkmak zorunda kalacaktır. Diğer taraftan konfigürasyon 4 ve 6 aynı talebi karşılayabilmek için

sırasıyla **0,944** ve **0,636 Mbps** 'lık bant genişliğine ihtiyaç duymaktadır ki bu da örnekteki şirketin elinde olan 1.544 Mbps'lik hattın bant genişliğinden az olduğu için, şirket geri kalan bant genişliğini, veri trafiğini taşımada veya başka birtakım amaçlar için kullanabilecektir.



## 5.5 Özet

Bu ünitenin ilk kısmı VoIP ağı tasarımları için 6 öneriyi kullanıcılara sunmaktadır. Bu tavsiyeler çok büyük bant genişliği tasarruflarıyla sonuçlanan cRTP ve VAD kullanımı, küçük boyutta ses verisi, yankı bastırıcılar ve uyarlamalı filtre kullanımı ile uygun kodekin seçilmesi hususlarıdır.

Ünitenin ikinci kısmında bu sayılan önerilerin etkilerini görebilmek için 6 farklı VoIP konfigürasyonu sunulmaktadır. Konfigürasyonlar yüksek bit oranlı, düşük bit oranlı ve en düşük bit oranlı olmak üzere 3 farklı kodekle yapılmakta dahası her üç kodek tipi için de 2 farklı konfigürasyon (birincisi başlık bilgisinin sıkıştırıldığı ve VAD'ın aktif hale getirildiği, ikincisi ise sıkıştırmanın ve VAD'ın aktif olmadığı) üretilmektedir. Diğer bir deyişle hem bant genişliğini verimli kullanan hem de kullanmayan durumlar ortaya çıkarılmaktadır.

Simülasyon, yüksek bit oranlı kodeklerin bant genişliği kullanımında içerdikleri başlık bilgisi ek yükünden dolayı devre anahtarlamalı ağlardan bile kötü performans sundukları sonucunu ispatlamaktadır. Diğer bir önemli nokta ise cRTP ve VAD kullanılmadan dahi düşük bit oranlı kodeklerle ciddi anlamda bant genişliği kazanımı sağlanabilmekte olmasıdır. Elbette cRTP ve VAD'ın devreye girmesiyle düşük bit oranlı kodekler daha da avantaj kazanmaktadırlar. Bilhassa kullanılabilir ses kanalı sayısı bu sayede maksimuma çıkmaktadır.

## VI. SONUÇLAR

Bu tezde ilk olarak İnternet Telefonu'nun gelişimini etkileyen faktörler incelenmiş ardından ünite 2'de en yaygın şekilde kullanılan İnternet Telefonu protokolleri açıklanmıştır. Ardından VoIP uygulamalarında ses kalitesi kavramı üzerinde durulmuş ve ses kalitesini ölçüm metotlarından bahsedilmiştir. Son olarak ünite 5'te VoIP ağları için 6 tasarım önerisi sunulmuş, bu önerilerin sonuçlarını görebilmek adına 6 farklı simülasyon yapılmış ve test sonuçları analiz edilmiştir. Sunulan öneriler aşağıda listelenmiştir:

1. cRTP kullanılmalı.
2. VAD aktif hale getirilmeli.
3. Küçük ses verisi kullanılmalı.
4. Uyarlamalı gecikme değişimi tamponu kullanılmalı.
5. Uygun kodek seçilmeli.
6. Yankı bastırıcı kullanılmalı.

Araştırma ve simülasyonların sonucu IP Telefonu çağrılarının performansının ağırlıklı olarak bant genişliğine dayandığını gözler önüne sermektedir. Bu nedenle başarılı IP Telefonu uygulamaları için bant genişliği tasarrufuna yardımcı olan çeşitli teknikler kullanılmalıdır. Simülasyon sonuçları bu tekniklerin kullanımıyla %65'e varan oranlarda bant genişliği tasarrufu yapılabileceğini göstermektedir. Bu teknikler başlık bilgisinin sıkıştırılması ve ses faaliyet algılamasının aktif hale getirilmesidir.

Diğer bir sonuç ise düşük bit oranlı kodeklerin dahi bant genişliği kullanımını 8 kata varan oranlarda azaltmalarına rağmen, cRTP ve VAD kullanmadan kullanılabilir ses kanalı sayısı talebini karşılayamamaları durumunun ortaya çıkmasıdır. İlginç diğer bir gelişme de simülasyon sonucunda sıkıştırma işlemi yapmayan yüksek bit oranlı kodeklerin geleneksel devre anahtarlama PSTN çağrılarında bile yüksek oranda bant genişliği harcadıklarının tespit edilmesi olmuştur.

Başlık sıkıştırma, ses faaliyet algılamasının aktif hale getirilmesi ve düşük bit oranlı kodeklerin kullanımı gibi bant genişliği tasarruf önlemlerini almaktansa kullanıcılar, ünite 3'te açıklanan spesifik ihtiyaçları yüzünden ses kalitesinin düşmesi gibi sonuçlar doğuran bu tekniklerin yerine ağırlıklı bant genişliğini güncelleme daha iyi bir fikir olduğunu düşünebilirler. Tezimizin yazarı olarak şahsi düşüncem ise yaptığımız simülasyonların da ışığında, bant genişliği artımı yapmanın ağda yeni uygulamaların zuhur etmesini de tetikleme ihtimalinin olmasından dolayı ve ayrıca maddi külfeti de düşünüldüğünde, her zaman için VoIP uygulamalarında mümkün olduğunca az bant genişliği tüketimi sağlanmasının daha faydalı olacağıdır, elbette ki bu bant genişliği tasarrufu uğruna çok düşük

seviyede ses kalitesini kabul etmek anlamına gelmemektedir. Örneğin bant genişliği tasarrufu için düşük bit oranlı kodek kullanan bir IP uygulaması için gecikme kabul edilebilir seviyenin üstündeyse o kodeki daha yüksek bit oranlı bir kodekle değiştirerek bant genişliğinden bir miktar kaybedip ses kalitesini artırma yoluna gidilmelidir.

Özetlemek gerekirse başarılı bir VoIP uygulaması elde edebilmek için bant genişliğiyle ses kalitesi arasında seçim yapılmak zorunda kalınıyorsa, elimizdeki cihazların kullanılabilir işlem gücü, arzu edilen ses kalitesi ve ağdaki bant genişliği ihtiyaçları düşünülmeli ve uygun çözüm bu kriterlere göre belirlenmelidir.

## **6.1 Konu Hakkında Gelecekte Yapılabilecek Çalışmalar**

Bu tez öncelikli olarak VoIP sistemlerindeki ses kalitesi sorunlarına odaklanmıştır. Bununla birlikte araştırılması gereken ve konumuzla ilişkili olan birçok ilgi çekici husus daha mevcuttur. Bunlardan ilki VoIP uygulamalarındaki güvenlik sorunları olabilir. VoIP teknolojisi paket anahtarlamaı kullanmasından ötürü diğer paket anahtarlamaı şebekelerin de benzer olarak zarar gördüğü Hizmet İnkarı Ataklarından (Denial of Service Attacks – DoS) etkilenebilirler. İncelemeye değer başka bir husus ise Ayırt Edilmiş Servisler (Differentiated Services) ve Kuyruklama Teknikleri (Queuing Techniques) gibi VoIP uygulamalarında kullanılabilcek Servis Kalitesi (Quality of Service) teknikleridir. İlaveten, birlikte çalışabilirlik de halen büyük bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Farklı protokoller altında çalışan VoIP uygulamaları hali hazırda birbirleriyle konuşamamaktadırlar. Kaldı ki H.323 gibi aynı protokolü kullanan VoIP uygulamaları dahi özel farklarından dolayı birlikte çalışmama riskine sahiptirler. Son olarak uydular üzerinden VoIP, önceden kestirilebilir ve az gecikmeli olacağından gelecek çalışmalarda değinilebilecek konuların başını çekmektedir.

## KAYNAKLAR

- [1] **Intel Corporation**, “*IP Telephony Basics*”,  
[[http://www.intel.com/network/csp/resources/white\\_papers/4007web.htm](http://www.intel.com/network/csp/resources/white_papers/4007web.htm)], June 2003
- [2] **IDC**, “*How the Internet Will Affect Your Next Phone System*”, white paper,  
[<http://www.teledynamic.com/docs/misc/VOIPSt.pdf>], June 2003
- [3] **ITU – T Recommendation H.323**, Packet-based multimedia communications systems
- [4] **Shultzrinne, H., and oth.**, IETF Recommendation RFC 2543, “*Session Initiation Protocol*”
- [5] **Ibe, O., C.**, “*Converged Network Architectures : Delivering Voice Over IP, ATM and FR*”, John Wiley & Sons Inc., New York
- [6] **Miller, Mark A., P.E.**, “*Voice over IP Techonologies*”, pp. 235-236, M&T Books, 2002
- [7] **Keagy, Scott**, “*Integrating Voice and Data Networks*”, pp.164-166-167-208, Cisco Press, 2000
- [8] **Jansen, Jan and others**, “*Delay Bounds for Voice over IP Calls Transported Over Satellite Networks*”, Mobile Networks and Applications 2002, p.80-81
- [9] **Goode, Bur**, “*Voice over Internet Protocol (VoIP)*”, Proceedings of the IEEE, Vol. 90, No.9, September 2002, p.1497-1505-1508
- [10] **Cisco Systems**, “*Voice/Data Integration Technologies*”,  
[[http://www.cisco.com/univercd/cc/td/doc/cisintwk/ito\\_doc/voicdata.htm](http://www.cisco.com/univercd/cc/td/doc/cisintwk/ito_doc/voicdata.htm)], May 2003
- [11] **Nguyen, Thuan and others**, “*Voice over IP Service and Performance in Satellite Networks*”, IEEE Communications Magazine March 2001, p.167-168
- [12] **Westbay Engineers Ltd.**, [www.erlang.com](http://www.erlang.com), June 2003
- [13] **Douskalis, Bill**, “*IP Telephony, The Integration of Robust VoIP Services*”, pp.231-232, Prentice Hall, Inc., 2000
- [14] **Davidson, Jonathon and Peters, James**, “*Voice over IP Fundamentals*”, p.174, Cisco Press, 2000
- [15] **Cisco Systems**, “*Beyond Basic IP*”,  
[[http://www.cisco.com/warp/public/779/servpro/promotions/bbip/volume\\_01\\_issue23.html](http://www.cisco.com/warp/public/779/servpro/promotions/bbip/volume_01_issue23.html)], September 2003
- [16] **Packetizer, Inc.**, “*H.323*”, [<http://www.packetizer.com/iptel/h323/>], June 2003

- [17] **Zahorujko, Ian and others**, “*IP Convergence in Global Telecommunications – Voice over Internet Protocol (VoIP)*”, p.11, DSTO, 2000
- [18] **Fincan, E.**, “*İnternet Protokolü Üzerinden Ses Haberleşmesi*”, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2002
- [19] **Seydim, A., Y.**, “*Voice over IP*”, Yüksek Lisans Tezi, Southern Methodist University, Texas, 1999
- [20] **Okatan, Ali**, “*Hava Harp Okulu Bilgisayar Ağları ve Haberleşme Ders Notları*”, İstanbul, 2006
- [21] **Çölkesen, R., ve Örencik, B.**, “*Bilgisayar Haberleşmesi ve Ağ Teknolojileri*”, Papatya Yayıncılık, Kasım 2003
- [22] **Çölkesen, Rifat**, “*Network TCP/IP Unix El Kitabı*”, Papatya Yayıncılık, Kasım 2001
- [23] **Haykin, S.**, “*Communication Systems : Third Edition*”, John Wiley & Sons, Toronto, 1994
- [24] **Kostas, T.**, “*Real-Time Voice over Packet Switched Networks*”, IEEE Network, January/February 1998, pp.18-27
- [25] **Minoli, D., and Minoli E.**, “*Delivering Voice over IP Networks*”, Wiley Computer Publishing, Toronto, 1998
- [26] **VoIP Troubleshooter**, “*In Depth : Jitter*”, [<http://www.voiptroubleshooter.com/indepth/jittersources.html>], 2005
- [27] **AT&T**, “*Common VoIP Architecture*”, [[http://www.business.att.com/content/whitepaper/common\\_voip\\_architecture.pdf](http://www.business.att.com/content/whitepaper/common_voip_architecture.pdf)], 2004
- [28] **Kos, A., Klepec, B., and Tamozič, S.**, “*Techniques for Performance Improvement of VoIP Applications*”, IEEE Electrotechnical Conference (Melecon 2002), May 2002, pp.250-254

## **ÖZGEÇMİŞ**

Özgür Ertem, 22 Mart 1982 yılında İstanbul'da dünyaya geldi. Yıldız Teknik Üniversitesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği'nden mezun oldu. 2004 senesinde mezun olduktan sonra, 2005 başında Türk Telekomünikasyon A.Ş.'de Telekom Uzman Yardımcısı olarak iş hayatına atıldı ve yine aynı yıl T.C Haliç Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği bölümünde burslu olarak yüksek lisans eğitimine girmeye hak kazandı. Türkiye genelinde ÖSYM tarafından yapılan LES, KPSS, KPDS gibi sınavlarda birçok Türkiye derecesi elde etti.

Hali hazırda internet protokolü üzerinden ses aktarımı, veri haberleşmesi, bilgi güvenliği vb. konularda çalışmalarını sürdürmektedir.