

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ \* FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SERBEST UZAY OPTİK HABERLEŞMESİNDE  
SANAL TEMEL İSTASYONLAR YÖNTEMİ**

**YÜKSEK LİSANS**

**Elektronik ve Haberleşme Müh. Erman ATEŞ**

**Anabilim Dalı: Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği**

**Danışman: Yrd. Doç. Dr. Arif DOLMA**

**KOCAELİ, 2008**

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ \* FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SERBEST UZAY OPTİK HABERLEŞMESİNDE  
SANAL TEMEL İSTASYONLAR YÖNTEMİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

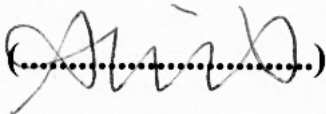
**Elektronik ve Haberleşme Müh. Erman ATEŞ**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 26 Mayıs 2008**

**Tezin Savunulduğu Tarih: 21 Temmuz 2008**

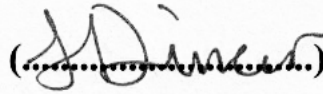
**Tez Danışmanı**

**Yrd.Doç.Dr. Arif Dolma**

()

**Üye**

**Prof.Dr. Hasan Dinçer**

()

**Üye**

**Doç.Dr. Arif Ergin**

()

**KOCAELİ, 2008**

## **ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR**

Kızılötesi dalga boyundaki optik haberleşme, günümüzde fiber optik haberleşmesinin omurgası olmakla kablolu haberleşme sistemlerinde yaygın biçimde kullanılmaktadır. Nitekim gezgin aygıtlar içeren kablosuz/gezgin bir kapalı alan haberleşmesi söz konusu olduğunda kızılötesi sistemler radyo frekanslarındaki sistemlere kıyasla daha çok kullanım alanı bulamamıştır. Dahası, birtakım dikkat çekici üstünlüklere sahip olan kablosuz optik haberleşme diğer adıyla serbest uzay optik haberleşmesinin kapalı alanlarda yüksek haberleşme hızlarına erişemediği bilinmektedir. Kapalı alanlarda serbest uzay optik haberleşmesinin, sahip olduğu üstünlükleriyle birlikte tercih sebebi olabilmesi için veri oranının yükseltilmesine duyulan ihtiyaç artmıştır.

Bu tez çalışması için her türlü yardım ve desteklerinden ötürü danışmanım Yrd. Doç. Dr. Arif DOLMA'ya, aileme, tez yazımı için bilgisayarını ödünç olarak kullandığım sevgili kardeşim Ersin ATEŞ'e ve çok özel arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ .....	i
İÇİNDEKİLER .....	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	iv
TABLolar DİZİNİ .....	vi
SİMGELER .....	vii
ÖZET .....	ix
İNGİLİZCE ÖZET .....	x
1. GİRİŞ .....	1
2. KAPALI ALANLARDA SERBEST UZAY OPTİK HABERLEŞMESİ .....	3
2.1 Giriş .....	3
2.2 Kızılötesi ve Radyo Ortamlarının Karşılaştırılması .....	3
2.3 Kızılötesi Hat Çeşitleri .....	5
2.4 Doğrudan Algılamalı Şiddet Modülasyonu Kanalları .....	6
2.5 Kızılötesi Haberleşme Standartları ve Sistemleri .....	10
2.5.1 IrDA .....	10
2.5.2 IEEE 802.11 ve kablosuz LAN .....	11
2.5.3 Binadan binaya sistemler .....	11
2.5.4 Diğer uygulamalar .....	12
3. GÜÇ-VERİMLİ HAT TASARIMI .....	13
3.1 Giriş .....	13
3.2 Kızılötesi Vericiler ve Göz Güvenliği .....	13
3.3 Optik Süzgeçler ve Yoğunlaştırıcılar .....	15
3.4 Doğru Akım Kazançlarının Hesaplanması .....	20
3.5 Çevresel Işık Gürültüleri .....	26
3.6 Foto-algılayıcılar ve Ön-yükselteçler .....	28
3.7 Alıcının İ.G.O. ve B.H.O. Analizi .....	32
4. SANAL TEMEL İSTASYONLAR YÖNTEMİ .....	35
4.1 Giriş .....	35
4.2 Sanal Temel İstasyonlar Yöntemi .....	36
4.2.1 Sistem yapılandırması .....	36
4.2.2 S.T.İ.Y. kanalının DC kazancı .....	37
4.2.3 İletim açısının belirlenmesi .....	39
4.2.4 İşaret kalitesi .....	46
4.2.5 Gölgeleme etkisi .....	48
4.2.6 Yayınık sistemlerle karşılaştırılması .....	49
5. KÜRESEL OPTİK ANTEN TASARIMI .....	50
5.1 Giriş .....	50
5.2 En Elverişli Haberleşme Kapsamı .....	51
5.2.1 Kapsama modeli .....	53
5.2.2 Iraksama açısının belirlenmesi .....	57
5.2.3 En elverişli kapsama .....	58
5.3 Otomatik Ayarlanabilir Anten Yapısı .....	59

5.3.1 Döşeli küresel optik anten .....	60
5.3.2 Otomatik hizalamalı devre .....	61
6. HABERLEŞME BAŞARIMI .....	63
6.1 Giriş .....	63
6.2 B.H.O. ve İ.G.O. ....	64
6.3 Gürültü Varyansları, Alınan Optik Güç Sınırları .....	65
6.4 Simülasyon Düzeni .....	67
6.5 Simülasyon Sonuçları .....	68
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	70
KAYNAKLAR .....	73
ÖZGEÇMİŞ .....	77

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Kızılötesi hatların sınıflandırılması .....	6
Şekil 2.2. D.A.Ş.M.'li hattın iletim ve alımı .....	7
Şekil 2.3. D.A.Ş.M.'li hattın taban bant, doğrusal, zamanla değişmeyen sistem olarak modellenmesi .....	8
Şekil 3.1. Tipik bir silikon p-i-n foto-diyotunun duyarlılığı, tipik bir yüksek geçiren optik süzgecin (Schott RG-780) iletimi, ve toplam duyarlılık .....	16
Şekil 3.2. Belirli $\theta$ açılarıyla gelen ışınlar için bant geçiren optik bir süzgecin polarizasyon ortalamalı iletimi .....	16
Şekil 3.3. İngesal olmayan yoğunlaştırıcılar; (a) düzlemsel optik süzgeçli yarı-küre, (b) yarı-küresel optik süzgeçli yarı-küre (c) düzlemsel optik süzgeçli CPC .....	19
Şekil 3.4. Kayıpsız süzgeçli ideal yoğunlaştırıcılar ile ulaşılabilen aktif ışık toplama alanları .....	20
Şekil 3.5. Kanal kazançlarının hesaplanmasında kullanılan geometriler: (a) G.H.'nin bulunduğu hat, (b) G.H.'nin bulunmadığı yönlü/karma hat, (c) G.H.'nin bulunmadığı yönsüz (yayınık) hat .....	21
Şekil 3.6. Bir Lambert tipi verici, ve $A=1\text{cm}^2$ alana sahip bir algılayıcı içeren yayınık kızılötesi hatların optik yol kayıpları. (a) %80 dağınık yansımalı bir tavana sahip bir odada tavandan sırasıyla 1.2 ve 1.6 m uzakta olan verici ve alıcı için yapılan ölçümler. (b) Alıcıdaki gölgeleme etkisini göstermek üzere farklı oda tiplerinde yapılan ölçümler .....	25
Şekil 3.7. (a) Yaygın çevresel kızılötesi kaynaklarının optik güç tayfları. Tayflar aynı tepe değerine normalize edilmiştir. (b) 22-kHz'lik bir elektronik balast ile sürülen flüoresan lambasının kızılötesi ışımalarının ölçülen elektriksel güç tayfi .....	27
Şekil 3.8. (a) FET-temelli empedans geçişli ön-yükselticinin basitleştirilmiş seması (b) Tek yönlü baskın giriş-referanslı tayfsal gürültü gücü yoğunlukları (c) Baskın giri-referanslı gürültü varyansları. ....	29
Şekil 3.9. G.H. bulunan yönsüz hatlarda $10^{-6}$ B.H.O. değerini OOK kullanarak sağlayabilecek gerekli verici gücünün düzlemsel ve yarı-küresel bant geçiren süzgeçler için karşılaştırılması .....	34
Şekil 4.1. Önerilmekte olan S.T.İ.Y.'nin sistem modeli .....	36
Şekil 4.2. T.İ. ve S.T.İ. düzeni .....	37
Şekil 4.3. İletim açısının belirlenmesi-1 ( $1/4$ odanın tepeden görünüşü) .....	41
Şekil 4.4. (a) 5m-5m-3m (b) 10m-10m-3m (c) 20m-20m-3m boyutlarındaki odalar ve $R_{s.t.i.}=10,20,30$ cm yarıçaplarında S.T.İ.'ler için iletim açılarına göre yansımatsız hizmet alanı .....	42
Şekil 4.5. İletim açısının belirlenmesi-2 ( $1/4$ odanın T.İ.-S.T.İ. arasındaki düşey kesitinin görünüşü).....	43
Şekil 4.6. (a) 5m-5m-3m (b) 10m-10m-3m (c) 20m-20m-3m boyutlarındaki odalar ve $R_{s.t.i.}=10,20,30$ cm yarıçaplarında S.T.İ.'ler için iletim açılarına göre yansımatsız hizmet alanı ( $1/4$ odanın T.İ.-S.T.İ. arasındaki düşey kesitinin	

görünüşüne göre).....	44
Şekil 4.7. (a) 5m-5m-3m, (c) 10m-10m-3m, (e) 20m-20m-3m oda boyutları için klasik sistemle elde edilen optik şiddet dağılımı. (b) 5m-5m-3m, (d) 10m-10m-3m, (f) 20m-20m-3m oda boyutları için S.T.İ.Y. ile elde edilen optik ışık şiddet dağılımı .....	47
Şekil 4.8. Klasik sistem ve farklı sayıda S.T.İ. içeren S.T.İ.Y. sistemleri için gölgeleme etkisi sonucu hizmet dışı alanın engel modeli sayısına göre yüzdesi .....	48
Şekil 5.1. LED+PD çiftleriyle kaplanmış üç boyutlu küresel S.U.O sistemi (a) Kaplanmış küre (b) Alıcı-vericilerin petekli yapıdaki dizisi .....	51
Şekil 5.2. İki boyutlu dairesel S.U.O. düğümünün kapsama alanı; (a) Durum I: Alıcı-vericilerin kapsama alanları üst üste binmez (b) Durum II: Alıcı-vericilerin kapsama alanları üst üste biner .....	54
Şekil 5.3. Girişim alanını bulmak üzere bulunması gereken birtakım önemli açı ve uzunluklar; (a) $x$ ve $y$ açıları gerekmektedir, (b) $k$ uzunluğu gerekmektedir.....	55
Şekil 5.4. En uygun kapsama durumunda ıraksama açlarına göre en elverişli alıcı sayılarının elde edilmesi (Tasarım parametreleri $P=32mW$ , $V=200m$ , $r=2.5cm$ , $\rho=0.25cm$ ) .....	58
Şekil 5.5. Küresel optik antenler arasında bir G.H. 'nin kurulması .....	60
Şekil 5.6. Dört kanallı otomatik hizalamalı devre şeması .....	61
Şekil 6.1. Haberleşmenin oluşması .....	63
Şekil 6.2. OOK modülasyonlu kanalın İ.G.O. 'ya bağlı B.H.O. grafiği (teorik) .....	64
Şekil 6.3. Veri oranına bağlı olan gürültü varyansları ve toplam gürültü varyansına karşılık gelen alınan ortalama optik güç sınır değerleri .....	65
Şekil 6.4. S.T.İ.Y. uygulanan bir kapalı alanda çeşitli gölgeleme durumları ve G.İ. içerisindeki K.O.A. 'nın en düşük ortalama optik gücü aldığı konumlar (S.T.İ. 'ler $h=3m$ 'de ve G.İ. 'ler ise $h=1m$ yükseklik konumundadırlar.) ...	66
Şekil 6.5. Simülasyon sonuçları .....	68

## TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. Kapalı alan kablosuz haberleşmesi için radyo ve D.A.Ş.M. kızılötesi sistemlerinin karşılaştırılması .....	4
Tablo 2.2. Kablosuz haberleşme için radyo ve kızılötesi sistemlerinin tercih edildiği uygulamaların özellikleri .....	5
Tablo 2.3. IrDA veri iletişim standartları .....	10
Tablo 3.1. LED'ler ile LD'lerin karşılaştırılması .....	14
Tablo 4.1. ¼ odanın tepeden görünüşüne göre yansız hizmet alanını en yüksek seviyeye taşıyan en uygun iletim açıları .....	42
Tablo 4.2. ¼ odanın T.İ.-S.T.İ. arasındaki düşey kesitinin görünüşüne göre yansız hizmet alanını en yüksek seviyeye taşıyan en uygun iletim açıları .....	44
Tablo 4.3. Küçük, orta ve büyük boyutlu kapalı alanlar için tavsiye edilen iletim açısı ve S.T.İ. yarıçap değerleri .....	46
Tablo 4.4. Klasik sistem ve S.T.İ.Y. ile elde edilen işaret kalitelerinin karşılaştırılması .....	47
Tablo 4.5. S.T.İ.Y. ile yayıncı sistemlerin karşılaştırılması .....	49
Tablo 5.1. Bölüm 5 için geçerli birtakım matematiksel gösterimler .....	52
Tablo 5.2. Iraksama açısının belirlenmesi .....	58
Tablo 6.1. Simülasyon düzeni için belirlenen tasarım parametreleri .....	67
Tablo 6.2. Farklı gölgeleme durumları için erişilebilen veri oranı değerleri .....	68



## SEMBOLLER

$h(t)$	: Dürtü yanıtı
$N(t)$	: Eklenir gürültü
$R$	: Algılayıcı duyarlılığı
$\theta$	: Işının optik süzgece çarptığı açı
$A, A( )$	: Algılayıcının fiziksel alanı
$P_i$	: Ortalama iletim optik gücü
$P$	: Ortalama alınan optik güç
$H(0)$	: Doğru akım kazancı
$R_b$	: Bit oranı
$\psi$	: Alıcı eksenine göre geliş açısı
$T_s( )$	: Süzgecin iletimi
$g( )$	: Yoğunlaştırıcı kazancı
$\psi_c$	: Yoğunlaştırıcının FOV değeri
$n$	: Kırılma indisi
$R_o( )$	: Steradyan başına birim güç
$\phi$	: Verici ekseni ile alıcı arasındaki açı
$I_s( )$	: Işıma şiddeti yoğunluğu
$\phi_{1/2}$	: İletim yarı açısı
$S( )$	: Tayfsal güç yoğunluğu
$\sigma^2$	: Varyans
$p_n$	: Tayfsal ışıma gücü
$P_n$	: Çevresel optik güç

## Alt indisler

$y$	: Yalın
G.H.+	: Görüş Hattının bulunduğu
G.H.-	: Görüş Hattının bulunmadığı
$y^+$	: yönlü
$y^-$	: yönsüz
$n$	: gürültü
S.T.İ.	: Sanal Temel İstasyon

## Kısaltmalar

AEL	: İzin Verilen Maruz Kalma Sınırı
A.V.Ç.	: Alıcı Verici Çifti
B.H.O.	: Bit Hata Oranı
CPC	: Birleşik Parabolik Yoğunlaştırıcı
CSMA/CA	: Taşıyıcı Algılaması Çoklu Erişim/Çakışma Önleme
D.A.Ş.M.	: Doğrudan Algılamalı Şiddet Modülasyonu
DC	: Doğru Akım
FET	: Alan Etkili Transistor
FOV	: Görüş Alanı/Açısı
FSO	: Serbest Uzay Optiği
G.H.	: Görüş Hattı
G.İ.	: Gezici İstasyon
IrDA	: Kıızılötesi Veri Ortaklığı Standardı
K.İ.	: Kontrol İstasyonu
İ.G.O.	: İşaret Gürültü Oranı
K.O.A.	: Küresel Optik Anten
LAN	: Yerel Ağ
LD	: Lazer Diyotu
LED	: Işık Yayan Diyot
MAC	: Erişim Denetleme Katmanı
NRZ,	
NRZ-OOK	: Sıfıra Dönmeyen Var Yok Anahtarlama
OOK	: Var Yok Anahtarlama
PPM	: Darbe Konum Modülasyonu
RoFSO	: Serbest Uzay Optiği Üzerinden Radyo
RZ,	
RZ-OOK	: Sıfıra Dönen Var Yok Anahtarlama
S.T.İ.	: Sanal Temel İstasyon
S.T.İ.Y.	: Sanal Temel İstasyonlar Yöntemi
T.G.Y.	: Tayfsal Güç Yoğunluğu
T.İ.	: Temel İstasyon

## SERBEST UZAY OPTİK HABERLEŞMESİNDE SANAL TEMEL İSTASYONLAR YÖNTEMİ

Erman ATEŞ

**Anahtar Kelimeler:** Serbest Uzay Optik Haberleşmesi, Kızılötesi, Gezgin Haberleşme, Ağ Tasarımı

**Özet:** Bu çalışmada, ilk olarak Serbest Uzay Optik Haberleşmesi ile ilgili güç verimli hat tasarımının temel ölçütlerine değinilmektedir. İkinci olarak, kapalı alanlar için söz konusu olan ve kızılötesi dalga boylarındaki optik dalgaları kullanan Sanal Temel İstasyonlar Yöntemi üstünlükleriyle tanıtılarak güç verimli ve yüksek hızlı veri iletişiminin elde edilebilirliği incelenmektedir. Sanal Temel İstasyonlar Yöntemi, kapalı alan içerisinde güç verimliliği sağlamak amacıyla vericiden dar bir iletim açısıyla gönderilen kızılötesi lazer ışınının, kapalı alanın tavan köşelerine yerleştirilen dışbükey aynalar (Sanal Temel İstasyonlar) vasıtasıyla hizmet alanının tamamına yayılmasını sağlayan bir yöntemdir. Bu yöntemin, çok-yolluluk bozulmasına sebep olmaması için vericinin iletim açısının belirlenmesi gerekmektedir. Klasik sisteme kıyasla kapalı alanda daha kaliteli bir optik güç yoğunluğu sağlamak, gölgeleme etkisine karşı oldukça etkin bir sağlamlığa sahip olmak gibi özellikleri içeren bu yöntemin yaygın olarak kullanılan yayıncı sistemlerle rekabet etmesi öngörülmektedir. Bunun yanı sıra gezgin aygıtlar için tüm yönlerde veri alış verişine olanak sağlayan küresel bir optik antenin yapısı tanıtılmakta, ıraksama açısına göre üzerine döşenmesi gereken en uygun alıcı verici çifti sayısının bulunmasına dair hesaplamalar verilmektedir. Bu ıraksama açısı her durumda en az bir adet alıcı verici çiftinin bir Sanal Temel İstasyonu görebilmesini sağlamaya yönelik olarak belirlenmektedir. Tanıtılan yöntem ve antenin yer aldığı haberleşmenin başarımını değerlendirmek üzere bir bilgisayar simülasyonu yapılmaktadır. Farklı kapalı alan boyutları ve gölgeleme durumları altında küçük, orta ve büyük boyutlu alanlarda sırasıyla 70, 23.5, 2.5 Mb/s veri oranlarına erişilebileceği hesaplanmaktadır. Bu sonuçlar, kapalı alan serbest uzay optik haberleşmesinde süregelen standartlardan daha üstün bir başarımları ortaya koymaktadır.

## **VIRTUAL BASE STATIONS METHOD FOR FREE SPACE OPTICAL COMMUNICATION**

**Erman ATEŞ**

**Keywords:** Free Space Optics, Infrared, Mobile Communications, Network Design

**Abstract:** In this study, firstly, basic criteria of power efficient link design for Free Space Optical Communication is examined. Secondly; being valid for indoors and using the infrared optical waves, Virtual Base Stations Method (VBSM) is introduced including the advantages; and in order to achieve power efficient and high speed data transmission, VBSM is suggested to be a method that provides the infrared laser beam which is transmitted with a low transmit angle, to be reflected by the convex mirrors (Virtual Base Stations) each located at the top corners to expand th beam for the whole service area. This method requires the assessment of the transmitter's transmit angle so as not to allow of multipath dispersion. In comparison with the classical system, providing better quality of optical power densities and more efficient stability against shadowing; this method is expected to be competing with the widely employed diffuse systems. Furthermore, a spherical antenna for mobile devices which provides isotropic data transmission is introduced; and computation details in order to assess the optimal number of transceiver pairs, which are tessellated on the spherical surface and related to divergence angle, is given. The divergence angle is evaluated to make at least one transceiver pair to see a Virtual Base Station anytime. For this introduced method and antenna, combined together to form a communication; a computer simulation has been made in order to evaluate the performance. In various indoors and under various shadowing conditions, 70, 23.5, 2.5 Mb/s bit rates are computed to be achieved in small, medium and big size indoors respectively. These results present a better performance in comparison with the lasting standarts.

## 1. GİRİŞ

Son yıllarda geniş bantlı kablosuz iletişim ağlarını kurmak için çeşitli erişim sistemleri geliştirilmiştir. Radyo frekanslarındaki doluluk, tıbbi cihazlar üzerindeki elektromanyetik girişim riski gibi sakıncaları sebebiyle veri iletim ortamı olarak elektromanyetik dalga yerine ışık dalgasını kullanan optik kablosuz iletişim sistemlerine duyulan ilgi artmaktadır. [3,4,10]. Işık dalgaları fiziksel nesnelere ile engellenebildiğinden, bitişik odalardan kaynaklanabilecek girişimin kolayca önüne geçilebilmektedir. Bununla birlikte, diğer elektrikli cihazlar ile aralarında elektromanyetik girişim meydana gelmemektedir.

Bu çalışmada, kapalı alanlar için kızılötesi dalga boylarında optik ışınlar kullanan bir serbest uzay optik haberleşme yöntemi önerilmektedir. Bunun yanı sıra bu yöntem için uygun bir küresel optik antenin yapısı tanıtılmaktadır. Kapalı alanlarda bu yöntem ve anten ile gerçekleştirilecek bir haberleşme ağının başarımını değerlendirebilmek üzere iletim veri hızları kıyaslanmaktadır.

Bölüm 2’de, kapalı alanlarda serbest uzay optik haberleşmesinin radyo dalgalarıyla çalışan sistemlerle kıyaslanması, kızılötesi hat çeşitleri ve kızılötesi hatların temel iletişim yapısı olan doğrudan algılamalı şiddet modülasyonu hakkında temel bilgiler ve günümüz kızılötesi standartları ve sistemleri hakkında bilgiler sunulmaktadır.

Bölüm 3’te kapalı alanlarda kızılötesi dalga boylarında çalışan ve güç verimliliğine sahip hatların tasarımı hakkındaki ölçütler detaylandırılmaktadır. Alıcı ve vericiler için önemli hususlar (yoğunlaştırıcılar, süzgeçler, göz güvenliği, LED/LD seçimi, p-i-n/çığ foto-diyot seçimi, vb.) anlatılmakta, kızılötesi hatların kanal özellikleri açıklanmakta, gürültü ve başarım ölçütleri verilmektedir.

Bölüm 4’te, Sanal Temel İstasyonlar Yöntemi tanıtılmakta, yöntemin özelliklerinden detaylarıyla bahsedilmekte, bu yöntem kullanılarak oluşturulacak bir sistemle ilgili

tasarım nitelikleri ortaya konulmakta ve değerlendirilmektedir. Bu yöntemin diğer sistemlere olan üstünlükleri gösterilmektedir.

Bölüm 5'te, gezgin optik haberleşmenin gezgin aygıtlarda en iyi şekilde kurulabilmesi yönünde birtakım üstünlüklere sahip olan küresel optik anten yapısı anlatılmakta, tasarımla ilgili ele alınması gereken nitelikler ortaya konulmakta ve değerlendirilmektedir.

Bölüm 6'da, çeşitli kapalı alanlar için haberleşmenin başarımını değerlendirebilmek üzere veri iletim hızlarını kıyaslayan bir simülasyon gerçekleştirilmektedir. Bu simülasyonda Sanal Temel İstasyonlar Yöntemi'nin kullanıldığı ve bu yöntemin egemen olduğu alan içerisinde küresel optik antenle haberleşme yapıldığı varsayılmaktadır. Teorik olarak ulaşılabilen veri oranları hesaplanmakta ve sonuçlar değerlendirilmektedir.

## **2. KAPALI ALANLARDA SERBEST UZAY OPTİK HABERLEŞMESİ**

### **2.1 Giriş**

İş ve gündelik yaşam içerisinde taşınabilir bilgi istasyonlarına duyulan ihtiyacın artmasıyla birlikte kablosuz sayısal bilgi hatlarının ve yerel ağların geliştirilmesine duyulan ilgi de artmıştır. Günümüzde, yüksek hızlı kablolu ağlarla sunulabilen tüm hizmetlerin taşınabilir istasyonlar tarafından da sunulabiliyor olması beklenmektedir. Kablolu sistemlere nazaran taşınabilir aygıtların güç tüketimi, boyut ve ağırlık gibi belirleyici kısıtlamaları bulunmaktadır. Bu ihtiyaçlara cevap verebilir niteliğe sahip düşük maliyetli, yüksek hızlı hatlara duyulan ihtiyaç, kablosuz kızılötesi hatların ön plana çıkmasını sağlamıştır [10].

### **2.2 Kızılötesi ve Radyo Ortamlarının Karşılaştırılması**

Kısa mesafeli kapalı alan haberleşmesi için ortam olarak kızılötesi<sup>1</sup> ışınının seçilmesi, radyoya<sup>2</sup> nazaran birtakım belirgin üstünlükleri beraberinde getirir. Yüksek hızlarda çalışabilen kızılötesi yayıcı ve algılayıcılar düşük maliyetlerle elde edilebilmektedir. Kızılötesinin tayfsal bölgesi, neredeyse sınırsız bir bant genişliği sunar. Kızılötesi ve görünür ışık, dalga boyları bakımından birbirine yakın olup nitelik bakımından birbirine benzer özellikler taşırlar. Her ikisi de koyu renkli nesnelere tarafından yutulur; açık renkli nesnelere tarafından dağınık olarak ve pürüzsüz yüzeyler tarafından ise tam olarak yansıtılırlar. Yine her ikisi camın içinden geçebilirken duvar ve diğer kesif nesnelere içinden geçemezler. Bu nedenle kızılötesi ışınım, üretildiği odanın içerisinde hapsolür. İşaretin hapsolmesi, iletişim güvenliğinin sağlanmasını kolaylaştırmakla beraber diğer odalarda işleyen hatlar arasında girişimlerin meydana gelmesini önler. Bu sayede kablosuz kızılötesi yerel

---

<sup>1</sup> Genelde, kızılötesi bölgesi 700 nm ile 100 µm arasındaki dalga boylarını içerir. Bu çalışmada aksi belirtilmediği takdirde “kızılötesi” ifadesi 780 nm ile 950 nm arasındaki yakın kızılötesi bandını temsil etmektedir.

<sup>2</sup> Bu çalışmada, “radyo” ifadesi, “radyo frekansları”, “mikrodalga” ve “milimetredalga” anlamlarını temsil etmektedir.

ağlar, çok yüksek toplam kapasitelere ulaşabilmekle beraber tasarım yönünden basitleştirilebilmektedirler. Bir kızılötesi hattın Doğrudan Algılamalı Şiddet Modülasyonu (D.A.Ş.M.), kısa taşıyıcı dalga boyu, geniş alanlı karesel yapıda bir algılayıcı gibi unsurları içeriyor olması etkin bir uzamsal çeşitlilik sağlayarak çok yolluluk sönümlemesini önler. Aksine; radyo hatlarında alınan işaretin genlik ve fazı yüksek seviyeli dalgalanmalara maruz kalır. Kızılötesi hatların çok yolluluk sönümlemesinden muaf oluşu, tasarımlarını oldukça basitleştirir.

Tablo 2.1: Kapalı alan kablosuz haberleşmesi için radyo ve D.A.Ş.M. kızılötesi sistemlerinin karşılaştırılması

Ortamın Niteliği	Radyo	D.A.Ş.M. Kızılötesi	Kızılötesi için anlamı
Bant genişliği düzenlemesi	Evet	Hayır	Resmi izin gerektirmez. Dünya çapında uyumluluk
Duvardan geçebilme	Evet	Hayır	Düşük kapsama. Güvenlik kolaylığı. Birbirinden bağımsız hatlar (farklı odalarda).
Çok yolluluk sönümlemesi	Evet	Hayır	Tasarım basitliği.
Çok yolluluk bozulması	Evet	Evet	
Yol kaybı	Yüksek	Yüksek	
Baskın gürültü	Diğer kullanıcılar	Çevresel ışıklar	Sınırlı mesafe
$X(t)$ Giriş ifadesinin karşılığı	Genlik	Güç	Açık alanlarda işleme güçlüğü.
İ.G.O. orantılıdır..	$\int  X(t) ^2 dt$	$\int  X(t) ^2 dt$	Yüksek verici gücü gereksinimi
Ortalama güç orantılıdır..	$\int  X(t) ^2 dt$	$\int  X(t)  dt$	$X(t)$ dalga şeklinin yüksek tepe-ortalama orantılı seçilmesi

Kızılötesi ortamı, bazı sakıncaları da beraberinde getirir. Kızılötesi ışınlar duvarları geçemediğinden bir oda ile diğeri arasında haberleşmenin sağlanması; birbirine kablo altyapısıyla bağlanan kablosuz erişim noktalarının kurulmasıyla mümkündür. Birçok kapalı alanda güneş ışığı, akkor aydınlatma ve flüoresan aydınlatmadan kaynaklanan şiddetli bir çevresel kızılötesi gürültüsü bulunur ve bunlar, bir kızılötesi alıcısında gürültünün indüklenmesine neden olur. Hemen hemen tüm kısa mesafeli kapalı alan uygulamalarda D.A.Ş.M. tek elverişli tekniktir. Doğrudan algılamalı bir alıcının İşaret Gürültü Oranı (İ.G.O.) değerinin alınan optik gücün karesi ile doğru orantılı



olması, D.A.Ş.M. hatlarının sınırlı bir dereceye kadar yol kaybına tahammül edebileceği anlamına gelir. Çoğu kez kızılötesi hatlar göreceli olarak yüksek seviyede iletim gücü uygulamak ve göreceli olarak sınırlı mesafelere kadar işlemek zorunda kalırlar. Vericinin güç seviyesi, diğer kullanıcılarla girişim yapmasından çekinilmeksizin yükseltilebilmekle beraber; güç tüketimi ve göz sağlığı gibi kaygılar nedeniyle özellikle taşınabilir aygıtlarda bu seviye sınırlanır.

Kapalı alan kablosuz haberleşmesi için radyo ve D.A.Ş.M. kızılötesi hatlarının özellikleri Tablo 2.1’de karşılaştırılmıştır.

Radyo ve kızılötesi, birbirini tamamlayıcı iletişim ortamları olduklarından farklı uygulamalarda tercih edilirler. Tablo 2.2’de bu ortamların hangi tür uygulama gereksinimlerine cevap verdiği listelenmektedir.

Tablo 2.2: Kablosuz haberleşme için radyo ve kızılötesi sistemlerinin tercih edildiği uygulamaların özellikleri

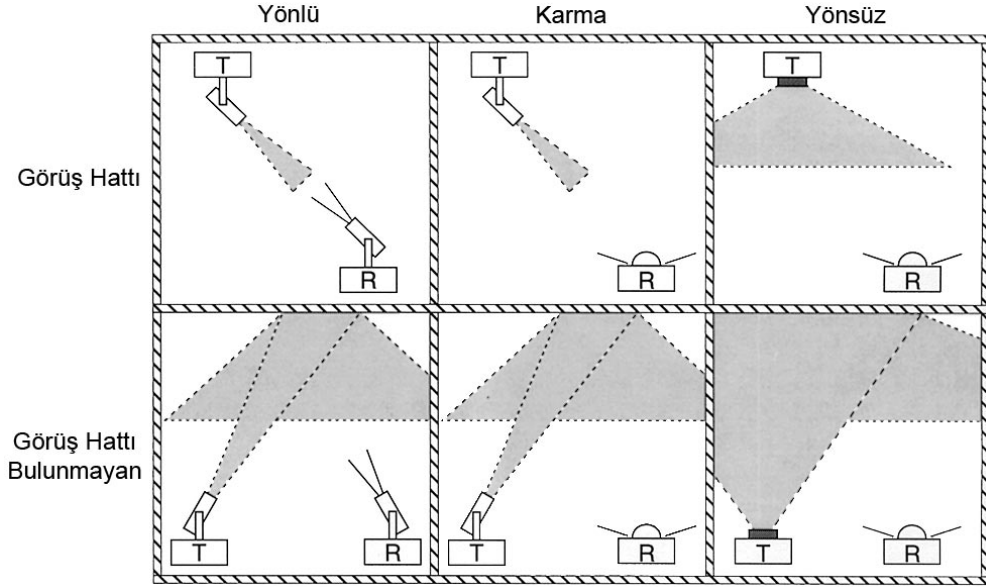
<b>Radyo</b>	<b>Kızılötesi</b>
Kullanıcı gezginliğinin en üst seviyede olması istenen,	Hat başına bit oranı ve sistem kapasitesinin en yüksek seviyede olması istenen,
Vericinin güç tüketiminin en düşük seviyede olması istenen,	Maliyetin ve alıcı tarafındaki işaret işleme yükünün en düşük seviyede olması istenen,
Duvarların içinden iletişimin sağlanmasının gerektiği uzun mesafeli uygulamalar.	Dünya çapında uyumluluğun gerektiği kısa mesafeli uygulamalar.

### 2.3 Kızılötesi Hat Çeşitleri

Kızılötesi hatlar için çeşitli tasarımlar bulunmaktadır. İki ölçüt üzerinden sınıflandırılmaları uygun görülmektedir [11]. Bu sınıflandırma planı Şekil 2.1’de gösterilmektedir.

İlk ölçüt verici ve alıcının yönlendirilme dereceleridir. Yönlü hatlar, bir hat kurabilmek üzere yönlendirilmiş yönlü verici ve yönlü alıcılar içerirken; yönsüz hatlar, geniş açılı verici ve alıcılar içermek suretiyle yönlendirme ihtiyacını ortadan kaldırır. Yönlü hat tasarımı, yol kaybını ve çevresel ışık gürültüsünün alınmasını en

aza indirgeyerek güç verimliliğini azami dereceye çıkarır. Diğer taraftan yönsüz hatların kullanılması; alıcı ve vericinin yönlendirilmesine ihtiyaç bulunmamasından ötürü özellikle gezgin istasyonlar için uygundur. Farklı yönlendirme derecelerine sahip olan verici ve alıcıların kullanılmasıyla karma hatlar da kurulabilir.



Şekil 2.1: Kızılötesi hatların sınıflandırılması [11]

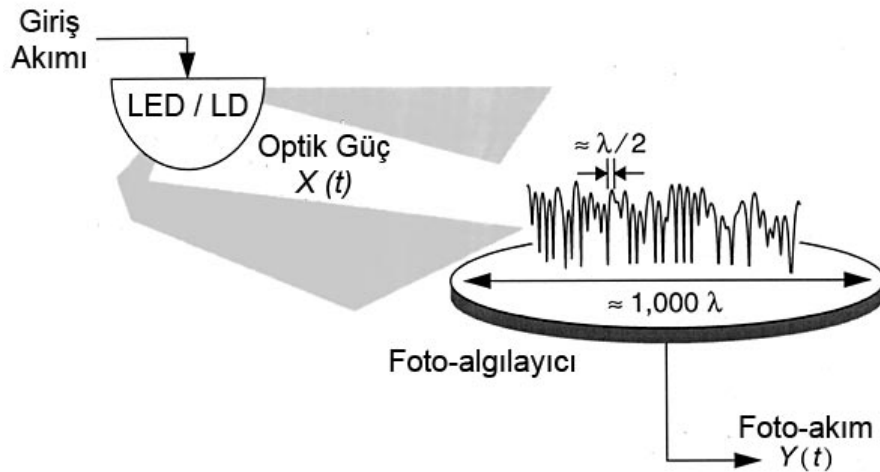
İkinci sınıflandırma ölçütü; verici ve alıcı arasında kesintisiz Görüş Hattı (G.H.) bulunup bulunmamasına dayanır. G.H. bulunan hatlar böyle bir kesintisiz hattın varlığına dayanırken; G.H. bulunmayan hatlar ise ışığın tavan veya başka bir dağınık yansıtımlı yüzeyden yansımaya dayanır. G.H. bulunan hatlar güç verimliliğini azami dereceye çıkartırken çok yolluluk bozulmasını en aza indirir. G.H. bulunmayan hatlar, iletişim sürekliliğinin korunmasını ve kullanım kolaylığını artırır ki bu sayede verici ve alıcı arasında fiziksel engeller bulunsada dahi iletişimin kopmaması temin edilmiş olur.

#### 2.4 Doğrudan Algılamalı Şiddet Modülasyonu Kanalları

Kablosuz radyo sistemleri için modülasyon teknikleri; genlik, faz ve frekans modülasyonları ile bunların karışımlarından ibarettir [12]. Radyo alıcıları, her biri, bir yerel osilatör ve bir karıştırıcıdan ibaret olan eşvreli yahut eşvresiz aşağı-dönüştürücü tarafından takip edilen bir veya daha fazla antenden oluşur. Bu

karıştırıcının etkin olarak işleyebilmesi, hem taşıyıcı hem de yerel osilatörün ortak bir elektromanyetik modda bulunmasına bağlıdır. Aşağı-dönüştürücünün çıkışı; genliği, alınan taşıyıcı elektrik alanı ile doğrusal olan bir elektriksel işarettir.

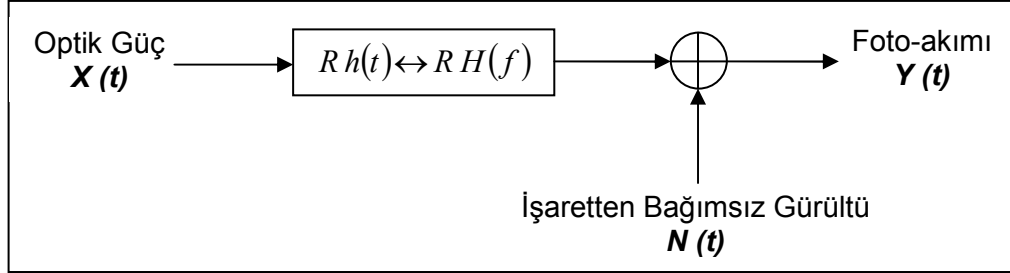
Düşük maliyetli bir kızılötesi sistemde kayda değer bir işaret gücünün tek bir manyetik mod üzerinden elde edilmesi oldukça güçtür. Bu uzamsal eşevresizlik; yukarıda bahsi geçen modülasyon teknikleri için etkin bir eşevreli yahut eşevresiz aşağı-dönüştürücünün yapılmasını güçleştirir. Kızılötesi hatlar için en elverişli modülasyon Şiddet Modülasyonu olmaktadır. Bu teknikte, arzu edilen dalga şekli, taşıyıcının anlık gücüne modüle edilir. En pratik aşağı-dönüştürücü tekniği ise Doğrudan Algılama olmaktadır. Bu teknikte bir foto-algılayıcı, alınan anlık güce orantılı (örn. alınan elektrik alanın karesi ile) bir akım üretir.



Şekil 2.2: D.A.Ş.M.'li hattın iletim ve alımı [11]

D.A.Ş.M. kullanan kızılötesi kanalların modellenmesi Şekil 2.2 ve Şekil 2.3'te gösterilmektedir. İletilen dalga şekli  $X(t)$ , kızılötesi yayıcının anlık optik gücüdür. Alınan dalga şekli  $Y(t)$ , alıcının foto-algılayıcısındaki anlık akımdır. Bu akım, foto-algılayıcı yüzeyi boyunca her bir alandaki toplam anlık optik gücün entegrali ile doğru orantılıdır. Şekil 2.2'de görüldüğü üzere; alınan elektrik alanın, genellikle genlik ve faz için uzamsal çeşitlilik sağlaması; algılayıcı bir dalga boyundan küçük olduğunda çok yolluluk sönümlemesine sebep olabilir. Nitekim tipik algılayıcıların alanları milyonlarca kare dalga boyuna eşittir. Böylelikle çok yolluluk sönümlemesinin önüne geçilmiş olur. Aynı zamanda alıcı birkaç dalga boyluk

mesafede yer değiştirse dahi kanalda değişimin olmadığı gözlenir. İletilen optik güç  $X(t)$ , farklı uzunluktaki yolları kat ettiğinden kızılötesi kanalları çok yolluluk bozulmasına maruz kalırlar. Bu bozulma, en çok G.H. bulunmayan yönsüz hatlarda ortaya çıkar.



şekil 2.3: D.A.ř.M.'li hattın taban bant, doğrusal, zamanla değişmeyen sistem olarak modellenmesi

Kanal, taban bant doğrusal bir sistem olarak modellenebilir.  $X(t)$ , anlık giriş gücünü;  $Y(t)$ , çıkış akımını;  $h(t)$  dürtü yanıtını temsil etmek üzere şekil 2.3'de bu model resmedilmektedir. Bunun yanı sıra kanal,  $h(t)$ 'nin Fourier dönüşümünden ibaret olan frekans yanıtı ile de ifade edilebilir [11];

$$H(f) = \int_{-\infty}^{\infty} h(t) e^{-2\pi f t} dt \quad (2.1)$$

Genellikle  $h(t) \leftrightarrow H(f)$  kanalını sabit olarak modellemek uygundur; çünkü verici, alıcı veya kapalı alan içerisindeki nesnelere birkaç on santimetrelik yer değiştirme yapmadıkça hattın değişimi gözlenmez.  $X(t)$  ve  $Y(t)$  arasındaki doğrusal ilişki, alınan işaretin birçok elektromanyetik mod içerdiği sonucuna dayanır [13].

Birçok uygulamada kızılötesi hatlar, şiddetli derecede kızılötesi ve görülebilir çevresel ışıkların bulunduğu yerlerde işlemek durumundadırlar. Alınan çevresel ışıklar optik süzgeçleme ile en aza indirilebilse dahi shot gürültüsü yine mevcut olur. Shot gürültüsü, iyi tasarımı bir alıcıda genellikle sınırlayıcı bir gürültü kaynağı olarak ortaya çıkar. Yüksek şiddetli olmasından ötürü beyaz, Gauss [14] ve  $X(t)$ 'den bağımsız olarak modellenebilir. Çok düşük seviyelerde çevresel ışık bulunduğunda veya hiç bulunmadığında baskın gürültü kaynağı alıcının ön yükselteç gürültüsü olur. Bu gürültü işaretten bağımsız ve genellikle beyaz olmayan Gauss olarak modellenebilir. Böylelikle gürültü  $N(t)$ , Gauss ve işaretten bağımsız olarak

modellenebilir. Flüoresan lambaları da kızılötesi ışımaya yapar ki; etkisi  $N(t)$ 'ye harmonik bileşenler katması şeklinde gözlenir. Çevresel gürültülere ileride değinilecektir.

Taban bant kanal modeli şu şekilde özetlenebilir [22]:

$$Y(t) = R X(t) \otimes h(t) + N(t) \quad (2.2)$$

Burada  $\otimes$  konvolüsyonu;  $R$  ise algılayıcının duyarlılığını temsil etmektedir. Her ne kadar (2.2), temel olarak; eklenir gürültüye sahip geleneksel bir doğrusal filtre kanalı olsa da kızılötesi sistemler elektriksel veya radyo sistemlerinden bazı yönleriyle ayrılırlar. Kanalin girişindeki  $X(t)$  anlık optik gücü temsil ettiğinden eksili değerlere sahip olamaz.

$$X(t) \geq 0 \quad (2.3)$$

Ortalama iletilen optik güç  $P_t$  ise şu formülle verilebilir [11]:

$$P_t = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T X(t) dt \quad (2.4)$$

Burada  $X(t)$ , genlik yerine gücü temsil ettiğinden ötürü formülde alışlagelmiş  $|X(t)|^2$  yerine  $X(t)$  kullanılması doğru olur. Ortalama alınan optik güç ise şöyle oluşur [11]:

$$P = H(0) P_t \quad (2.5)$$

Burada, kanalın doğru akım (DC) kazancı şu formülle verilir [11]:

$$H(0) = \int_{-\infty}^{\infty} h(t) dt \quad (2.6)$$

İleride görüleceği gibi  $R_b$  bit oranına sahip bir sayısal hattın başarımı, alıcının elektriksel İ.G.O. ile ilişkilidir [11].

$$\text{İ.G.O.} = \frac{R^2 P^2}{R_b N_0} = \frac{R^2 H^2(0) P^2}{R_b N_0} \quad (2.7)$$

Burada eklenir gürültü  $N(t)$ 'nin,  $N_0$  değerinde çift taraflı tayfsal güç yoğunluğuna (T.G.Y.) sahip beyaz bir Gauss bileşeni ile baskın bulunduğu ifade edilmektedir. (2.7)'den görülmektedir ki İ.G.O., alınan optik ortalama gücün karesi ile orantılıdır; öyleyse D.A.Ş.M. kullanan kızılötesi sistemler, göreceli yüksek bir güç iletmelidir ve ancak sınırlı bir yol kaybına göz yumabilirler. Oysa geleneksel kanallarda İ.G.O., alınan gücün ilk üssüyle orantılıdır. Bu durum; D.A.Ş.M. kullanan kızılötesi kanalların geleneksel kanallardan bu yönüyle ayrıldığını ortaya koyar.

## 2.5 Kızılötesi Haberleşme Standartları ve Sistemleri

Bu bölümde iki yaygın kablosuz kızılötesi teknolojisi olan Kızılötesi Veri Ortaklığı Standardı (bilinen adıyla IrDA), IEEE 802.11 ve diğer ticari uygulamalar ile ilgili ayrıntılara değinilecektir.

### 2.5.1 IrDA

IrDA [15], yaklaşık yüz üye şirketin bir işbirliği olup; düşük maliyetli optik veri hatlarının standartlarını belirler. IrDA hatlarında kullanılan alıcı-veriler ya da kapılar; dizüstü bilgisayarlar, cep bilgisayarları ile yazıcı gibi bilgisayar çevrebirimlerini içine alan birçok taşınabilir aygıtlarda görülmektedir.

Tablo 2.3: IrDA veri iletişim standartları [15]

Sürüm	Hat Çeşidi	Hat Mesafesi	Veri Oranı	Modülasyon
1.3	İki nokta arası	1 m	2.4 – 115.2 kb/s	RZ-3/16
1.3	İki nokta arası	1 m	576 kb/s 1152 kb/s	RZ-1/4 RZ-1/4
1.3	İki nokta arası	1 m	4 Mb/s	4-PPM
VFIR / 1.4	İki nokta arası	1 m	16 Mbs	OOK
AIR / önerilen	Ağ	4 m 8 m	4 Mb/s 250 kb/s	

IrDA iletişim standartları serisi Tablo 2.3'te verilmektedir. Fiziksel katman standartlarının mevcut sürümü IrPHY 1.3'tür. 2.4 kb/s ile 4 Mb/s arası veri oranları desteklenmektedir. Hat hızı, 9.6 kb/s'den başlayarak düzenlenir. Çoğu iletişim standardı kısa mesafeli, yönlü ve 0 m ile 1 m arasında işleyebilen hatlar içindir. Verici yarı açısı 15 ve 30 derece arasında olmalı, alıcının görüş alanının yarı açısı en

aşağı 15 derece olmalıdır. Verici, 850 nm ile 900 nm arasındaki bir dalga boyunda tepe güç değerine sahip olmalıdır.

### **2.5.2 IEEE 802.11 ve kablosuz LAN**

IEEE, kablosuz LAN ve IEEE 802.11 için birtakım standartlar yayınlamıştır [16]. IEEE 802.11 standardı, 802 LAN standartları ile uyuşacak bir şekilde tasarlanmıştır. Bu sebeple fiziksel katmanı ile ortam Ortam Erişim Denetimi (MAC) katmanını belirleyerek mantıksal hat denetimi 802.2'ye teslim eder. MAC katmanı, bir çeşit Taşıyıcı Algılaması Çoklu Erişim/Çakışma Önleme (CSMA/CA) kullanır.

Özgün standart, hem radyo hem optik fiziksel katmanlarda en yüksek 2 Mb/s veri oranını destekler. 802.11b standardı, 2.4 GHz radyo fiziksel katmanı üzerinden 11 Mb/s'ye kadar ve 802.11a standardı 5.4 GHz radyo fiziksel katmanı üzerinden 54 Mb/s'ye kadar destek sağlar.

802.11 LAN'lar için desteklenen iki veri oranı 1 Mb/s ve 2 Mb/s'dir. Her iki sistem de Darbe Konum Modülasyonu (PPM) kullanır ve 4 Mçip/s çip oranını paylaşır. Veri, ya 1 Mb/s hızında 16-PPM ile ya da 2 Mb/s hızında 4-PPM ile iletilir. 16-PPM,  $\log_2(16)/16 = 1/4$  bit/çip; 4-PPM,  $\log_2(4)/4 = 1/2$  bit/çip taşımasıyla her iki çeşit için çip süreleri aynı kalmaktadır.

Verici, 850 nm ile 900 nm arasındaki bir dalga boyunda tepe güç değerine sahip olmalıdır. Gerekli verici ve alıcı özellikleri, en çok 10 m'lik hat uzunluklarına kadar güvenle çalışmaya olanak sağlamaya yöneliktir.

### **2.5.3 Binadan binaya sistemler**

Uzun mesafeli (10 m'yi aşkın) kızılötesi hatlar, kabul edilebilir bir yol kaybı için yönlü G.H.'li sistemler olmak zorundadır. Uzun mesafeli hatlar için geliştirilen ürünler tipik olarak çatı üzerine yerleştirilmek üzere tasarlanmışlardır [17], [18]. Bu sayede kentsel bir çevrede görüş-hattı yollarını temin edecek en iyi olanağı sunar. Bu

yüksek veri oranına sahip bağlantılar, şirketsel ağ erişimleri veya metropoliten veya yerleşke ağları için kullanılabilir.

Uzun mesafeli sistemlere özgün birtakım tasarım sorunları bulunmaktadır [19]. İlki, havanın temiz hava emilimi ve havadaki parçacıkların yağmur, sis ve kirleticiler gibi dağılım ve emilimlerinden oluşan atmosferik yol kaybıdır. İkincisi, kırışma denilen bir etkidir ki G.H. boyunca mevcut olan sıcaklık değişimleri tarafından kaynaklanır ve kanal kalitesinde hızlı düzensizliklere yol açar. Son olarak, bina sallantıları hedeflemeyi etkiler ve alıcı-vericilerin mekanik yönden yalıtımı yapılmamış veya aktif hedefleme dengelemesi kullanılmıyor ise işaret kaybını netice verir.

#### **2.5.4 Diğer uygulamalar**

Kablosuz kızılötesi haberleşme ev, araç ve ofis gibi geleneksel ses ve veri ağları pazarının dışında kalan birtakım pazarlar bulmuştur [22]. Bunlar genel olarak kablosuz giriş aygıtları veya kablosuz denetleme aygıtları olarak sınıflandırılabilirler. Örnekler kablosuz bilgisayar faresi, eğlence aygıtları için uzaktan kumandalar, kablosuz oyun denetleyicileri, ev veya araç erişimi için kablosuz kapı anahtarları ile çoğaltılabilir. Tüm bu gibi cihazlar, ucuz maliyetli olması, güvenilir olması ve gerekli mesafe, veri oranı ve veri bütünlüğünü sağlayan hafif verici/alıcı çiftine sahip olması gibi çeşitli çekici özelliklerinden ötürü kızılötesi iletişim sistemlerini kullanmaktadır.



### **3. GÜÇ-VERİMLİ HAT TASARIMI**

#### **3.1 Giriş**

Yüksek seviyede bir İ.G.O. değerine ulaşmak, bir kızılötesi hat tasarımcısı için en temel ve büyük sorun olarak ortaya çıkar [10,11,22]. Zorluklar iki sebepten ortaya çıkar. İlk olarak, D.A.Ş.M. hatları alanın optik ortalama gücüne bağlıdır. Bu durum, göreceli olarak yüksek seviyeli bir güç iletimini gerektirir. Bununla birlikte iletim gücü; göz güvenliği ve güç tüketimi gibi belirleyici kaygılar tarafından kısıtlanır. Dahası, hattın tasarımcısı yol kaybını en aza indiren ve yüksek toplama alanına sahip bir alıcı içeren bir tasarım gerçekleştirmelidir. İkincisi; birçok ortamda alıcıda shot gürültüsü ve düşük frekans harmonikleri gürültüsünün ortaya çıkmasına sebep olan şiddetli çevresel kızılötesi gürültüsü mevcuttur. Bu gürültü, çevresel gürültüden arzu edilen işareti ayırabilen optik süzgeçleme ve yönlü alıcıların kullanılmasıyla en aza indirilebilir.

#### **3.2 Kızılötesi Vericiler ve Göz Güvenliği**

Günümüzde, kablosuz kızılötesi hatlar kullanan birçok uygulama için yaklaşık olarak 780 ila 950 nm dalga boyu aralığının seçilmesi; düşük maliyetli ışık yayan diyotlar (LED) ve lazer diyotların (LD) elde edilebilir olmasından ve ucuz, düşük kapasiteli silikon foto-diyotlarının tepe duyarlılığına uygun düşmesinden ötürü en iyi seçim olmaktadır. Bu aralıktaki ışımın birincil sakıncası göz güvenliği ile ilişkilidir. Bu aralıktaki ışım, insan gözündeki kornea'dan geçerek lens tarafından retina üzerine odaklanabilmektedir. Bu durumda olası ısıl hasarlar ortaya çıkar [20]. Kornea, 1400 nm ve üzeri dalga boylarındaki ışımalara karşı kesif olduğundan; 1550 nm dalga boyunun kızılötesi hatlar için daha uygun olduğu savunulmuştur. Fakat bu aralıkta çalışan günümüz foto-diyotları, Germanyum ve InGaAs malzemelerinden üretildikleri için yüksek maliyetli olup silikon rakiplerine nazaran daha büyük

kapasitelere sahiptirler. Bununla birlikte günümüzde birçok ticari kapalı alan haberleşmesi uygulamasında kısa dalga boyu aralığı kullanılmaktadır.

Tablo 3.1, LED ve LD'leri karşılaştırmaktadır. LED'ler, oldukça düşük maliyetli olması ve göz güvenliğini sağlayacak derecede geniş yüzey alanında ışımaya yapması gibi özelliklerinden ötürü çoğu ticari sistemlerde kullanılmaktadır. Tipik LED'ler  $10^\circ$  ila  $30^\circ$  arasında iraksama açısına sahip ışımalar yapabilmekte olmalarından ötürü yönlü iletişim için uygundur. Yönsüz vericiler farklı yönlerde yerleştirilen birden çok LED içerirler. LED'lerin olası sakıncaları [11]: 1) tipik olarak %10-20 gibi yetersiz elektro-optik çevirim katsayısına sahip oluşları. 2) Tipik düşük maliyetli aygıtların birkaç on MHz ile sınırlı modülasyon bant genişliği sunmaları. 3) tipik olarak 25 ila 100 nm arası geniş tayfsal bantlara sahip oluşları (bu durum, geniş bir alıcı optik iletim bandı gerektirerek çevresel ışığın önlenmesini güçleştirir). 4) Geniş modülasyon bant genişliğinin elektro-optik dönüşüm katsayısını düşürmesi.

Tablo 3.1: LED'ler ile LD'lerin karşılaştırılması (Gölgelendirme üstünlüğe karşılık gelmektedir.)

Özellik	LED'ler	LD'ler
Tayfsal genişlik	25-100 nm (10-50 THz)	$<10^{-5}$ ila 5 nm ( $< 1$ MHz ila 2 THz)
Modülasyon Bant genişliği	On KHz'ler ila On MHz'ler	On KHz'ler ila On GHz'ler
E/O Dönüşüm Verimliliği	%10-20	%30-70
Göz Güvenliği	Genel olarak güvenli	Göz güvenliği sağlanmalı, özellikle $\lambda < 1400$ nm için.
Maliyet	Düşük	Orta ile yüksek

LD'ler LED'lerden çok daha pahalı olmakla beraber ideale yakın nitelikler sergilerler [11]: 1) %30-70 arası elektro-optik dönüşüm katsayısı. 2) Geniş modülasyon bant genişlikleri (birkaç yüz MHz'ten birkaç on GHz'e kadar). 3) Çok dar tayfsal bantlar (birkaç nm'den 1 nm altına kadar). LD ile göz güvenliğinin sağlanabilmesi, lazer çıkışına koyulacak bir bileşen (örn. ince tabakalı yarısaydam plastik gibi bir dağıtıcı) ile lazerin uzamsal eşvreliliğinin yok edilebilmesine ve ışımının yeterince genişletilmiş ışımaya açıklığı ve ışımaya açısına yayılabilmesine

bağlıdır. Bu gibi dağıtıcılar %70'lere varan bir verimlilik göstermekle beraber tipik olarak Lambert ışına örüntüsü sergilediğinden tasarımcının kaynak ışına örüntüsünü serbestçe düzenleyebilmesi zorlaşır.

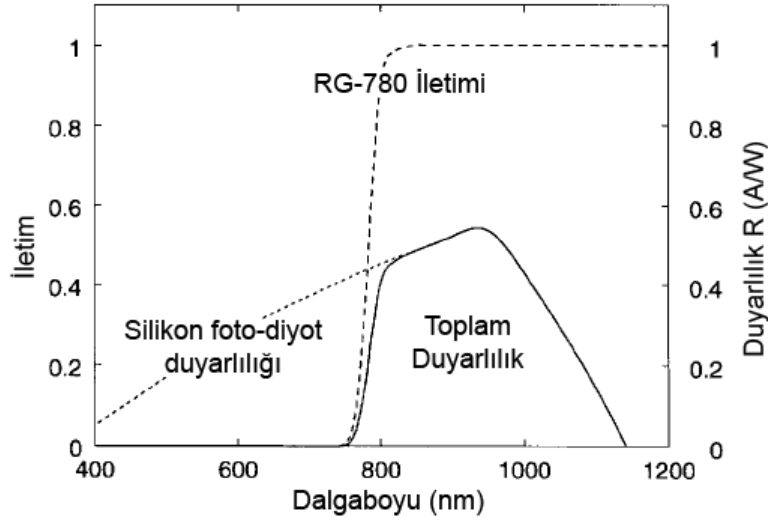
Kızılötesi vericilerin göz güvenliği ile ilgili standartlar, Internation Electrotechnical Comission (IEC) tarafından düzenlenmektedir [20]. Kızılötesi vericilerin IEC Sınıf 1 izin verilen maruz kalma sınırı (AEL) değerine sadık kalmaları arzu edilir. Bu durumda uyarı tabelalarına ihtiyaç duyulmaz. AEL, kaynağın dalga boyuna, çapına ve iletim ıraksama açısına bağlıdır. Örneğin 875 nm dalga boyunda IrDA uyumlu bir kaynak 15°'lik iletim ıraksama açısına ve 1 mm çapa sahipse en çok 28 mW gücünde bir ışına yapabilir. Aynı dalga boyunda Lambert tipi bir kaynak (60°'lik ıraksama açısına sahip), 1 mm çapa sahipse 280 mW gücünde bir ışına yapabilir. Daha yüksek çaplarda izin verilebilir güç, çapın karesiyle orantılı olarak yükselir.

### **3.3 Optik Süzgeçler ve Yoğunlaştırıcılar**

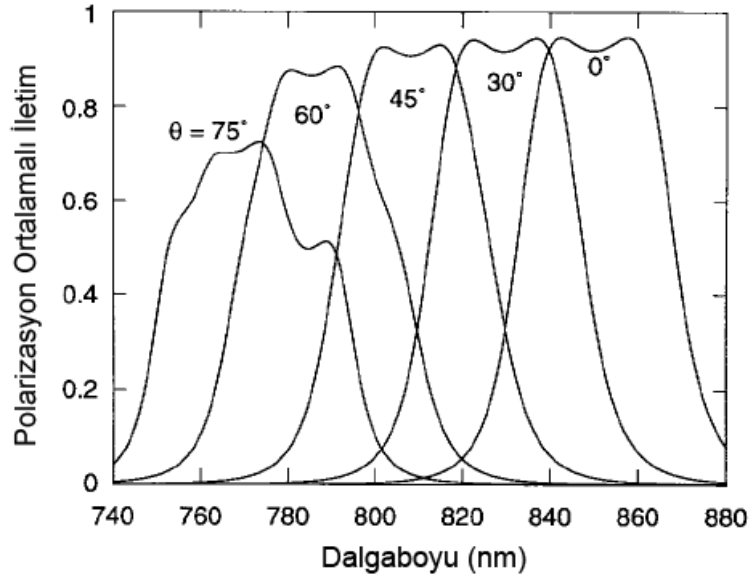
Kızılötesi alıcılar, çevresel ışığın etkilerini gidermek üzere tipik olarak ya yüksek geçiren ya da alçak geçiren optik süzgeçler kullanırlar. Yüksek geçiren süzgeçler, kesim dalga boyu üzerindeki tüm dalga boylarındaki ışığı geçiren süzgeçlerdir. Genellikle renkli cam veya plastikten üretilerek iletişim niteliklerinin geliş açısından büyük ölçüde bağımsız olmasını sağlar. Şekil 3.1 tipik bir silikon foto-diyotunun duyarlılık eğrisi üzerine oturtulmuş yaygın bir yüksek geçiren süzgecin iletim eğrisini göstermektedir. Silikon aygıt, 1100 nm ve üzeri dalga boylarında duyarlılık göstermediği için süzgeç ve foto-diyot birleşimi, etkin bir bant geçiren nitelikli optik yanıt ortaya koyar. Bu yanıt, tipik bir LED ışınması için gerekli bant genişliğinin birkaç katını içerir. Yüksek geçiren süzgeçler günümüz ticari uygulamalarının neredeyse tamamında kullanılmaktadır.

Bant geçiren süzgeçler çoklu ince yalıtkan katmanlardan oluşur ve optik girişim olgusuna dayanır [21]. Bu süzgeçler, dar bant genişliklerine sahip olabilmekte (1 nm. ve altındaki bant genişlikleri ticari olarak mevcuttur) ve bu sayede çevresel ışığın önlenmesini etkin bir biçimde sağlayabilmektedir. İ.G.O. değerini azami seviyeye taşımak üzere; vericinin optik tayfının, süzgecin bant genişliği içerisinde bulunmak

zorunda olmasından ötürü süzgeç bant genişliğinin küçültülmesi istendiğinde LD'ler kullanılmalıdır. Tipik bir bant geçiren süzgecin iletim tayfı Şekil 3.2'de gösterilmektedir. Burada, ışığın süzgece çarptığı açı değeri olan  $\theta$  yükseldikçe iletim bandının daha düşük dalga boylarına kaydığı görülür. Bu tip bir süzgeç, alıcının geniş bir görüş alanı (FOV) değerine sahip olması istendiğinde dikkatle seçilmelidir.



Şekil 3.1: Tipik bir silikon p-i-n foto-diyotunun duyarlılığı, tipik bir yüksek geçiren optik süzgecin (Schott RG-780) iletimi, ve toplam duyarlılık [22]



Şekil 3.2: Belirli  $\theta$  açılarıyla gelen ışınlar için bant geçiren optik bir süzgecin polarizasyon ortalamalı iletimi [23] (Bu süzgeç 25 katmanlı 3 açıklıklı bir tasarıma sahiptir.)

Bir kızılötesi alıcı, aktif ışık toplama alanına orantılı bir biçimde  $P$  optik gücünü algılar. Foto-diyot alanının genişletilmesi pahalı olmakla beraber alıcının bant genişliğini düşürür ve alıcıdaki gürültüyü artırır. Bu nedenle aktif alanı arttırmak amacıyla optik yoğunlaştırıcıların kullanılması arzu edilebilir. Yoğunlaştırıcılar, imgesel veya imgesel olmayan çeşitten olabilir. Uzun mesafeli serbest uzay optik hatlarında kullanılan teleskoplar, imgesel yoğunlaştırıcılara örnek teşkil eder. Çoğu kısa mesafeli kızılötesi hatlar, imgesel olmayan yoğunlaştırıcılar kullanır.

Yansıma kayıpları göz ardı edildiğinde, yalın bir alıcının aktif işaret toplama alanı şu şekilde olur [10]:

$$A_{y,aktif}(\psi) = \begin{cases} A \cos \psi & , 0 \leq \psi \leq \pi/2 \\ 0 & , \psi \geq \pi/2 \end{cases} \quad (3.1)$$

Burada  $A$ , algılayıcının fiziksel alanını;  $\psi$ , alıcı eksenine göre geliş açısını temsil etmektedir. Yoğunlaştırıcı ve süzgecin eklenmesiyle birlikte aktif işaret toplama alanı şu şekilde oluşur [10]:

$$A_{aktif}(\psi) = \begin{cases} AT_s(\psi)g(\psi)\cos\psi & , 0 \leq \psi \leq \pi/2 \\ 0 & , \psi \geq \pi/2 \end{cases} \quad (3.2)$$

Burada  $T_s(\psi)$ , süzgecin işaret iletimini;  $g(\psi)$ , yoğunlaştırıcı kazancını;  $\psi_c$  ise yoğunlaştırıcının FOV değerini temsil eder. Genelde  $\psi_c \leq \pi/2$  olur. İmgesel olmayan yoğunlaştırıcılarda kazanç ile FOV arasında ters orantı söz konusudur.  $n$  kırılma indisine sahip olan ideal bir imgesel olmayan süzgecin kazancı şu eşitlikle verilir [24]:

$$g(\psi) = \begin{cases} \frac{n^2}{\sin^2 \psi_c} & , 0 \leq \psi \leq \psi_c \\ 0 & , \psi \geq \psi_c \end{cases} \quad (3.3)$$

FOV değeri küçüldükçe bu FOV içerisindeki kazancın yükseleceği (3.3) eşitliği ile görülebilmektedir.

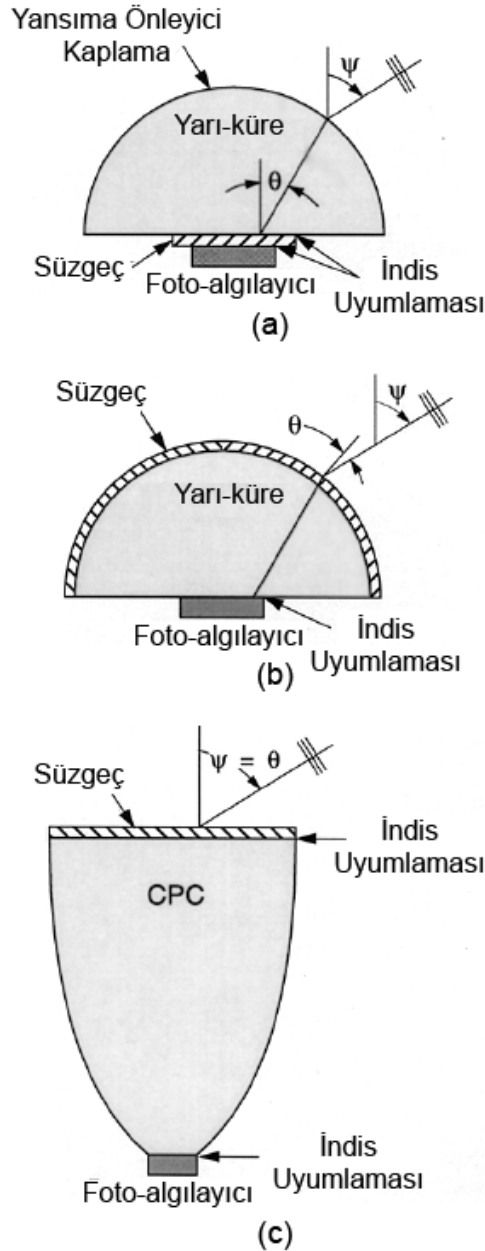
Yarı-küresel lens, önemli bir imgesel olmayan yoğunlaştırıcı olup [23,25,26]; ticari kızılötesi sistemlerde yaygın olarak kullanılırlar. Geniş bir FOV değeri ve eşyönlü

kazanç elde ederek özellikle yönsüz hatlar için uygun olurlar. Bir yarı-küre, FOV boyunca  $\psi_c \approx \pi/2$  ve  $g(\psi) \approx n^2$  niteliklerini elde edebilir. Bu durum, genellikle eşyönlü kazanç olarak adlandırılmakla beraber bir yarı-küresel alıcı, esasen eşyönlü olamaz; fakat  $A_{aktif}(\psi) = A n^2 \cos \psi$  değerinde bir aktif alana sahiptir. Yüksek geçiren süzgeçleme uygulandığında; düzlemsel bir yüksek geçiren süzgeç, Şekil 3.3(a)'da gösterildiği gibi yarı-küre ile algılayıcı arasına yerleştirilebilir.

Bant geçiren süzgeçleme uygulandığında; Şekil 3.3(a)'da görülen düzlemsel bir süzgecin kullanılması arzu edilmez. Işınlardan alındığı açı olan  $\psi$  değeri kaydıka; ışığın süzgece çarpma açısı olan  $\theta$  değeri de değışir. Bu, yukarıda anlatıldığı üzere süzgecin iletim bandını kaydırarak bazı  $\psi$  değerleri için süzgeç iletimi olan  $T_s(\psi)$  değerinin azalmasına neden olur. Bunu yerine Şekil 3.3(b)'de gösterildiği üzere bant geçiren süzgeç, yarı-küresel yoğunlaştırıcının dış yüzeyi boyunca yerleştirilmelidir [23,26]. İşaretin alındığı açı değeri olan  $\psi$ 'ye bağılı olmaksızın algılayıcıya ulaşan ışınlar, süzgeç üzerinde küçük değerlerde  $\theta$  açısına sahip olurlar. Bu sayede süzgecin geçiş bandı kaymasının en az, iletiminin en çok olması sağlanır. Bu sebeple bir yarı-küresel süzgeç ile etkin bir biçimde dar bant genişliği ve geniş FOV değerine ulaşılabilir.

Bileşik parabolik yoğunlaştırıcı (CPC) [24], kızılötesi hatlarda yaygın olarak kullanılan bir diğer imgesel olmayan yoğunlaştırıcıdır [27]. Yarı-küresel kıyasla çok daha yüksek kazançlara, FOV niteliğinin daralması ödünü karşılığında ulaşabilir. Bu sayede yönlü hatlar için uygun olur.  $\psi_c \leq \pi/2$  değerinde FOV değerine sahip bir CPC, (3.3) eşitliği ile verilen kazanç değerlerine yaklaşabilmektedir. Şekil 3.3(c)'de gösterildiği üzere yüksek veya bant geçiren süzgeç, CPC'nin üst yüzeyine yerleştirilebilir. Tipik bir CPC'nin kısıtlı FOV değeri, dar bant geçişli süzgecin kısıtlı olan açısal kabulüne uygun düşer. Örneğin 30 nm. genişliğinde bant geçiren süzgeç ile FOV değeri  $\psi_c = 30^\circ$  olan bir CPC uygulandığında ideale yakın bir başarıml sağlanabilmektedir [28]. Dahası, terslenmiş bir CPC bu birleşimin üzerine eklenmek suretiyle girişin FOV değerini  $\psi_c \approx 90^\circ$ 'ye kadar genişletmek mümkündür; fakat bu durumda kazanç  $n^2$ 'ye düşer. Bu tip CPC-süzgeç-CPC yapısı kullanılarak, geniş bir

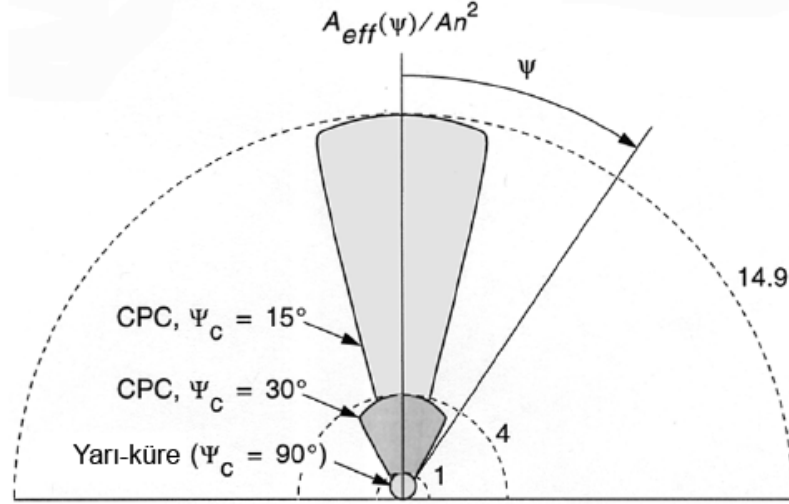
FOV ve dar bir iletim bandına, yarı-küresel bant geçiren süzgeç gerektirmeksizin ulaşılabilir. CPC'lerin temel sakıncası, özellikle küçük  $\psi_c$  değerleri için yükselen uzunluğudur. Bu tip CPC'lerin başarımına yaklaşabilen daha yoğun imgesel olmayan yoğunlaştırıcılar bulunmaktadır [29].



Şekil 3.3 İmgesel olmayan yoğunlaştırıcılar; (a) düzlemsel optik süzgeçli yarı-küre, (b) yarı-küresel optik süzgeçli yarı-küre (c) düzlemsel optik süzgeçli CPC (Işınlardan alıcı eksenine göre  $\psi$  açısıyla alınmakta ve süzgece  $\theta$  açısıyla çarpmaktadır.) [11]

Şekil 3.4, kayıpsız süzgeçler ile ideal imgesel olmayan yoğunlaştırıcılar tarafından erişilebilen aktif işaret toplama alanlarının (3.2) ve (3.3) eşitliklerine dayanarak

hesaplanması suretiyle kıyaslanmasını resmetmektedir. FOV ve kazanç arasındaki ödünleşme burada açıkça görülebilmektedir.



Şekil 3.4: Kayıpsız süzgeçli ideal yoğunlaştırıcılar ile ulaşılabilen aktif ışık toplama alanları (Işınların alıcı eksenine göre  $\psi$  açısıyla alınmakta ve süzgece  $\theta$  açısıyla çarpılmaktadır. Yoğunlaştırıcı,  $\psi_c$  değerinde bir FOV açısına ve  $n$  kırılma indisine sahiptir. Foto-algılayıcı  $A$  alanına sahiptir.) [11]

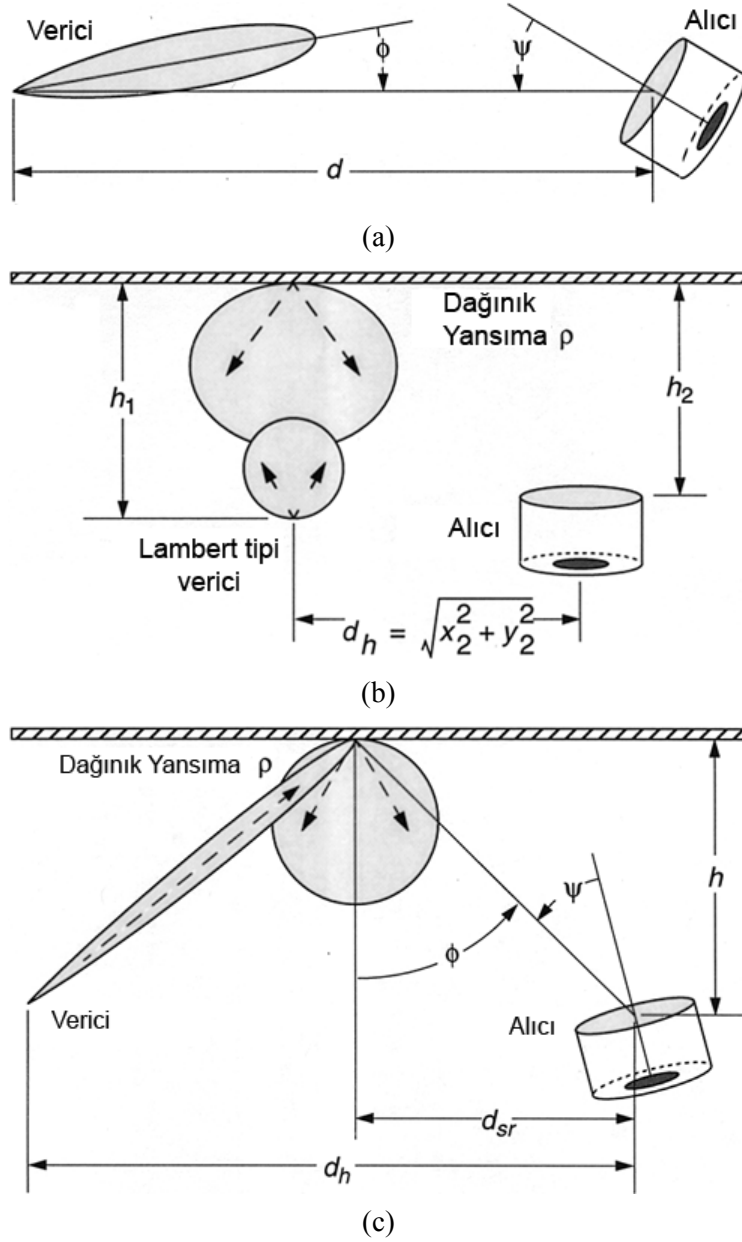
Bu noktada, imgesel olmayan yoğunlaştırıcıdan çıkan enerjinin saydam olmayan açılarda yüksek bir kırılmaya maruz kaldığı unutulmamalıdır. Bu nedenle ideale yakın bir başarımın elde edilebilmesi amacıyla yoğunlaştırıcı ile foto-algılayıcı ara yüzünde yansıma önleyici kaplama ve indis uyumlaştırmasının sağlanması önem taşımaktadır.

### 3.4 Doğru Akım Kazançlarının Hesaplanması

Kızılötesi kanalların frekans yanıtları doğru akım (DC) civarında göreceli olarak düzdür. Bu sebeple, çoğu amaçlar için bir kanalı niteleyen en temel unsur, kanalın DC kazancı  $H(0)^1$  olmaktadır. DC kazanç, (2.5) eşitliğinde de görüldüğü üzere iletilen ve alınan ortalama güçleri birbirleri ile ilişkilendirir. Bu bölümde temel hat düzenlerinin DC kazançlarını hesaplanmaktadır (bkz. Şekil 3.5).

<sup>1</sup> Kanalın optik yol kaybı  $-10\log_{10} H(0)$  (optik desibel ile ölçülür) olmakta ve eşdeğer elektriksel DC kazancı ise  $10\log_{10} H^2(0)$  (elektriksel desibel ile ölçülür) olur.





Şekil 3.5 Kanal kazançlarının hesaplanmasında kullanılan geometriler: (a) G.H.'nin bulunduğu hat, (b) G.H.'nin bulunmadığı yönlü/karma hat, (c) G.H.'nin bulunmadığı yönsüz (yayınık) hat [11]

G.H. bulunan hatlarda (yönlü, karma ya da yönsüz), DC kazancı, yalnızca G.H.'nin yayılım yolunun incelenmesiyle etkin bir biçimde hesaplanabilir. Bu yaklaşım özellikle G.H. bulunan yönlü hatlar için kuvvetlidir. Hat geometrisi Şekil 3.5(a)'da gösterilmiştir. Vericinin, eksensel simetriye sahip ışınma örüntüsü sergileyen ve  $(P_t R_o(\phi) \text{ [W/sr]})^1$  şiddetinde ışınma yaptığını varsayılmaktadır. Vericiye göre  $d$

<sup>1</sup> Burada  $R_o(\phi)$  normalize edilmiştir; öyle ki  $2\pi \int_0^\pi R_o(\phi) \sin \phi d\phi = 1$  olsun

uzaklığında ve  $\phi$  açısında yerleştirilmiş olan alıcıdaki ışımaya şiddeti yoğunluğu şu eşitlikle verilir [11]:

$$I_s(d, \phi) = P_t R_o(\phi) / d^2 \quad [\text{W/cm}^2] \quad (3.4)$$

Alınan güç şu şekilde ortaya çıkar [11]:

$$P = I_s(d, \phi) A_{\text{aktif}}(\psi) \quad (3.5)$$

(3.2) eşitliğinin de hesaba katılmasıyla kanalın DC kazancı şu şekilde olur [11]:

$$H(0)_{\text{G.H.}} = \begin{cases} (A/d^2) R_o(\phi) T_s(\psi) g(\psi) \cos \psi & , 0 \leq \psi \leq \psi_c \\ 0 & , \theta \geq \psi_c \end{cases} \quad (3.6)$$

Burada DC kazancının  $d^{-2}$  ile orantılı olduğu görülür. Bu eşitlik,  $d$  ve  $R_o(\phi)$  sabit olduğu durumda  $H(0)$ 'ı yükseltmenin en etkili yolunun algılayıcı alanı  $A$  ve yoğunlaştırıcı kazancı  $g(\psi)$ 'nin artırılması olduğunu ortaya koyar. Yoğunlaştırıcı kazancının artırılması, kırılma indisi  $n$ 'nin yükseltilmesi ve FOV değeri  $\psi_c$ 'nin azaltılmasına bağlıdır. Bazı durumlarda bir G.H. bulunan hattın güç verimliliğinin azami seviyeye çıkarılması, vericinin ışımaya şiddeti olan  $R_o(\phi)$  değerinin uygunlaştırılması ile mümkün olmaktadır [22,23]. Örneğin, vericinin tavandan aşağıya doğru yönlendirildiği ve alıcının oda içerisinde hareket halinde olup tavana doğru yönlendirildiği farz edilsin. Aynı zamanda  $\psi \approx \phi$  durumu sağlansın. Bu halde; alıcı hareket halinde olsa dahi  $g(\psi)$ ,  $T_s(\psi)$  ve  $d$ 'de gerçekleşen değişimleri telafi edebilmek üzere  $R_o(\phi)$ ,  $\phi$ 'nin bazı değerleri için iyileştirilebilmektedir.

Bir kısım pratik G.H. bulunan vericilerin ışımaları, genelleştirilmiş Lambert ışımaya şiddeti kullanılarak makul bir biçimde modellenabilir [10]:

$$R_o(\phi) = [(m+1)/2\pi] \cos^m \phi \quad (3.7)$$

$m$  üssü, vericinin iletim yarı açısı  $\phi_{1/2}$  ile ilişkilidir [10]:

$$m = (-\ln 2) / (\ln \cos \phi_{1/2}) \quad (3.8)$$

Örneğin;  $\phi_{1/2} = 60^\circ$  (Lambert tipi verici),  $m = 1$  'e karşılık gelir.  $\phi_{1/2} = 15^\circ$  (tipik bir yönlü verici),  $m = 20$  'ye karşılık gelir. Kanalın DC kazancı şöyle verilebilir [11]:

$$H(0)_{G.H.,Lambert} = \begin{cases} \frac{A(m+1)}{2\pi d^2} T_s(\psi) g(\psi) \cos \psi & , 0 \leq \psi \leq \psi_c \\ 0 & , \theta \geq \psi_c \end{cases} \quad (3.9)$$

Burada,  $\phi$  çok küçük tutulursa  $H(0)$ ; verici yarı açısı  $\phi_{1/2}$  'nin daraltılması, yani  $m$  'nin yükseltilmesiyle arttırılabilir.

G.H. bulunmayan hatlar, birçok yaygın yapı malzemesini verimli birer dağınık kızılötesi yansıtıcısı olarak kullanır. 800-900 nm aralığında tipik plaster duvarlar ve akustik tavan döşemeleri, 0,6 ila 0,9 arasında yansıma katsayılarına ( $r$ ) sahiptir. Bununla beraber mat malzemeler,  $\rho$  'nun düşük değerlerinde seyredeler [10,13]. Çoğu yapı malzemeleri (cam hariç) Lambert yansıtıcıları gibi davranırlar; yani ışığı geliş açısından bağımsız olarak yüzeyin normaline göre ortaya çıkan açının kosinüsü ile orantılı bir 'birim açı başına güç' ile yayar.

G.H. bulunmayan yönlü veya karma hatların kazancını hesaplamak üzere Şekil 3.5(b)'de gösterilen geometri temel alınmaktadır. Bu tip bir hattın tasarımı için söz konusu olan en temel sakıncalardan biri, vericinin tavan üzerindeki küçük bir alanı aydınlatıldığı varsayıldığında kanal kazancının, aydınlatılmış benek ile alıcı arasındaki yatay mesafe olan  $d_{sr}$  'ye büyük oranda bağlı oluşudur.  $\rho$  değerinde dağınık yansıma katsayısına sahip olan tavan, alıcıdan  $h$  mesafesi kadar uzak ise, alınan işaretin ışıma şiddeti yoğunluğu şu şekilde olur [11]:

$$I_s(d_{sr}, h) = \frac{\rho h P_t}{\pi (h^2 + d_{sr}^2)} T_s(\psi) g(\psi) \cos \psi \quad (3.10)$$

Alınan güç şu şekilde ortaya çıkar [11]:

$$P = I_s(d_{sr}, h) A_{aktif}(\psi) \quad (3.11)$$

Bu durumda kanalın DC kazancı şu eşitlikle verilebilir [11]:

$$H(0)_{(y+k)G.H.-} = \begin{cases} \frac{\rho A h}{\pi (h^2 + d_{sr}^2)^{3/2}} T_s(\psi) g(\psi) \cos \psi & , 0 \leq \psi \leq \psi_c \\ 0 & , \theta \geq \psi_c \end{cases} \quad (3.12)$$

G.H. bulunmadığı yönsüz veya karma hatların  $H(0)$  değerini yükseltmenin en etkili yolları, algılayıcı alanı  $A$ 'yı ve yoğunlaştırıcı kazancı  $g(\psi)$ 'yi arttırmaktır.

G.H. bulunmayan yönsüz hatların DC kazancını hesaplamak üzere oda içerisindeki yüzeylerde meydana gelen çoklu yansımaların etkisi dikkate alınır. Birinci dereceden yaklaşımda, yalnızca tavadaki ilk yansıma ele alınır [10,30] ve Şekil 3.5(b)'deki düzen incelenir. Burada, vericinin yukarıya doğru dik olarak Lambert örüntüsü ile ışımaya yaptığını farz etmekteyiz. Bununla birlikte alıcının da yukarıya doğru dik olarak durduğunu,  $\psi_c \approx \pi/2$  civarında FOV değerine sahip bir yoğunlaştırıcı içerdiğini (bu sayede eş yönlü kazanç elde edilir  $\Rightarrow g(\psi) \approx g \approx n^2$ ) ve  $T_s(\psi) = T_s$  iletim değerinde eşyönlü bir süzgeç kullandığını varsayalım. Verici ve alıcı sırasıyla  $(0,0)$  ve  $(x_2, y_2)$  koordinatlarında yatay  $(x,y)$  düzlemi üzerinde yer almaktadır. Her tavan bileşeninden yansıyan enerjinin toplanarak hesaba dâhil edilmesi gerekir.

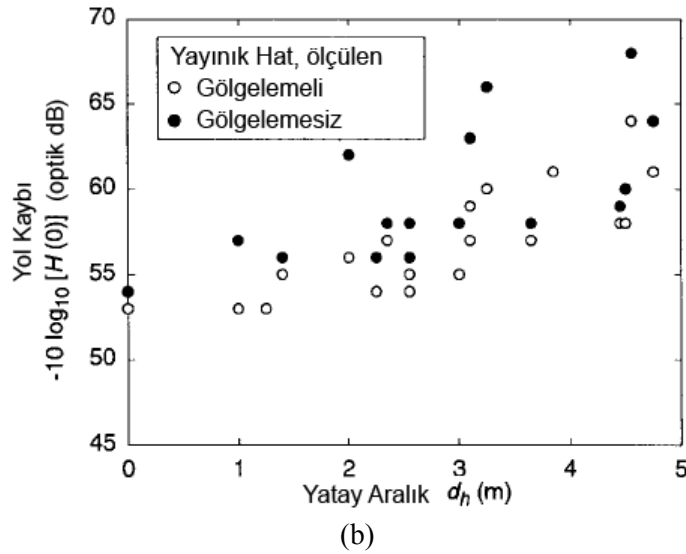
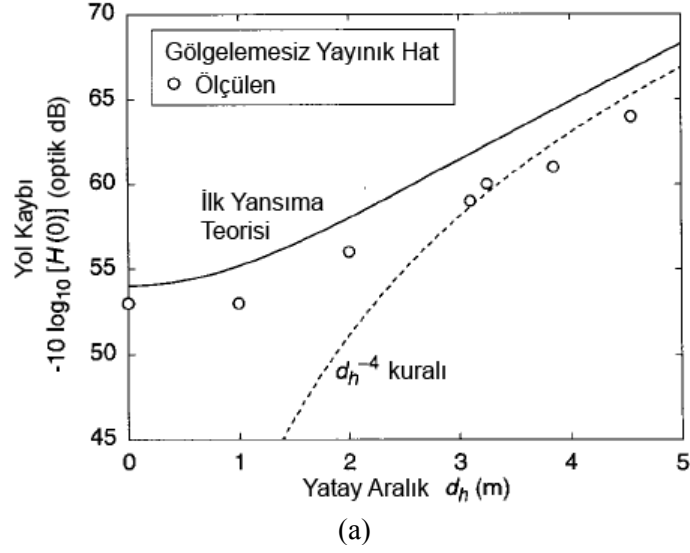
Bu durumda kanalın kazancı şu eşitlikle verilebilir [11]:

$$H(0)_{G.H.-,y-} = \frac{\rho T_s g A h_1^2 h_2^2}{\pi^2} \int \int_{\text{tavan}} \frac{dx dy}{(h_1^2 + x^2 + y^2) [h_2^2 + (x - x_2)^2 + (y - y_2)^2]^2} \quad (3.13)$$

$H(0)$  değerini yükseltmenin en etkili yolları, algılayıcı alanı  $A$ 'yı ve yoğunlaştırıcı kazancı  $g(\psi)$ 'yi arttırmaktır. (3.13) eşitliği gösterir ki yüksek  $d_h$  değerlerinde kanal kazancı  $H(0)$ ,  $d_h^{-4}$  ile orantılıdır. Bir yayıncı hat, Lambert vericisi içermek zorunda değildir ve  $d_h$  ile yükselen yol kaybı etkisi, farklı açılarda yönlendirilmiş birkaç vericinin uygulanması ile azaltılabilir [10,31]. Bu yöntem bazı ticari yayıncı hatlarda kullanılmaktadır.

Şekil 3.6(a), bir yayıncı hattın tipik bir ofiste ölçülen yol kaybını göstermektedir [13]. İlk yansıma teorisi (3.13) kabul edilebilir derecede doğrudur fakat  $H(0)$ 'ı birkaç desibel kadar daha düşük bulur.  $H(0)$  değerinin tam olarak elde edilebilmesi,

yüksek dereceli yansımaların hesaplamalar dahil edilmesini gerektirir. Örneğin geniş bir ofis içerisindeki yayılımı modelleyebilmek üzere 5 m'yi aşan  $d_h$  değerleri için beşinci dereceye dek yansımalar dikkate alınmalıdır [32].



Şekil 3.6: Bir Lambert tipi verici, ve  $A=1\text{cm}^2$  alana sahip bir algılayıcı içeren yayıncı kızılötesi hatların optik yol kayıpları. (a) %80 yayıncı yansımali bir tavana sahip bir odada tavandan sırasıyla 1.2 ve 1.6 m uzakta olan verici ve alıcı için yapılan ölçümler. (b) Alıcıdaki gölgeleme etkisini göstermek üzere farklı oda tiplerinde yapılan ölçümler [13].

Şekil 3.6(b), yayıncı hatların farklı odalarda ölçülen yol kayıplarını göstermektedir [13]. Gölgeleme etkisinin olmadığı durumda yayılım engel ile kesilmemiş olup gölgeleme etkisini olduğu durumda ise en güçlü yayılım yolunu kesmek üzere alıcı yanında bir insanın durduğu varsayılmıştır. Yayıncı hatlarda, gölgeleme etkisinin  $H(0)$  değerini 2 ila 5 dB arasında düşürdüğü gözlemlenmiştir. Kıyaslama amacıyla;

G.H. bulunduğu yönsüz hatlarda gölgeleme etkisinin  $H(0)$  değerini 7 ila 10 dB arasında düşürdüğünü eklemek gerekir. Bu kıyaslama, yayıncı hatların gölgeleme etkisine karşı dayanıklılığını ortaya koyar.

### 3.5 Çevresel Işık Gürültüleri

Birçok ortam, güneş ışığı, gökyüzü ışığı, akkor lamba ışığı ve flüoresan lamba ışığı ve diğer kaynaklar tarafından meydana getirilen şiddetli çevresel kızılötesi ışıması içerirler [10,33]. Bazı belli başlı kızılötesi kaynakları Şekil 3.7(a)'da<sup>1</sup> gösterilmiştir. Güneş ışığı, gökyüzü ışığı ve akkor lamba ışığı esasen modüle edilmemiş olan kaynaklardır. Bu yüzden bu tür ışımlar, optik süzgeçleme uygulansa dahi arzu edilen işaretin çok üzerinde ortalama güce sahip olarak alıcı tarafından alınırlar. Neticede, doğru akımlar foto-akımı shot gürültüsüne sebep olur. Bu gürültü, tipik kızılötesi alıcılarında karşılaşılan baskın bir gürültü kaynağını teşkil eder.

Burada üretilen shot gürültüsünü hesaplayabilmek üzere çevresel ışık kaynaklarından devamlı olarak alınan optik gücü hesaplayacağız. Bunun için  $\Delta\lambda$  gürültü bant genişliğine<sup>2</sup> ve  $T_0$  tepe iletimine sahip bir bant geçiren optik süzgecin alıcıda kullanıldığını varsayacağız. Çevresel ışık gürültüsünün süzgecin bant genişliği içerisindeki dalga boylarından bağımsız bir  $p_n$  [W/cm<sup>2</sup> nm] tayfsal ışımaya sahip olduğu farz edilmiştir. Eğer çevresel ışık, yerel bir kaynaktan alıcının normaline göre  $\psi_n$  açısıyla geliyorsa alınan ortalama çevresel optik güç şu şekilde olur [11]:

$$P_{n,yerel} = p_n \Delta\lambda_n T_0 A g(\psi_n) \cos(\psi_n) \quad (3.14)$$

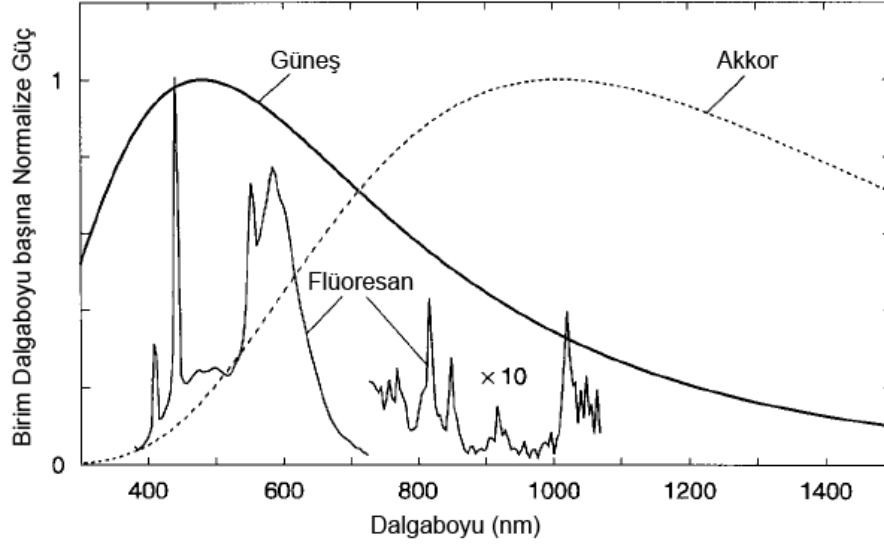
Aksine, çevresel ışık eşyönlü ise ve alıcısı  $\psi_c$  FOV değerinde bir ideal yoğunlaştırıcı kullanıldığı durumda alınan ortalama çevresel optik güç şu şekilde olur [10,18]:

$$P_{n,eş} = p_n \Delta\lambda_n T_0 A n^2 \quad (3.15)$$

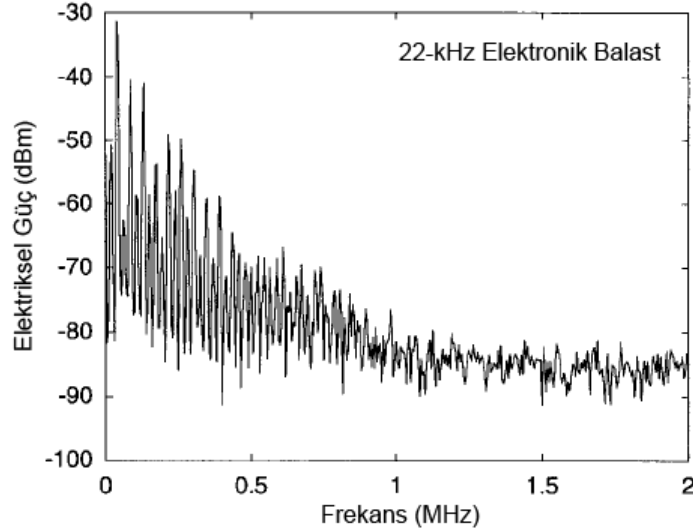
<sup>1</sup> Şekil 3.7(a)'da güç tayfları, aynı tepe değerini sağlayacak şekilde normalize edilmişlerdir. Doğrudan güneş ışığı, tipik olarak diğer iki kaynaktan çok daha yüksek güce sahiptir.

<sup>2</sup> Bu bant genişliği genellikle süzgecin 3 dB bant genişliğine yakın olmakla beraber biraz aşmaktadır.

Dikkat edilmelidir ki (3.15), yoğunlaştırıcının FOV değerinden bağımsızdır. Çünkü (3.3)'de verildiği üzere  $\psi_c$  değıştikçe kazanç öyle değışir ki toplam alıcı gücü  $P_n$  sabit kalır. Yoğunlaştırıcı ideal olmadığında (3.15)  $P_n$  değerini aşar.



(a)



(b)

Şekil 3.7: (a) Yaygın çevresel kızılötesi kaynaklarının optik güç tayfları. Tayflar aynı tepe değerine normalize edilmiştir. (b) 22-kHz'lik bir elektronik balast ile sürülen flüoresan lambasının kızılötesi ışımalarının ölçülen elektriksel güç tayfı [11]

Flüoresan lambalar, düşük maliyetli kızılötesi sistemlerin ilgilendiği 780-950 nm aralığında güçlü ışımalar yaparlar. Flüoresan lamba ışması, lambanın sürülme frekansında periyodığe yakın bir tarzda modüleli işaretlere sahiptir. Ayrıca, algılanan elektriksel gücün tayfı, sürülme frekansının harmonik frekanslarında olmak üzere

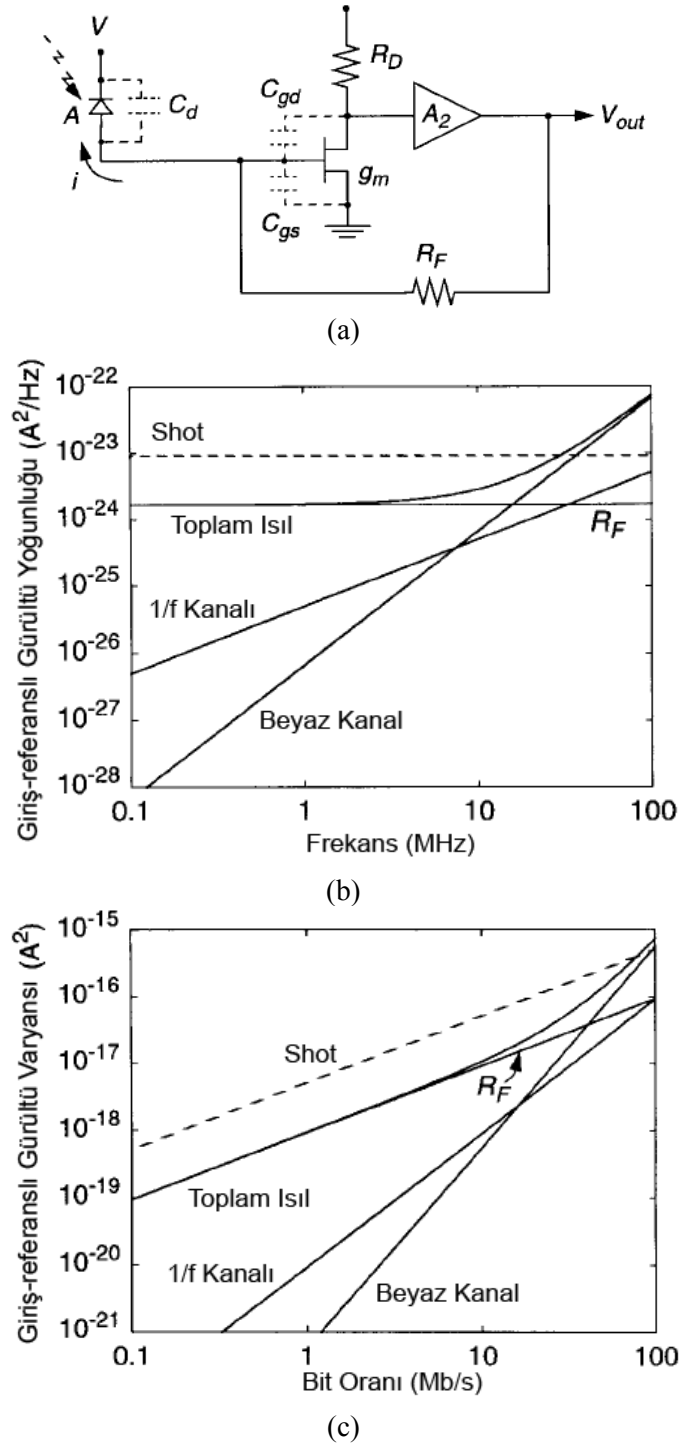
ayrık bileşenler içerir. Genel olarak bu tip lambalar, şebeke gücü frekanslarında (50 veya 60 Hz) sürülürler ve elektriksel tayfları onlarca kHz'lerde harmonik enerjiye sahip olabilmektedir [30,33]. Bununla birlikte günümüzdeki yeni nesil flüoresan lambalar için bu harmonikler onlarca kHz'den yüzlerce kHz'e çıkmıştır. Algılanan elektriksel tayfları yüzlerce kHz'de enerji içerebilmektedir [33,34]. Bu durum, kızılötesi hatlar için önemli derecede olumsuz bir etki anlamına gelir. Şekil 3.7(b)'de 22 kHz'lik balast tarafından sürülen bir lambanın algılanan elektriksel güç spektrumu gösterilmiştir. Flüoresan ışığı gürültüsünün olumsuz etkileri güçlü bir biçimde sistemin modülasyon tekniği ile ilişkilidir.

### 3.6 Foto-algılayıcılar ve Ön-yükselteçler

Daha önce de açıklandığı gibi; düşük maliyetli, küçük kapasiteli, büyük alanlı silikon foto-diyotların elde edilirliliği, birçok kızılötesi hat uygulamalarında 1400 nm. ve ötesi dalga boylarından ziyade 780-950 nm. bandını ön plana çıkarır. İki tip orta ve büyük alanlı silikon foto-diyotları bulunmaktadır: p-i-n foto-diyotları ve çığ foto-diyotları [35]. ığ foto-diyotları genellikle yüksek ters biaslamalı çalışan p-i-n foto-diyotlarıdır. ığ foto-diyotlarında foto indüklemeli taşıyıcılar, çarpışma iyonlaşması ile ikincil taşıyıcıları üreterek elektriksel bir kazanç netice verirler. ığ foto-diyotları, çevresel kaynaklı üreyen shot gürültüsünün az olduğu durumlarda doğrudan algılamalı optik alıcılar için uygun olur. Çünkü iç kazançları, ön-yükseltecin ısıl gürültüsünü yenmeye ve İ.G.O. seviyesini yükseltmeye yardımcı olur. ığ foto-diyotu kullanan alıcılar, çevresel ışığın zayıf olduğu durumlarda etkileyici bir kızılötesi hat başarımı gösterirler [27]. Nitekim shot gürültüsü baskın olduğunda İ.G.O. seviyesinde belirgin bir düşüş gözlenir çünkü çığ foto-diyotunun iç kazancı, doğası gereği işaretin kazancından daha yüksek çarpanlarla shot gürültüsünün varyansını yükseltir. Diğer sakıncaları ise yüksek maliyeti, yüksek bias ihtiyacı, sıcaklıkla değişen kazançlarıdır.

Temel silikon p-i-n foto-diyotları, günümüz ticari kızılötesi hatlarının neredeyse tamamında tercih edilmektedir. Bu nedenle bu bölüm, temel p-i-n foto-diyotlarını ele alarak sürmektedir.





Şekil 3.8: (a) FET-temelli empedans geçişli ön-yükseltecin basitleştirilmiş seması (b) Tek yönlü baskın giriş tayfsal gürültü gücü yoğunlukları (c) Baskın giriş gürültü varyansları.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> (b) ve (c) için varsayılan parametreler: yön-bağımsız açık gökyüzü ışığının tayfsal ışıması  $p_n = 6 \text{ mW}/(\text{cm}^2 \text{ nm})$ , optik süzgecin gürültü bant genişliği  $\Delta\lambda_n = 30 \text{ nm}$ , optik yoğunlaştırıcının gürültü kazancı  $g = 3$ . P-aydınlanmalı silikon p-i-n foto-algılayıcının alanı  $A = 0.1 \text{ cm}^2$ , duyarlılığı  $R = 0.53 \text{ A/W}$ , boşaltma katman kalınlığı  $w = 60 \text{ nm}$ , kapasitesi  $C_d = 17.5 \text{ pF}$ , ters bias  $V = 30 \text{ V}$ . Çevresel üreyen dc foto-akımı  $I_{dc} = 28.6 \text{ mA}$ . Geri besleme direnci  $R_F = 10 \text{ k}\Omega$ . FET parametreleri  $g_m = 40 \text{ mS}$ ,  $C_{gs} + C_{gd} = 1.0 \text{ pF}$ ,  $f_T = 6.4 \text{ GHz}$ ,  $I_D = 20 \text{ mA}$ ,  $K = 294 \text{ fA}$  ve  $\alpha = 1$

Bir p-i-n foto-diyotu anlık optik güç  $p(t)$ 'yi aldığı anda anlık bir foto-akım üretir [11]:

$$i(t) = R p(t) \quad (3.16)$$

$R [A/W]$ , duyarlılığı temsil eder. Tipik bir silikon foto-diyotun duyarlılığı Şekil 3.1'de verilmiş olup 950 nm yakınlarında tepe yaptığı görülmektedir. Arzu edilen işaret ile çevresel ışığın  $P$  ve  $P_n$  ortalama optik güçleriyle alındığı farz edilse ve  $P_n \gg P$  olursa; bu, çevresel ışığın alıcıda bir shot gürültü akımı  $N_{shot}(t)$  ürettiği anlamına gelir. Shot gürültü akımı, genellikle beyaz, Gauss ve arzu edilen işaretten bağımsız olup aşağıdaki gibi tek yönlü tayfsal güç yoğunluğuna sahiptir [11]:

$$S_{shot}(f) = 2qRP_n \quad (3.17)$$

Burada  $q$  elektron yüküdür.  $S_{shot}(f)$ 'nin birimi  $A/Hz$ 'dir.

Ön-yükselteç tasarımları arasında empedans geçişli tipteki ön-yükselteç, çoğu kızılötesi hat için en uygundur çünkü bu tip bir ön-yükselteç, denkleştirici gerektirmeksizin büyük bir dinamik alana ve geniş bir bant genişliğine ulaşabilmektedir [36]. Tipik koşullar altında, ön uçtaki aygıtın BJT yerine FET seçilmesi halinde daha düşük gürültü yakalanır [36,37]. Nitekim güç tüketimi için sınırlar koyulmuşsa BJT, bu durumda çok iyi neticeler sunabilmektedir [37]. Buradan itibaren FET temelli empedans geçişli bir ön-yükselteçten bahsedilmektedir. Böyle bir devrenin basitleştirilmiş şeması Şekil 3.8(a)'da gösterilmiştir.  $A_2$  kazançlı yükseltecin ideal olduğu varsayılarak devre, tek kutuplu bir yanıtı sahip olur. Bu yanıtın kesim frekansı [11]:

$$f_{-3dB} = (g_m R_d A_2 + 1) / 2\pi R_f C_T \quad (3.18)$$

Kızılötesi alıcılarda toplam giriş kapasitesi şu eşitlikle verilir [11]:

$$C_T = C_d + C_{gs} + C_{gd} \quad (3.19)$$

Yüksek bir İ.G.O. seviyesine ulaşmak üzere büyük algılayıcı alanı gerektiğinden; toplam kapasitede baskın olan, genellikle algılayıcı kapasitesi  $C_d$ 'dir. Girişteki toplam gürültünün tayfsal güç yoğunluğu şu eşitlikle verilir [11]:

$$S_{toplam}(f) = S_{shot}(f) + S_{isil}(f) \quad (3.20)$$

Girişteki ısı gürültünün tayfsal güç yoğunluğu [11]:

$$S_{isil}(f) = \frac{4kT}{R_f} + \frac{16\pi^2 kT}{g_m} \left( \Gamma + \frac{1}{g_m R_D} \right) C_T^2 f^2 + \frac{4\pi^2 K I_D^a C_T^2 f}{g_m^2} \quad (3.21)$$

Burada  $k$ , Boltzmann sabiti;  $T$ , mutlak sıcaklık;  $\Gamma$ , FET kanalının gürültü çarpanı,  $K$  ve  $\alpha$ , FET'in 1/f gürültü kayıpları ve  $I_D$ , FET'in akaç akımıdır. Bu tayfsal güç yoğunlukları, 10 Mb/s yayınlık hatta çalışan bir alıcı için tipik parametreler kabul edilerek Şekil 3.8(b)'de çizdirilmiştir.

İlk terim (3.21),  $R_f$  ferri besleme direnci tarafından üretilen beyaz bir gürültü olup ön-yükselteç kesim frekansının yeterince yüksek tutulması kaydıyla  $R_f$ 'nin mümkün olduğunca yüksek seçilmesi bu gürültüyü azaltır. İkinci terim (3.21), FET'in beyaz kanal gürültüsünden ürer.  $f^2$  ile orantılı biçimde artar, öyleyse çok yüksek bit oranlarında çalışan alıcılar için baskın gürültü kaynağı haline gelir. Bu terim, toplam giriş kapasitesi olan  $C_T$ 'nin en aza indirilmesiyle azaltılabilir ki bu aynı zamanda  $C_d$ 'nin en aza indirilmesi anlamını taşır. Bununla beraber ikinci terim, güç tüketimi sınırlamalarının olmadığı durumlarda geçirgenlik ( $g_m$ ) değeri mümkün olduğunca yüksek olan bir FET'in seçilmesiyle en aza indirilebilir. Üçüncü terim (3.21),  $f$  ile orantılıdır. Bu nedenle yüksek bit oranları için önem arz eder. FET'in 1/f kanal gürültüsünden ürer. Küçük  $C_T$ , yüksek  $g_m$  ve küçük  $K$ 'lı bir FET'in seçilmesiyle en aza indirilebilir.

P yahut n ucundan aydınlatılan tipik bir p-i-n foto-diyotu, aşağıdaki gibi bir kapasite değerine sahip olur [11]:

$$C_d = \varepsilon A / 2 \quad (3.22)$$

$A$ , aygıtın alanını;  $w$ , boşaltma katmanının kalınlığını;  $\varepsilon$  ise yarıiletkenin elektriksel geçirgenliğidir. İkinci iki terimin (3.21) önem arz ettiği yüksek bit oranına sahip alıcılar için  $w$  değerinin mümkün olduğu kadar yüksek seçilmesi gerekir. Nitekim  $w$  arttıkça foto-algılayıcının frekans yanıtında geçiş zamanı sınırlamaları

yaşanır [35]. Foton emiş uzunluğundan çok daha kalın olan foto diyotlar için ve doyumun çok altındaki elektrik alanlarda, geçiş zamanı ile sınırlana kesim frekansı  $\mu V/w^2$  ile takriben orantılıdır. Burada  $\mu$  taşıyıcı cinsinin gezginliğini,  $V$  is foto-diyotun ters biasını temsil eder.  $p$ -aydınlanmalı foto-diyot,  $n$ -aydınlanmalı foto-diyota kıyasla çok daha geniş bir bant genişliği sunar çünkü elektronlar deliklere nazaran çok daha yüksek gezginliğe sahiptir. Bias gerilimi  $V$ 'nin üzerine bir sınırlayıcı yerleştirildiğinde ve  $w$ , geçiş zamanı ile sınırlanan 3-dB kesimini veri oranı ile eşitleyecek şekilde seçildiğinde (OOK modülasyonuna göre) alıcı başarımı en uygun hale getirilebilmektedir [37].

### 3.7 Alıcının İ.G.O. ve B.H.O. Analizi

Bu bölümde alıcının İ.G.O. ve B.H.O. değerleri hesaplanmaktadır. Vericinin  $R_b$  bit oranında NRZ-OOK kullandığı varsayılmaktadır. İletilen ortalama güç  $P_t$ , alınan ortalama güç ise daha önce bahsedildiği gibi  $P = H(0)P_t$  olur. Kanalin bozulmasız olduğu ve ilgilenilen tüm frekans aralıklarında  $H(f) = H(0)$  değerinde bir kazançla sahip olduğu farz edilmiştir. [39]'u takip etmek suretiyle, alıcıda ön-yükseltecin bir denkleştirici tarafından takip edilmesiyle alınan darbelerin %100 artan bir bant genişliğine sahip kosinüs Fourier dönüşümlü işaretin elde edildiği görülür. Denkleştirici kazancı öyle seçilir ki, örneklendiğinde çıkışı, gürültü göz ardı edilirse, ya sıfır ya da  $2RP [A]$  olur. Denkleştirici çıkışının her bir örneği bir Gauss gürültüsü içerir. Bu gürültü, shot ve ısıl gürültülerin toplamında ibaret olan toplam bir varyansa sahiptir [11]:

$$\sigma_{toplama}^2 = \sigma_{shot}^2 + \sigma_{isil}^2 \quad (3.23)$$

Bu durumda İ.G.O. şu eşitlikle hesaplanır [11]:

$$\text{İ.G.O.} = \frac{(RP)^2}{\sigma_{toplama}^2} \quad (3.24)$$

B.H.O. ise şu eşitlikle hesaplanır [11]:

$$\text{B.H.O.} = Q(\sqrt{\text{İ.G.O.}}) \quad (3.25)$$

$$Q(x) = \left( \frac{1}{2\pi} \right) \left( \int_{-\infty}^{\infty} e^{-y^2/2} dy \right) \quad (3.26)$$

Örneğin B.H.O. =  $10^{-9}$  seviyesine ulaşabilmek üzere İ.G.O. = 15,6dB olmalıdır.

Shot gürültüsünün varyansı şu eşitlikle verilir [11]:

$$\sigma_{shot}^2 = 2qRP_n I_2 R_b \quad (3.27)$$

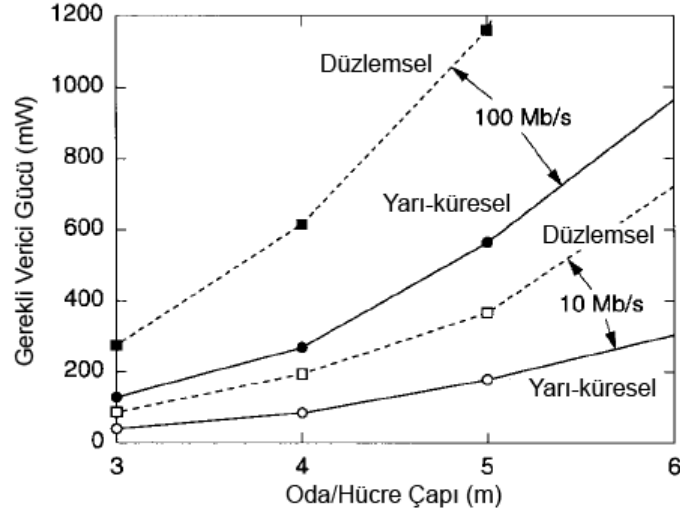
Isıl gürültünün varyansı şu eşitlikle verilir [11]:

$$\sigma_{isil}^2 = \frac{4kT}{R_f} I_2 R_b + \frac{16\pi^2 kT}{g_m} \left( \Gamma + \frac{1}{g_m R_D} \right) C_T^2 I_3 R_b^3 + \frac{4\pi^2 K I_D^a C_T^2}{g_m^2} I_f R_b^2 \quad (3.28)$$

Burada gürültü bant genişliği katsayıları  $I_2 = 0,562$ ,  $I_3 = 0,0868$  ve  $I_f = 0,184$  olarak belirlenmiştir. (3.27) ve (3.28) eşitlikleri incelenirse beyaz girişli tayfsal güç yoğunluğuna sahip shot gürültüsü ve  $R_f$  gürültüsünün,  $R_b$  bit oranı ile orantılı varyansa sebep olduğu görülür.  $f^2$  ve  $f$  ile orantılı giriş tayfsal güç yoğunluğuna sahip FET beyaz kanal gürültüsü ve  $1/f$  kanal gürültüsü,  $R_b^3$  ve  $R_b^2$  ile orantılı varyanslara sebep olur. Gürültü varyansının çeşitli terimleri (3.27) ve (3.28) bit oranının bir fonksiyonu olacak şekilde şekil 3.8(c)'de çizdirilmiştir. 10 Mb/s yayıncı için tipik değerler ele alındığında birkaç on Mb/s'ye kadar shot gürültüsünün baskın olduğu, daha ilerisinde ise beyaz kanal gürültüsünün başı çektiği görülür.

İ.G.O. eşitliği (3.24) incelendiğinde, payın daima algılayıcı alanının karesi ( $A^2$ ) ile orantılı olduğu hatırlanmalıdır. Aynı zamanda shot gürültüsünün varyansı (3.27), algılayıcı alanı ( $A$ ) ile orantılıdır. Bu sebeple, eğer shot gürültüsü baskın gürültü kaynağı ise İ.G.O., algılayıcı alanı ile orantılı olur (İ.G.O.  $\propto A$ ). Isıl gürültünün varyansı (3.28),  $A$ 'nın karmaşık bir fonksiyonudur ve yalnızca  $R_f$  gürültüsü baskın gürültü kaynağı olduğunda İ.G.O., algılayıcı alanının karesi ile orantılı olur (İ.G.O.  $\propto A^2$ ).

Şekil 3.9, G.H. bulunduğu yönsüz hatlarda  $10^{-6}$  seviyesindeki B.H.O. değerini temin eden ortalama veri gücü  $P_t$ 'yi göstermektedir [22,23].



Şekil 3.9: G.H. bulunan yönsüz hatlarda  $10^{-6}$  B.H.O. değerini OOK kullanarak sağlayabilecek gerekli verici gücünün düzlemsel ve yarı-küresel bant geçiren süzgeçler için karşılaştırılması<sup>1</sup> [22,23].

Bu hatların aydınlık gökyüzü ışığı altında ve shot gürültüsünün baskın gürültü kaynağı olduğu durumda çalışmaları varsayılmaktadır. Bu örnek, bir yarı-küresel yoğunlaştırıcının kullanıldığını ele alarak bant geçiren süzgeçlerin düzlemsel ve yarı-küresel geometriler altında sergiledikleri başarıyı karşılaştırır (bkz Şekil 3.3(a) ve (b)). Verici, odanın merkezinde ve tavan yüksekliğinde yerleştirilmektedir. Her bir oda çapı için optik süzgecin bant genişliği ve merkez dalga boyu, vericinin ışınma örüntüsüne göre en uygun şekilde belirlenerek oda içerisinde her yerde arzu edilen B.H.O. değerini temin eden ortalama gücün en aza indirilmesi sağlanmaktadır. Yarı-küresel süzgecin kullanılması, vericinin güç gereksinimini düzlemsel süzgece oranla 3 dB kadar düşürür. Bunun sebebi, yalnızca yarı-küresel süzgecin eş zamanlı biçimde dar bant genişliği ve yüksek işaret iletimine (geniş bir FOV değeri için) ulaşabilmesidir.

<sup>1</sup> Burada, verici hücre merkezinin tavanına yerleştirilmiştir. Gökyüzü tarafındaki üretilen shot gürültüsü baskın gürültü kaynağı. Algılayıcı alanı  $A=1\text{cm}^2$ , yarı-küresel yoğunlaştırıcının yarıçapı 2 cm ve kırılma indisi  $n=1.7$ 'dir. Her hücre çapı için bant geçiren süzgecin bant genişliği ile merkez dalga boyu, vericinin ışınma örüntüsüne göre uygunlaştırılmıştır. Örneğin 5 m hücre çapı için uygunlaştırılmış düzlemsel ve yarı-küresel süzgeçler sırasıyla 70.6 ve 10.7 nm bant genişliğine sahip olur.

## 4. SANAL TEMEL İSTASYONLAR YÖNTEMİ

### 4.1 Giriş

Son zamanlarda, geniş bantlı kablosuz haberleşme ağlarını tesis etmek üzere çeşitli kablosuz erişim sistemleri geliştirilmiştir. Bu gelişim, frekans kaynaklarında yetersizliğin ve tıbbi cihazlar üzerinde elektromanyetik girişimin baş göstermesini netice vermiştir. Bu sayede veri iletim ortamı olarak elektrik dalgası yerine ışık dalgası kullanan kablosuz optik iletişim sistemleri dikkat çekmiştir [8,10]. Bu durum, ışık dalgalarının yalnızca fiziksel engeller tarafından kesilebilir olmasından ve komşu odalardan kaynaklanabilecek girişimin kolaylıkla önlenabilir olmasından ortaya çıkmaktadır. Ek olarak, diğer elektronik cihazlar ile aralarında elektromanyetik girişim olmamaktadır.

Serbest Uzay Optiği Üzerinden Radyo (RoFSO) sistemi, elektrik dalgasının kullanımının güç yahut yasaklanmış olduğu yerlerde hareketli istasyonların kablosuz radyo sistemlerini kullanabilmesini temin etmek üzere araştırılan bir tekniktir [9]. RoF tekniklerinin S.U.O. sistemi üzerine uygulanması ile gerçekleşen bu sistem, radyo sinyallerini kablosuz optik sinyalden ibaret olan alt-taşıyıcıya hapseder ve radyo sinyallerini kablosuz optik iletişim hattı vasıtasıyla iletir.

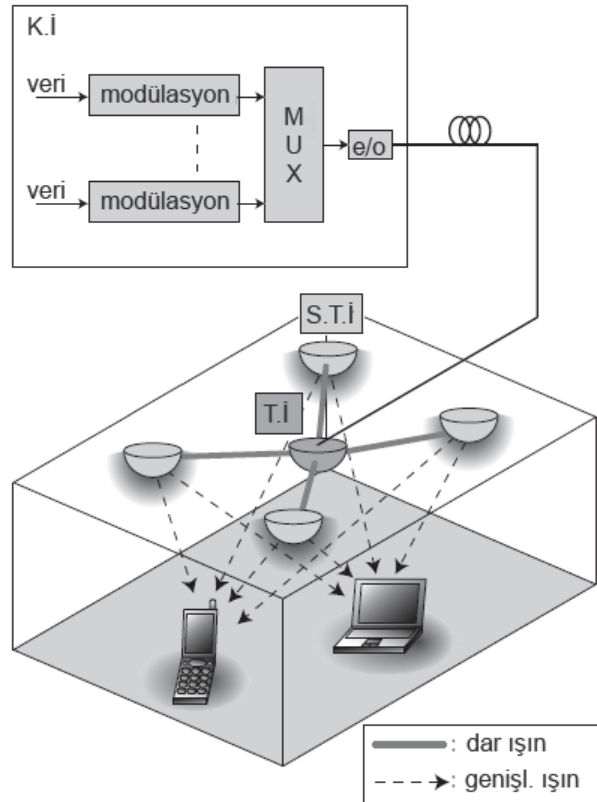
Bölüm 2.3'te hat çeşitleri incelenirken G.H. bulunan hatların yayılım kaybını en aza indirdiğinden ve sistemin yapısını basitleştirdiğinden; bununla beraber verici ve alıcı arasındaki optik yol engelle kesildiğinde iletişimi sağlamanın mümkün olmadığını bahsedilmektedir. Bunun sebebi ışığın saydam olmayan maddelerin ardına geçemiyor olmasıdır. Bu durumda alıcı saydam olmayan madde tarafından gölgeleme etkisine maruz bırakılıyor demektir [7].

Gölgeleme sorununu gidermek üzere bu bölümde bir kontrol istasyonu (K.İ.), bir temel istasyon (T.İ.) ve temel istasyonun görüş alanı haricinde kalan bölgeleri de

kapsayacak şekilde hizmet alanını genişleten çoklu pasif dışbükey aynalardan ibaret sanal temel istasyonlar (S.T.İ.) içeren Sanal Temel İstasyonlar Yöntemi (S.T.İ.Y.) önerilmektedir [1]. Bu yöntemde tüm işaret işleme silsilesi K.İ.' de gerçekleştirilir ve T.İ. kablosuz optik sinyali havaya yayar. Dışbükey aynalar T.İ. tarafından yansıtılan optik ışını hizmet alanına dağıtır. Bu sayede güç kaynağına gereksinimi olmayan sanal T.İ.'ler gibi (S.T.İ.) davranırlar ve sanal G.H. bulunan hatları oluştururlar. Ardından, bu dışbükey aynaları görebilen gezgin istasyonlar (G.İ.) bazı hatlar kesik olsa dahi bir hat üzerinden sinyal alabilir. Bu bölümde gölgelemenin azaltılması ve hareketli istasyonlardaki sinyal kalitesi bilgisayar simülasyonları ile değerlendirilmektedir.

## 4.2 Sanal Temel İstasyonlar Yöntemi

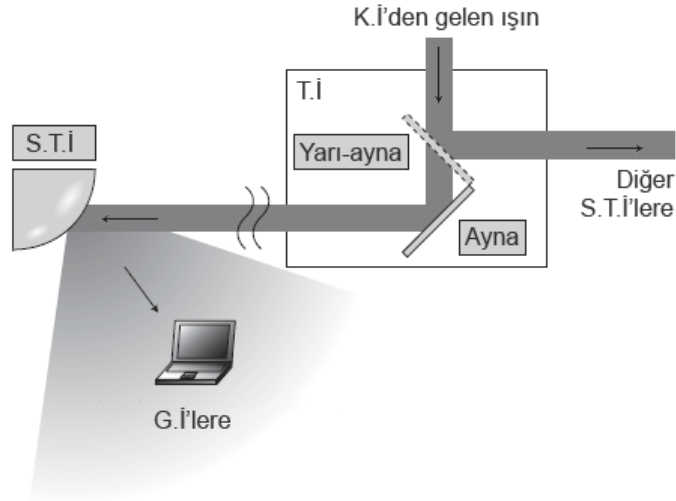
### 4.2.1 Sistem yapılandırması



Şekil 4.1: Önerilmekte olan S.T.İ.Y.'nin sistem modeli



Şekil 4.1 S.T.İ.Y.'yi göstermektedir. Bu sistemde G.İ.'lerin talep ettiği radyo sinyalleri üretilir ve bu sinyaller LD'yi şiddet modülasyonu ile modüle eder (Bölüm 2.4) ve G.İ.'deki radyo sinyalleri içeren optik işaret üretilir. Ardından bu optik işaret, T.İ.'ye aktarılır ve T.İ.'de bulunan yarı-aynalar tarafından S.T.İ. sayısınca bölünür. Bu bölünmüş dar optik sinyal, S.T.İ.'lere hava arayüzüyle iletilir. Daha sonra, S.T.İ.'ler, T.İ.'den gelen dar ışını tam yansıma ile yansıtır ve genişleterek optik sinyali tüm hizmet alanına yayar. Şekil 4.2, T.İ. ve S.T.İ. düzenini göstermektedir. Her bir G.İ., T.İ.'den gelen optik sinyali iki veya daha çok S.T.İ. üzerinden alır. Alınan optik sinyal, optik-elektrik (O/E) dönüştürücü ile elektriksel sinyale dönüştürülerek talep edilen işaret elde edilir. Bu sistemde, hareketli istasyon ile aynalar arasında bir veya daha çok hat G.H. konumunda bulundukça iletişim kurmak mümkündür.



Şekil 4.2: T.İ. ve S.T.İ. düzeni

#### 4.2.2 S.T.İ.Y. kanalının DC kazancı

Şekil 4.1'de görüldüğü üzere S.T.İ.Y. kanalında dar optik ışın, dışbükey anten düzeneğinden ibaret olan S.T.İ.'ler vasıtasıyla pürüzsüz küresel yüzeyden yansıtılarak geniş optik ışın haline getirilmektedir. Verici ve alıcı arasında doğrudan bir optik hat (G.H.) olmamasından ve dar ışının yansıtılarak genişletilmesinin ötürü bu senaryo, G.H. bulunmayan yönlü ve karma sistemler için uygun olmaktadır. Dar açılı bir alıcı seçilirse hat yönlü, geniş açılı bir alıcı seçilirse karma hat düzenine uygun düştüğü söylenebilmektedir.

S.T.İ.Y. kanalının DC kazancını hesaplayabilmek üzere Bölüm 3.4'teki yaygın hat düzenlerine ait teknik bilgilerden faydalanılmaktadır. Bununla beraber S.T.İ.Y. kanalında optik ışınların maruz kaldığı yansıma dağınık yansımadan ziyade küre yüzeyinde gerçekleşen tam yansıma olması itibariyle yansıyan ışının genel Lambert tipi vericiden ( $\phi_{1/2} = 60^\circ$ ) ayrılan ışınlar gibi incelenmesi mümkün olamamaktadır. Bu durumda analizi kolaylaştırmak amacıyla kanalı iki kanalın birleşimi olarak incelemek, daha doğru olmaktadır. İlk kanal, T.İ.'den S.T.İ.'ye gelen ışınların içinde bulunduğu optik yol olmak üzere K1 adıyla incelenmektedir. Bu kanal, G.H. bulunan yönlü bir hat niteliğine sahip olmaktadır. İkinci kanal ise S.T.İ.'den ayrılan ışınların hizmet alanı içerisinde bulunduğu optik yol olmak üzere K2 adıyla incelenmektedir. Bu kanal, seçilen alıcının görüş açısının büyüklüğüne göre G.H. bulunan yönlü/karma/yönsüz hat düzenlerinin her birine uygun olmakla birlikte ortak bir geometriye dayanan kazanç eşitliğine sahiptir.

K1 kanalını incelemek üzere, alıcı konumunda S.T.İ. yerine özel bir alıcı yapısı düşünülmelidir. Bu alıcı, en fazla<sup>1</sup> S.T.İ.'nin küresel yüzeyi (1/4 küre) kadar aktif alana ( $A_{S.T.I.}$ ) sahip eşyönlü bir alıcı olarak düşünülmelidir. Bu durumda verici eksenine ile alıcı arasındaki açı olan  $\phi$  değeri daima sıfır olmaktadır. Vericinin iletim yarı açısı belirlendiğinde önce (3.8) eşitliği ile  $m$ , ardından genelleştirilmiş Lambert ışın şiddeti  $R_o(\phi)$  bulunur. Verici ve alıcı arasındaki  $d_{K1}$  mesafesi dikkate alındığında S.T.İ. konumdaki optik güç ( $P_{S.T.I.}$ ) (3.4) ve (3.5) eşitlikleri yardımıyla bulunabilir. Bu durumda K1 kanalının kazancı şu eşitlikle verilebilmektedir:

$$H(0)_{K1} = \frac{A_{K1}(m_{K1} + 1)}{2\pi d_{K1}^2} \quad (4.1)$$

K2 kanalını incelemek üzere, alıcı konumunda S.T.İ. yerine bu kez özel bir verici yapısı düşünülmelidir. Bu verici, S.T.İ. tarafından yansıtılan ışınların maruz kaldığı en yüksek iraksama açısında bir iletim yarı açısına ( $\phi_{1/2-S.T.I.}$ ) sahip ve ortalama optik iletim gücü  $P_{S.T.I.}$  olan bir vericidir. Alıcı ise optik yoğunlaştırıcı ve süzgeçleme

---

<sup>1</sup> K1 için aktif alanı, vericinin iletim yarı-açısına bağlıdır. Bu açının belirlenmesine ileride bahsedilmektedir.

uygulanan dar görüş açısına sahip bir yapıda düşünüldüğünde<sup>1</sup> ve verici ve alıcı arasındaki  $d_{K2}$  mesafesi dikkate alındığında alınan optik güç yine yukarıdaki gibi (3.4) ve (3.5) denklemlerinden bulunabilir. Bu durumda K2 kanalının kazancı şu eşitlikle elde edilebilmektedir:

$$H(0)_{K2} = \begin{cases} \frac{A(m_{K2} + 1)}{2\pi d_{K2}^2} (\cos\phi)^{m_{K2}} T_s(\psi) g(\psi) \cos\psi & , 0 \leq \psi \leq \psi_c \\ 0 & , \theta \geq \psi_c \end{cases} \quad (4.2)$$

Böylelikle S.T.İ.Y. kanalının DC kazancı ortaya çıkmaktadır:

$$H(0)_{S.T.I.Y.} = H(0)_{K1} H(0)_{K2} \quad (4.3)$$

$$= \begin{cases} \frac{A_{K1}(m_{K1} + 1)}{2\pi d_{K1}^2} \frac{A(m_{K2} + 1)}{2\pi d_{K2}^2} (\cos\phi)^{m_{K2}} T_s(\psi) g(\psi) \cos\psi & , 0 \leq \psi \leq \psi_c \\ 0 & , \theta \geq \psi_c \end{cases}$$

### 4.2.3 İletim açısının belirlenmesi

Yönsüz sistemler verici ve alıcının fiziksel olarak konumlandırılma gereksinimini ortadan kaldıran bir yeteneğe sahip olmakla birlikte bu sistemlerin en temel sakıncası; işaretin tavan, duvar veya diğer nesnelere yansımalarla bozulmaya uğramasıdır [11]. Buna çok-yolluluk bozulması adı verilir. Çok-yolluluk bozulması etkisinde bulunan bir kanalda işaret, gecikme yayılması [11,13] yaşar; yani alıcıda elde edilmesi arzulanan dalga şekli zaman ekseninde yansımalarla kaynaklanan gecikmeler sebebiyle bir genişleme gösterir. Bu genişleme, işaretlerin birbirine karışmasına neden olarak girişimi netice verir. Çok-yolluluk bozulmasının yönsüz sistemlerde sebep olduğu bu olumsuz etkileri azaltmak üzere DFE gibi denkleştiriciler, MLSD gibi algılama teknikleri, WMF gibi süzgeçler ve çeşitli hata kodlaması yöntemleri geliştirilmiştir [11]. Fakat bu yapılar alıcıdaki işlem yükünü oldukça arttıran, alıcının elektronik yapısını karmaşıklaştıran ve maliyeti arttıran iyileştirmeler olmakla beraber işaretin bozulması nedeniyle yaşanan güç verimsizliğini tamamen ortadan kaldıramamaktadır.

<sup>1</sup> S.T.İ.Y. için geçerli olan alıcı yapısı ayrıntısıyla Bölüm 5'te incelenecektir.

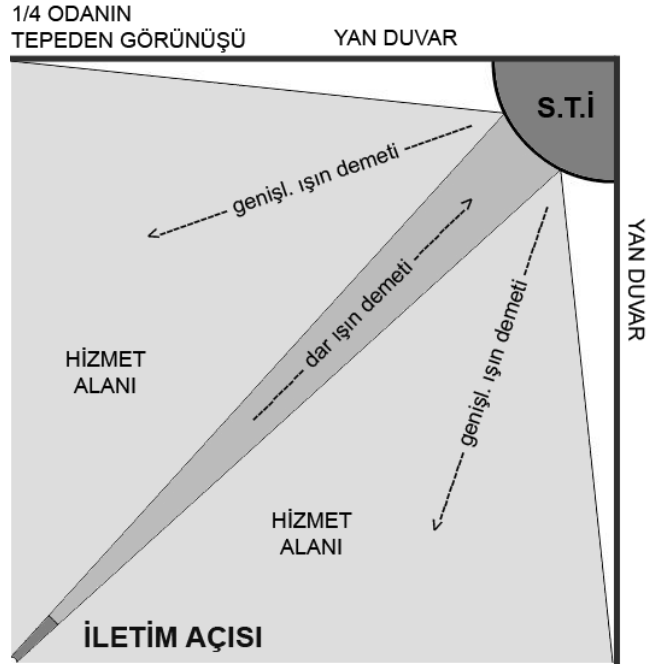
Buradan hareketle hat tasarımının çok-yolluluk bozulmasına yol açmayacak şekilde gerçekleştirilebiliyor olması büyük önem taşımaktadır. S.T.İ.Y., bu etkiden muaf olabilecek bir tasarıma olanak tanıyabilen yetenekte olması açısından kızılötesi uygulamalarında yaygın biçimde tercih edilen yayınlık sistemler karşısında önemli bir üstünlüğe sahip olmaktadır.

Yukarıda açıklandığı gibi çok-yolluluk bozulması işaretin başta tavan ve duvarlardan yansımaları sonucu ışınların farklı yollar takip etmesinden kaynaklanır. Öyleyse ışınların, hizmet alanını kapalı alanın tümüne ve çoğuna yaymaya yetecek derece dar bir iletim açısıyla seyretmeleri, duvar ve tavanla temaslarının en aza indirilmesi sağlanırsa bu etki büyük ölçüde ortadan kalkabilmektedir.

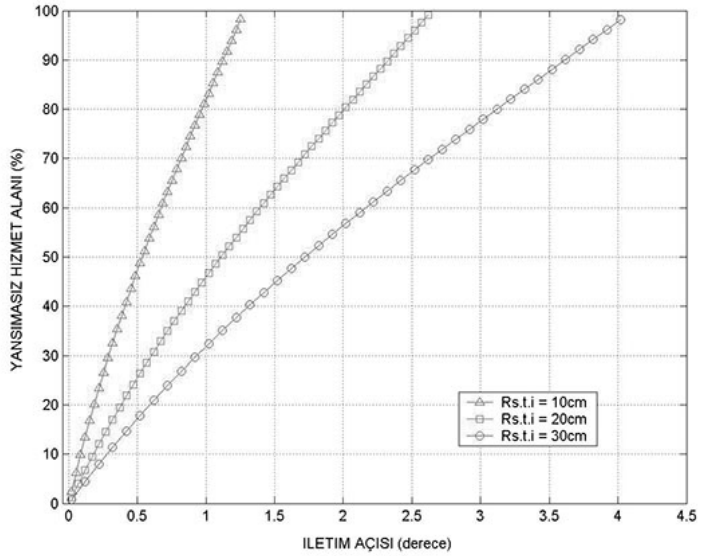
S.T.İ.Y.'nin bu üstünlüğü gösterebilmesi büyük oranda vericinin iletim açısının en uygun şekilde seçilmesine bağlıdır. İletim açısının etkisini ortaya koymak üzere Bölüm 4.2.1'de tanımlanan ikili kanal yapısını hatırlamak gerekir. İlk kanalda (K1) vericiden (T.İ.) oldukça dar bir açıyla hapsedilerek gönderilen ışınlar doğrudan alıcıya (S.T.İ.) ulaşmakta, böylelikle çok-yolluluk yaşanmamaktadır. İkinci kanalda (K2) ise ışınlar tam yansımaya maruz kaldığından iletim açısına bağlı bir şekilde hizmet alanına yayılırlar. Hizmet alanına yayılan ışınların yan duvarlardan yansımaları önlenir veya en aza indirilirse çok yolluluk bozulmasını netice vermeyen en yüksek hizmet alanına ulaşılmış olur.

Burada, iletim açısını belirlemek üzere iki boyutlu bir analiz yapılmaktadır. Bu analizi gerçekleştirmek üzere (5m-5m-3m), (10m-10m-3m) ve (20m-20m-3m) boyutlarında odalar olmak üzere üç adet kapalı alan varsayımında bulunmaktadır. Odalarda dört tavan köşesine S.T.İ.'ler, tavanın ortasına ise T.İ. yerleştirilip G.İ.'lerin (örn. Laptop, uzaktan kumanda, cep telefonu, ..) odalarda yerden ortalama 1m yükseklikte seyrettikleri farz edilmektedir. Bu durumda hizmet alanı yerden 1m yükseklikteki düzlemsel alanın tamamını kapsamak durumundadır. Analizi yapmak için her bir odada yalnız bir S.T.İ.'ye düşen hizmet alanının (¼ oda) incelenmesi yeterli olacaktır. Diğer S.T.İ.'lerin analizi de aynı sonuçları verecektir.

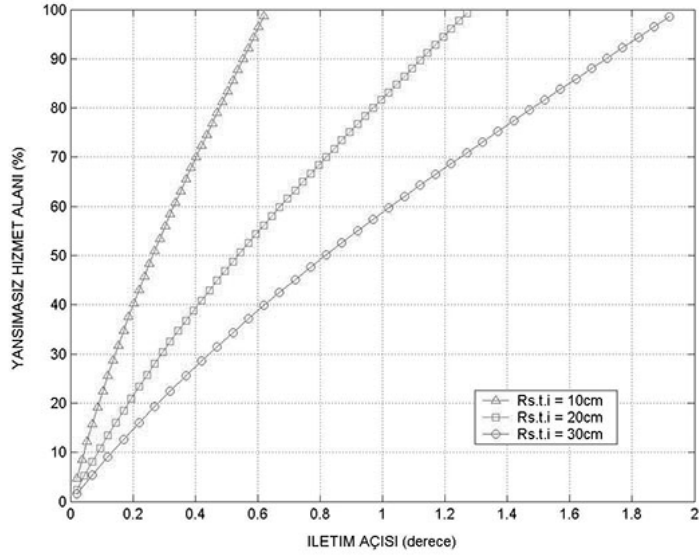
İlk olarak  $\frac{1}{4}$  odaya tepeden bakıldığında (Şekil 4.3) T.İ.'den S.T.İ.'ye seyreden dar ışın demetinin S.T.İ.'nin pürüzsüz küresel yüzeyinde (dışbükey ayna özelliği) tam yansıma yaparak geniş bir ışın demeti şeklinde odaya yayıldığı görülür. Genişletilmiş ışın demetinin oda içerisinde kapsadığı alan hizmet alanı olarak ortaya çıkar. Bu ışın demeti  $\frac{1}{4}$  odanın yan duvarlarına temas etmeyecek derecede yüksek seçilen bir iletim açısıyla T.İ.'den gönderilirse çok-yolluluk bozulmasına sebep olmayan en yüksek hizmet alanına erişilebilmektedir.



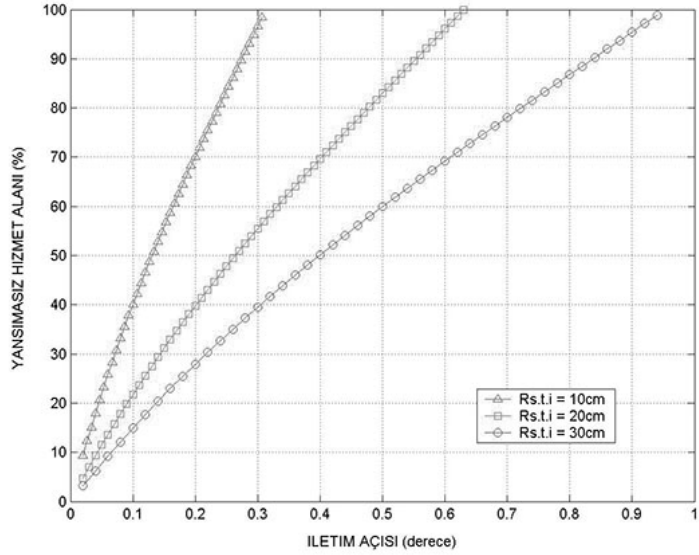
Şekil 4.3: İletim açısının belirlenmesi-1 ( $\frac{1}{4}$  odanın tepeden görünüşü)



(a)



(b)



(c)

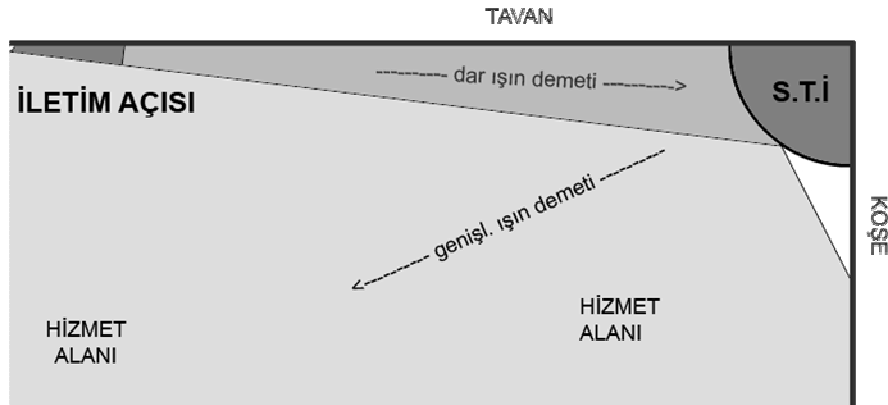
Şekil 4.4: (a) 5m-5m-3m (b) 10m-10m-3m (c) 20m-20m-3m boyutlarındaki odalar ve Rs.t.i.=10,20,30 cm yarıçaplarında S.T.İ.'ler için iletim açılarına göre yansımaz hizmet alanı

Tablo 4.1: ¼ odanın tepeden görünüşüne göre yansımaz hizmet alanını en yüksek seviyeye taşıyan en uygun iletim açıları

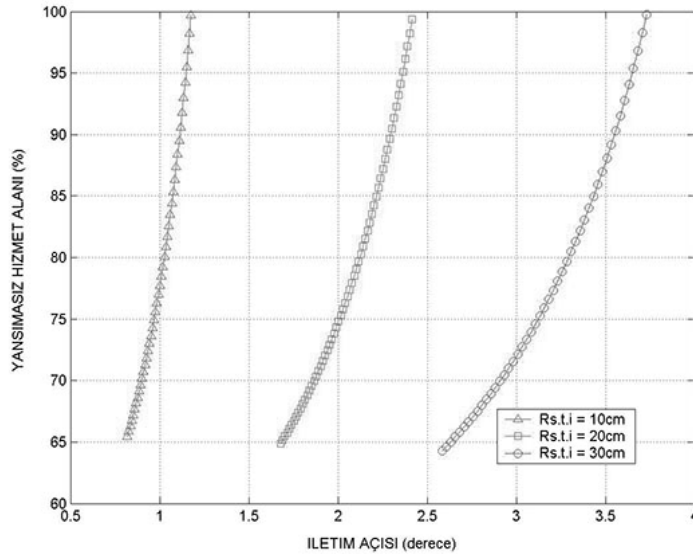
Oda boyutları	İletim Açıları (derece)		
	Rs.t.i. = 10cm	Rs.t.i. = 20cm	Rs.t.i. = 30cm
5m-5m-3m	1.253	2.62	4.02
10m-10m-3m	0.62	1.27	1.92
20m-20m-3m	0.3067	0.63	0.94

Şekil 4.4,  $\frac{1}{4}$  odanın tepeden görünüşüne göre çeşitli oda boyutları ve S.T.İ. yarıçapları için iletim açısına göre kapsanabilecek yansısız hizmet alanını gösteren grafikleri içermektedir. Tablo 4.1, bu görünüşe göre hizmet alanlarını %100'e ulaştıran açı değerlerini listelemektedir.

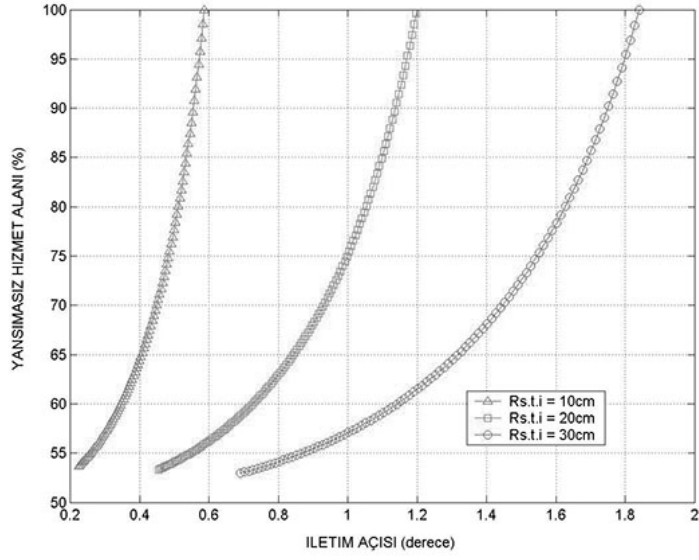
İkinci olarak,  $\frac{1}{4}$  odanın T.İ.-S.T.İ. arasındaki düşey kesitine bakıldığında (Şekil 4.5) T.İ.'den S.T.İ.'ye seyreden dar ışın demetinin S.T.İ.'nin pürüzsüz küresel yüzeyinde tam yansıma yaparak geniş bir ışın demeti şeklinde odaya yayıldığı görülür. Genişletilmiş ışın demetinin oda içerisinde kapsadığı alan hizmet alanı olarak ortaya çıkar. Bu ışın demeti  $\frac{1}{4}$  odanın yan duvarlarına temas etmeyecek derecede yüksek seçilen bir iletim açısıyla T.İ.'den gönderilirse çok-yolluluk bozulmasına sebep olmayan en yüksek hizmet alanına erişilebilmektedir.



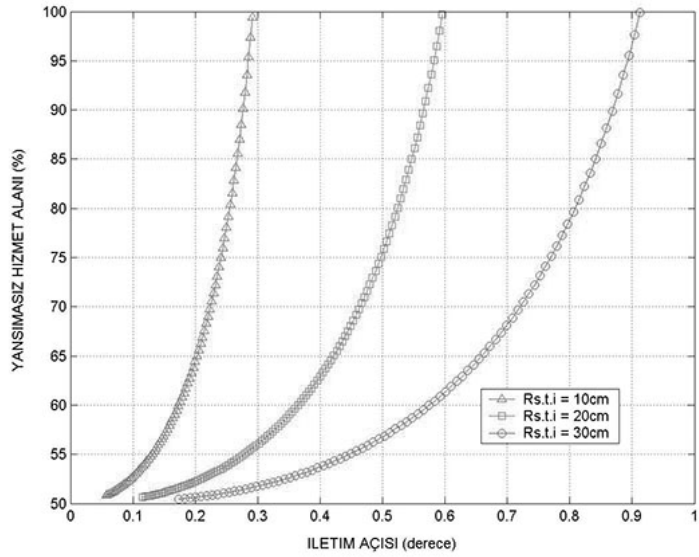
Şekil 4.5: İletim açısının belirlenmesi-2 ( $\frac{1}{4}$  odanın T.İ.-S.T.İ. arasındaki düşey kesitinin görünüşü)



(a)



(b)



(c)

Şekil 4.6: (a) 5m-5m-3m (b) 10m-10m-3m (c) 20m-20m-3m boyutlarındaki odalar ve  $R_{s.t.i.}=10,20,30$  cm yarıçaplarında S.T.İ.'ler için iletim açılarına göre yansımaz hizmet alanı ( $\frac{1}{4}$  odanın T.İ.-S.T.İ. arasındaki düşey kesitinin görünüşüne göre)

Tablo 4.2:  $\frac{1}{4}$  odanın T.İ.-S.T.İ. arasındaki düşey kesitinin görünüşüne göre yansımaz hizmet alanını en yüksek seviyeye taşıyan en uygun iletim açıları

Oda boyutları	İletim Açıları (derece)		
	$R_{s.t.i.} = 10\text{cm}$	$R_{s.t.i.} = 20\text{cm}$	$R_{s.t.i.} = 30\text{cm}$
5m-5m-3m	1.176	2.415	3.733
10m-10m-3m	0.5861	1.197	1.84
20m-20m-3m	0.2915	0.5957	0.9125



Şekil 4.6, ¼ odanın T.İ.-S.T.İ. arasındaki düşey kesitinin görünüşüne göre çeşitli oda boyutları ve S.T.İ. yarıçapları için iletim açısına göre kapsanabilecek yansız hizmet alanını gösteren grafikleri içermektedir. Tablo 4.2, bu görünüşe göre hizmet alanlarını %100'e ulaştıran açı değerlerini listelemektedir.

İletim açıları, yapılan analizler sonucu iki görünüşe göre ikişer değer ortaya koymaktadır. Tasarım için seçilecek iletim açısının bu iki değer arasından seçilmesi uygun olur. İkinci görünüşe göre elde edilen grafiklere (Şekil 4.6(a),(b),(c)) bakılırsa açı değişimlerinin hizmet alanına yansıyan değişimleri ilk görünüştekine oranla daha fazladır. Yani tasarım için seçilecek iletim açısının ikinci görünüşe göre çok-yolluluk bozulmasını netice vermeyen hizmet alanına toleransı daha düşüktür. Öyleyse bu açı seçiminin ikinci görünüşe göre elde edilen iletim açılarına yakın olması daha iyi bir seçim olmaktadır.

Küçük çaplı S.T.İ. seçimi iletim açısını daraltarak T.İ.-S.T.İ. hizalamasındaki hata toleransını düşürür, bununla beraber oda içerisinde hizmet dışı kalan kör alanlar<sup>1</sup> azalır. Büyük çaplı S.T.İ. seçimi iletim açısını göreceli olarak daha geniş tutabilme olanağı sağlayarak T.İ.-S.T.İ. hizalamasındaki hata toleransını yükseltir bununla beraber oda içeriğinde hizmet dışı kalan kör alanlar artar.

Küçük boyutlu kapalı alanlarda kör alanın en düşük olması istenir ve boyutlar küçük olduğundan hizalama hataları daha düşük olacaktır. Öyleyse bu tip kapalı alanlarda küçük çaplı S.T.İ.'lerin kullanılması uygundur. Oda boyutları büyüdükçe hizalama hataları daha yüksek olacağından toleransa duyulan ihtiyaç artar. Bununla birlikte kör alanın artması hizmet alanının artmasından çok daha yavaş seyredeceği için bu tip kapalı alanlarda büyük çaplı S.T.İ.'lerin seçilmesi uygundur.

Bu tasarım kriterleri ele alındığında küçük, orta ve büyük boyutlu kapalı alanlar için tavsiye edilen iletim açısı ve S.T.İ. yarıçap değerleri Tablo 4.3'te verilmektedir.

---

<sup>1</sup> Kör alanlar, Şekil 4.3 ve 4.5'te oda içerisinde beyaz renkle resmedilmiş alanlardır. Bu alanlar en çok oda tavanının kenar ve köşelerinde etkili olmaları sebebiyle kızılötesi cihazlarının yaygın olarak seyrettiği kesimlerde (örn. yerden 1m yükseklik) olumsuz etkiler yaşatmamaktadır.

Tablo 4.3: Küçük, orta ve büyük boyutlu kapalı alanlar için tavsiye edilen iletim açısı ve S.T.İ. yarıçap değerleri

Oda boyutları (m)	Tavsiye edilen S.T.İ. yarıçapı (cm)	İletim açısının seçim aralığı	Tasarım için tavsiye edilen iletim açısı (°)
5-5-3 (küçük)	10	1.176-1.253	1.2
10-10-3 (orta)	20	1-1.97-1.27	1.225
20-20-3 (büyük)	30	0.9125-0.94	0.925

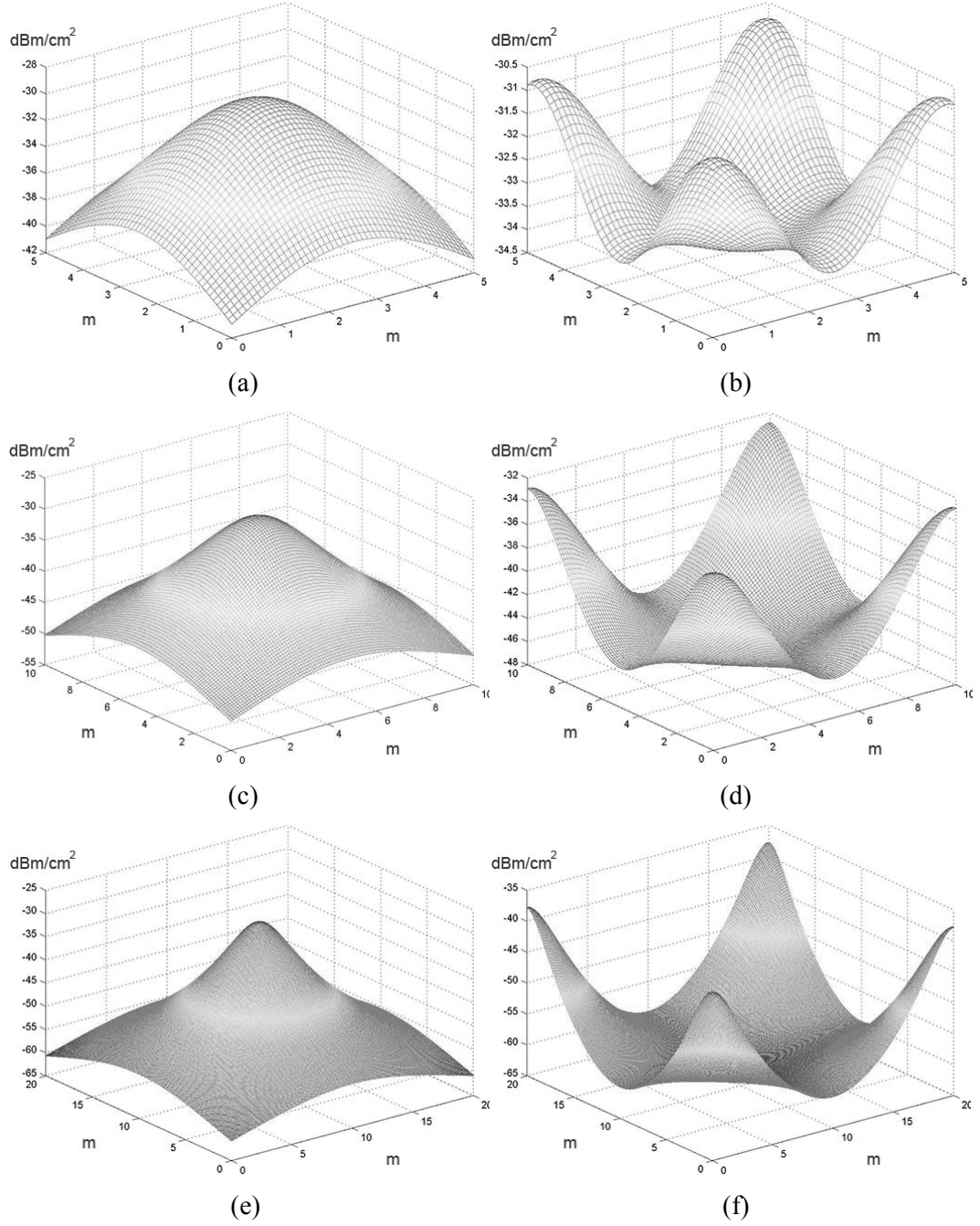
#### 4.2.4 İşaret kalitesi

Bu bölümde S.T.İ.Y. sistemi ile klasik sistemin hizmet alanı boyunca yaydığı işaret kaliteleri analiz edilmektedir. Optik işaretin (optik şiddet) doğrudan T.İ. tarafından iletildiği sistemi klasik sistem olarak tanımlanmaktadır. Şekil 4.7 çeşitli oda boyutları için hem klasik sistemle elde edilen ışık şiddeti dağılımlarını hem de S.T.İ.Y. ile elde edilen ışık şiddeti dağılımlarını göstermektedir.

Bu analiz gerçekleştirilirken iletilen ortalama optik güç 100 mW olarak seçilmiş ve S.T.İ.Y. yöntemi için diğer parametreler ise Bölüm 4.2.3'te anlatılan ölçütlere uygun biçimde seçilmiştir.

Şekil 4.7'ye bakıldığında optik işaretin yalnızca bir T.İ. tarafından iletilmesi durumunda işaret kalitesinin kötü olduğu ve optik zayıflamadan ötürü işaretin oda köşelerinde oldukça zayıfladığı görülür. Oda boyutları arttıkça bu düşüş yükseldiğinden optik şiddetin dağılımı önemli derecede yüksek farklara ulaşır. Klasik sisteme nazaran S.T.İ.Y. uygulandığında işaret dağılımının her üç oda için daha düzenli bir dağılım seyrettiği görülmektedir. Bununla beraber oda boyutları arttıkça işaret oda merkezinde köşelere nazaran yüksek bir zayıflama göstermektedir.

Tablo 4.4, Klasik sistem ve S.T.İ.Y. ile elde edilen işaret kalitelerini karşılaştırmaktadır. S.T.İ.Y. ile elde edilen en düşük optik şiddeti çoğunlukla klasik sistemin üzerinde (özellikle küçük oda boyutlarında) bulunduğu için güç verimliliği sağlamakta ve dağılımının ise daha düzgün seyretmesinden ötürü göreceli olarak daha kaliteli işaret sunmakta olduğu neticesine varılabilmektedir. Verilen en büyük boyutlarda ise her iki sistemin işaret kaliteleri birbirine yakın seyretmektedir.



Şekil 4.7: (a) 5m-5m-3m, (c) 10m-10m-3m, (e) 20m-20m-3m oda boyutları için klasik sistemle elde edilen optik şiddet dağılımı. (b) 5m-5m-3m, (d) 10m-10m-3m, (f) 20m-20m-3m oda boyutları için S.T.İ.Y. ile elde edilen optik ışık şiddet dağılımı

Tablo 4.4: Klasik sistem ve S.T.İ.Y. ile elde edilen işaret kalitelerinin karşılaştırılması

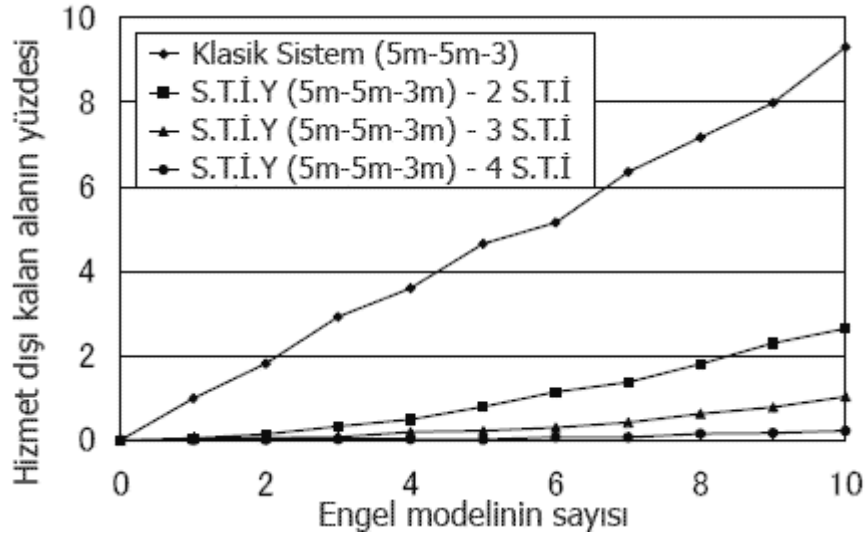
Oda boyutları	İşaret kalitesi – optik şiddet (dBm/cm <sup>2</sup> )					
	En yüksek		En düşük		Fark	
	Klasik	S.T.İ.Y.	Klasik	S.T.İ.Y.	Klasik	S.T.İ.Y.
5m-5m-3m	-30	-30.75	-41	-34.2	11	3.45
10m-10m-3m	-30	-33	-50	-46.5	20	16.5
20m-20m-3m	-30	-36.5	-61	-62.5	31	26

#### 4.2.5 Gölgeleme etkisi

Bu bölümde S.T.İ.Y.'nin gölgeleme etkisine karşı dayanıklılığı analiz edilmektedir. Bu analizi gerçekleştirebilmek üzere öncelikle engel modeli tanımlanmalıdır. Engel modeli olarak insan seçilmiş olup insan modellerinin hizmet alanı içerisinde gezindiği farz edilmektedir. Bu insan modelini, 160 cm uzunluğunda ve 40 cm genişliğindeki küpsüler teşkil etmektedir.

Şekil 4.8, hizmet alanında bulunan insanların sayısına göre G.İ. ile iletişimin kurulamaması durumunu klasik sistem ve farklı sayıda S.T.İ. içeren S.T.İ.Y. uygulamaları için karşılaştırmaktadır. Burada görülür ki S.T.İ.Y., gölgeleme etkisini bastırmakta ve hizmet alanında on insan bulunduğu sırada dahi gölgeleme sebebiyle hizmet dışı kalan alan % 0.2'yi geçmemektedir. Bununla birlikte klasik sistemde bu oran % 9'a yükselmektedir.

Gölgeleme etkisinin analizi oda boyutları küçük olduğunda önemi artmaktadır. S.T.İ.Y., Şekil 4.8'de görüldüğü üzere küçük boyutlu kapalı alanlarda (5m-5m-3m) dahi tatmin edici bir netice sunabilmektedir.



Şekil 4.8: Klasik sistem ve farklı sayıda S.T.İ. içeren S.T.İ.Y. sistemleri için gölgeleme etkisi sonucu hizmet dışı alanın engel modeli sayısına göre yüzdesi

#### 4.2.6 Yayınık sistemlerle karşılaştırılması

S.T.İ.Y., kapalı alan kablosuz optik haberleşmesinde yaygın olarak tercih edilen yayınık sistemlerin [10] belirgin özelliklerini sağlayabilen ve bazı yönleriyle üstün gelen bir sistem olarak ortaya çıkar. Bu özellikler ve kıyas, Tablo 4.5'te görülmektedir.

Tablo 4.5: S.T.İ.Y. ile yayınık sistemlerin karşılaştırılması<sup>1</sup>

Özellik	S.T.İ.Y.	Yayınık Sist.
Hizmet alanının tüm odayı kapsamı	+	+
Gölgeleme etkisine karşı sağlamlık	+	+
Güç verimliliği	görece yüksek	görece alçak
Çok-yolluluk bozulması	yok	var
G.H. zorunluluğu	var	yok
Sabit yapılar/aygıtlar	var	yok

<sup>1</sup> Tablodaki gri renkli gölgeleme üstünlüğe işaret eder.

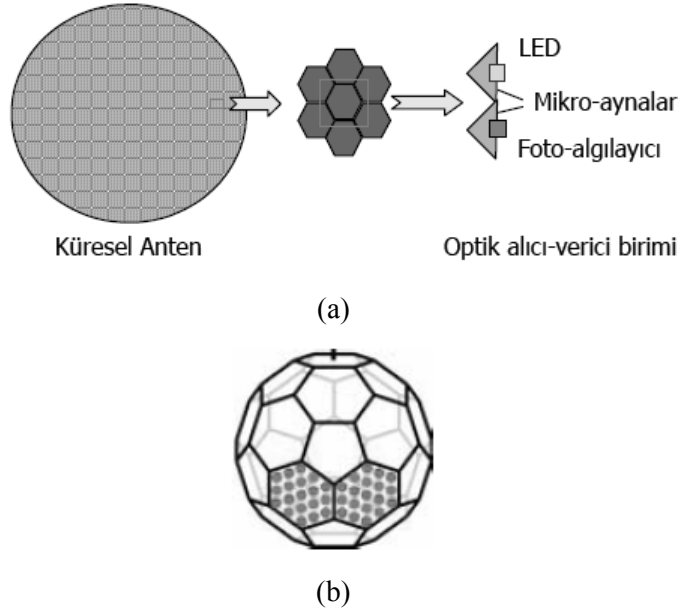
## 5. KÜRESEL OPTİK ANTEN TASARIMI

### 5.1 Giriş

Kablosuz optik haberleşmesi, diğer adıyla Serbest Uzay Optiği (S.U.O.), karasal son mil uygulamalarında ve kapalı alan kızılötesi yerel ağlarda ticari iki nokta arası hatlara hizmet eden etkili bir yüksek bant genişlikli haberleşme teknolojisidir. [40,41,42]. S.U.O. birtakım çekici özelliklere sahiptir: lisans gerektirmeyen çalışma bandı, uzaysal yeniden kullanım, iletilen bit başına düşük enerji kullanımı ve göreceli yüksek bant genişliği. Bununla beraber S.U.O. için en büyük sınırlayıcı, sürekli ver akışı için G.H.'nin korunmasıdır. Mevcut S.U.O. donanımı yüksek güçlü lazerler ve fiber optik iletişimde yer alan göreceli pahalı bileşenleri kullanan iki nokta arası hatlara dayanmaktadır. S.U.O. kullanan gezgin haberleşme, yayıncı optikten faydalanan kapalı alanlar için düşünülmüştür [11]. Tüm yönlerde yayılma yapan tek bir kaynağın sınırlı güce sahip olması bu tekniklerin kapalı alanlar için (tipik olarak birkaç on metre) uygun olmasını sağlamıştır. Optik bağlantılar için, iki boyutlu dizilerde yanlış hizalama hata payını iyileştirmek üzere kendinden hizalamalı ve dalga boyu çeşitlemesi teknikleri bildirilmiştir [43]. Bu teknikler yalnızca küçük aralıklarda (örn. 1  $\mu\text{m}$  – 1 cm) çalışmakta olup bunlardan bazıları yoğun mekanik izleme aygıtları içeren hantal tekniklerdir. Dahası, bunlar hareket ve titreşime olan hata payını iyileştirmek üzere tasarlanmış olup gezginliği idare edememektedir. Bu sebeple, gezgin S.U.O. haberleşmesi özel olarak ad hoc ağlar ve haberleşme ortamları için gerçekleştirilememiştir.

Gezgin ortamlarda S.U.O. haberleşmesini sağlamak üzere açısal çeşitlilik ve böylece tüm yönlerde G.H. sunan dairesel bir S.U.O. düğümü kavramı tanıtılmaktadır [5,6,45]. Şekil 5.1(a), optik verici (örn. LED) ve optik alıcı (örn. foto-diyot) çiftinden ibaret olan optik S.U.O. alıcı-vericileriyle kaplanmış dairesel yüzeyler kavramını göstermektedir. Bu gibi dairesel S.U.O. düğümleri, kürenin yüzeyine yayılmış birden çok optik alıcı-verici kullanır. Şekil 5.1(b)'de görüldüğü gibi, uzaysal yeniden

kullanılabilirlik ile açısall çeşitlilik arasındaki denge, S.U.O. düğümünü her biri petek üzerinde bir hücreyi teşkil eden petekli yapıdaki alıcı-verici dizileri şeklinde bloklara ayırmak suretiyle sağlanır.



Şekil 5.1: LED+PD çiftleriyle kaplanmış üç boyutlu küresel S.U.O. sistemi (a) Kaplanmış küre (b) Alıcı-vericilerin petekli yapıdaki dizisi [5]

S.U.O. düğümünün modellemesi, vericilerdeki kaynak gücünün ve görüş netliğinin, alıcı-verici sayısının en uygun şekilde belirlenmesinde az yahut hiç etki sahibi değildir. Daha doğrusu, S.U.O. düğümünün geometrik şekli ve ıraksama açısı en önemli role sahiptir ki böylelikle S.U.O. düğümü üzerindeki alıcı-vericilerin fiziksel olarak sayısını değiştirmek zorunda kalmaksızın mevcut görünürlüğe bağlı olarak kaynak gücünün uyarlanabilir şekilde ayarlanması mümkün olmaktadır. Bu, belirli bir S.U.O. düğüm tasarımı için alıcı-verici sayısının en elverişli değerinin sabit kalması açısından önemli bir sonuçtur.

## 5.2 En Elverişli Haberleşme Kapsamı

Çoklu optik alıcı-vericiler ile kaplanmış küresel S.U.O. alıcılarında verilen ödümler şunlardır: (i) komşu alıcı-vericiler arasındaki girişim, (ii) S.U.O. düğümü tarafından başarılan toplam kapsama alanı, (iii) optik alıcı-vericilerin paketleme yoğunluğu ve (iv) haberleşme mesafesi. Bu yüzden, yüksek paketleme yoğunluğu yüksek toplam

kapsamayı sağlarken komşu alıcı-vericiler arasındaki girişimi artırır. Önemli bir tasarım sorusu şudur: Paketleme ne kadar yoğun olmalı ki girişime sebep olmadan elde edilebilecek en yüksek toplam kapsama başarılabilir? Tasarım ödünlüğünün bir diğer boyutu, böyle yoğun paketleme ile sağlanabilen haberleşme mesafesidir. Düğüm üzerindeki optik verici yüksek güç ile beslendiğinde haberleşme mesafesi artmakta; bununla beraber girişim, uzun mesafelerde ışın ıraksamasına bağlı olarak artmaktadır.

Yukarıda belirtilen ödünlükleri incelemek üzere; dairesel şekilli bir S.U.O. düğümünün sağladığı açısal çeşitliliğin ölçeklenirliği ve uzaysal yeniden kullanılabilirlik çözümlenmeleri sunulmaktadır. Özellikle iki boyutlu dairesel S.U.O. düğümü ile ne kadar kapsama sağlanabileceği sorusu cevaplanmaktadır. İki boyutlu bir dairesel S.U.O. düğümünün toplam kapsamasını azami dereceye çıkaracak alıcı-vericilerin en elverişli sayısını bulmak için öncelikle bu gibi bir düğümün toplam kapsama alanı için bir model geliştirilmiştir [5]. Ardından toplam kapsamayı azami dereceye çıkaracak alıcı-vericilerin en elverişli sayısını bulan bir düşünce geliştirilmiştir [45].

Tablo 5.1: Bölüm 5 için geçerli birtakım matematiksel gösterimler

Sembol	Anlamı
$n$	S.U.O. düğümü üzerindeki alıcı-verici sayısı
$r$	S.U.O. düğümünün yarıçapı (cm)
$\rho$	Vericinin yarıçapı (cm)
$\tau$	Komşu alıcı-vericiler arasındaki yayın uzunluğu (cm)
$\theta$	Alıcı-vericinin ıraksama açısı (Rad)
$\varphi$	Komşu alıcı-vericiler arasındaki açısal fark (Rad)
$L$	Alıcı-vericinin kapsama alanı (cm <sup>2</sup> )
$C$	Alıcı-vericinin aktif kapsama alanı (cm <sup>2</sup> )
$I$	Komşu alıcı-verici arasındaki girişim alanı (cm <sup>2</sup> )
$R$	Alıcı-vericinin kapsama alanı içerisindeki üçgenin yüksekliği (cm)
$R_{\max}$	S.U.O. düğümü ile ulaşılabilen azami mesafe (cm)
$P$	Vericinin kaynak gücü (dBm)
$S$	Foto-algılayıcı alıcının duyarlılığı (dBm) (-43 dBm varsayılmıştır)
$\zeta$	Alıcının yarıçapı (cm)
$V$	Görünürlük (km)
$q$	Parçacık dağılım sabiti
$\lambda$	Optik işaret dalga boyu (nm)
$x$	Girişim alanı içerisindeki üst ikizkenar üçgenin yan açısı (Rad)
$k$	Üst ikizkenar üçgenin taban kenarının uzunluğu (cm)
$y$	Girişim alanının kesişen yayını gören tepe açısı (Rad)



### 5.2.1 Kapsama modeli

Bir S.U.O. düğümünün kapsama modeli, diğer bir S.U.O. düğümünün içerisinde hizalanmak suretiyle haberleşebildiği alan olarak tanımlanmaktadır. Bu sebeple, noktaları S.U.O. düğümünün G.H.'nin içinde bulunan alan, S.U.O. düğümünün kapsama alanı olarak düşünülmektedir. İki boyutlu bir dairesel S.U.O. düğümü için toplam kapsama, tek bir alıcı-verici  $C$  ve toplam alıcı-verici sayısı  $n$  tarafından meydana getirilen aktif kapsama alanına bağlıdır. Tek bir alıcı-vericinin aktif kapsama alanı Şekil 5.2'de gösterildiği üzere iki ayrı olasılığa dayalı olarak formüleleştirilebilir.

$r$ , iki boyutlu bir S.U.O. düğümünün yarıçapı;  $\rho$ , vericinin yarıçapı ve  $\theta$ , vericinin iraksama açısı olsun. S.U.O. alıcı-vericisinin kapsama alanı (yani bir lobun düşey izdüşümünü) bir üçgen ile bir yarım dairenin birleşimine benzetilebilir.  $R$ , üçgenin yüksekliği olursa; bu durumda yarım dairenin yarıçapı  $R \tan \theta$  olur. Dahası,  $\tau$ , iki boyutlu dairesel S.U.O. düğümü üzerindeki iki komşu alıcı-verici arasında yer alan yayın uzunluğu olduğu farz edilmektedir.

$n$  adet alıcı-vericinin dairesel S.U.O. düğümü üzerinde eşit uzaklıktaki yuvalara yerleştirildiği varsayıldığında; alıcı-vericinin çapı  $2\rho$  olduğundan [45]:

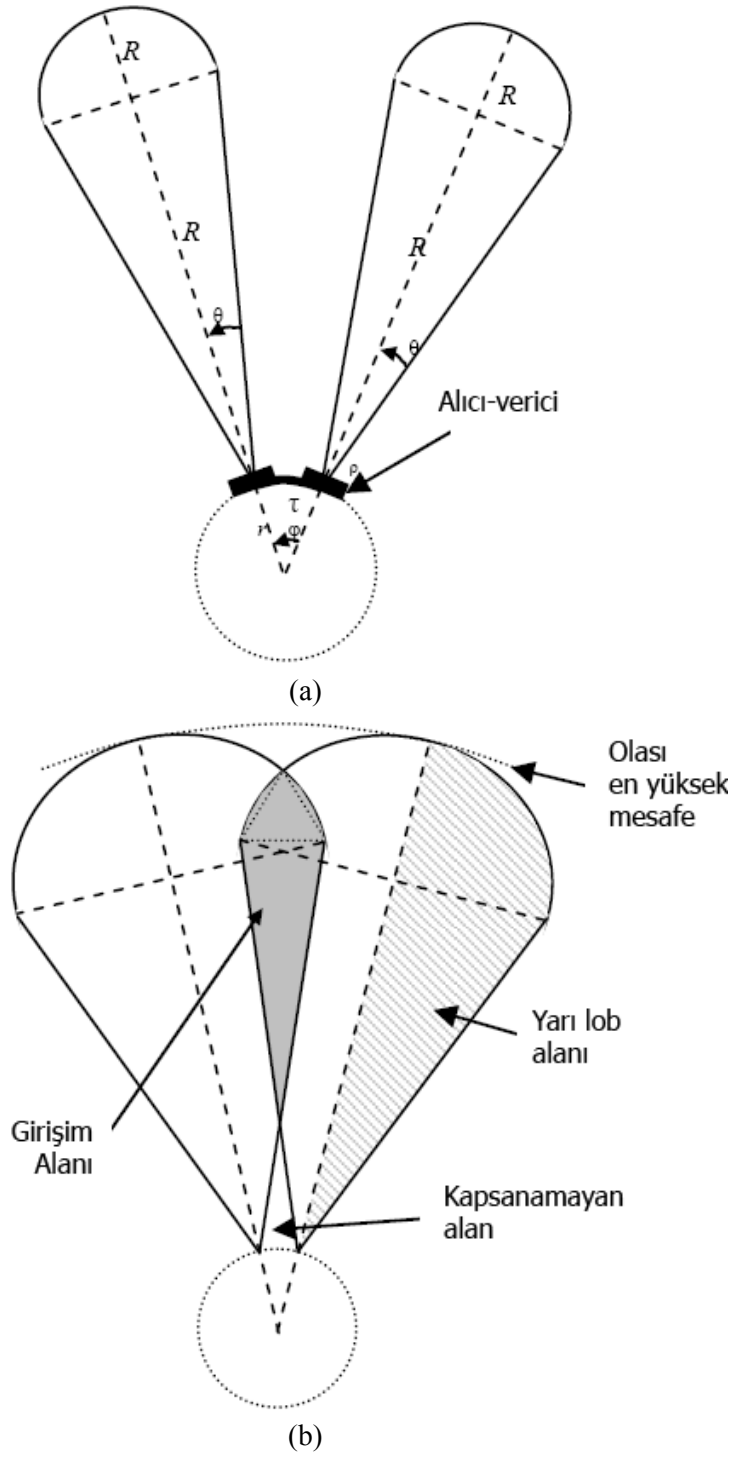
$$\tau = \frac{2\pi r - n2\rho}{n} = 2\left(\frac{\pi r}{n} - \rho\right) \quad (5.1)$$

(5.1)'den iki komşu alıcı-verici arasındaki açısal fark  $\varphi$  şu şekilde elde edilebilmektedir [45]:

$$\varphi = 360^\circ \frac{\tau}{2\pi r} \quad (5.2)$$

$L$ , tek bir alıcı-vericinin kapsama alanı olmak üzere şöyle elde edilebilmektedir [45]:

$$L = R^2 \tan \theta + \frac{1}{2}\pi(R \tan \theta)^2 \quad (5.3)$$

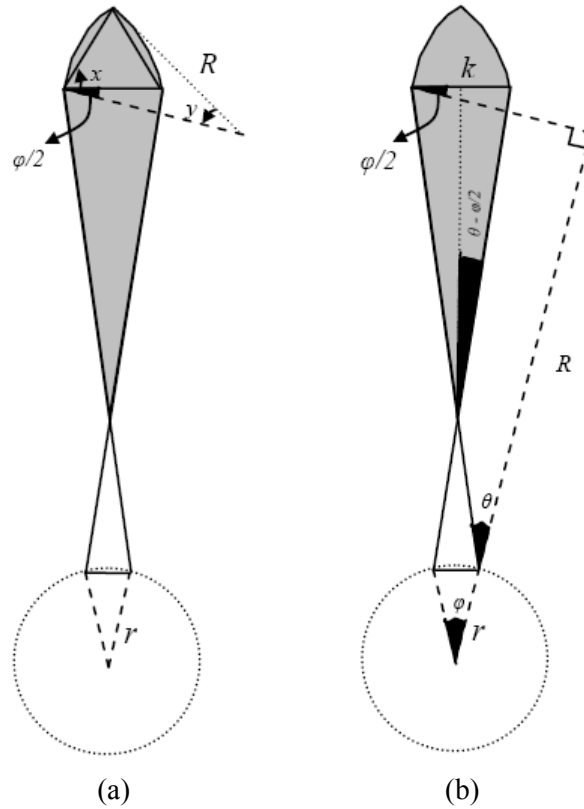


Şekil 5.2: İki boyutlu dairesel S.U.O. düğümünün kapsama alanı; (a) Durum I: Alıcı-vericilerin kapsama alanları üst üste binmez (b) Durum II: Alıcı-vericilerin kapsama alanları üst üste biner [45]

Tek bir alıcı-vericinin aktif kapsama alanı  $C$  için  $\varphi$ ,  $\theta$ ,  $R$  ve  $r$  değerlerine bağlı olarak iki durum meydana gelebilir:

Durum I: Komşu alıcı-vericilerin kapsama alanları üst üste binmez. Örn.  $R \tan \theta \leq (R+r) \tan(\varphi/2)$ . Bu durumda aktif kapsama alanı, kapsama alanına eşit olur. Örn.  $C = L$

Durum II: Komşu alıcı-vericilerin kapsama alanları üst üste biner. Örn.  $R \tan \theta > (R+r) \tan(\varphi/2)$ . Bu durumda aktif kapsama alanı, kapsama alanından komşu alıcı-verici ile üst üste binen alanın çıkarılması suretiyle elde edilir.  $I$ , komşu alıcı-vericinin kapsamasıyla üst üste binen girişim alanı olsun. Öyleyse  $C = L - I$  olur.



Şekil 5.3: Girişim alanını bulmak üzere bulunması gereken birtakım önemli açı ve uzunluklar; (a)  $x$  ve  $y$  açıları gerekmektedir, (b)  $k$  uzunluğu gerekmektedir [5]

Girişim alanı  $I$  nasıl hesaplanır ? : Şekil 5.2(b)'de görüldüğü gibi girişim alanı  $I$ , iki ikizkenar üçgen ve iki artık dilimden oluşur.  $I$  alanını bulmak için; Şekil 5.3'te görüldüğü üzere  $x$  ve  $y$  açılarını ve  $k$  uzunluğunu bulmaya ihtiyaç vardır. Şekil 5.3(a)'dan şu ilişkiler yazılabilmektedir [5]:

$$x + \frac{\varphi}{2} = \frac{180 - y}{2} \quad (5.4)$$

$$\frac{k}{2 \cos x} = 2R \tan \theta \sin\left(\frac{y}{2}\right) \quad (5.5)$$

Denklem (5.4) ve (5.5)'ten  $x$  ve  $y$ 'nin elde edilmesiyle birlikte üst ikizkenar üçgenin alanı bulunabilmektedir. Bununla beraber hala  $k$  uzunluğunun bilinmesi gerekmektedir.  $k$ , Şekil 5.3(b)'deki bazı üçgenlerin açı ve uzunlukları vasıtasıyla bulunabilmektedir [5]:

$$k = 2 \frac{R}{\cos \theta} \sin\left(\theta - \frac{\varphi}{2}\right) - 2R \sin\left(\frac{\varphi}{2}\right) \quad (5.6)$$

En uzun mesafe  $R_{\max}$  nasıl bulunur ? : Diğer bir önemli bilinmeyen, iki boyutlu S.U.O. düğümü ile ulaşılabilecek uzun mesafe  $R_{\max}$  olmaktadır.  $R_{\max}$ , vericinin kaynak gücü  $P$  dBm'e, alıcı duyarlılığı  $S$  dBm'ye, vericinin yarıçapı  $\rho$  cm'ye, alıcının yarıçapı  $\zeta$  cm'ye, görüşlülük  $V$  km'ye, optik işaretin dalga boyu  $\lambda$  nm'ye ve parçacık dağılım sabiti  $q$ 'ya bağlıdır. S.U.O. yayılımı, hem atmosfer zayıflatmasına  $A_L$ , hem de geometrik açılma  $A_G$  tarafından etkilenerek kaynak gücünün kayıp güçten daha yüksek olmasını zorunlu tutmaktadır [42].

Bu sebeple,  $S = -43$  dBm duyarlılığa sahip tipik bir foto-algılayıcı (foto-diyot) için, optik işareti algılayabilmek üzere aşağıdaki eşitsizlik sağlanmalıdır [5]:

$$-(P + 43) > A_L + A_G \quad (5.7)$$

$A_L$  ve  $A_G$ 'yi yerine koyduğumuzda eşitsizlik netice verir. Bunun en düşük çözümü  $R_{\max}$ 'ı vermektedir [42]:

$$-(P + 43) > \log(e^{-\sigma R}) + \log\left(\frac{\zeta}{\rho + 50R\theta}\right)^2 \quad (5.8)$$

$$\sigma = \frac{3.91}{V} \left(\frac{\lambda}{550}\right)^{-q} \quad (5.9)$$

### 5.2.2 Iraksama açısının belirlenmesi

Burada K.O.A. üzerindeki A.V.Ç.'lerin iraksama açıları incelenmektedir. Bu amaçla Bölüm 4'te anlatılan S.T.İ.Y. hatırlanmalıdır. Bölüm 4'te anlatıldığı üzere S.T.İ.Y. dar açılı optik ışını genişletmek suretiyle hizmet alanına yayar. T.İ.'den gelen ışınlar S.T.İ. üzerinden G.İ.'lere ulaşır. G.İ.'ler için tasarlanan bir K.O.A., işaret alışverişini S.T.İ. üzerinden gerçekleştirir. Öyleyse K.O.A. üzerindeki her bir A.V.Ç. iraksama açısını hesaplarken S.T.İ.'nin bazı özellikleri göz önünde bulundurulmalıdır. Bu amaçla K.O.A.'nın işaret alış ve verişinin S.T.İ. ile olan irtibatı incelenmelidir.

K.O.A. üzerindeki her bir A.V.Ç.'nin alıcısına gelen işaret geniş açılı bir yayılıma sahiptir. Eğer alıcının görüş açısı yüksek seçilirse Bölüm 5.2.3'de anlatıldığı gibi komşu alıcı-vericilerin görüş alanları ile çakışması söz konusu olabilir. Bu nedenle alıcının görüş açısı ne kadar dar seçilebilirse o kadar faydalıdır.

K.O.A. üzerindeki her bir A.V.Ç.'nin vericisi işaret gönderirken S.T.İ.'den faydalanacaktır, yani T.İ.'ye ulaşmasını arzu ettiği işareti S.T.İ.'den yansıtacaktır. Öyleyse A.V.Ç. üzerindeki vericinin S.T.İ.'ye yönlendirilmiş olduğunu söylenebilmektedir. Bu durumda vericinin iletim açısı belli bir sınır değerinin altında seçilirse S.T.İ.'den yansıyan ışınlar T.İ.'yi göremez. Sınır değerini hesaplamak üzere ele alınması gerek geometriyi Şekil 4.5 gösterir. Hizmet alanın içerisinde (örn. yerden 1 m yüksekliğe) seyreden G.İ., S.T.İ.'nin düşey ekseninden yatayda uzaklaştıkça K.O.A. üzerindeki A.V.Ç.'nin ihtiyaç duyacağı iletim açısı azalır. Bu açı, G.İ., S.T.İ.'nin tam altına geldiği oda köşesinde zirveye çıkar. Öyleyse A.V.Ç.'nin iletim açısının sınır değeri bu zirve değeridir. A.V.Ç.'nin iletim açısı bu sınır değer üzerinde seçilirse hizmet alanının her noktasında G.İ.'den gönderilen optik işaret T.İ.'ye ulaşabilir.

Tasarımı kolaylaştırmak amacıyla A.V.Ç.'nin iraksama açısı, yukarıda anlatılanlar göz önüne alınarak, alıcı ve vericinin sırasıyla görüş ve iletim açılarının aynı değerde seçilmesi suretiyle belirlenebilmektedir.

Bu durumda Tablo 5.2, 3 m yüksekliğindeki bir kapalı alanda farklı S.T.İ boyutları için seçilmesi uygun olan ıraksama açılarını listelemektedir.

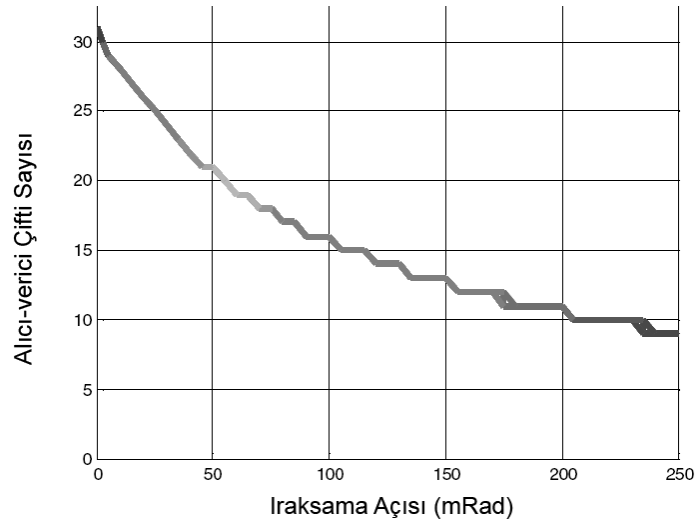
Tablo 5.2: ıraksama açısının belirlenmesi

S.T.İ. boyutları (cm)	İleti Açısı – sınır (derece)	İletim A. = Görüş A. (derece)	ıraksama Açısı (derece)
10	2.086	10	5
20	4.299	10	5
30	6.622	10	5

### 5.2.3 En elverişli kapsama

Belirli verici kaynak gücü  $P$ , ıraksama açısı  $\theta$ , görünürlük  $V$  için iki boyutlu dairesel S.U.O. düğümüne yerleştirilecek olan alıcı-vericilerin en elverişli sayısı farklılık gösterebilmektedir. İki boyutlu dairesel S.U.O. düğümünün toplam aktif kapsama alanını  $nC$  en elverişli duruma getirirken diğer metrikler de seçilebilir.  $C$ ;  $P$ ,  $\theta$ ,  $V$  ve  $n$ 'ye bağlı olduğundan belirli bir  $r$  ve  $\rho$  için en elverişlilik sorunu şu şekilde yazılabilir [5,45]:

$$\max_{\theta, P, V, n} \{nC(\theta, P, V, n)\} \quad (5.10)$$



Şekil 5.4: En uygun kapsama durumunda ıraksama açılarına göre en elverişli alıcı sayılarının elde edilmesi (Tasarım parametreleri  $P=32\text{mW}$ ,  $V=200\text{m}$ ,  $r=2.5\text{cm}$ ,  $\rho=0.25\text{cm}$ )

En iyi  $n$  değerlendirmesinde belirli bir S.U.O. düğümü ve alıcı-verici boyutu için  $P$ , ortalama bir LED'in iletim gücü olacak şekilde  $32\text{ mW}$ ;  $V$ , kapalı alan içerisindeki ortalama görünürlük olacak şekilde  $200\text{ m}$  [5] değerlerinde seçilmektedir. K.O.A.'nın

çapı ortalama bir usb flash bellek veya usb kablosuz antenin boyu olan 5 cm, A.V.Ç.'nin yarıçapı 0.25 cm olarak belirlenmektedir. Bu durumda Bölüm 5.2.1'de anlatılan tekniğe uygun olacak şekilde ıraksama açısına göre en uygun kapsamayı sağlayan A.V.Ç. sayılarını ıraksama açılarına bağlı olarak gösteren grafik Şekil 5.4'te verilmektedir.

Bu grafiğe göre; Bölüm 5.2.3'te belirlenen ıraksama açısı ( $5^\circ \approx 90 \text{ mRad}$ ) için en elverişli A.V.Ç. sayısı 16 olarak bulunur.

### **5.3 Otomatik Ayarlanabilir Anten Yapısı**

Bu bölümde, gezgin ortamlarda S.U.O.'yu sağlayabilmek üzere küresel optik antenin sunduğu açısal çeşitlilik incelenmektedir. Bu çeşitlilik, 3 boyutlu bir G.H. sağlamakla beraber bir önceki bölümde irdelendiği gibi küre yüzeyine çoklu optik alıcı-vericiler yerleştirilmek suretiyle uzaysal yeniden kullanım sağlanmaktadır. Bu yerleştirme işlemi sadece mesafe niteliklerini iyileştirmekle kalmaz, ayrıca çok kanallı eş zamanlı haberleşmeyi her bir alıcı-verici arasında temin edebilen bir kabiliyeti sisteme kazandırır.

Küresel yüzey üzerinde yüksek yoğunluklu alıcı-verici yerleştirilmesinin bir diğer getirisi, bir gezgin birimden gelen ışın demetinin elektronik izlenebilmesine olanak sağlamasıdır. Bu durum, haberleşen küresel optik antenler arasındaki G.H.'yi izleyen ve var olan G.H. noktaları arasında otomatik geçiş yapan otomatik hizalamalı bir devrenin de tasarıma katılmasını gerektirir. Bu devre, antenler hareketli bile olsa sürekli olarak G.H.'yi korumak için elektronik olarak ışın demetlerini izler.

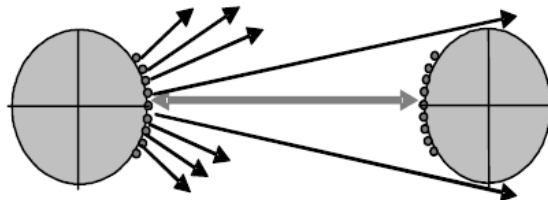
Ticari S.U.O. sistemlerde, 850 nm ila 1550 nm bandında lazerler, bu banttaki daha kaliteli yayılım karakteristikleri ve düşük geometrik dağılımlarından kaynaklanan daha yüksek güç bütçelerinden dolayı tercih edilirler. Bu tür cihazlar yüksek maliyetli olup çoklu bileşen yapısı nedeniyle yüksek güç gerektirir. Dahası bu tip lazer tabanlı cihazlar, yüzeylere yerleştirilebilmek için gerekli şekil faktörü, ağırlık ve güç karakteristiklerine sahip değildir [6]. Bu nedenle küresel optik anten tasarımında, LED modelleri kullanan S.U.O. iletişim ağlarını incelenmektedir; çünkü

LED'ler yoğun ve uzaysal paketlemeye daha uygun, lazerlerden daha uzun ömürlü olup daha az sayıda göz güvenliği kurallarına sahiptir.

S.U.O. haberleşmesinin diğer bir avantajı, geniş bantlı erişimdeki karşılaşılan son mil probleminin<sup>1</sup> karşı etkili çözümler sunma potansiyeline sahip olmasıdır. Günümüzde, son mil probleminin en etkili çözümü IEEE 802.16 standardı ile sunulmaktadır [44]. Bu teknoloji 10–66 GHz bandını kullanan durağan haberleşme noktaları için yaklaşık 70 Mb/s'ye kadar yüksek bant genişlikli erişim sağlayabilmektedir. Bu teknoloji kablolu erişim ağlarına (fiber optik kablo v.b) iyi bir alternatif sağlar, çünkü kurulumu daha az maliyetli ve kolaydır. Fakat 10–66 GHz bandında çalışan bu teknoloji (IEEE 802.16), S.U.O.'nun da doğasında var olduğu gibi G.H. gerektirmektedir. Nitekim G.H. gerektirmeyen 2–11 GHz [44] bandında çalışan IEEE 802.15 teknolojisinin gerçekleşme teşebbüsleri olsa dahi, aynı yüksek kapasitede iletişimin sağlanabilmesi kesin olamamaktadır [6]. Bu yüzden, en iyi radyo tabanlı iletişim ile karşılaştırıldığında, S.U.O. son mil problemini çözmek için kayda değer bir potansiyel taşımaktadır.

### 5.3.1 Döşeli küresel optik anten

Bir kürenin geometrik şekli, uzaysal ve açısal çeşitlilik sunar [6]. Bir kürenin yüzeyi, her biri alıcı olarak foto-algılayıcı ve verici olarak LED içeren alıcı-vericiler ile döşenirse; LED'ler göreceli olarak yüksek ıraksama açısına ve foto-algılayıcılar ise kıyaslanabilir açısal görüş alanına sahip olduklarından, LED-Foto-algılayıcı çifti iyi bir alıcı-verici konisi oluştururlar. Bu koni üç boyutlu uzayın kayda değer bir hacmini kaplayacaktır.



Şekil 5.5: Küresel optik antenler arasında bir G.H.'nin kurulması [6]

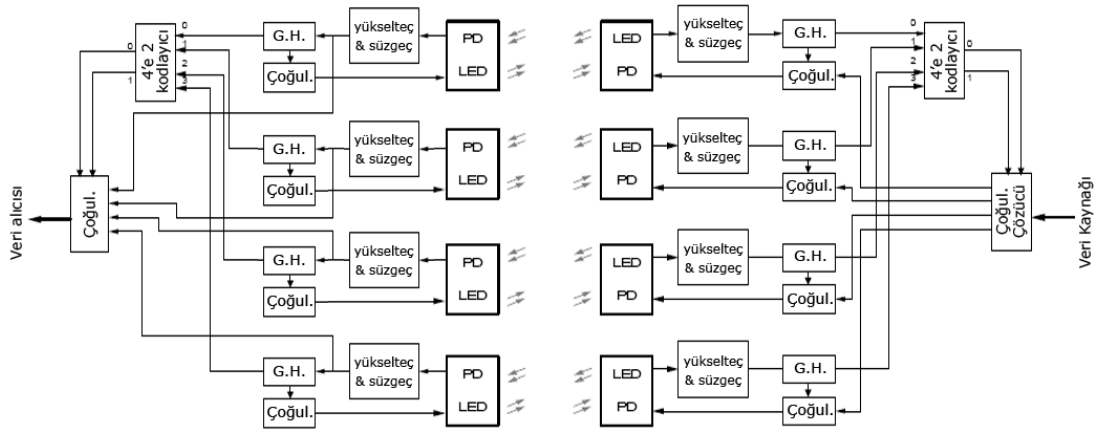
<sup>1</sup> Son mil problemi: Bir iletişim sağlayıcısından tüketiciye kadar olan bağlantıların dağılımındaki adımların en sonuncusunda yaşanan problemdir [46].



Şekil 5.1’de görüldüğü üzere, yeterli yoğunlukta üzerine alıcı-verici döşemesi yapılmış bir küre, etrafındaki küresel uzayın tümünü kapsayabilir (Bölüm 5.2). Şekil 5.5’de görüldüğü üzere, küreler birbirlerine göre hareket ettiklerinde aralarındaki var olan G.H. kaybolduğunda, yeni bir G.H. kurulur.

### 5.3.2 Otomatik hizalamalı devre

Otomatik hizalama devresinin temel işlevi, her bir alıcı-vericiye gelen ışın demetlerini izlemek ve dinamik olarak uygun G.H.’ler içindeki karşılıklı alıcı-vericileri birbirine bağlayarak iki hareketli optik anten arasında iletişimi sürekli temin etmektir [6]. Şekil 5.6, 4 alıcı-vericili bir optik anten için devre şemasını göstermektedir.



Şekil 5.6 Dört kanallı otomatik hizalamalı devre şeması [6]

Hizalamanın sağlanamaması durumunda devre, (i) iki küre arasında var olan bir G.H. arayacaktır, (ii) Yeni bir G.H. kurulur kurulmaz, devre veri iletişimine, bu bulunan G.H. ile devam eder. Bu iki işlev, tek bir küresel optik anten üzerindeki tüm alıcı-vericiler için ortak bir donanımda işlenir. Var olan G.H.’leri izleyen devre “G.H. birimi” olarak gösterilmektedir. Bu kısım, iki haberleşen anten arasında G.H. bulunduğu Lojik 1, G.H. kaybolduğunda Lojik 0 üretir. Lojik 0 durumu “G.H. ARAŞTIR”ı tetikler. Bu fazda, bilgi iletişimi geçici olarak askıya alınır ve G.H. arayan tarama darbeleri tüm yönlerde gönderilir. Başka bir yere hareket eden ikinci kürede o anda G.H.’yi kaybeder ve o da “G.H. ARAŞTIR” başlatır. Küreler sonunda yeni G.H.’nin varlığı üzerine, tarama darbelerini alırlar. Bu durum, ilk olarak G.H.

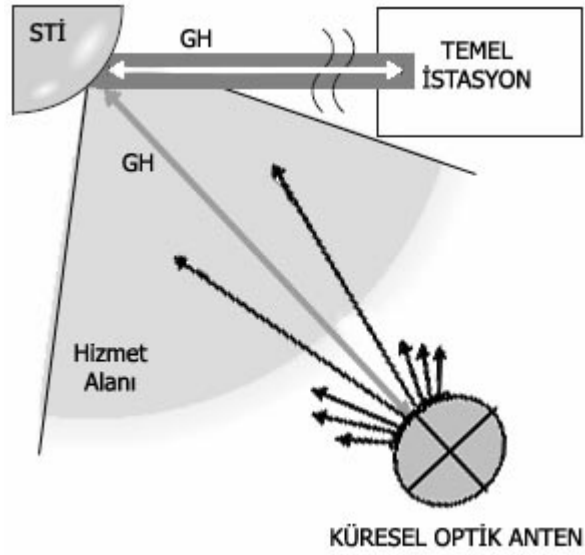
biriminden yüksek çıkışın meydana gelmesine sebep olur, sonra bilgi iletişimi tekrar kurulur.

Birçok kanalın hizalandığı durumda, her bir alıcı-vericiden gelen G.H. sinyalleri aracılığı ile öncelik karar vericiyi kullanılır. Hiçbir kanal hizalanmaz ise sistem her bir kanala darbeler göndererek hizalamayı arar. Birkaç kanal hizalanır hizalanmaz, hizalanan kanallar aracılığı ile bilgi gönderilmeye başlanır. Böylece, lojik bilgi kanalı, fiziksek kanallara dinamik bir şekilde, hizalanıp hizalanmamış olmasına bağlı olarak atanır.

## 6. HABERLEŞME BAŞARIMI

### 6.1 Giriş

Bu bölümde Bölüm 4'te tanıtılan S.T.İ.Y.'nin uygulandığı, gezgin aygıtların da Bölüm 5'te tanıtılan K.O.A.'ya sahip olduğu bir kapalı alan S.U.O. haberleşmenin başarımı bir bilgisayar simülasyonu ile değerlendirilmektedir. Bu amaçla daha önce anlatılan tasarım ölçütleri göz önünde bulundurularak küçük, orta ve büyük boyutlardaki odalarda erişilebilen veri oranları bulunmaktadır.



Şekil 6.1: Haberleşmenin oluşması

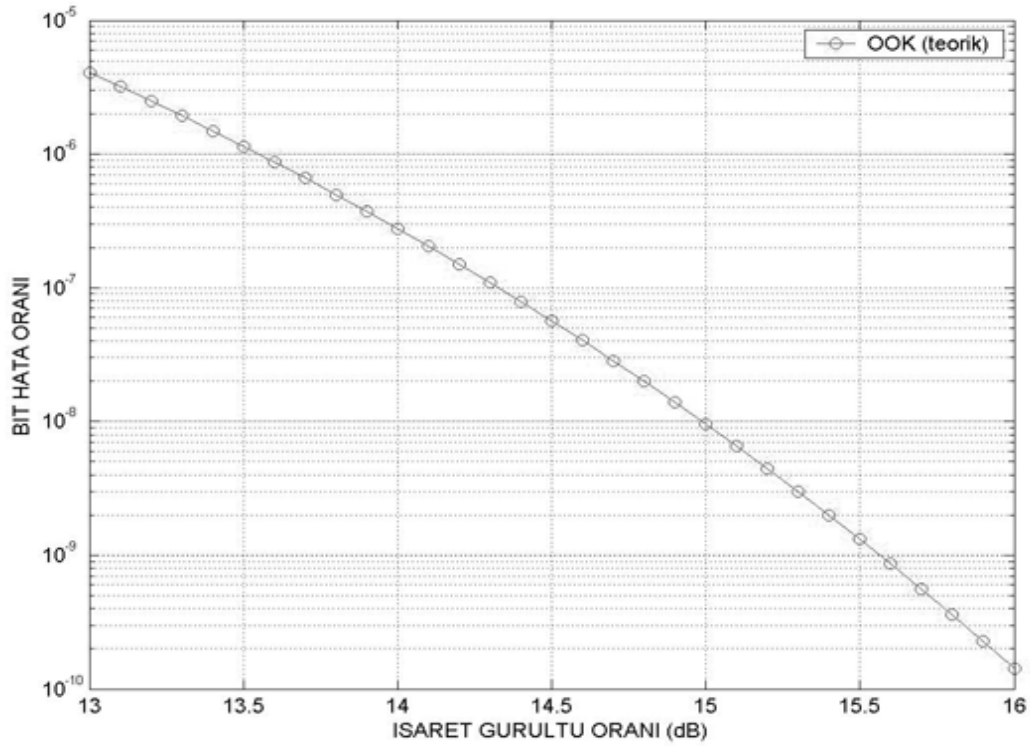
Haberleşmenin nasıl meydana geldiğini Şekil 6.1 özetlemektedir. Bir T.İ., kapalı alanın tavan köşesine yerleştirilmiş S.T.İ.'ye Bölüm 4.2.3'te anlatıldığı üzere öyle bir iletişim açısında ışın demeti yollar ki S.T.İ.'den tam yansıma yaparak odaya dağılan ışınlar çok yolluluk bozulmasına sebebiyet vermeden G.İ.'ye ulaşır. G.İ.'de ise optik işareti Bölüm 5'te anlatıldığı şekilde bir K.O.A. karşılar. Bu K.O.A.'nin üzeri A.V.Ç. döşeli olup bu döşeme öyle bir düzene göre ki K.O.A., etrafındaki küresel uzayı en uygun şekilde kapsar (Bölüm 5.2.2). S.T.İ.'den gelen ışınları kurulan G.H. vasıtasıyla öyle bir ıraksama açısıyla alır ki (Bölüm 5.3.3) bu açı hem işaret alımında

güç verimliliği sağlar hem de işaret iletiminde S.T.İ.'yi en verimli bir şekilde görmesini sağlar. A.V.Ç. üzerindeki verici aynı ıraksama açısıyla işareti S.T.İ.'ye gönderir ve yansıyan ışın T.İ.'ye ulaşır.

G.İ. hizmet alanı içerisinde gezindiğinde K.O.A. üzerinde G.H.'ye sahip A.V.Ç. bu hattı kaybederse G.H., anten üzerindeki otomatik hizalanabilir devre sayesinde komşu çifte aktarılır. Bu sayede gezgin haberleşmenin kopmaması temin edilir. Bununla birlikte kapalı alan içerisinde dört tavan köşesine yerleştirilen dört S.T.İ. sayesinde bir veya birkaç S.T.İ. gölgeleme etkisine maruz kalıp görülemiyorsa da en az bir S.T.İ., G.H. içerisinde bulduğukça haberleşmenin kopmaması sağlanır.

## 6.2 B.H.O. ve İ.G.O.

Bu haberleşme başarımının IEEE 802.16 standartlarına uygun düşmesi amacıyla B.H.O.= $10^{-6}$  değeri temin edilmelidir [44]. OOK modülasyonlu bir kanal için B.H.O.= $10^{-6}$  seviyesi 13.5 değerinde bir İ.G.O.'ya karşılık gelmektedir (Şekil 6.2).



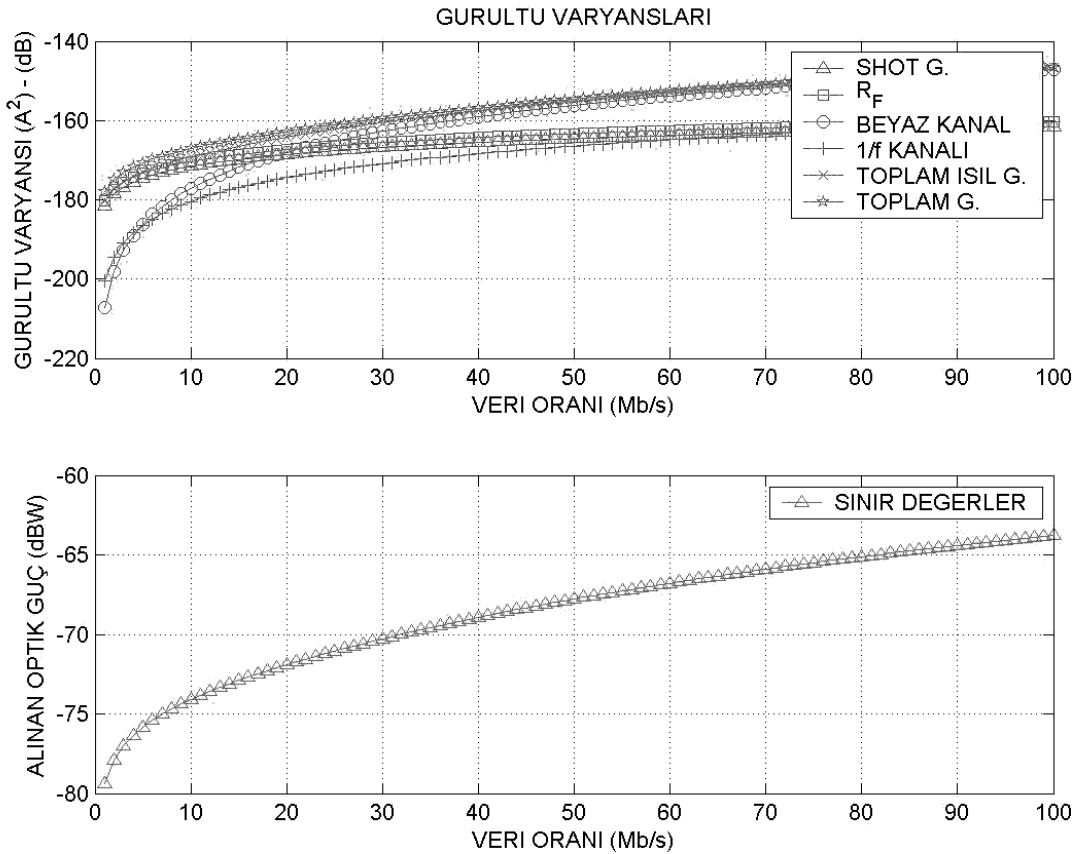
Şekil 6.2: OOK modülasyonlu kanalın İ.G.O.'ya bağlı B.H.O. grafiği (teorik)

### 6.3 Gürültü Varyansları, Alınan Optik Güç Sınırları

Bölüm 6.2’de İ.G.O. değeri 13.5 dB olarak belirlenmesi, (3.24) eşitliğinin ortaya koyduğu üzere; kapalı alan içerisindeki alınan elektriksel gücün karesi ifadesinin  $[(RP)^2]$  daima toplam gürültü varyansı  $[(\sigma_{\text{toplam}})^2]$  ifadesinden 13.5 dB daha yüksek olmasını gerektirir. (3.23), (3.27) ve (3.28) eşitlikleri ile toplam gürültü varyansı veri oranına bağlı olarak hesaplanabilmektedir. Bu sayede hangi veri oranında gürültünün nasıl bir varyansa sahip olacağı kestirilebilmektedir.

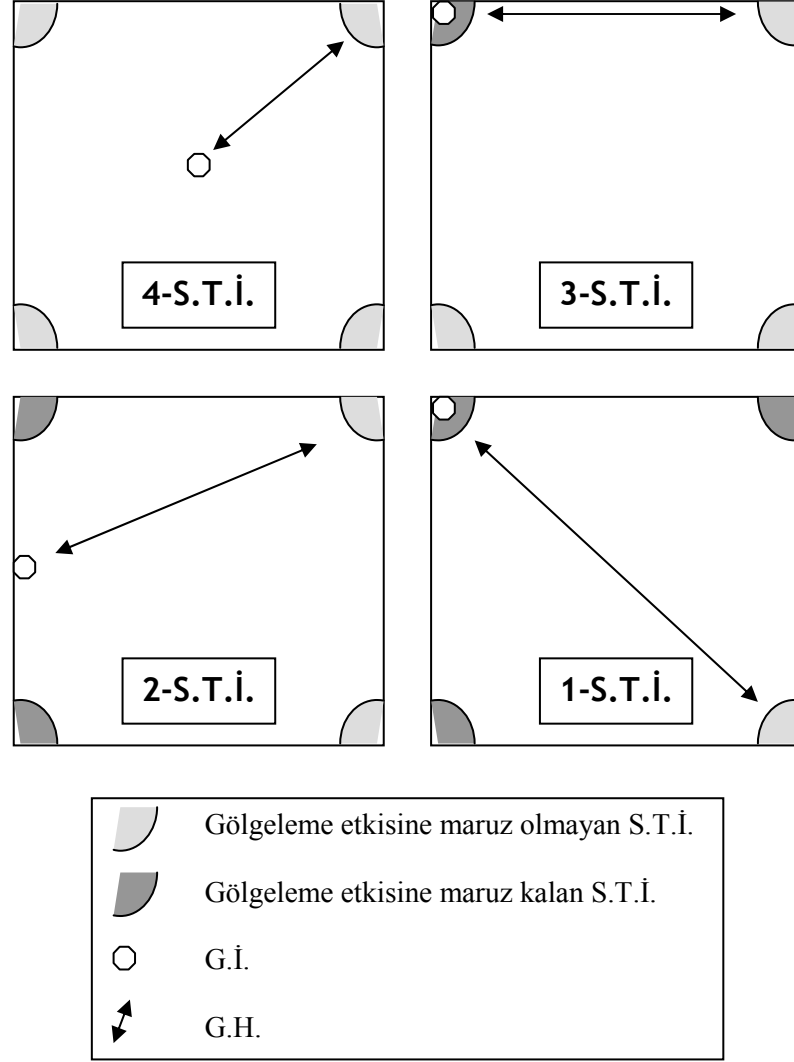
Bu durumda belirlen bir İ.G.O. için alıcıda alınması gereken en düşük ortalama optik gücün sınırı (3.24) eşitliğinin yardımıyla şu şekilde ortaya çıkar:

$$P = \frac{\sigma_{\text{toplam}}}{R} 10^{I.G.O.[dB]/20} \quad (6.1)$$



Şekil 6.3: Veri oranına bağlı olan gürültü varyansları ve toplam gürültü varyansına karşılık gelen alınan ortalama optik güç sınır değerleri.

Şekil 6.3 veri oranına göre toplam gürültü varyansının değerlerini<sup>1</sup> ve bu değerlere karşılık gelen alınan ortalama optik güç sınır değerlerini göstermektedir. Örneğin; hizmet alanı içerisinde bulunan bir G.İ.'nin K.O.A.'sı, alanın her noktasında -65 dB seviyesinden yüksek bir ortalama optik güç alıyorsa bu durumda 80 Mb/s hızında haberleşme yapabilir.



Şekil 6.4: S.T.İ.Y. uygulanan bir kapalı alanda çeşitli gölgeleme durumları ve G.İ. içerisindeki K.O.A.'nın en düşük ortalama optik gücü aldığı konumlar (S.T.İ.'ler h=3m'de ve G.İ.'ler ise h=1m yükseklik konumundadırlar.)

<sup>1</sup> Gürültü varyansı hesaplarında kullanılan parametreler: yön-bağımsız açık gökyüzü ışığının tayfsal ışıması  $p_n = 0.001 \text{ mW}/(\text{cm}^2\text{nm})$ , optik süzgecin gürültü bant genişliği  $\Delta\lambda_n = 30 \text{ nm}$ , optik yoğunlaştırıcının gürültü kazancı  $g = 3$ . P-aydınlanmalı silikon p-i-n foto-algılayıcının alanı  $A = 0.1 \text{ cm}^2$ , duyarlılığı  $R = 0.53 \text{ A/W}$ , boşaltma katman kalınlığı  $w = 60 \text{ nm}$ , kapasitesi  $C_d = 17.5 \text{ pF}$ , ters bias  $V = 30 \text{ V}$ . Çevresel üreyen dc foto-akımı  $I_{dc} = 28.6 \text{ mA}$ . Geri besleme direnci  $R_F = 10 \text{ k}\Omega$ . FET parametreleri  $g_m = 40 \text{ mS}$ ,  $C_{gs} + C_{gd} = 1.0 \text{ pF}$ ,  $f_T = 6.4 \text{ GHz}$ ,  $I_D = 20 \text{ mA}$ ,  $K = 294 \text{ fA}$  ve  $\alpha = 1$

Haberleşmenin veri oranını belirleyen alınan optik güç sınırları, farklı gölgeleme durumları altına incelenebilir. Bu amaçla; G.İ. ve S.T.İ.'ler arasında kurulabilmesi muhtemel olan G.H.'yi kesebilecek bir gölgeleme etkisinin bulunmadığı durum 4-S.T.İ., G.İ. ile en yakınındaki bir adet S.T.İ. ile arasında gölgeleme etkisi nedeniyle G.H.'nin kurulamadığı durum 3-S.T.İ., G.İ. ile en yakınındaki iki adet S.T.İ. ile arasında gölgeleme etkileri nedeniyle G.H.'nin kurulamadığı durum 2-S.T.İ., ve G.İ. ile en yakınındaki üç adet S.T.İ. ile arasında gölgeleme etkileri nedeniyle G.H.'nin kurulamadığı durum 1-S.T.İ. olarak adlandırılmaktadır. Bu durumlar için alınan ortalama optik gücün en az olduğu konumlar Şekil 6.4'te verilmektedir. Gücün en az seviyede olması aynı zamanda geliş açısının iraksama açısına eşit olmasına da bağlıdır. Öyleyse alınan en düşük ortalama optik güç hesabını aşağıdaki ifade ortaya koymaktadır.

$$\min_{d, \psi} \{P(d_{\max}, \psi_{\max})\} \quad (6.2)$$

Burada  $d_{\max}$ , Şekil 6.4'te görüldüğü üzere oluşabilecek en uzun G.H.'nin uzunluğu ve  $\psi_{\max}$  ise ışınların alıcıya ulaştığı en yüksek geliş açısını temsil eder. Bu iki ölçüt gerçekleştiğinde alınan en düşük ortalama optik güç hesaplanabilmektedir.

#### 6.4 Simülasyon Düzeni

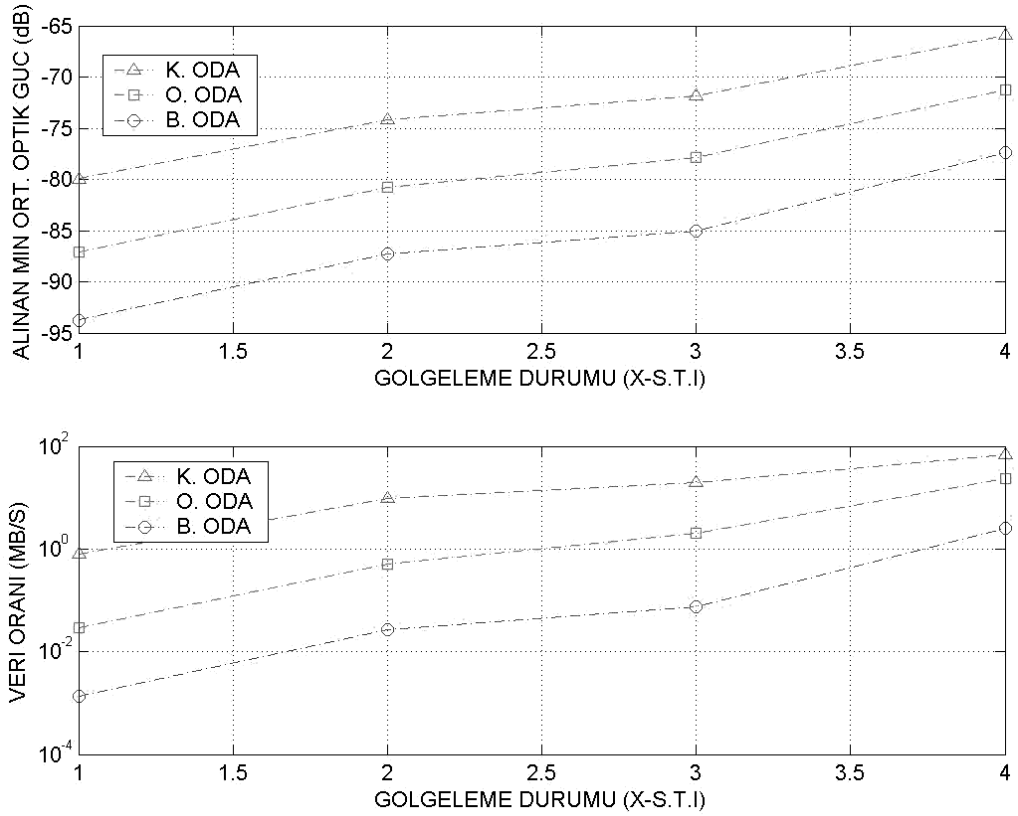
Simülasyonu gerçekleştirebilmek üzere Bölüm 3, 4 ve 5'te bahsedilen tasarım ölçütleri göz önüne alınarak üç adet kapalı alan varsayımı yapılmakta ve bu alanlar için belirlenen tasarım parametreleri Tablo 6.1'de listelenmektedir.

Tablo 6.1: Simülasyon düzeni için belirlenen tasarım parametreleri

Parametre Adı	Küçük Oda	Orta Oda	Büyük Oda
Oda Boyutları (m)	5-5-3	10-10-3	20-20-3
S.T.İ. Yarıçapı (cm)	10	20	30
İletim Yarıaçısı (derece)	0.6	0.6125	0.4625
Ort. Optik İletim Gücü (mW)	200	200	200
K.O.A. Çapı (cm)	5	5	5
A.V.Ç. Iraksama Açısı (derece)	5	5	5

## 6.5 Simülasyon Sonuçları

Bölüm 6.3’de anlatılan yöntem ve Bölüm 6.4’te verilen parametreler ile gerçekleştirilen simülasyonun neticesi olarak üç farklı boyuttaki kapalı alanda çeşitli gölgeleme durumlarında elde edilen ortalama optik güç değerleri ve Şekil 6.3’teki sınır değerler göz önüne alındığında ortaya çıkan veri oranı başarımı Şekil 6.5 ile Tablo 6.2’de sunulmaktadır.



Şekil 6.5: Simülasyon sonuçları

Tablo 6.2: Farklı gölgeleme durumları için erişilebilen veri oranı değerleri

Gölgeleme Durumu	Veri Oranı (Mb/s)		
	Küçük Oda	Orta Oda	Büyük Oda
1-S.T.İ.	0.78	0.029	1.35x10e-3
2-S.T.İ.	9.59	0.52	26.8x10e-3
3-S.T.İ.	20.1	1.99	75.8x10e-3
4-S.T.İ.	70	23.5	2.5



Sonuçlara bakıldığında (Tablo 6.2, Şekil 6.5); küçük oda<sup>1</sup> için gölgelemesiz durumda 70 Mb/s gibi yüksek bir veri oranı yakalanabilmektedir en kötü durumda ise veri oranı 1 Mb/s'ye yakın olup haberleşmenin teminini sağlayan nitelikte tatmin edici bir neticedir. Küçük odada diğer hallerde yüksek veri iletişim hızı sağlanabilmektedir.

Orta odaya<sup>2</sup> bakıldığında gölgelemesiz durumda 23.5 Mb/s seviyesindeki veri oranı yüksek olmamakla beraber kabul edilebilir seviyelerde seyretmektedir. Bununla birlikte gölgelemeli durumlarda 2 Mb/s'nin altına düşmesi bu düzenin gölgeleme problemini az yaşayan alanlar için yeterli olabileceğini göstermektedir.

Büyük odaya<sup>3</sup> baktığımızda yalnızca gölgelemesiz durum için iletişimin gerçekleşebildiği diğer durumlarda Kb/s mertebelerine düşen veri oranının kabul edilemez olduğu açıktır. Öyleyse bu düzen, büyük oda için elverişli bir düzen değildir. Eğer bu ortamda göz güvenliği ile ilgili kaygılar yaşanmıyor veya gerekli önlemler alınıyorsa (örn. fabrika, sanayi ortamları) iletim optik gücü yükseltilerek veri oranında iyileştirilme yapılabilir.

---

<sup>1</sup> Küçük oda, alan itibariyle ortalama küçük bir ofis veya ev odaları kadar geniştir.

<sup>2</sup> Orta oda, alan itibariyle 100m<sup>2</sup>'yi bularak ortalama bir apartman dairesi genişliğindedir.

<sup>3</sup> Büyük oda, alan itibariyle küçük bir konferans/sinema/tiyatro salonu genişliğindedir.

## 7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, kapalı alanlar için kızılötesi dalga boyunda çalışan bir serbest uzay optik haberleşme yöntemi olan Sanal Temel İstasyonlar Yöntemi (S.T.İ.Y.) tanıtılmaktadır. Bunun yanı sıra gezgin aygıtlar için eşyönlü veri iletişimi sağlayan Küresel Optik Anten (K.O.A.) yapısı tanıtılmaktadır. S.T.İ.Y. ve K.O.A. yapılarının aynı haberleşme sisteminde kullanılmaları ile elde edilebilecek başarımlar, veri oranı cinsinden bilgisayar simülasyonu ile değerlendirilmektedir. Kısaca şu sonuçlar elde edilmiştir:

- S.T.İ.Y., dar açılı kızılötesi lazer ışınını dışbükey aynalardan yansıtmak suretiyle genişleterek kapalı alana yaygın bir sistem olmasından ötürü çok-yolluluk bozulmasına sebep olmayan bir iletim açısı gerektirmektedir. Bu açı değeri, kapalı alan boyutları ve S.T.İ. yarıçapı büyüdükçe küçülmektedir. Bölüm 4.2.3'te anlatılmakta olan iki geometrik analize göre belirlenen iletim açıları, yansız hizmet alanını %100'e kadar yükseltebilmektedir. Bu sayede güç verimli bir gezgin haberleşme tasarımının hizmet alanından ödün vermeksizin gerçekleştirilebilmesi sağlanmaktadır.
- Geniş açılı tek bir vericiden ibaret olan klasik sisteme nazaran optik güç yoğunlukları gözlemlendiğinde S.T.İ.Y., daha dar bir aralıkta sonuç vermekte olduğu gözlenmiştir. Yani en yüksek ve en düşük optik şiddet yoğunlukları arasındaki fark S.T.İ.Y.'de daha düşüktür. Bu, alıcının tasarımını basitleştirmeye olanak sağlaması açısından önemli bir sonuçtur. Oda boyutlarının giderek yükselmesi durumunda S.T.İ.Y.'nin klasik sisteme nazaran elde ettiği bu üstünlüğü yitirmeye başladığı gözlenmektedir.
- S.T.İ.Y.'nin gölgeleme etkisine karşı üstün bir başarımlar göstermesi de elde edilen çarpıcı sonuçlardan birisidir. Dört adet S.T.İ. içeren bir S.T.İ.Y. sisteminde küçük boyutlu kapalı alanlarda gezinen insansı en gel modellerinin sayısının  $10^3$ 'a kadar yükselmesi durumunda dahi gölgeleme

sebebiyle hizmet dışı kalan alanın %0,2'yi geçemediği görülmektedir. Oysa klasik sistemde bu oran 45 kat daha fazla olmaktadır.

- S.T.İ.Y.'nin, kapalı alan kablosuz optik haberleşmesinde yaygın olarak tercih edilen yayıncı sistemlerle karşılaştırıldığında, hizmet alanının tüm odayı kapsamaması ve gölgeleme etkisine karşı sağlamlık hususlarında yeterli olduğu; güç verimliliği hususunda üstünlük sağladığı; bununla birlikte görüş hattı zorunluluğu ve sabit aygıtlar gibi sakıncalar içeriyor olmasından ötürü yayıncı sistemlerin gerisinde kaldığı görülmektedir.
- K.O.A., üzerine en uygun sayıda alıcı veri çiftinin (A.V.Ç.) yerleştirilmesiyle birlikte etrafındaki uzayı en uygun biçimde kapsayabildiği görülmüştür. Bu noktada tasarım kolaylığı açısından Bölüm 5.2.1'de anlatılmakta olduğu üzere; her bir A.V.Ç.'nin diğer bir A.V.Ç. ile girişim halinde bulunmadığı I. Durum'un seçilmesi gerekmektedir.
- K.O.A. üzerinde en az bir adet A.V.Ç.'nin S.T.İ. üzerinden Temel İstasyon'u (T.İ.) görmesinin sağlamak üzere ıraksama açısının en uygun biçimde belirlenmesi gerekmektedir (Bölüm 5.2.2). Böylelikle optik gücün en verimli biçimde aktarılması sağlanabilmektedir.
- Belirlenen ıraksama açısı, Bölüm 5.2.3'te anlatılmakta olduğu üzere en uygun A.V.Ç. sayısının belirlenmesine ışık tutmaktadır. Bir usb flash bellek boyutunda (ort. 5 cm çapında) K.O.A. için 5°'lik ıraksama açısının 16 adet A.V.Ç. gerektirdiği belirlenmektedir.
- Döşeli küresel yapısının ve otomatik hizalamalı devrenin (Bölüm 5.3) sayesinde kesintisiz veri akışını sağlamak üzere gerektiği durumlarda Görüş Hattı (G.H.) en uygun A.V.Ç.'ye aktarılmaktadır.
- S.T.İ.Y. ve K.O.A. yapıları aynı haberleşme sisteminde kullanıldıklarında elde edebilecekleri en uygun veri iletim oranlarının belirlenmesi amacıyla bilgisayar simülasyonu gerçekleştirilmektedir. Bu amaçla, BER6 standardına uyumluluk sağlanması açısından İşaret Gürültü Oranı (İ.G.O.), OOK modülasyonu için 13.5 dB olarak seçilmek zorundadır.
- Gürültü varyansının veri oranına bağlı olması, belirlenen İ.G.O. seviyesini koruyabilmek için gerekli alınan optik güç değerlerinin veri oranına bağlı biçimde elde edilebilmesine olanak sağlamaktadır. Böylelikle farklı

gölgeleme durumları için farklı boyutlardaki kapalı alanlarda elde edilebilecek veri iletim oranları hesaplanabilmektedir.

- Elde edilen veri oranları değerlendirildiğinde; küçük boyutlu kapalı alanlarda 70 Mb/s seviyelerine çıkılabiliyor olması, yüksek hızlı haberleşmeye olanak sağlaması açısından çekici; orta boyutlardaki kapalı alanlarda 23.5 Mb/s seviyelerine çıkılabiliyor olması, göreceli kabul edilebilir hızda haberleşmeye olanak sağlaması açısından tatmin edicidir. Büyük boyutlardaki kapalı alanlar için 2.5 Mb/s seviyelerine çıkılabiliyor olması, göreceli yetersiz sonuçlar olarak ortaya çıkmaktadır. Bununla birlikte; gerek veri oranları gerekse hat mesafesi ölçütlerine göre kıyaslandığında Tablo 2.3'te verilen IrDA iletişim standartlarından daha iyi bir başarımın elde edilebilmekte olduğu görülmektedir.
- Başarımın artırılması amacıyla göz güvenliğini temin etmeye yetecek kadar ve güç tüketimi kısıtlarını aşmayacak derecede yüksek bit iletim gücü uygulanabilir. S.T.İ. yarıçaplarının oda boyutlarına göre en uygunlaştırılması ve kapalı alan içerisindeki çevresel kızılötesi gürültülerini azaltacak yönde tedbir alınması, bununla beraber en uygun modülasyon tekniğinin belirlenerek uygulanması ile daha yüksek başarım elde edilebilir.
- Bununla birlikte unutulmamalıdır ki; Bölüm 3'te anlatılmakta olan hat tasarımı ölçütleri ile ilgili olarak İ.G.O.'yu yükseltecek yönde meydana gelecek gelişmelerin çalışmalara dahil edilebilmesi; bu çalışmayı daha da ilerilere götürebilmek yönünde yeni araştırma ve geliştirmelere olanak sağlamaktadır.

## KAYNAKLAR

- [1] Ateş, E., Dolma, A., “Kapalı alanlarda sanal temel istasyonlar yöntemi ile serbest uzay optik iletişim ağı tasarımı”, *IEEE 16. Sinyal İşleme, İletişim ve Uygulamaları Kurultayı*, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, 20-22 Nisan (2008).
- [2] Musayev E., “Açık Optik Kanallı Optoelektronik Işın Verici-Fotoalıcı Sisteminin Yeni Uygulamaları”, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 8/2, 1-9, (2003).
- [3] Tanaka, Y., Tomioka, K., Takano, M., Nakagawa, M., "Wireless CATV Uplink System with Subcarrier Modulation Using Infrared Communications for Apartment Houses," *IEICE Trans. Commun. vol.E84-B*, 12, 3235–3242, (2001).
- [4] Tanaka, Y., Komine, T., Haruyama, S., Nakagawa, M., "Indoor Visible Light Transmission System Utilizing White LED Lights", *IEICE Trans. on Commun. vol. E86-B*, 8, 2440–2454, (2003).
- [5] Yuksel, M., Akella, J., Kalyanaraman, S., Dutta, P., "Optimal Communication Coverage for Free-Space-Optical MANET Building Blocks", *Proceedings of IEEE Upstate New York Workshop on Communications and Networking*, 17-21, (2005).
- [6] Akella, J., Liu, C., Partyka, D., Yuksel, M., Kalyanaraman, S., Dutta, D. "Building Blocks for Mobile Free-Space-Optical Networks", *Proceedings of IFIP/IEEE International Conference on Wireless and Optical Communications Networks (WOCN)*, 164-168, Dubai, United Arab Emirates, (2005).
- [7] Fukumoto, N., Murakoshi, A., Tsukamoto, K., Komaki, S., "A study on unrepeated distributed antenna method with convex mirrors for radio on free space optics system", *2005 International Topical Meeting on Microwave Photonics*, 05EX1165C, 221-224, (2005).
- [8] Tanaka, Y., Komine, T., Haruyama, S., Nakagawa, M., “Indoor Visible Light Data Transmission System Using White LED Lights”, *IEICE Trans. Comm. Vol.E86-B*, 8, 2440-2454, (2003).
- [9] Tsukamoto, K., “Radio on Fiber (RoF) Technology and It’s Applications” *IEICE Technical Report Vol.102*, 358, 22-28, (2002).
- [10] Gfeller, F., R., Bapst, U., H., “Wireless in-house data communication via diffuse infrared radiation”, *Proc. IEEE*, 67, 1474–1486, (1979).
- [11] Kahn, J., M., Barry, J., R., "Wireless infrared communications", *Proceedings of the IEEE*, 85, 265-298, (1997).

- [12] Proakis, J., G., "Digital Communications", 3rd ed., *New York:McGraw-Hill*, (1995).
- [13] Kahn, J., M., Krause, W., J., Carruthers, J., B., "Experimental characterization of non-directed indoor infrared channels", *IEEE Trans. Commun.*, 43, 1613–1623, (1995).
- [14] Lee, E., A., Messerschmitt, D., G., "Digital Communication", 2nd ed., *Boston: Kluwer*, (1994).
- [15] <http://www.irda.gov> (**Ziyaret Tarihi: 17 Mayıs 2008**).
- [16] IEEE Std 802.11 - Wireless LAN Medium AccessControl (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications, (1999).
- [17] <http://www.canobeam.com> (**Ziyaret Tarihi: 17 Mayıs 2008**).
- [18] <http://www.terabeam.com> (**Ziyaret Tarihi: 17 Mayıs 2008**).
- [19] Heatley, D., Wisely, D., Neild, I., Cochrane, P., "Optical wireless: The story so far", *IEEE Communications Magazine*, 72-82, (1998).
- [20] Int. Electrotech. Commission, "CEI/IEC825-1: Safety of Laser Products", (1993).
- [21] Welford, W., T., Winston, R., "High Collection Nonimaging Optics", *San Diego: Academic*, (1989).
- [22] Barry J., R., "Wireless Infrared Communications", *Boston:Kluwer*, (1994).
- [23] Barry, J., R., Kahn, J., M., "Link design for non-directed wireless infrared communications", *Appl. Optics vol. 34*, 19, 3764–3776, (1995).
- [24] Ning, X., Winston, R., O’Gallagher, J., "Dielectric totally internally reflecting concentrators", *Appl. Optics vol. 26*, 2, 300–305, (1987).
- [25] Marhic, M., E., Kotzin, M., D., Van den Heuvel, A., P., "Reflectors and immersion lenses for detectors of diffuse radiation", *J. Optical Soc. Amer. vol. 72*, 3, 352–355, (1982).
- [26] Savicki, J., P., Morgan, S., P., "Hemispherical concentrators and spectral filters for planar sensors in diffuse radiation fields", *Appl. Optics vol. 33*, 34, 8057–8061, (1994).
- [27] McCullagh, M., J., Wisely, D., R., "155 Mb/s optical wireless link using a bootstrapped silicon APD receiver", *Electron. Lett. vol. 30*, 5, 430–432, (1994).
- [28] Ho, K., P., Kahn, J., M., "Compound parabolic concentrators for narrow-band wireless infrared receivers", *Opt. Engineering vol. 34*, 5, 1385–1395, (1995).

- [29] Saleh, B., E., A., Teich, M., C., "Fundamentals of Photonics", *New York: Wiley*, (1991).
- [30] Kotzin, M., D., "Short-range communications using diffusely scattered infrared radiation", Doktora Tezi, *Northwestern University*, Evanston/IL, (1981).
- [31] Gfeller, F., Hirt, W., De Lange, M., Weiss, B. "Wireless infrared transmission: How to reach all office space" in *Proc. IEEE Vehic. Technol. Conf.*, Atlanta/GA, (1996).
- [32] Gfeller, F., R., Bernasconi, P., Hirt, W., Elisii, C., Weiss, B., "Dynamic cell planning for wireless infrared in-house data transmission" in *Mobile Commun.: Advanced Syst. and Components and Proc. 1994 Int. Zurich Seminar on Digital Commun.*, 261–272, Zurich/Switzerland, 8–11 Mart 1994, 261–272.
- [33] Moreira, A., J., C., Valadas, R., T., De Oliveira Duarte, A., M., "Optical interference produced by artificial light", *ACM Wireless Networks*, 3, 131-140, (1997).
- [34] Narasimhan, R., Audeh, M., D., Kahn, J., M., "Effect of electronic-ballast fluorescent lighting on wireless infrared links", *IEE Proc.-Optoelectron.*, (1996).
- [35] Kasper, B., L., "Receiver design", *S. E. Miller and I. P. Kaminow, Eds. New York:Academic*, 689–723, (1988).
- [36] Personick, S., D., "Receiver design for digital fiber optic communications systems, I and II" *Bell Syst. Techn. J. vol 52*, 6, 843–886, (1973).
- [37] Nguyen, T., D., "Microelectromechanical Systems", Yüksek Lisans Tezi, *Kalifornia Üniversitesi*, Berkeley, (1995).
- [38] Ungerboeck, G. "Trellis-coded modulation with redundant signal sets—Part I: Introduction", *IEEE Commun. Mag. vol. 25*, 2, 5–11, (1987).
- [39] Rogers, D., L., "Integrated optical receivers using MSM detectors", *IEEE J. Lightwave Technol. vol. 9*, 12, 1635–1638, (1991).
- [40] Heatley, D., J., T., Wisely, D., R., Neild, I., Cochrane, P., "Optical Wireless: The story so far", *IEEE Communications*, 36, 72 -74, (1998).
- [41] Acampora, S., Krishnamurthy, S., V., "A broadband wireless access network based on mesh-connected freespace optical links", *IEEE Personal Communications*, 6, 62-65, (1999).
- [42] Willebrand, H., Ghuman, B., S., "Free Space Optics", *Sams Pubs*, 1st edition, (2001).
- [43] Faulkner, G., E., F., O'Brien, D., C., Edwards, D., J., "A cellular optical wireless system demonstrator", *IEEE Colloquium on Optical Wireless Comm.*, 1-6, (1999).

[44] Eklund, C., Marks, R., B., Stanwood, K., L., Wang, S., "IEEE Standard 802.16: A Technical Overview of the WirelessMAN Air Interface for Broadband Wireless Access", *IEEE Communications Magazine*, 98-107, (2002).

[45] Yuksel, M., Akella J., Kalyanaraman S., Dutta, P., "Free-Space-Optical Mobile Ad-Hoc Networks: Auto-Configurable Building Blocks", *ACM/Springer Wireless Networks*, 1-18, (2008).

[46] [http://en.wikipedia.org/wiki/Last\\_mile](http://en.wikipedia.org/wiki/Last_mile) (**Ziyaret Tarihi: 25 Temmuz 2008**).



## **ÖZGEÇMİŞ**

1984 yılında İstanbul'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini İstanbul'da tamamladı. 2001 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü'nden 2006 yılında Elektronik ve Haberleşme Mühendisi olarak mezun oldu. 2006 yılında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik ve Haberleşme Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans öğrenimine başladı ve halen devam etmektedir.