



T.C

SIVAS CUMHURİYET ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ÇİFT GÖRÜŞ AÇILI MEKANİK OBJEKTİF
TASARIMI**

ÇAĞATAY KOÇ

OPTİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Fatih UNGAN

SIVAS

2019

Çağatay KOÇ'un hazırladığı ve “**ÇİFT GÖRÜŞ AÇILI MEKANİK OBJEKTİF TASARIMI**” adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından **OPTİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı **Prof. Dr. Fatih UNGAN**
Sivas Cumhuriyet Üniversitesi

Jüri Üyesi **Doç. Dr. Murat KÖKSAL**
Sivas Cumhuriyet Üniversitesi

Jüri Üyesi **Doç. Dr. Mustafa Kemal BAHAR**
Karamanoğlu Mehmet Bey Üniversitesi

Bu tez, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak onaylanmıştır.

Prof. Dr. Özlem Pelin CAN
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

Bu tez, Cumhuriyet Üniversitesi Senatosu'nun 20.08.2014 tarihli ve 7 sayılı kararı ile kabul edilen Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Tez Yazım Kılavuzu (Yönerge)'nda belirtilen kurallara uygun olarak hazırlanmıştır.



Bütün hakları saklıdır.
Kaynak göstermek koşuluyla alıntı ve gönderme yapılabilir.

© Çağatay KOÇ, 2019

ETİK

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tez Yazım Kılavuzu (Yönerge)'nda belirtilen kurallara uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- ✓ Bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- ✓ Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- ✓ Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere, bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu ve atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- ✓ Bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- ✓ Tezin herhangi bir bölümünü Sivas Cumhuriyet Üniversitesi ya da başka bir üniversitede, bir başka tez çalışması olarak sunmadığımı; beyan ederim.

21.08.2019
Çağatay KOÇ

KATKI BELİRTME VE TEŞEKKÜR

Yüksek lisans sürecinde bilgi ve deneyimlerini benden esirgemeyen ve bana yol gösterici olan çok değerli danışman hocam Prof. Dr. Fatih UNGAN' a en içten teşekkürlerimi sunuyorum.

ÖZET

ÇİFT GÖRÜŞ AÇILI MEKANİK OBJEKTİF TASARIMI

Çağatay KOÇ

Yüksek Lisans Tezi

Optik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Fatih UNGAN

2019, 50+ xv sayfa

Bu çalışmada, Zemax optik tasarım programı kullanılarak çift görüş açılı yedi büyütmeli bir gündüz zum objektifinin optik tasarımı yapılmıştır. Objektif tasarımının ilk aşaması olarak yakıneksenel (paraxial) mercek tasarım yöntemi kullanılmıştır. Daha sonra programda gerçek lensler eklenerek tasarımda karşılaşılan olası optik kusurlar değerlendirilmiştir. Tasarımda optik kusurları telafi etmek ve sistemin optik performansı artırmak için bazı iyileştirme yöntemleri uygulanmıştır. İstenilen performans kriterlerine ulaşınca iyileştirmeler sonlandırılmıştır ve analiz sonuçları değerlendirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Lens Tasarımı, Çift Görüş Açılı Objektif, Zum Lens

ABSTRACT

DESIGN OF DUAL FOV MECHANICAL OBJECTIVE

Çağatay KOÇ

Master of Science Thesis

Department of Optics Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Fatih UNGAN

2019, 50+ xv sayfa

In this study, dual field of view and seven times magnification visible zoom objective is designed with using ZEMAX optical design software. Paraxial lens design method is used as first stage of objective designing process. Possible optical aberrations and system's optical performance are evaluated after converting paraxial lenses to real lenses. Some optimization techniques are used to correct aberrations and improve the optical quality of the system. Optimizations is ended when the desired performance criterias are met. Then analyse resluts are evaluated.

Key Words: Lens Design, Dual Field of View Objective, Zoom Lens

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	vi
ABSTRACT	vii
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
SİMGELER DİZİNİ	xiii
KISALTMALAR DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ	1
2. OPTİK KAVRAMLAR	2
2.1 Mercek.....	2
2.2 Çift Mercek (Doublet).....	2
2.3 Efektif Odak Uzaklığı (EFL).....	3
2.4 Kırıcılık İndeksi.....	4
2.5 Kırınım	4
2.6 Airy Disk.....	7
2.7 MTF (Modülasyon Transfer Fonksiyonu).....	7
2.8 Görüş Alanı	9
2.9 F-Numarası.....	9
3. OPTİK KUSURLAR	11
3.1 Renk Kusuru.....	11
3.2 Küresel Kusur.....	12
3.3 Koma	13
3.4 Astigmatizm	13
3.5 Alan Eğriliği.....	14
3.6 Biçim Bozukluğu.....	14
4. OBJEKTİF TASARIMLARI	15
4.1 Sabit Odaklı Objektifler	15
4.1.1 Teleobjektif	16
4.1.2 Geniş Açılı Objektifler	16

4.2	Zum Objektif.....	17
4.2.1	Sürekli Zum Objektif	17
4.2.2	Sürekli Olmayan Zum Objektifler.....	17
4.3	Optik Telafi	18
4.4	Mekanik Telafi	19
5.	ÇİFT GÖRÜŞ AÇILI MEKANİK OBJEKTİF TASARIMI.....	20
5.1	Çift Görüş Açılı Mekanik Objektif Tanımı.....	20
5.2	Çift Görüş Açılı Mekanik Objektif Optik Bileşenleri	20
5.3	Çift Görüş Açılı Mekanik Objektif Optik Özellikleri	20
5.4	Çift Görüş Açılı Mekanik Objektif Tasarım Aşamaları.....	21
5.5	Kavramsal Tasarım	21
5.5.1	Birinci Dereceden Hesaplamalar.....	21
5.5.2	Yakıneksenel Tasarım	23
5.6	Ön Tasarım.....	25
5.6.1	Birinci Durum	25
5.6.2	Birinci Durum Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi	31
5.6.3	İkinci Durum	31
5.6.4	İkinci Durum Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi	37
5.6.5	Üçüncü Durum (Kritik Tasarım).....	38
5.6.6	Üçüncü Durum Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi	46
6.	SONUÇ.....	47
7.	KAYNAKLAR.....	49
8.	ÖZGEÇMİŞ.....	50

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1 Mercek türleri	2
Şekil 2.2 Solda Tek Mercek Sağda Çift Mercek.....	3
Şekil 2.3 Optik sistemin odak noktalarının ve asal noktalarının yerinin gösterimi	3
Şekil 2.4 Kırınım Örneği [1].....	4
Şekil 2.5 Kırıcılık İndeksi- Dalgaboyu Grafiği [1].....	5
Şekil 2.6 Schott Cam Abbe Diyagramı	6
Şekil 2.7 Airy disk deseni	7
Şekil 2.8 Çizgi Hedef Görüntüsü	8
Şekil 2.9 MTF Grafiği [2].....	8
Şekil 2.10 Görüş Alanı.....	9
Şekil 2.11 Giriş Açıklığı	10
Şekil 2.12 F-Numarası	10
Şekil 3.1 Enine Renk Kusuru [5]	11
Şekil 3.2 Boyuna Renk Kusuru [5]	11
Şekil 3.3 Küresel Kusur [5].....	12
Şekil 3.4 Küresel lens ve asferik lens	12
Şekil 3.5 Koma [5].....	13
Şekil 3.6 Astigmatizm [5]	14
Şekil 3.7 Alan Eğriliği [5].....	14
Şekil 3.8 Biçim Bozukluğu [5]	15
Şekil 4.1 Sabit Odaklı Objektif Şeması	15
Şekil 4.2 Teleobjektif Optik Dizilim Planı	16
Şekil 4.3 Geniş Açılı Objektif Optik Dizilim Planı	16
Şekil 4.4 Sürekli Zum Objektif Optik Dizilim Planı	17
Şekil 4.5 Kademeli Zum Sistemi Optik Dizilim Planı [6].....	18
Şekil 4.6 Döndürmeli Zum Objektif Optik Dizilim Planı [7].....	18
Şekil 4.7 Optik Telafili Zum Objektif [2].....	19
Şekil 4.8 Mekanik Telafili Zum Objektif [2].....	19
Şekil 5.1 Açısal Görüş Alanı ve Odak Uzaklığı	22
Şekil 5.2 Geniş Açılı Görüş Alanı Optik Dizilim Planı 1. Konfigürasyon	23
Şekil 5.3 Dar Açılı Görüş Alanı Optik Dizilim Planı 2. Konfigürasyon	23
Şekil 5.4 Ön Tasarım Birinci Durum Konfigürasyon 1 ve Konfigürasyon 2 Optik Dizilim Planı.....	26
Şekil 5.5 Ön Tasarım Birinci Durum Konfigürasyon 1 Spot Diyagramı.....	27

Şekil 5.6 Ön Tasarım Birinci Durum Konfigürasyon 2 Spot Diyagramı.....	28
Şekil 5.7 Ön Tasarım Birinci Durum Konfigürasyon 1 Işın Kusuru	28
Şekil 5.8 Ön Tasarım Birinci Durum Konfigürasyon 2 Işın Kusuru	29
Şekil 5.9 Ön Tasarım Birinci Durum Konfigürasyon 1 MTF Grafiği	29
Şekil 5.10 Ön Tasarım Birinci Durum Konfigürasyon 2 MTF Grafiği	30
Şekil 5.11 Ön Tasarım İkinci Durum Konfigürasyon 1 ve 2 Optik Dizilim Planı	32
Şekil 5.12 Ön Tasarım İkinci Durum Konfigürasyon 1 Spot Diyagramı	34
Şekil 5.13 Ön Tasarım İkinci Durum Konfigürasyon 2 Spot Diyagramı	34
Şekil 5.14 Ön Tasarım İkinci Konfigürasyon 1 Işın Kusuru	35
Şekil 5.15 Ön Tasarım İkinci Durum Konfigürasyon 2 Işın Kusuru	35
Şekil 5.16 Ön Tasarım İkinci Durum Konfigürasyon 1 MTF Grafiği	37
Şekil 5.17 Ön Tasarım İkinci Durum Konfigürasyon 2 MTF Grafiği	37
Şekil 5.18 Kritik Tasarım Konfigürasyon 1 ve 2 Optik Dizilimi.....	38
Şekil 5.19 Kritik Tasarım Konfigürasyon 1 Spot Diyagramı	41
Şekil 5.20 Kritik Tasarım Konfigürasyon 2 Spot Diyagramı	42
Şekil 5.21 Kritik Tasarım Konfigürasyon 1 Işın Kusuru	42
Şekil 5.22 Kritik Tasarım Konfigürasyon 2 Işın Kusuru	43
Şekil 5.23 Kritik Tasarım Konfigürasyon 1 MTF Grafiği	43
Şekil 5.24 Kritik Tasarım Konfigürasyon 2 MTF Grafiği	44
Şekil 5.25 Kritik Tasarım Konfigürasyon 1 Alan Eğriliği ve Biçim Bozukluğu Grafiği	44
Şekil 5.26 Kritik Tasarım Konfigürasyon 2 Alan Eğriliği ve Biçim Bozukluğu Grafiği	45
Şekil 5.27 Ön Tasarım Üçüncü Durum Konfigürasyon 1 Kararma Grafiği	45
Şekil 5.28 Kritik Tasarım Konfigürasyon 2 Kararma Grafiği	46

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1 Görünür Bölge Dalgaboyu Aralığının Spektral Kimliği [1]	5
Çizelge 5.1 Yakıneksenel Tasarım Geniş Açılı Görüş Alanı Optik Verileri	24
Çizelge 5.2 Yakıneksenel Tasarım Dar Açılı Görüş Alanı Optik Verileri	24
Çizelge 5.3 Ön Tasarım Birinci Durum Konfigürasyon 1 Optik Verileri	26
Çizelge 5.4 Ön Tasarım Birinci Durum Konfigürasyon 2 Optik Verileri	27
Çizelge 5.5 Ön Tasarım Birinci Durum Konfigürasyon 1 Seidel Optik Kusur Katsayıları	30
Çizelge 5.6 Ön Tasarım Birinci Durum Konfigürasyon 2 Seidel Optik Kusur Katsayıları	30
Çizelge 5.7 Cam Tipleri ve Özellikleri	32
Çizelge 5.8 Ön Tasarım İkinci Durum Konfigürasyon 1 Optik Verileri	33
Çizelge 5.9 Ön Tasarım İkinci Durum Konfigürasyon 2 Optik Verileri	33
Çizelge 5.10 Ön Tasarım İkinci Durum Konfigürasyon 1 Seidel Optik Kusur Katsayıları	36
Çizelge 5.11 Ön Tasarım İkinci Durum Konfigürasyon 2 Seidel Optik Kusur Katsayıları	36
Çizelge 5.12 Kritik Tasarım Konfigürasyon 1 Optik Verileri	39
Çizelge 5.13 Kritik Tasarım Konfigürasyon 2 Optik Verileri	39
Çizelge 5.14 Kritik Tasarım Cam Tipleri ve Özellikleri	40
Çizelge 5.15 Kritik Tasarım Konfigürasyon 1 Seidel Optik Kusur Katsayıları	40
Çizelge 5.16 Kritik Tasarım Konfigürasyon 2 Seidel Optik Kusur Katsayıları	41

SİMGELER DİZİNİ

n	Kırıcılık indeksi
R	Yüzey yarıçapı, mm
d	Mercek merkez kalınlığı, mm
c	Işık hızı, m/s
V	Hız, m/s
V_d	Abbe numarası
n_f	Mavi ışık için kırıcılık indeksi
n_d	Sarı ışık için kırıcılık indeksi
n_c	Kırmızı ışık için kırıcılık indeksi
D_{Airy}	Airy disk çapı
F/#	F-Numarası
f_d	Dar görüş açışı için odak uzaklığı
f_g	Geniş görüş açışı için odak uzaklığı
h	Görüntü düzlemi diyagonal uzunluğu

KISALTMALAR DİZİNİ

EFL	: Effective Focal Lenght
BFL	: Back Focal Lenght
FFL	: Front Focal Lenght
MTF	: Modulation Transfer Function
PNPP	: Positive, Negative, Positive, Positive



1. GİRİŞ

Günümüzde zum kabiliyetli gündüz görüş sistemleri askeri ve sivil alanlarda önemli bir yeri olan bir optik araçlardır. Teknolojinin gelişmesi ile zum kabiliyetli objektifler kullanıcıya zum ve odaklama işlemlerinde yüksek hız ve hassasiyet sunmaktadırlar. Modern elektro-optik sistemlerden zum objektifler sahip oldukları elektrik motorları, sürücü kartları ve hassas mekanik tasarımları ile karmaşık ve maliyetli bir sistem oluşturmaktadır.

Gündüz görüş zum kameraları temel olarak bir zum objektif, dedektör ve bir monitörden oluşmaktadır. Kamera gözlemlenmek istenilen yere yerleştirilir ve kullanıcının monitörüne bir bağlantı ile eşleştirilir. Kullanıcı uzaktan kendi monitöründen bir arayüz kullanarak objektifte zum ve odak işlemlerini gerçekleştirir. Bu tip kamera sistemleri zum, odak ayarları ve monitörün çalışması için elektrik enerjisine ihtiyaç duyarlar. Ayrıca sahip oldukları elektronik elemanlar ile tüm sistemin ağır hava koşulları ve şok gibi fiziksel etkenlerden minimum etkilenecek şekilde üretilmeli bu sistemleri yüksek maliyetli kılar.

Yukarıda bahsedilen sebepler nedeni ile özellikle askeri alanda ağır şartlarda çalışabilecek ve elektrik enerjisine ihtiyaç duymayacak bir gündüz görüş zum sistemlerine ihtiyaç duyulmuştur. Böyle bir görüş sistemi tamamen mekanik olmalıdır. Sistem objektif, oküler ve bir fiber bağlantı arayüzüne sahip olmalıdır.

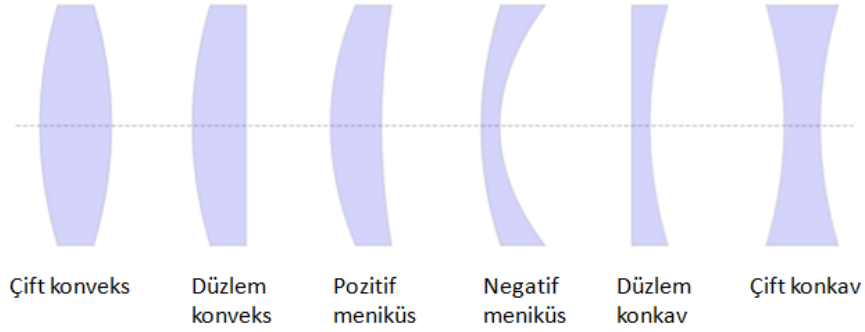
Bu çalışmada mekanik bir zum görüş sisteminin objektifinin tasarlanması planlanmıştır. Objektif iki farklı görüş alanına sahip olacak şekilde tasarlanmıştır. Görüş alanları değişimi, objektifin içinde dönebilen bir mekanik parça ile mercekle optik sisteme dâhil olması ve ayrılması şeklindedir. Ayrıca tasarımda odak ayarına ihtiyaç duyulmayacaktır ve zum ayarı mekanik bir şekilde sağlayabilecektir.

2. OPTİK KAVRAMLAR

Bu bölümde optik sistemlerde kullanılan optik elemanlar, terimler ve parametrelerin tanımları verilmektedir.

2.1 Mercek

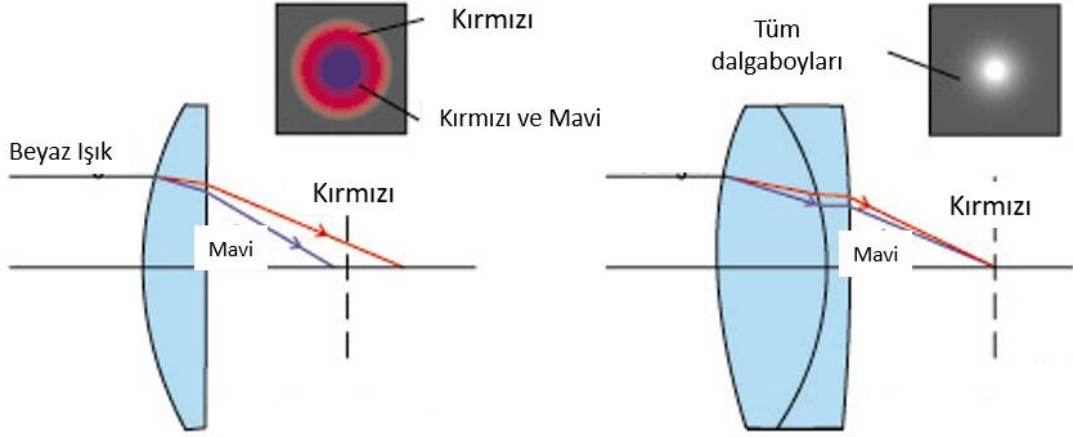
Mercek, ışık ışınlarını odaklamaya ya da ışınların dağılıma uğramasını sağlayan optik araçlardır. Optik tasarımlarda ihtiyaca bağlı olarak farklı türde mercekler kullanılır. Yüzey şekillerine göre mercekler Şekil 2.1' deki gibi adlandırılırlar.



Şekil 2.1 Mercek türleri

2.2 Çift Mercek (Doublet)

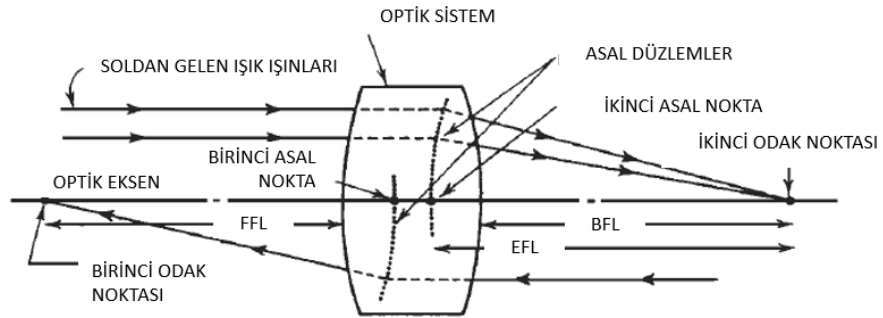
Çift mercekler iki tek merceğin özel bir yapıştırıcı kullanılarak birbirlerine yapıştırılması ile elde edilen merceklerdir. Bir pozitif crown (düşük kırıcılık indeksi ve yüksek abbe numarası) ve bir negatif flint (yüksek kırıcılık indeksi ve düşük abbe numarası) mercek yapıştırılarak elde edilen akromatik dublet mercekler, iki dalgaboyu için renk kusurunu (kromatik aberasyon) telafi ederler.



Şekil 2.2 Solda Tek Mercek Sağda Çift Mercek

2.3 Efektif Odak Uzaklığı (EFL)

Bir kalın mercekten (yakıneksenel olmayan) ya da birden fazla mercekten veya aynadan oluşan sistemlerin odak uzaklığına efektif odak uzaklığı denir. Aynı zamanda kalın bir optik sistem için arka odak uzaklığı (BFL) ve ön odak uzaklığı (FFL) da birer optik parametredir. R_1 ve R_2 bir merceğin birinci ve ikinci yüzeylerinin yarıçap değerleridir. Merceğin merkez kalınlığı d ve kırıcılık indeksi n ' dir. Efektif odak uzaklığı Denklem [2.1] ile hesaplanır.



Şekil 2.3 Optik sistemin odak noktalarının ve asal noktalarının yerinin gösterimi

$$EFL = \frac{1}{f} = (n - 1) + \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} + \frac{(n-1)d}{n(R_1 \times R_2)} \quad [2.1]$$

$$FFL = f \left(1 + \frac{(n-1)d}{n(R_2)} \right) \quad [2.2]$$

$$BFL = f \left(1 - \frac{(n-1)d}{n(R_1)} \right) \quad [2.3]$$

2.4 Kırıcılık İndeksi

Kırıcılık indeksi şüphesiz ki bir merceğin en önemli özelliğidir. Kırıcılık indeksi ile mercek ışık ışınlarını bükme özelliğine sahip olur. Basitçe kırıcılık indeksi vakum içindeki ışık hızının cam malzeme içindeki hızına oranıdır [1].

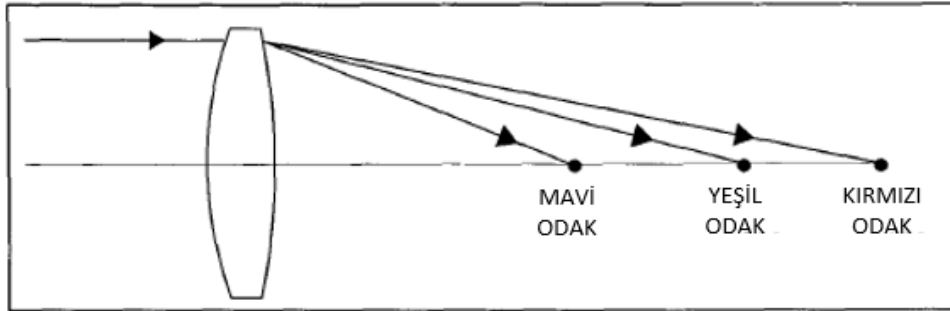
$$n = \frac{c}{v} \quad [2.4]$$

Işık kırıcılık indeksi farklı iki ortamdan geçerken kırılır. Bu olay Snell yasasında Denklem [2.5] ile açıklanır.

$$n_i \sin \theta_i = n_j \sin \theta_j \quad [2.5]$$

2.5 Kırınım

Paralel beyaz ışık ışını bir mercekte geçerse, ışının sahip olduğu farklı renkler optik ekseninde Şekil 2.4' deki gibi farklı noktalarda odaklanırlar. Efektif odak uzaklığı dalgaboyuna bağlıdır ve renklerin bu şekilde optik ekseninde dağılımı kromatik aberasyon olarak tanımlanır. Kromatik aberasyon zayıf görüntü kalitesine ve düşük çözünürlüğe neden olur.

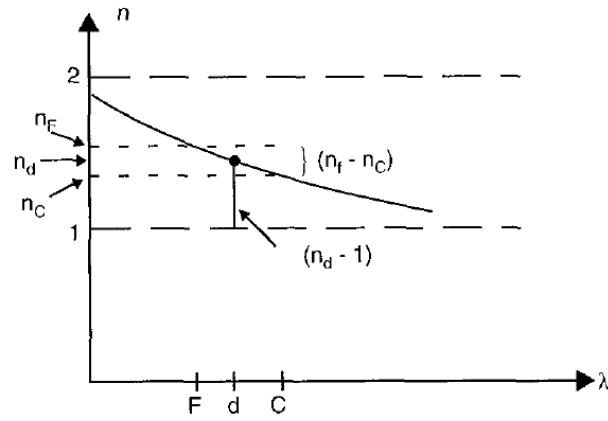


Şekil 2.4 Kırınım Örneği [1]

Renklerin optik seksende bu şekildeki dağılımı kırıcılık indeksinin bir sabit olmadığı aksine dalgaboyunun bir fonksiyonu olduğunu gösterir. Bu olguya kırınım denir [1]. Merceğin kırıcılık indeksi mavi renk için yüksek iken kırmızı renk için daha düşük gibi davranır.

Çizelge 2.1 Görünür Bölge Dalgaboyu Aralığının Spektral Kimliği [1]

Spectral Lines		
Wavelength (nm)	Identifier	Spectral Line
404 6	h	Hg (violet)
435 8	g	Hg (blue)
480	F'	Cd (blue)
486 1	F	H (blue)
546 1	e	Hg (green)
587 6	d	He (yellow)
589 3	D	Na (yellow)
643 8	C'	Cd (red)
656 3	C	H (red)
706 5	i	He (red)



Şekil 2.5 Kırıcılık İndeksi- Dalgaboyu Grafiği [1]

Kırınımı ölçmek için,

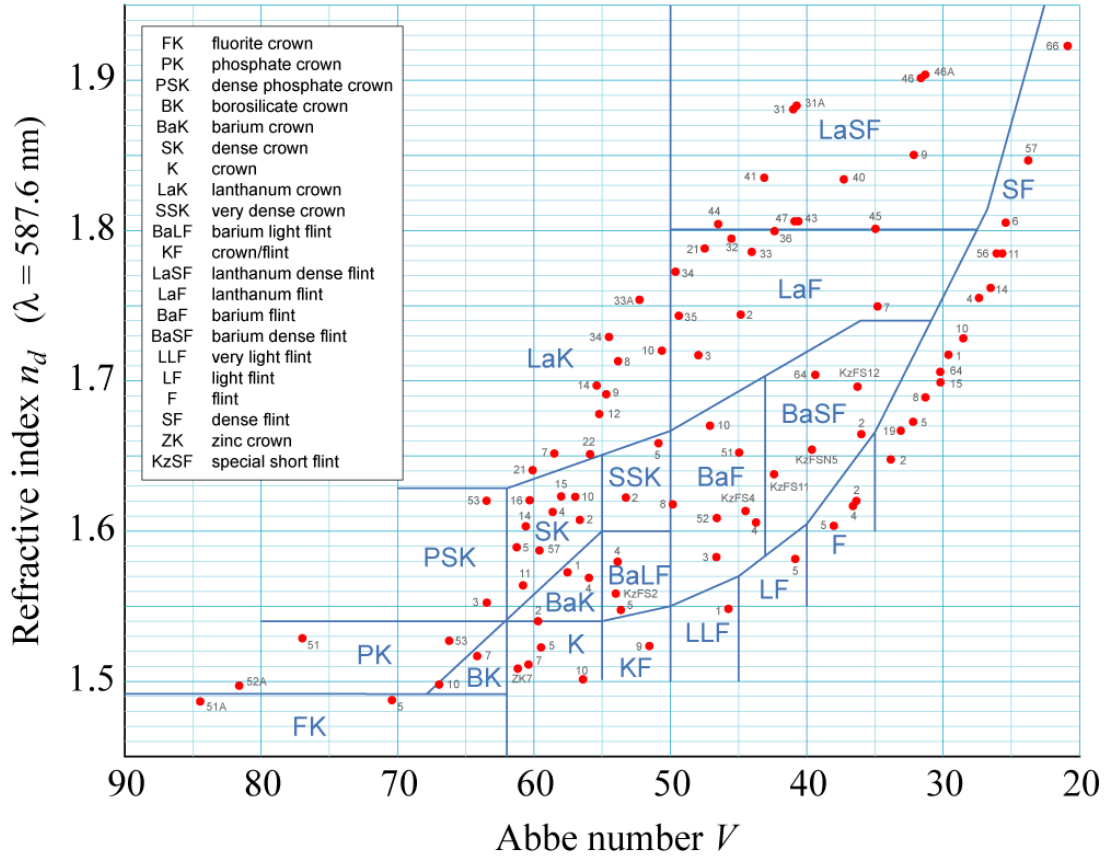
$$D = \frac{n_F - n_C}{n_d - 1} \quad [2.6]$$

Denklem [2.6] daki oran kullanılabilir. Pay, görünür bölge spektrumun uç noktalarının arasındaki kırıcılık indeksi farkı, payda ise materyalin orta-spektrum kırıcılık indeksi ile vakumdaki indeks değeri arasındaki farkı tanımlar. Vakumda kırıcılık indeksi tüm renkler için "1" kabul edilir [1].

Camlar için kırınım ölçüsü Abbe numarası Denklem [2.7] ile ifade edilir.

$$V_d = \frac{n_d - 1}{n_F - n_C} \quad [2.7]$$

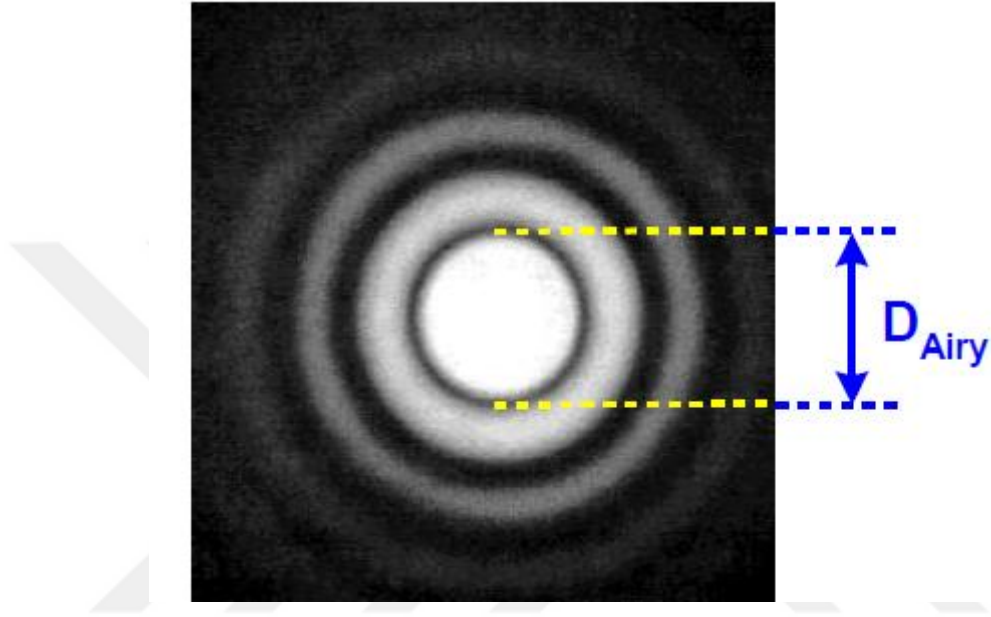
Bir cam için indeks farkı ne kadar fazla ise camın kırınımı da o kadar fazladır.



Şekil 2.6 Schott Cam Abbe Diyagramı

2.6 Airy Disk

Eğer ışık bir açıklıktan geçerse (her merceğin bir sonlu açıklığı vardır) kırınım meydana gelir. Kırınım deseninin sonucu olarak merkezde parlak bölge ve etrafındaki yoğunluğu giderek düşen eş merkezli halkalar oluşur ve buna airy disk denir [2].

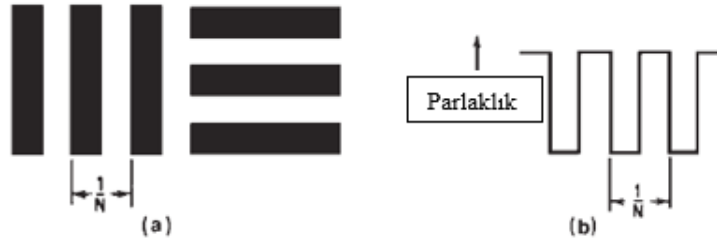


Şekil 2.7 Airy disk deseni

$$\text{Airy disk çapı } (\mu\text{m}) = 2,44 \times \lambda(\mu\text{m}) \times F/\# \quad [2.8]$$

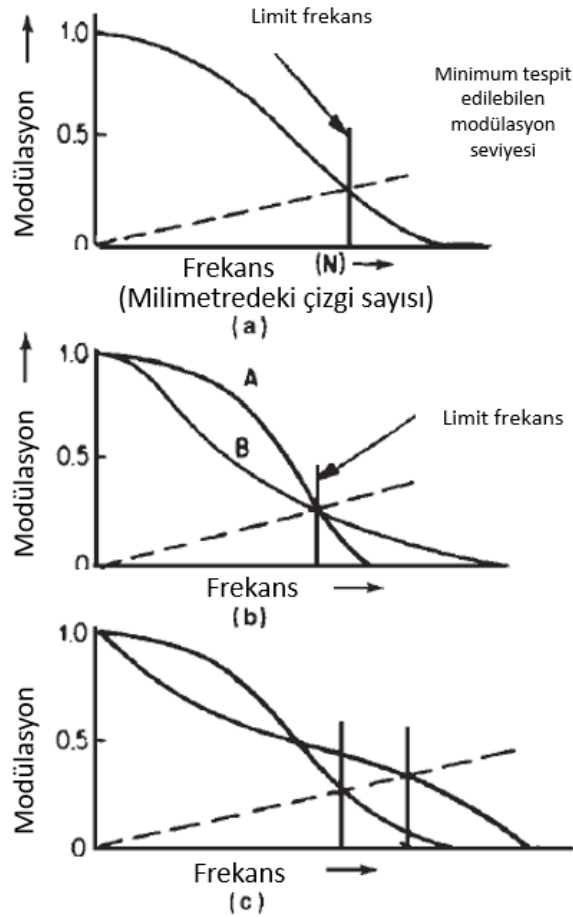
2.7 MTF (Modülasyon Transfer Fonksiyonu)

Bir optik sistemin performansını ölçmek için kullanılan ardışık ve aynı enine sahip parlak ve karanlık çizgilerden oluşan bir hedef tipidir. Şekil 2.8' de görüldüğü gibi eğer hedef deseni milimetrede N tane çizgi frekansına sahip ise çizgiler 1/N milimetre periyoda sahip olur [2].



Şekil 2.8 Çizgi Hedef Görüntüsü

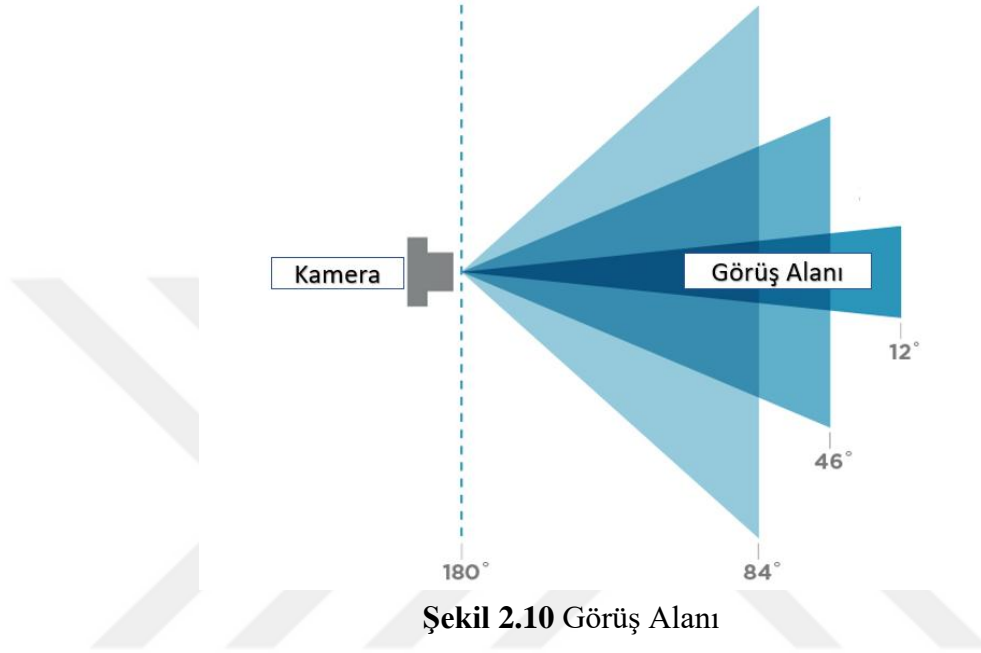
Görüntü modülasyonu test deseninin frekansının bir fonksiyonu olarak çizilebilir. Şekil 2.9' de aynı limit frekansa sahip A ve B optik sistemlerinin MTF grafiği verilmiştir. Burada N frekansının birimi lp/mm' dir (line pair per milimeter). Şekil 2.9' de görülmektedir ki A optik sisteminin performansı B' den daha iyidir.



Şekil 2.9 MTF Grafiği [2]

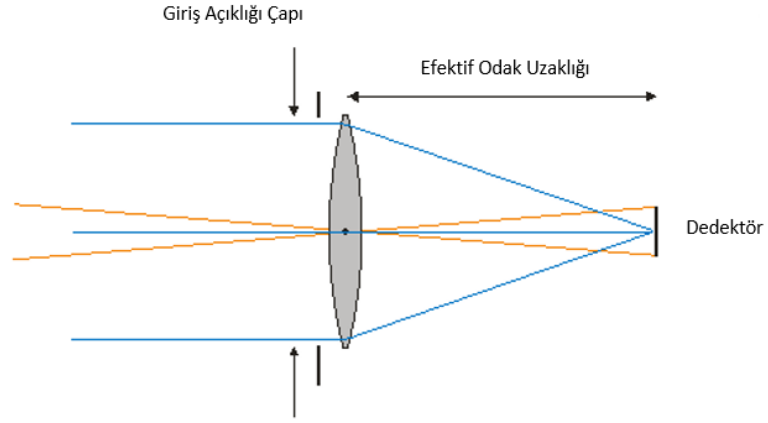
2.8 Görüş Alanı

Görüş alanı gözlemcinin optik sistemden görebildiği alanın büyüklüğünü ifade eder. Açısal ya da lineer olarak ifade edilir [3]. Dar ve geniş görüş alanlarını gösteren örnek bir kamera görüş alanı diyagramı Şekil 2.10’ da verilmiştir.



2.9 F-Numarası

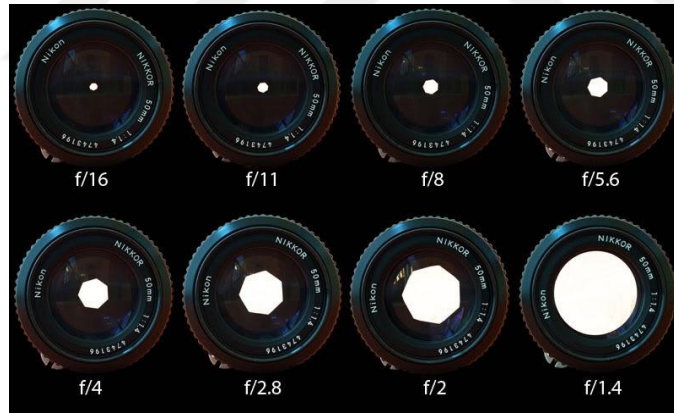
F numarası bir objektifin odak uzaklığının giriş açıklığının çapına oranıdır. Bu oran detektöre düşen ışık miktarını belirler. Optik sistemlerde optik açıklık diyafram (aperture) olarak adlandırılır. Örnek olarak bir çift konveks merceğin optik açıklığı merceğin çapı kabul edilirse bu çap değeri aynı zamanda mercek için giriş açıklığı değerini verir Şekil 2.11. Şekil 2.12’ de bir objektifin optik açıklığına yerleştirilen irisin açılıp kapanması ile objektifin sahip olduğu farklı değerlerdeki f-numaraları görülmektedir. Objektifin f-numarası ne kadar küçük ise detektöre düşen ışık miktarı o kadar fazladır. F-numarası basitçe Denklem [2.9] ile hesaplanır [4].



Şekil 2.11 Giriş Açıklığı

$$F/\# = \frac{F_{\text{objektif}}}{\text{Giriş Açıklığı Çapı}}$$

[2.9]



Şekil 2.12 F-Numarası

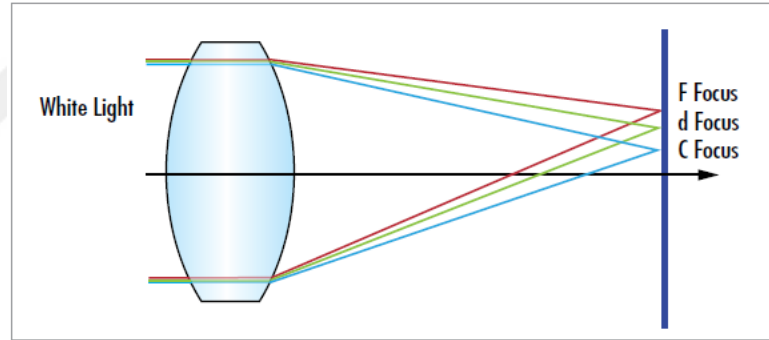
3. OPTİK KUSURLAR

3.1 Renk Kusuru

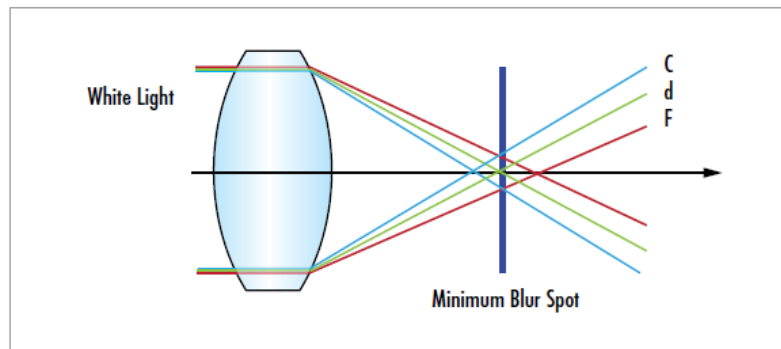
Merceğe gelen beyaz ışık mercekten geçtikten sonra farklı renklere ayrılır. Bu renklerin optik ekseninde ve görüntü düzleminde farklı yerlere odaklanmasına renk kusuru denir. Renk kusuru görüntüde genelde kontrastın yüksek olduğu durumlarda daha belirgin olarak görülür. Renk kusurları enine ve boyuna renk kusurları olmak üzere iki durumda incelenir.

Enine renk kusuru görüntü boyunun dalga boyuna göre değişim göstermesidir. Şekil 3.1’ de basitçe enine renk kusuru örneği verilmiştir. Merceğe beyaz bir ışık gönderilirse kırmızı (656,3 nm, C), sarı (587,6 nm, d) ve mavi (486,1 nm, F) renkler görüntü düzleminde dikey yönde ve farklı yerlerde odaklanırlar [5].

Boyuna renk kusuru bir merceğe beyaz ışık gönderildiğinde farklı dalga boylarının, merceğin kırınım özelliğine göre optik ekseninde yatay doğrultuda farklı yerlerde odaklanmasıdır. Şekil 3.2’ de boyuna renk kusuru görseli verilmiştir.



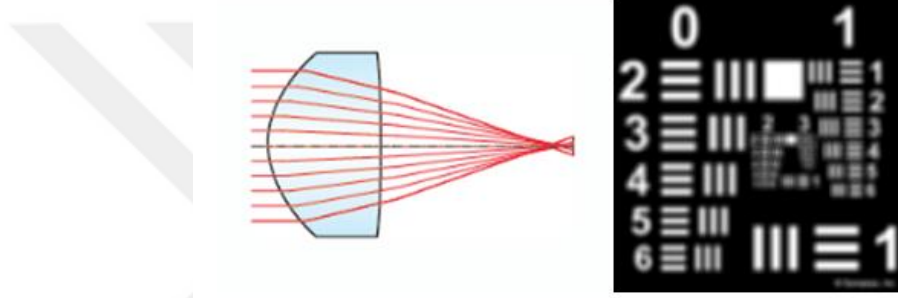
Şekil 3.1 Enine Renk Kusuru [5]



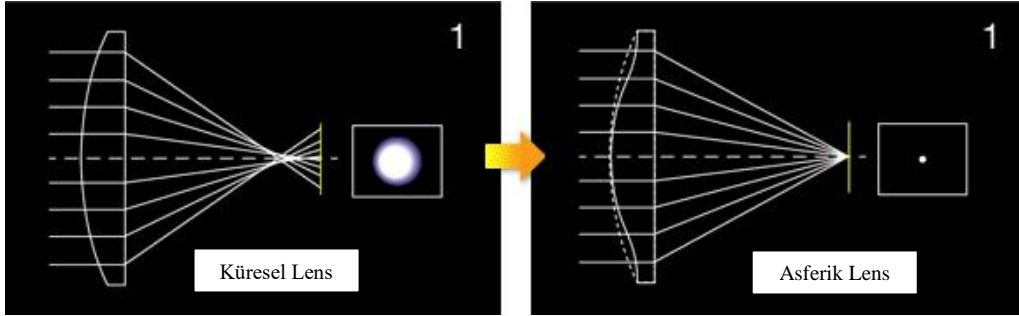
Şekil 3.2 Boyuna Renk Kusuru [5]

3.2 Küresel Kusur

Küresel kusur merceğe gelen ışınların optik ekseninde aynı noktada odaklanamamasıdır. Görüntü düzleminde merceğin kenarlarından gelen ışınlar merceğin merkezinden gelen ışınlardan farklı yerlerde odaklanırlar. Şekil 3.3' te bir merceğe gelen paralel ışınların izlediği yollar ve görüntüde oluşan küresel kusur görülmektedir. Küresel olan her mercede küresel kusur gözlemlenir. Bu durum hem optik ekseninde hem de optik eksen dışındaki alanlarda görülür. Küresel olmayan (asferik) Şekil 3.4, düzlem-konveks ve yüksek indeksli mercek kullanımı ve mercek ayırma yöntemi ile küresel kusur telafi edilebilir [5].



Şekil 3.3 Küresel Kusur [5]

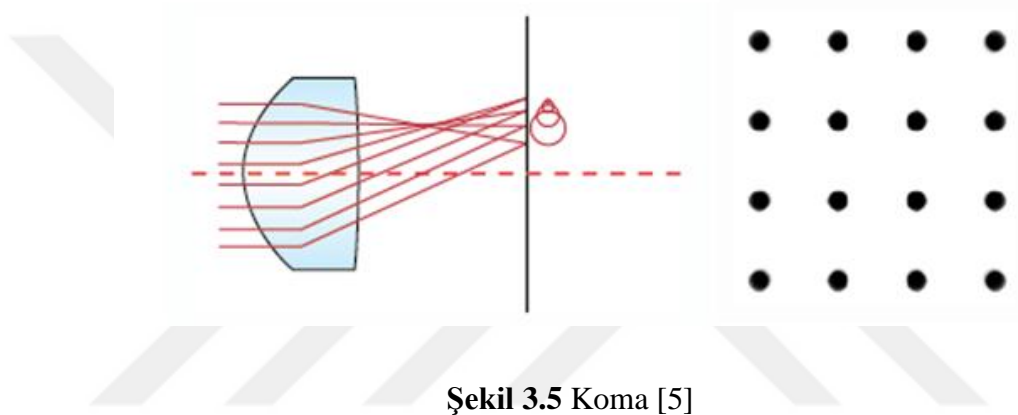


Şekil 3.4 Küresel lens ve asferik lens

3.3 Koma

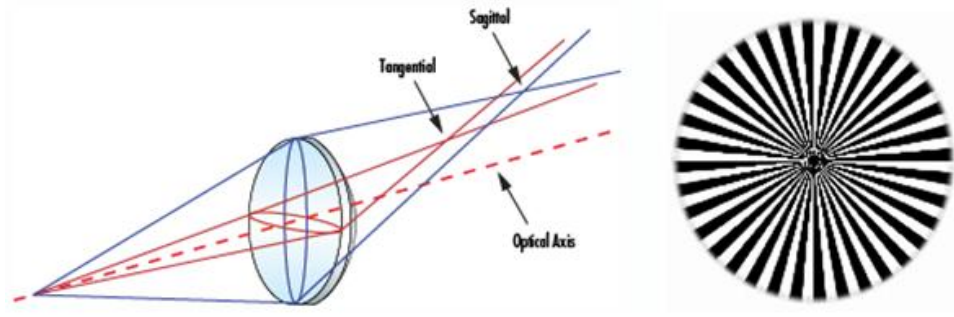
Koma, görüntüde merkez dışındaki alanlarda odaklanan ışınların kuyruklu bir yapı oluşturmasıdır. Başka bir deyişle koma ışınların görüntü düzlemindeki yerine göre büyütmedeki değişim komayı ortaya çıkarır.

Şekil 3.5’ de bir merceğe gelen paralel ışınların izlediği yollar ve görüntüde oluşan koma görülmektedir. Koma kusuruna sahip lenslerde görüntü merkezde netken merkez dışında görüntü bulanıktır. Optik açıklığı ortada olan hava boşluklu bir çift mercek ile koma telafi edilir [5].



3.4 Astigmatizm

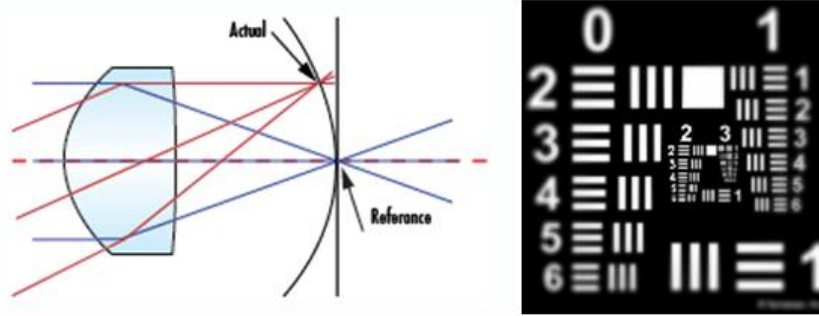
Astigmatizm, görüntü düzleminde ışınlar dikey ve yatay olmak üzere iki ayrı odak noktasında odaklanmasıdır. Şekil 3.6’ de bir merceğe dikey ve yatay ekseninde gelen ışınların izlediği yollar ve görüntüde oluşan astigmatizm görülmektedir. Astigmatizm yalnızca optik eksen dışındaki alanlarda görülür, çıkış açıklığı eliptik bir şekil alır ve çapı bir yönde küçüktür [5].



Şekil 3.6 Astigmatizm [5]

3.5 Alan Eğriliği

Bir merceğe optik ekseninden kısmen büyük açıyla gelen ışınların odaklandıkları noktaların tümü bir eğri oluşturur. Bu durum özellikle optik cihazdan gelen ışınları detektör yüzeyi gibi düzlemsel alanlara odaklarken görülür [5]. Görüntünün kenarlarına doğru görüntü bulanıktır. Şekil 3.7’ de bir merceğe gelen ışınların izlediği yollar ve görüntüde alan eğriliğinden (Field Curvature) oluşan görüntü bozukluğu görülmektedir.

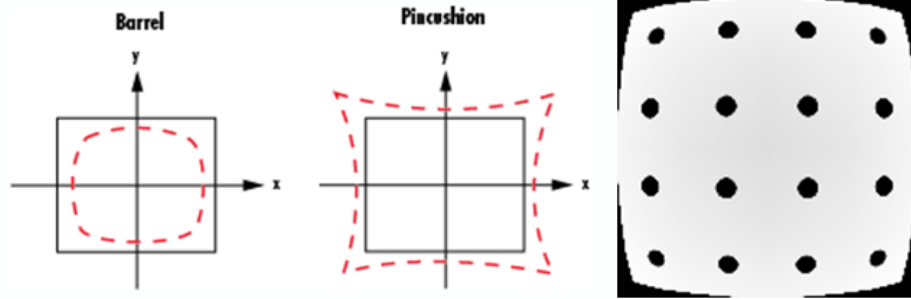


Şekil 3.7 Alan Eğriliği [5]

3.6 Biçim Bozukluğu

Biçim bozukluğu (Distortion) bir kuadratik büyütme hatasıdır. Yani görüntüdeki noktaların merkeze olması gerektiğinden daha yakına ya da daha uzağa düşmesi olarak tabir edilebilir [5]. Biçim bozukluğu fıçı biçim bozukluğu (Barrel Distortion) ve yastık iğnesi biçim bozukluğu (Pincushion Distortion) olarak iki farklı şekilde gözlemlenir.

Şekil 3.8’ da görüntüde oluşan fiçı biçim bozukluğu ve yastık iğnesi biçim bozukluğu kusurları görülmektedir.



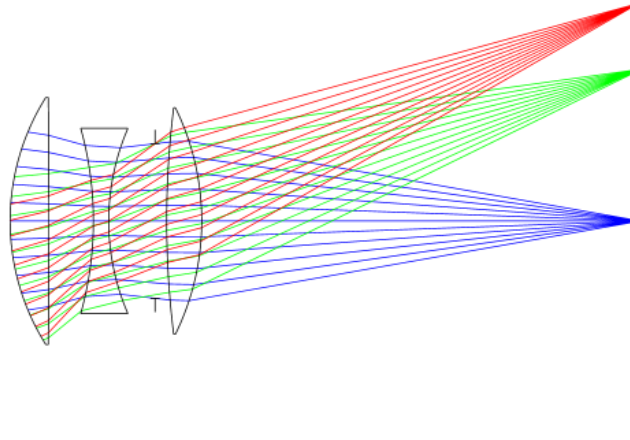
Şekil 3.8 Biçim Bozukluğu [5]

4. OBJEKTİF TASARIMLARI

Objektif, bir cisimden gelen ışık ışınlarını bir noktada odaklayarak cismin gerçek görüntüsünü oluşturan optik araçlardır. Objektifler, sabit odaklı ve değişken odaklı (zum) olarak iki temel gruba ayrılabilir.

4.1 Sabit Odaklı Objektifler

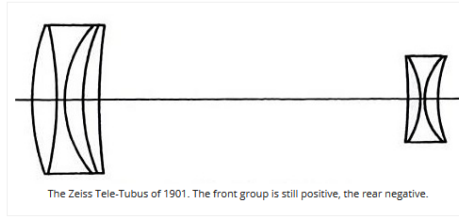
Sabit odaklı objektifler yalnızca tek odak uzaklığına başka bir deyişle yalnız tek görüş alanlarına sahip objektiflerdir [2]. Mikroskop, teleskop, dürbün ve nişangâh gibi optik cihazların ön kısımlarında bulunurlar. Sabit odaklı bir objektif şeması Şekil 3.8’ da verilmiştir. Sabit odaklı objektifler görüş alanlarının büyüklüklerine göre sınıflandırılırlar.



Şekil 4.1 Sabit Odaklı Objektif Şeması

4.1.1 Teleobjektif

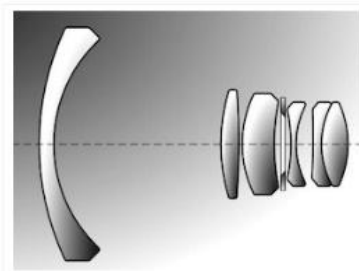
Teleobjektifler fiziksel uzunluğunun odak uzunluğundan daha küçük olan objektiflerdir. Basitçe bir teleobjektif pozitif ön grup ve negatif arka grup merceklerden oluşur. Bu objektifler genel olarak dar görüş açıları sağlarlar. Teleobjektifler uzak mesafelerdeki objeleri yakınlaştırarak objelerin olduğundan daha büyük görüntülerini elde etmek için kullanılır. Basit bir teleobjektif optik dizilim planı Şekil 4.2’ de verilmiştir.



Şekil 4.2 Teleobjektif Optik Dizilim Planı

4.1.2 Geniş Açılı Objektifler

Geniş açılı objektifler, sağladıkları geniş görüş alanı nedeniyle geniş açılı objektifler olarak adlandırılırlar. Teleobjektiflerin tersine cisimlerin görüntüleri cismin kendisinden daha küçüktür ve bu sayede görüntü düzlemine daha fazla cismin görüntüsü elde edilmiş olunur. Genel olarak bir geniş açılı objektif negatif ön grup ve pozitif arka grup merceklerden oluşur. Basit bir geniş açılı objektif optik dizilim planı Şekil 4.3’de verilmiştir.



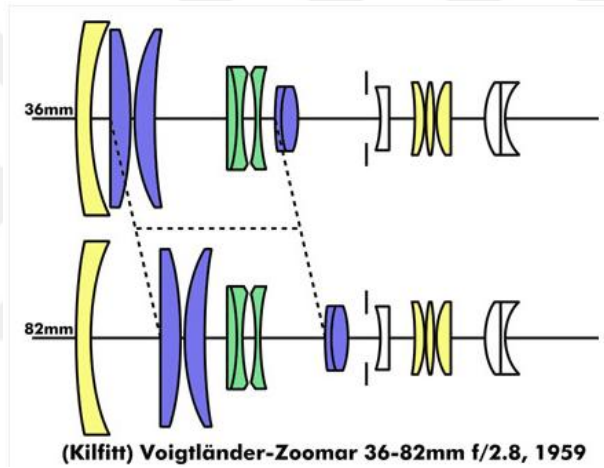
Şekil 4.3 Geniş Açılı Objektif Optik Dizilim Planı

4.2 Zum Objektif

Zum objektifler değişken odak uzaklıkları başka bir deyişle değişken görüş alanları sunan optik araçlardır. Sürekli zum veya sürekli olmayan zum objektifler olarak iki farklı durumda incelenirler.

4.2.1 Sürekli Zum Objektif

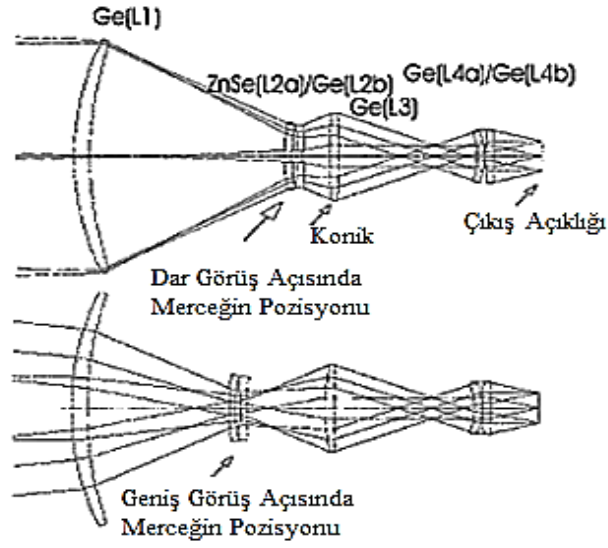
Sürekli zum objektifler sahip oldukları hareketli mercekler ile odak uzaklıklarını sürekli olarak değiştirebilen objektiflerdir. Şekil 4.4' te görüldüğü gibi sürekli zum objektiflerde görüş alanı değişimi hareketli grup veya grupların optik ekseninde hareketi ile sağlanır. Bu gruplar zum ve telafi grubu olarak adlandırılır. Zum grubu görüş alanı değişimini sağlarken telafi grubu zum sırasında görüntünün odakta kalmasını sağlar.



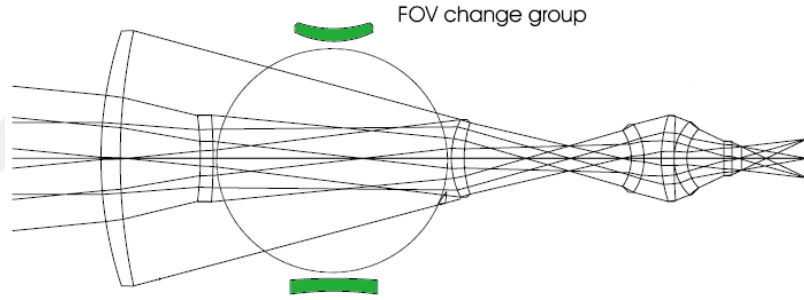
Şekil 4.4 Sürekli Zum Objektif Optik Dizilim Planı

4.2.2 Sürekli Olmayan Zum Objektifler

Sürekli olmayan zum objektifler genelde iki veya üç farklı görüş alanları sunarlar. Bu sistemlerde genellikle görüş alanı değişimi zum grubunun optik ekseninde kademeli hareketi ile sağlanır, buna kademeli zum (Step zoom) objektifler denir. Şekil 4.5' te görüldüğü üzere kademeli zum objektifte zum grubunun hareketi ile dar ve geniş görüş alanları elde edilmiştir. Diğer bir yöntem ise mercek veya merceklerin optik eksene girip çıkması ile görüş alanının değişmesidir. Bu yöntem kendi içinde görüş alanını değiştiren lenslerin kaydırmalı olarak (Clip-in) ya da dönebilen (Rotate-in) bir mekanizma sisteminin optik eksenine girip çıkması olarak iki durumda incelenir. Bu yöntem ile dar görüş alanlı optik eksene lens ekleyerek geniş görüş alanı elde edilir. Döndürmeli zum objektif örnek görseli Şekil 4.6' te verilmiştir.



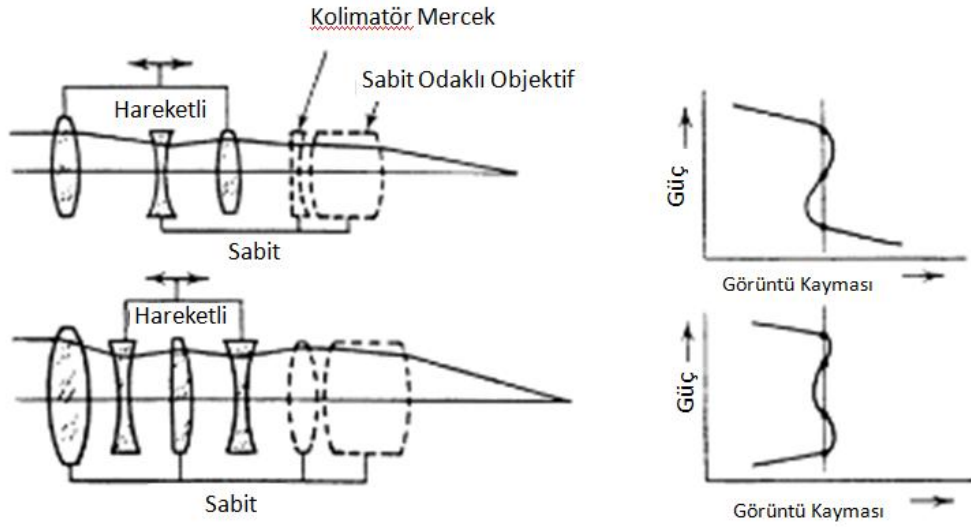
Şekil 4.5 Kademeli Zum Sistemi Optik Dizilim Planı [6]



Şekil 4.6 Döndürmeli Zum Objektif Optik Dizilim Planı [7]

4.3 Optik Telafi

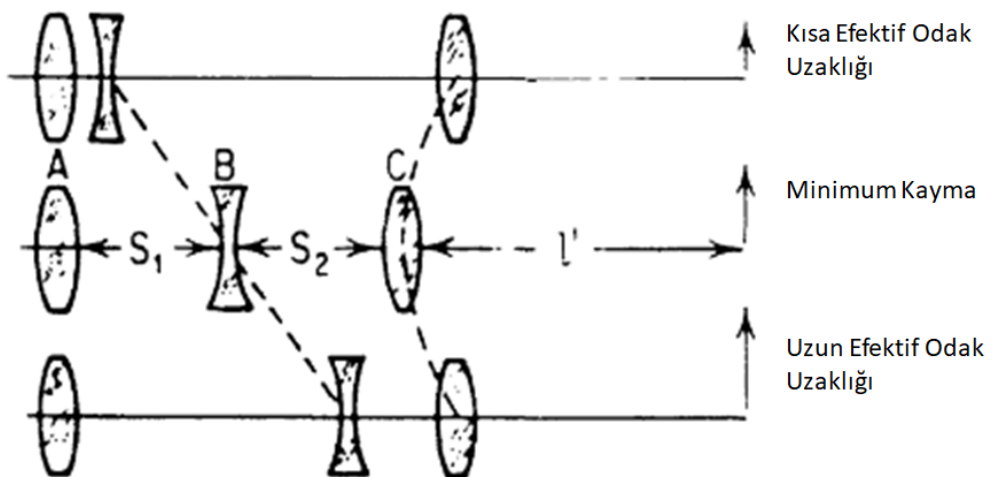
Optik telafili zum sistemlerde iki ya da daha fazla lens birbirine bağlıdır ve beraber hareket eder. Bu tip objektiflerde hareketli merceklerin farklı pozisyonlarında görüntünün yeri değişir ve bu değişim bir kübik eğri şeklinde olur [2]. Şekil 4.7' daki grafikte boyuna görüntü hareketinin sıfır olduğu noktalar bize maksimum hareket pozisyonlarını verir. Bu noktalarda sistem odaklıdır ve nokta sayısı kadar zum pozisyonuna sahiptir. Optik telafili zum sistemi tasarımlarının avantajı üretimde kolay optik eksen kayması kontrolü (Boresight) sağlaması ve kolay mekanik bütünlemeye sahip olmalarıdır.



Şekil 4.7 Optik Telifli Zum Objektif [2]

4.4 Mekanik Telifi

Mekanik telifi sistemlerde genelde bir eleman hareketi ile gerekli büyütme (veya farklı odak uzaklıkları) elde edilir. Odaklanma ise diğer elemanların kayması ile sağlanır [2]. Dolayısı ile zum sırasında görüntü sürekli odakta kalır. Şekil 4.8’ de basitçe üç merceklilik mekanik telifli bir zum objektif örneği verilmiştir. Bu tip objektiflere ortak odaklı objektifler (Parfocal) de denir. Mekanik telifi mikroskoplarda, sinematografide ve fotoğrafçılıkta kullanılır. Ayrıca neredeyse tüm kızılötesi zum sistemler mekanik teliflidir.



Şekil 4.8 Mekanik Telifli Zum Objektif [2]

5. ÇİFT GÖRÜŞ AÇILI MEKANİK OBJEKTİF TASARIMI

5.1 Çift Görüş Açılı Mekanik Objektif Tanımı

Bu tez çalışmasında çift görüş açılı mekanik objektif, bir gündüz görüş sistemi olarak tasarlanacaktır. Objektif iki görüş alanına sahip olacaktır ve görüş alanları arası geçiş döndürmeli zum objektif modeli şeklinde olacaktır. Geniş açılı görüş alanı ve dar açılı görüş alanı olmak üzere iki durumda çalışacaktır. Dar açılı görüş alanı geniş açılı görüş alanına göre yedi kat büyütme sağlayacaktır. Geniş açılı görüş alanı sayesinde büyük bir alanı gözlemlene, dar açılı görüş alanı yani yüksek büyütme sayesinde uzak mesafelerdeki nesnelere görme imkânı sunacaktır. Objektif, 6,75x5 mm görüntü düzlemi alınına sahip bir dedektör ya da fiber demet kablosu ile uyumlu olacaktır. Sistemin F numarası iki görüş alanı için f/5 olacaktır. Objektif için görünür dalgaboyunda (450nm – 650nm) geçirgenlik sağlayan camlar kullanılacaktır.

5.2 Çift Görüş Açılı Mekanik Objektif Optik Bileşenleri

Objektif temel olarak sabit grup ve zum grubundan oluşmaktadır. Sabit grup ışığın optik sisteme girdiği ön mercekle grubu ve ışığın optik sistemden ayrıldığı arka mercekle grubudur. Hareketli grup ise iki gruptan oluşacaktır. Objektifin açıklığı sabit arka mercekle grubunun önünde olacaktır. Objektifin boyu 200mm den az olacaktır. Geniş açılı görüş alanı için biçim bozukluğu değeri %5 den küçük olacaktır. Sisteme verilecek kararma değeri (Vignetting) %20' den az olacaktır.

5.3 Çift Görüş Açılı Mekanik Objektif Optik Özellikleri

- 6,7x5mm görüntü düzlemi, 10 μ m piksel boyu
- 7x büyütme
- Görünür bölge dalga boyu ($\lambda= 486\text{nm} - 656\text{nm}$)
- F/5
- Geniş açı görüş alanı 26,57°
- Dar açı görüş alanı 3,86°
- Toplam boy <200mm
- Geniş görüş alanı için biçim bozukluğu <%5
- Kararma <%20

5.4 Çift Görüş Açılı Mekanik Objektif Tasarım Aşamaları

Bu çalışmada objektif tasarımına birinci dereceden hesaplar yapılarak kavramsal tasarımla başlanılacaktır. Kavramsal tasarım yakineksenel merceklerden oluşacaktır ve tasarım iki konfigürasyona sahip olacaktır. Konfigürasyonlar dönebilen lenslerin optik ekseninde olduğu ve optik eksenenden ayrıldığı iki durum olacak şekilde ayarlanacaktır. Daha sonra ön tasarıma başlanacaktır. Ön tasarım için yakineksenel mercekler yerine gerçek mercekler kullanılacaktır. Tasarıma gerçek mercekler ile iyileştirme uygulanacaktır. Ön tasarım üç durumdan oluşacaktır. Birinci durumda dört grup için birer mercek kullanılacaktır. İkinci durumda tek mercekler çift merceklerle dönüştürülecektir. Üçüncü durumda tasarımın optik performansını artırmak için mercek ayırma ve ekleme yöntemleri uygulanacaktır. Ön Tasarımın üçüncü durumunun sonunda tasarım istenilen performansa ulaştığında kritik tasarım sonlanmış olacaktır.

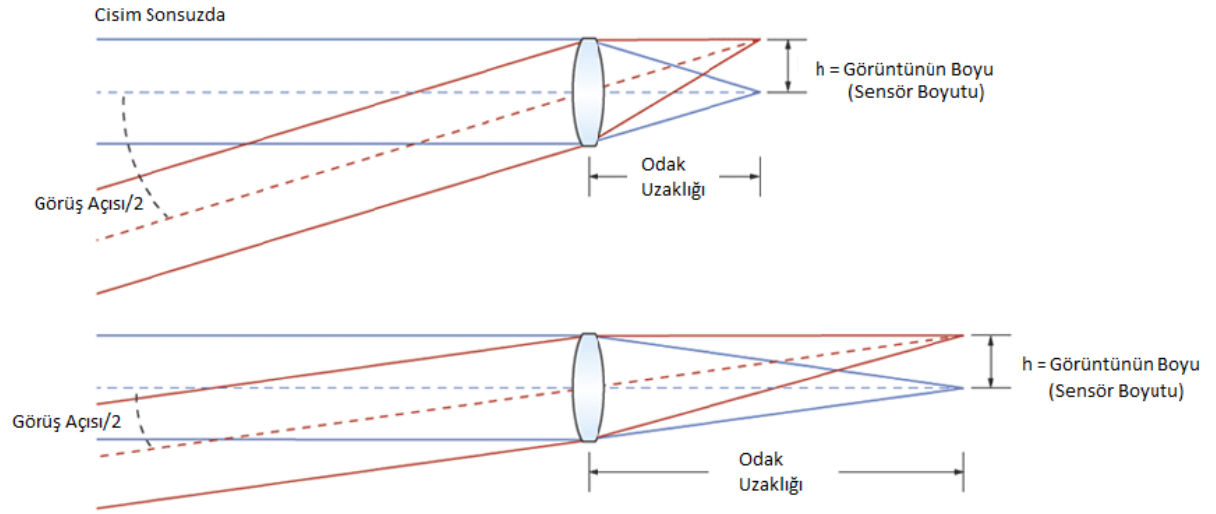
5.5 Kavramsal Tasarım

Kavramsal tasarımda objektif tasarımı iki konfigürasyona sahip olacak şekilde düşünülmüştür. Birinci konfigürasyon geniş açı görüş alanına, ikinci konfigürasyon ise dar açı görüş alanına sahiptir. Tasarımda birinci konfigürasyon dört, ikinci konfigürasyon ise iki mercek grubundan oluşacak şekilde düşünülmüştür. Birinci konfigürasyon esas alınarak merceklerin güçleri PNPP modeli (+,-,+,+) şeklinde ayarlanmıştır. Yani geniş açı konfigürasyonunda üç adet pozitif ve bir adet negatif odak uzaklıklı mercek grubu vardır. Konfigürasyonların gruplarının toplam ya da diğer bir deyişle efektif odak uzaklıklarının hesaplanması için birinci dereceden hesaplamalar yapılmıştır.

5.5.1 Birinci Dereceden Hesaplamalar

Programda tasarıma başlamadan önce objektifin iki konfigürasyon için odak uzaklıkları belirlenmelidir. Denklem [5.1] kullanılarak geniş ve dar görüş alanları için odak uzaklıkları bulunur. Objektifin üzerine görüntü düşüreceği görüntü düzlemi alanının diyagonal uzunluğu 8,36mm 'dir. Genellikle dedektör alanı ve çerçevesi göz önüne alınırsa teorik olarak bu değerden bir miktar büyük bir görüntü düzlemi kullanmak güvenlidir. Bu nedenle görüntü düzlem boyu 8,5 mm seçilmiştir. Buna göre objektifte istenilen görüş alanları için odak uzaklıkları hesaplanmıştır.

Açısal görüş alanının (AFOV) ile odak uzaklığının hesaplanması;



Şekil 5.1 Açısal Görüş Alanı ve Odak Uzaklığı

$$AFOV(^{\circ}) = 2 \times \tan^{-1} \left(\frac{h}{2f} \right) \quad [5.1]$$

$$h = \sqrt{(6,75)^2 + 5^2} \quad , \quad h = 8,36 \text{ mm}$$

$h = 8,5 \text{ mm}$ alınırsa,

26,57° görüş alanı için odak uzaklığı f_g ;

$$26,57 = 2 \times \tan^{-1} \left(\frac{8,5}{2 \times f_g} \right);$$

$f_g = 18 \text{ mm}$ ve

3,86° görüş alanı için odak uzaklığı f_d ;

$$3,86 = 2 \times \tan^{-1} \left(\frac{8,5}{2 \times f_d} \right);$$

$f_d = 126 \text{ mm}$ bulunur.

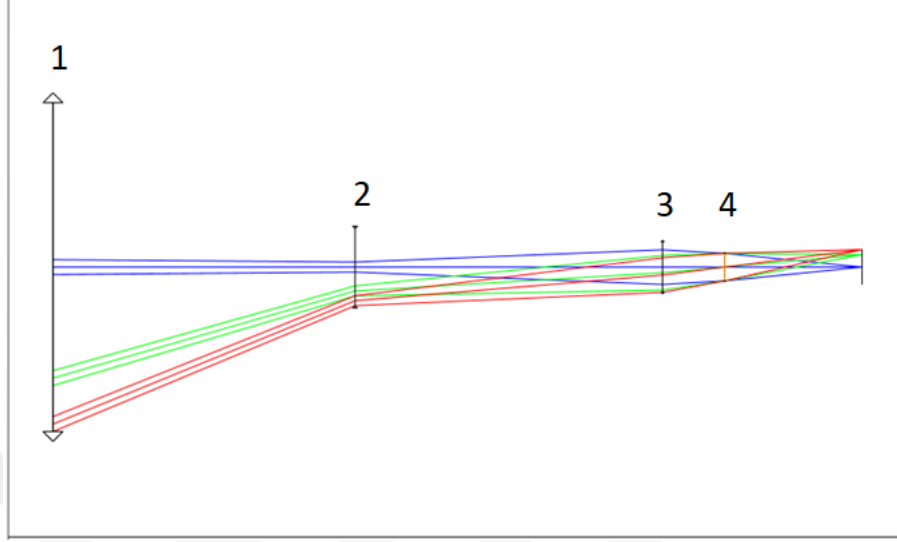
MTF dedektör limit frekansı;

Piksel boyu $10\mu\text{m}$ için,

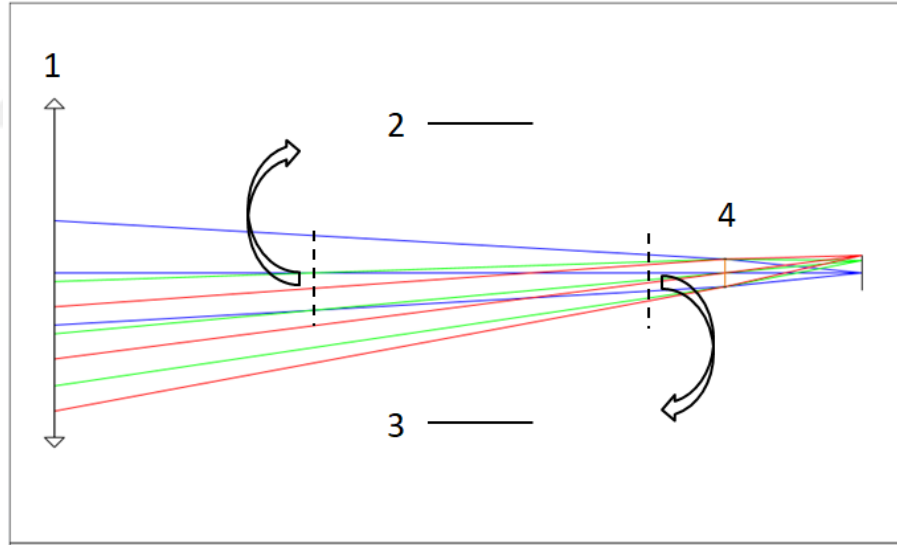
$$\text{Dedektör Limit Frekansı} = \frac{1}{2 \times \text{Piksel Boyu} \times 0,001} \quad [5.2]$$

$$\frac{1}{2 \times 10\mu\text{m} \times 0,001} = 50 \text{ lp/mm}$$

5.5.2 Yakıneksenel Tasarım



Şekil 5.2 Geniş Açılı Görüş Alanı Optik Dizilim Planı 1. Konfigürasyon



Şekil 5.3 Dar Açılı Görüş Alanı Optik Dizilim Planı 2. Konfigürasyon

Zemax tasarım programında oluşturulan optik dizilim Şekil 5.2' de görülmektedir. Gruplar yakıneksenel (paraxial) yüzeylerden oluştuğundan radyus değerleri sonsuzdur. Oluşturulan kavramsal tasarım toplam dört gruptan oluşmaktadır. Çizelge 5.1 ve Çizelge 5.2 Zemax optik tasarım programındaki mercek veri editörü (Lens Data Editor) görselidir. Mercek veri editöründe grupların yüzey numaraları (Surf), yüzey cinsleri (Type), yarı çapları (Radius), odak uzaklıkları (Focal Length), gruplar arası hava boşlukları (Thickness), grupların çapları (Diameter) Çizelge 5.1 ve Çizelge 5.2' de görülmektedir. Sistemin açıklığı (STO) 4 numaralı grubun üzerindedir. Objenin yeri

(OBJ) sonsuzda olarak belirlenmiştir ve görüntü düzlemi (IMA) optik sistemin en sonunda yer almaktadır. Birinci konfigürasyon yani $26,57^\circ$ görüş alanına sahip konfigürasyon dört gruptan, ikinci konfigürasyon yani $3,86^\circ$ görüş alanına sahip konfigürasyon iki gruptan oluşmaktadır. Görüş açıları mavi yeşil ve kırmızı çizgiler ile gösterilmiştir. Birinci konfigürasyon için mavi çizgi 0° , yeşil çizgi 6.643° ve kırmızı çizgi 13.285° yarım görüş açı değerleridir. İkinci konfigürasyon için yarım görüş açıları ise sırası ile 0° , 0.966° ve 1.932° dir. Şekil 5.3’ da 2 ve 3 numaralı grupların optik eksene dik yönde bir dönme hareketi yaparak optik eksenden ayrıldığı görülür.

Çizelge 5.1 Yakineksenel Tasarım Geniş Açı Görüş Alanı Optik Verileri

Surf	Type	Radius	Thickness	Glass	Diameter	Focal Lenght
OBJ	STANDARD	Infinity	Infinity		Infinity	
1	PARAXIAL		0.000		39.730	220.715
2	STANDARD	Infinity	73.080		39.730	
3	PARAXIAL		0.000		9.320	-25.000
4	STANDARD	Infinity	74.404		19.858	
5	PARAXIAL		0.000		6.098	43.058
6	STANDARD	Infinity	15.000		6.098	
STO	PARAXIAL		0.000		3.324	77.465
8	STANDARD	Infinity	33.243		3.324	
IMA	STANDARD	Infinity	-		4.250	

Çizelge 5.2 Yakineksenel Tasarım Dar Açı Görüş Alanı Optik Verileri

Surf	Type	Radius	Thickness	Glass	Diameter	Focal Lenght
OBJ	STANDARD	Infinity	Infinity		Infinity	
1	PARAXIAL		0.000		39.730	220.715
2	STANDARD	Infinity	162.484		39.730	
STO	PARAXIAL		0.000		3.324	77.465
8	STANDARD	Infinity	33.243		3.324	
IMA	STANDARD	Infinity	-		4.250	

5.6 Ön Tasarım

Kavramsal tasarım tamamlandıktan sonra ön tasarıma geçilmiştir. Ön tasarımında yakıneksenel merceklerin yerine gerçek mercekler yerleştirilmiştir. Çift Görüş Açılı Mekanik mercekler görünür dalga boyunda geçirgenlik sağlayan mercekler olmalıdır. Tasarımda SCHOTT cam kataloğundaki mercekler kullanılmıştır. Ön tasarım sırası ile birinci durum, ikinci durum ve üçüncü durum olmak üzere üç kısımdan oluşmaktadır.

Birinci durum için tüm mercekler için tek bir cam tipi seçilecektir. Tasarımın performans analizi yapılarak sonuçlar değerlendirilecektir.

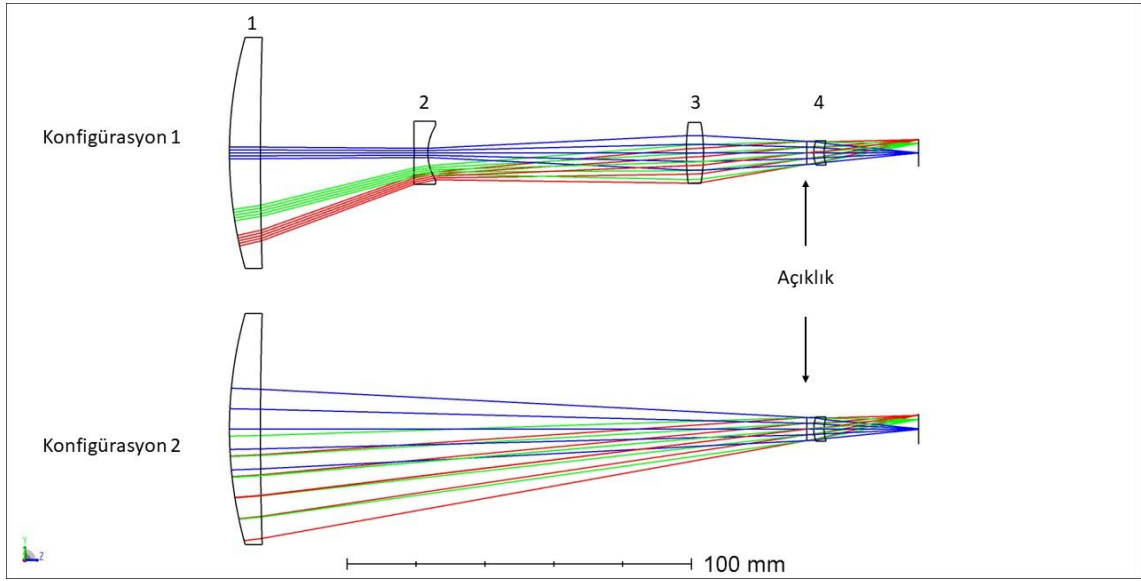
İkinci durum için tekli mercekler için optik kusur telafi yöntemleri tartışılacaktır. Olası çift mercek oluşturma yöntemleri denenecektir. Elde edilen yeni mercekler ile performans analizi yapılacak ve sonuçlar değerlendirilecektir.

Üçüncü durum için sistemin performansını artırabilecek mercek ayırma ve mercek ekleme yöntemleri tartışılacaktır. Yeni sistemin performans analizi yapılacak ve sonuçlar değerlendirilecektir. Sistemin üretilebilirliği için merceklerin çap ve merkez kalınlığı düzeltilecek ve gerekirse sisteme kararlar verilecektir. Üçüncü durum sonucunda kritik tasarım elde edilerek tasarım sonlandırılacaktır.

5.6.1 Birinci Durum

Birinci durum için yakıneksenel mercekler yerine N-SK2 camı (Glass) yerleştirilmiştir. Dört mercek grubunun her biri bir mercekten oluşmaktadır. Merceklerin iki yüzeyi için yarıçap değerleri, merceklerin yakıneksenel güçleri hesabı göz önünde bulundurularak belirlenmiştir. Genel bir kural olarak merceklerin merkez kalınlıkları pozitif mercekler için dış çaplarının %10-15' inden, negatif mercekler için dış çaplarının %6' sından küçük olmamalıdır. Merceklerin merkez kalınlık değerleri bu kural dâhilinde verilmiştir. Sistemin açıklığının yeri mercek üzerinden alınıp merceğin önüne mekanik açıklık olarak yerleştirilmiştir.

Birkaç iyileştirme işleminden sonra mercekler uygun şekillerini almışlardır. Sırası ile mercekler pozitif menisküs, çift konkav, çift konveks ve pozitif-menisküs olarak Şekil 5.4' te görülmektedir. Konfigürasyonların optik dizilim planları Çizelge 5.3 ve Çizelge 5.4' te verilmiştir.



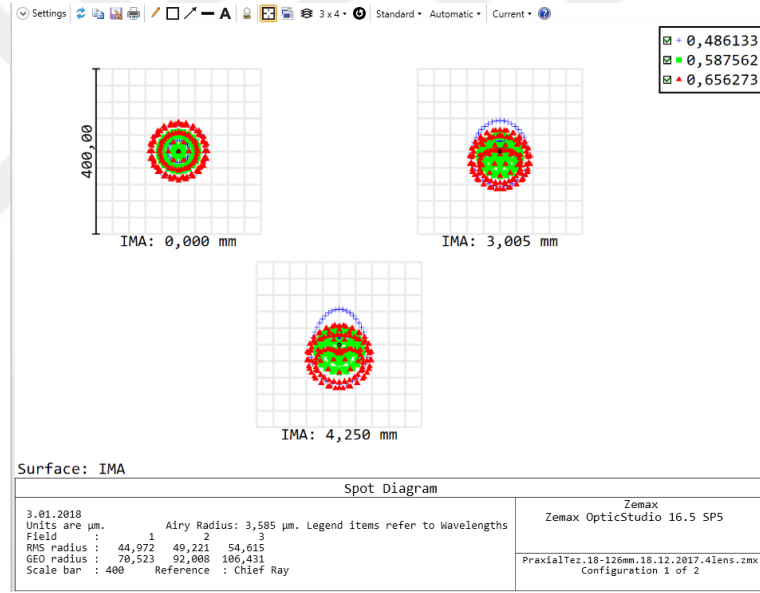
Şekil 5.4 Ön Tasarım Birinci Durum Konfigürasyon 1 ve Konfigürasyon 2 Optik Dizilim Planı

Çizelge 5.3 Ön Tasarım Birinci Durum Konfigürasyon 1 Optik Verileri

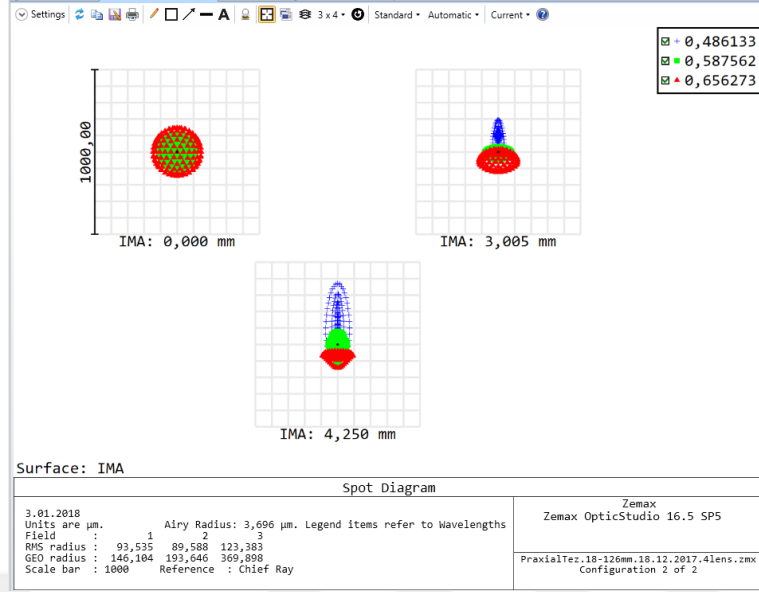
Surf	Type	Radius	Thickness	Glass	Diameter
OBJ	STANDARD	Infinity	Infinity		Infinity
1	STANDARD	124.804	9.000	N-SK2	34,457
2	STANDARD	1128.637	44.605		33.852
3	STANDARD	-516.254	4.000	N-SK2	9.879
4	STANDARD	14.968	75.001		8.326
5	STANDARD	69.301	5.000	N-SK2	9.185
6	STANDARD	-51.723	29.998		9.030
STO	STANDARD	Infinity	2.000		3.346
8	STANDARD	9.343	3.000	N-SK2	3.551
9	STANDARD	9.928	27.427		3.248
IMA	STANDARD	Infinity	-		4.336

Çizelge 5.4 Ön Tasarım Birinci Durum Konfigürasyon 2 Optik Verileri

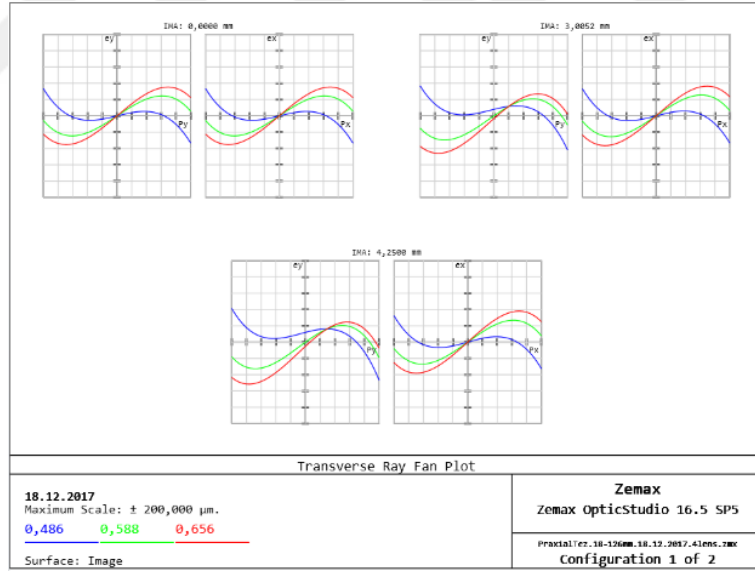
Surf	Type	Radius	Thickness	Glass	Diameter
OBJ	STANDARD	Infinity	Infinity		Infinity
1	STANDARD	124.804	9.000	N-SK2	34.457
2	STANDARD	1128.637	158.603		33.852
STO	STANDARD	Infinity	2.000		3.346
8	STANDARD	9.343	3.000	N-SK2	3.551
9	STANDARD	9.928	27.427		3.248
IMA	STANDARD	Infinity	-		4.620



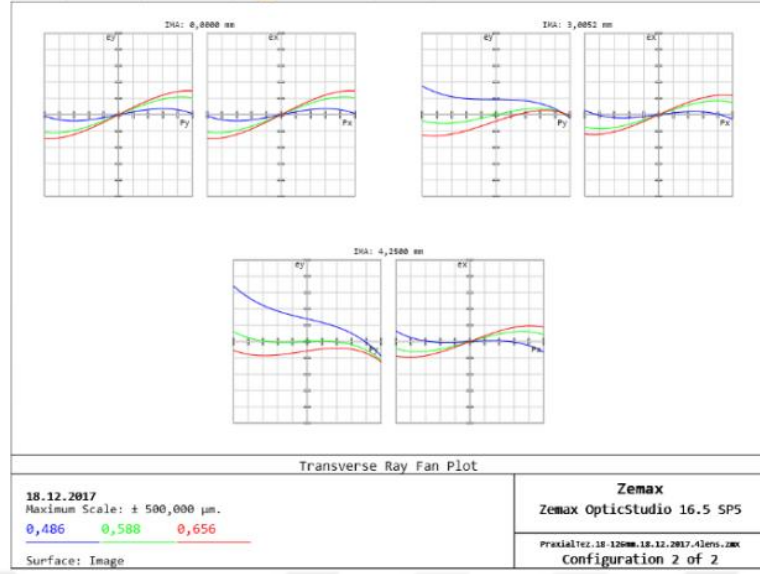
Şekil 5.5 Ön Tasarım Birinci Durum Konfigürasyon 1 Spot Diyagramı



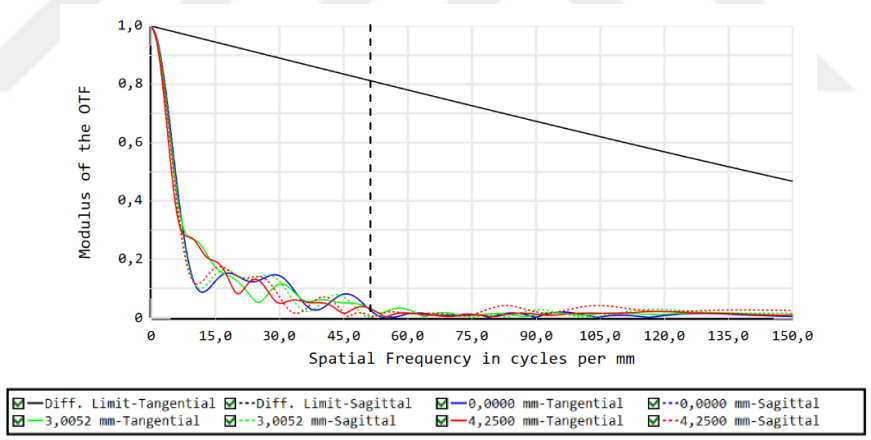
Şekil 5.6 Ön Tasarım Birinci Durum Konfigürasyon 2 Spot Diyagramı



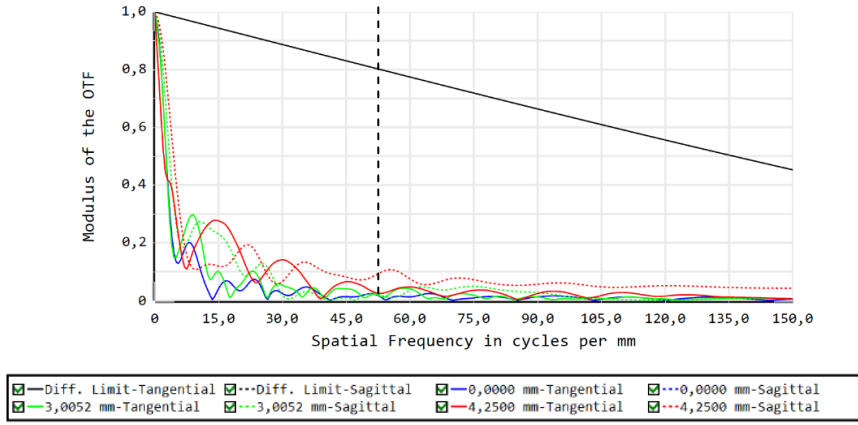
Şekil 5.7 Ön Tasarım Birinci Durum Konfigürasyon 1 Işın Kusuru



Şekil 5.8 Ön Tasarım Birinci Durum Konfigürasyon 2 Işın Kusuru



Şekil 5.9 Ön Tasarım Birinci Durum Konfigürasyon 1 MTF Grafiği



Şekil 5.10 Ön Tasarım Birinci Durum Konfigürasyon 2 MTF Grafiği

Çizelge 5.5 Ön Tasarım Birinci Durum Konfigürasyon 1 Seidel Optik Kusur Katsayıları

Surf	SPHA S1	COMA S2	ASTI S3	FCUR S4	DIST S5	CLA (CL)	CTR (CT)
1	0,000001	0,000002	0,000005	0,000502	0,001126	-0,000159	-0,000353
2	0,000000	-0,000014	0,000762	-0,000055	-0,038498	-0,000067	0,003661
3	-0,000001	0,000026	-0,000925	-0,000121	0,037721	0,000090	-0,003259
4	-0,001249	0,004013	-0,012893	-0,004183	0,054867	0,001212	-0,003893
5	0,003225	-0,000312	0,000030	0,000903	-0,000090	-0,003915	0,000379
6	0,006031	-0,007790	0,010063	0,001210	-0,014562	-0,004906	0,006338
STO	-0,000000	0,000000	-0,000000	-0,000000	0,000000	0,000000	-0,000000
8	0,013639	0,006864	0,003454	0,006702	0,005111	-0,006342	-0,003191
9	-0,000570	-0,000558	-0,000547	-0,006307	-0,006713	0,003315	0,003247
IMA	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
TOT	0,021077	0,002229	-0,000051	-0,001349	0,038961	-0,010772	0,002928

Çizelge 5.6 Ön Tasarım Birinci Durum Konfigürasyon 2 Seidel Optik Kusur Katsayıları

Surf	SPHA S1	COMA S2	ASTI S3	FCUR S4	DIST S5	CLA (CL)	CTR (CT)
1	0,002333	-0,003039	0,003960	0,000478	-0,005783	-0,007423	0,009672
2	0,000559	-0,001392	0,003465	-0,000053	-0,008492	-0,003137	0,007808
STO	-0,000000	0,000000	-0,000000	-0,000000	0,000000	0,000000	-0,000000
8	0,014277	0,006957	0,003390	0,006391	0,004767	-0,006404	-0,003121
9	-0,000735	-0,000692	-0,000651	-0,006015	-0,006272	0,003379	0,003180
IMA	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
TOT	0,016433	0,001834	0,010164	0,000802	-0,015781	-0,013585	0,017539

5.6.2 Birinci Durum Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Birinci durum için Şekil 5.5 ve Şekil 5.6 incelendiğinde rms yarıçap değerleri sırası ile 44.9 μm ve 93.5 μm ' dir ve bu değerlerin airy disk değeri ile kıyaslanamayacak kadar büyük olduğu görülmektedir. Aynı zamanda MTF grafiği incelendiğinde sistemin kırınım sınırından uzakta bir performans görülmektedir. Konfigürasyonların MTF grafikleri sırası ile Şekil 5.9 ve Şekil 5.10' de verilmiştir. Grafiklerde siyah lineer çizgi kırınım sınırını, dikey kesikli çizgi ise 50 lp/mm' yi göstermektedir.

Birinci konfigürasyonun performansının ikinci konfigürasyondan daha iyi olduğu görülmektedir. Çizelge 5.5 ve Şekil 5.7 incelendiğinde aberasyonların büyük bir ölçüde dengelendiği görülür. Biçim bozukluğu ve küresel kusurun diğer kusur değerlerinden baskın olduğu görülür. Geniş görüş açılı optik sistemlerde yüksek fıçı biçim bozukluğu değeri olasıdır. Birinci konfigürasyonda biçim bozukluğu değeri %4,55' dir.

İkinci konfigürasyonda astigmatizm ve renk kusurları baskın olarak Çizelge 5.6' da görülmektedir. İkinci konfigürasyon daha büyük odak uzaklığına sahip olduğu için renk kusurlarının baskın olması beklenir. Renk kusurlarının büyüklüğü Çizelge 5.6, Şekil 5.6 ve Şekil 5.8' de boyuna ve enine renk kusurları olarak görülmektedir.

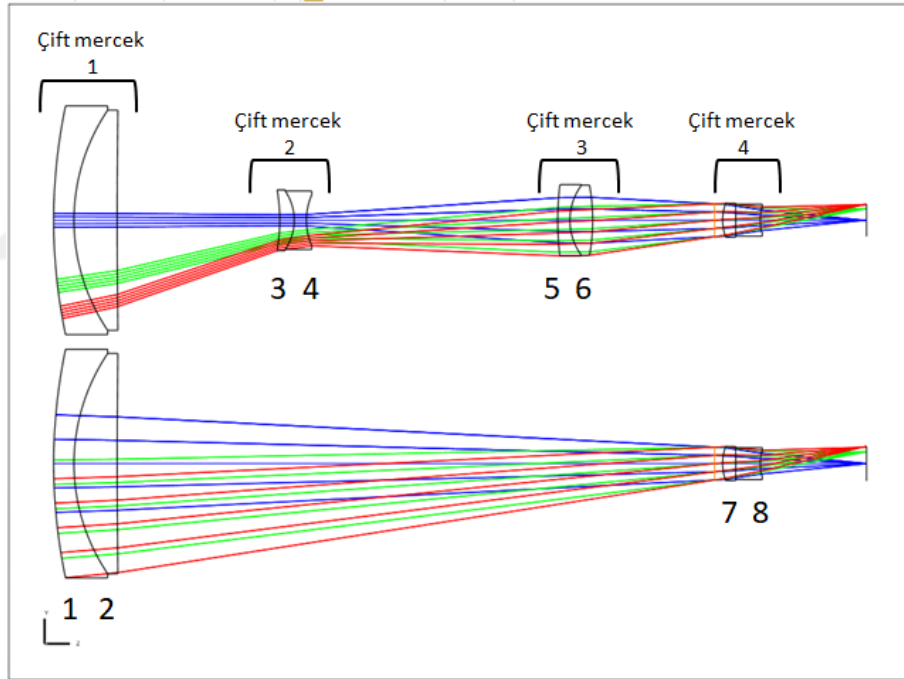
5.6.3 İkinci Durum

İkinci durumda her bir merceğe fazladan bir yüzey eklenmesi ile (burried surface) kromatik kusurun telafi edilmesi için her bir mercek çift merceğe dönüştürülecektir. Özellikle ikinci ve üçüncü mercek gruplarında birden fazla eleman olmaması gerekliliği düşünülmüştür. Çünkü hareketli gruplarda fazla mercek kullanılması hem optik hem de mekanik toleransları düşünüldüğünde sistemin hassasiyetini oldukça artırmaktadır. Tasarımda N-SK2 camı ile F5 camı seçilerek çift mercek oluşturulmuş ve bu sayede renk kusurlarının azalması ve sistemin optik performansının artması beklenmiştir. N-SK2 ve F5 camları ile yapılan çift merceklerde her iki camında kırıcılık indeksleri çok yakın olduğu için oluşturulan çift merceklerin toplam güçleri değişmemiştir [8]. Bu sayede birinci derece değerler sabit kalıp yalnızca kromatik iyileştirmeyi gözleme beklenmiştir. Tasarımda kullanılan cam tipleri ve özellikleri Çizelge 5.7' de verilmiştir.

Çizelge 5.7 Cam Tipleri ve Özellikleri

Cam Adı	Kırıcılık İndeksi (Nd)	Abbe Numarası (Vd)	Geçirdiği Dalgaboyu (μm)
N-SK2	1.6074	56.65	0.31-2.5
F5	1.6034	38.03	0.32-2.5

Çift mercek oluşturmak için birçok varyasyonlar denenmiş ve birkaç optimizasyon işleminden sonra uygun optik dizilim elde edilmiştir. Şekil 5.4’ te elde edilen optik dizilim planı görülmektedir. Grupların çift mercek dönüşümleri ve merceklerin sıraları Çizelge 5.8 ve Çizelge 5.9’ da görülmektedir.



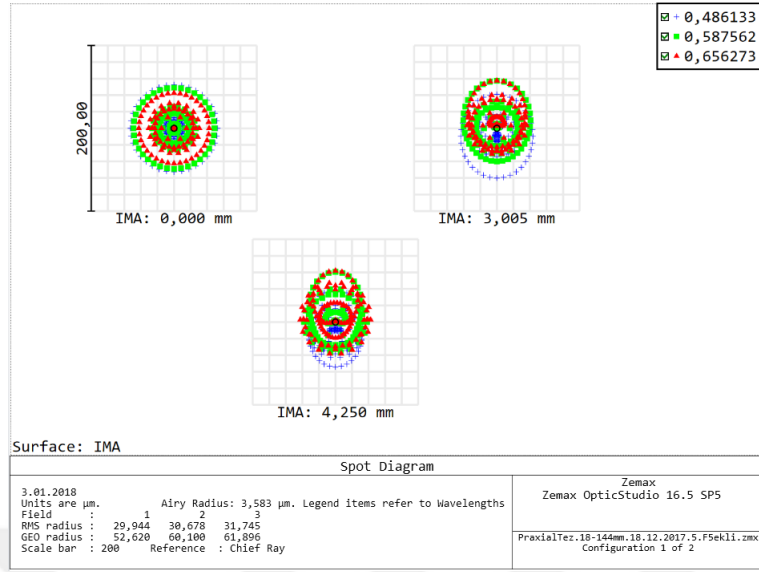
Şekil 5.11 Ön Tasarım İkinci Durum Konfigürasyon 1 ve 2 Optik Dizilim Planı

Çizelge 5.8 Ön Tasarım İkinci Durum Konfigürasyon 1 Optik Verileri

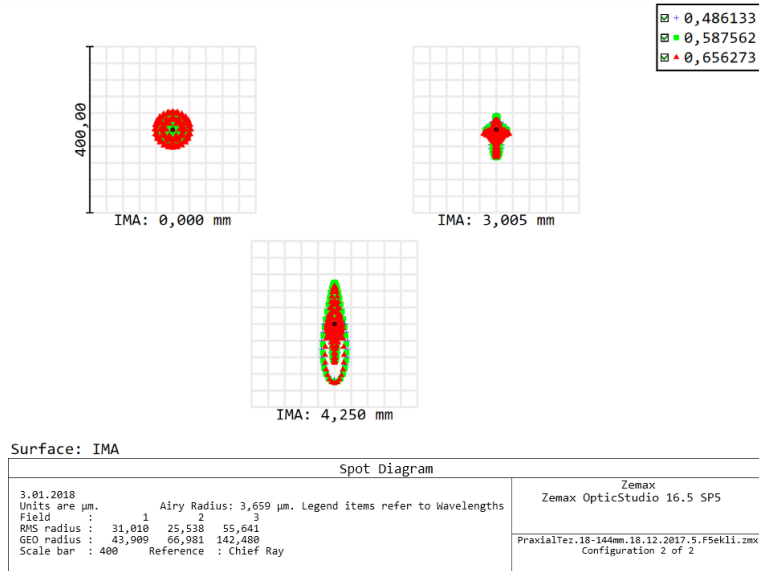
Surf	Type	Radius	Thickness	Glass	Diameter
OBJ	STANDARD	Infinity	Infinity		Infinity
1	STANDARD	135.556	4.998	F5	28,404
2	STANDARD	48.644	10.631	N-SK2	27.356
3	STANDARD	2288.410	39.998		27.116
4	STANDARD	-44.747	3.557	F5	7.996
5	STANDARD	-12.941	2.999	N-SK2	7.732
6	STANDARD	15.618	61.839		6.671
7	STANDARD	70.806	2.999	F5	9.038
8	STANDARD	14.618	5.600	N-SK2	8.907
9	STANDARD	-49.449	29.997		8.860
STO	STANDARD	Infinity	2.000		4.046
11	STANDARD	12.826	3.215	N-SK2	4.192
12	STANDARD	-322.485	6.037	F5	3.953
13	STANDARD	10.932	26.130		3.320
IMA	STANDARD	Infinity	-		4.312

Çizelge 5.9 Ön Tasarım İkinci Durum Konfigürasyon 2 Optik Verileri

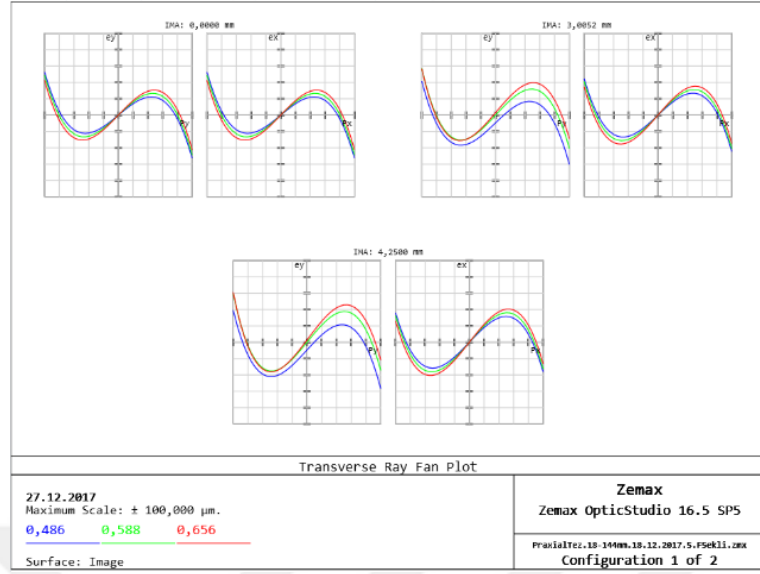
Surf	Type	Radius	Thickness	Glass	Diameter
OBJ	STANDARD	Infinity	Infinity		Infinity
1	STANDARD	135.556	4.998	F5	28,404
2	STANDARD	48.644	10.631	N-SK2	27.356
3	STANDARD	2288.410	146.990		27.116
STO	STANDARD	Infinity	2.000		4.046
11	STANDARD	12.826	3.215	N-SK2	4.192
12	STANDARD	-322.485	6.037	F5	3.953
13	STANDARD	10.932	26.130		3.320
IMA	STANDARD	Infinity	-		4.350



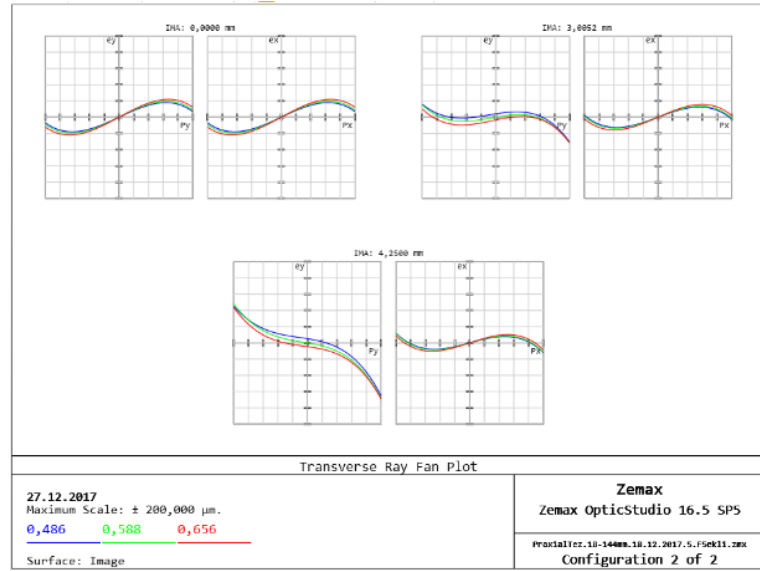
Şekil 5.12 Ön Tasarım İkinci Durum Konfigürasyon 1 Spot Diyagramı



Şekil 5.13 Ön Tasarım İkinci Durum Konfigürasyon 2 Spot Diyagramı



Şekil 5.14 Ön Tasarım İkinci Konfigurasyon 1 Işın Kusuru



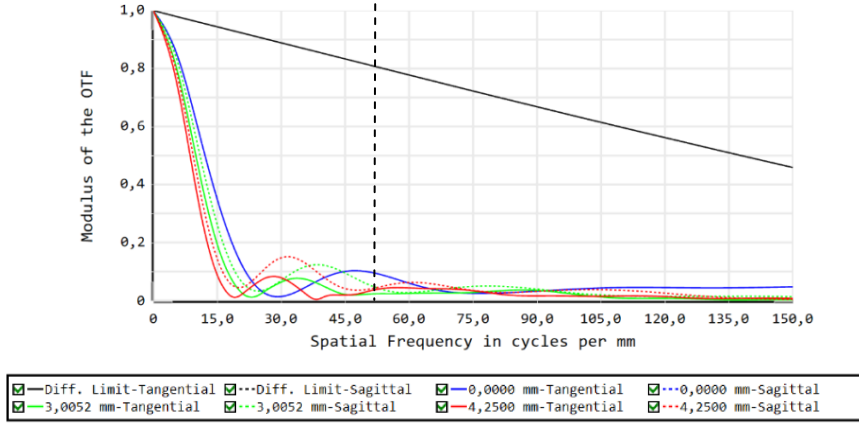
Şekil 5.15 Ön Tasarım İkinci Durum Konfigurasyon 2 Işın Kusuru

Çizelge 5.10 Ön Tasarım İkinci Durum Konfigürasyon 1 Seidel Optik Kusur Katsayıları

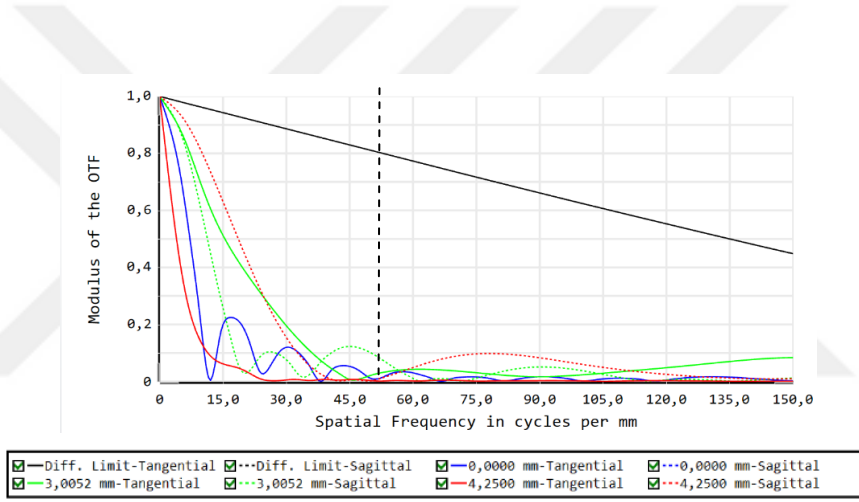
Surf	SPHA S1	COMA S2	ASTI S3	FCUR S4	DIST S	CLA (CL)	CTR (CT)
1	0,000001	0,000004	0,000023	0,000449	0,002583	-0,000212	-0,001158
2	0,000000	-0,000001	0,000010	0,000005	-0,000122	0,000263	-0,002124
3	0,000000	-0,000015	0,000740	-0,000027	-0,035635	-0,000071	0,003562
4	-0,000022	0,000279	-0,003555	-0,001380	0,062979	0,000501	-0,006396
5	-0,000005	0,000030	-0,000187	-0,000019	0,001263	-0,000709	0,004340
6	-0,002070	0,004187	-0,008469	-0,003970	0,025160	0,001448	-0,002930
7	0,006523	-0,000606	0,000056	0,000872	-0,000086	-0,007737	0,000719
8	0,001311	-0,000613	0,000287	0,000017	-0,000142	0,011056	-0,005169
9	0,008518	-0,008397	0,008278	0,001254	-0,009396	-0,006057	0,005971
STO	-0,000000	0,000000	-0,000000	-0,000000	0,000000	0,000000	-0,000000
11	0,010744	0,004840	0,002180	0,004834	0,003159	-0,006760	-0,003045
12	0,000106	-0,000037	0,000013	0,000001	-0,000005	0,002851	-0,000993
13	0,000149	0,000209	0,000293	-0,005648	-0,007506	0,003576	0,005012
IMA	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
TOT	0,025255	-0,000120	-0,000331	-0,003613	0,042253	-0,001850	-0,002212

Çizelge 5.11 Ön Tasarım İkinci Durum Konfigürasyon 2 Seidel Optik Kusur Katsayıları

Surf	SPHA S1	COMA S2	ASTI S3	FCUR S4	DIST S5	CLA (CL)	CTR (CT)
1	0,001863	-0,001718	0,001585	0,000447	-0,001874	-0,010339	0,009536
2	0,000366	-0,000438	0,000526	0,000005	-0,000636	0,012859	-0,015419
3	0,000707	-0,001453	0,002987	-0,000027	-0,006086	-0,003481	0,007155
STO	-0,000000	0,000000	-0,000000	-0,000000	0,000000	0,000000	-0,000000
11	0,010779	0,004844	0,002177	0,004817	0,003143	-0,006764	-0,003040
12	0,000106	-0,000037	0,000013	0,000001	-0,000005	0,002850	-0,000991
13	0,000143	0,000200	0,000280	-0,005629	-0,007470	0,003583	0,005005
IMA	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
TOT	0,013963	0,001398	0,007567	-0,000385	-0,012928	-0,001291	0,002246



Şekil 5.16 Ön Tasarım İkinci Durum Konfigürasyon 1 MTF Grafiği



Şekil 5.17 Ön Tasarım İkinci Durum Konfigürasyon 2 MTF Grafiği

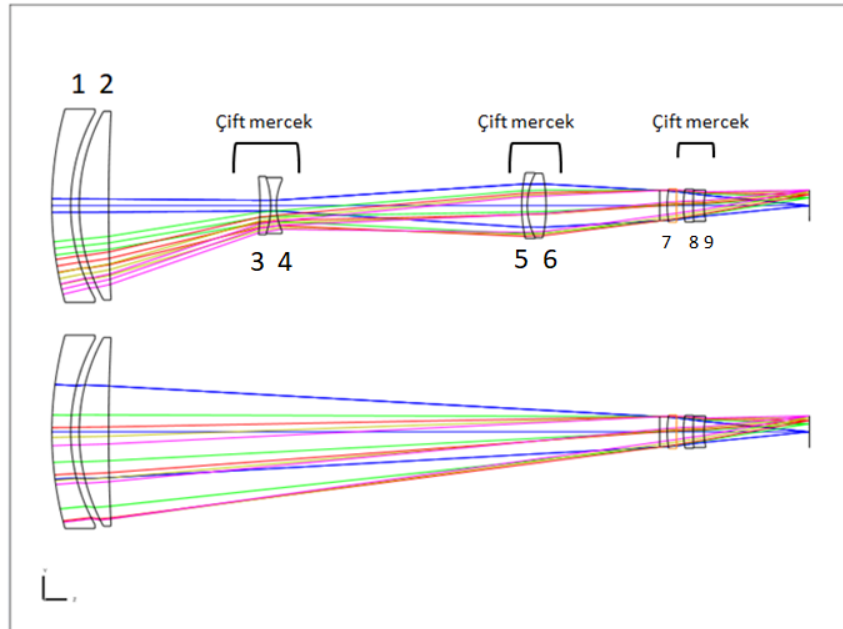
5.6.4 İkinci Durum Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Elde edilen çift mercekler ile iki konfigürasyonda da performansın bir miktar arttığı görülmüştür. Objektifin kontrast ve çözünürlük değerleri birinci duruma göre yüksektir. Şekil 5.12 ve Şekil 5.13 incelendiğinde spot yarıçaplarında birinci durumdaki tasarıma göre iyileşme görülmektedir. Birinci ve ikinci konfigürasyonlarda rms yarıçap değerleri sırası ile $29.9\mu\text{m}$ ve $31\mu\text{m}$ ' dir. Özellikle ikinci konfigürasyonda spot yarıçapındaki büyüklüğündeki iyileşme birinci durumdaki tasarımda görülen iki konfigürasyon arasındaki büyük farkı ortadan kaldırmıştır.

Fakat Şekil 5.16 ve Şekil 5.17 incelendiğinde sistemin hala kırınım sınırından uzak bir performans gösterdiği görülmektedir. Bunun nedeninden biri de sistemdeki yüzeylerden gelen yüksek küresel kusur değerleridir.

5.6.5 Üçüncü Durum (Kritik Tasarım)

Üçüncü durumda mercek ayırma ve mercek ekleme yöntemleri kullanılarak sistemde iyileştirmeler uygulanmıştır. Küresel kusurun telafisi sistemde asferik mercek kullanmak ya da sisteme fazladan bir yüzey eklemektir. Bu çalışmada küresel kusuru telafi etmek için sisteme yüzey eklemek gerekliliği düşünülmüştür. İkinci durumdaki 1 numaralı çift mercek ayrılarak (Şekil 5.11), Şekil 5.18’ de görülen 1 ve 2 numaralı iki tek mercek elde edilmiştir. Daha sonra ikinci durumdaki 4 numaralı çift merceğin önüne 7 numaralı mercek eklenmiştir. Bu sayede küresel kusur büyük ölçüde telafi edilmiş ve sistemin optik performansını artmıştır (Çizelge 5.15, Çizelge 5.16). Daha sonra tasarımda en doğru camları bulabilmek için tasarımdaki her bir mercek, Zemax programının ilgili iyileştirme özelliği kullanarak Schott kataloğundaki bütün camlar ile denenmiştir. Daha sonra merceklerin çapları belirlenerek tasarım son halini almış ve kritik tasarım tamamlanmıştır. Oluşan tasarımda objektif toplam dokuz mercekten oluşmaktadır. Çizelge 5.12 ve Çizelge 5.13’ te görüldüğü gibi sistemde üç adet çift mercek ve üç adet tek mercek vardır. Çizelge 5.14’ te kritik tasarımın cam cinsleri ve karakteristik özellikleri verilmiştir. 1 numaralı merceğin çapı küçültülerek sisteme kararına uygulanmıştır (Şekil 5.27, Şekil 5.28).



Şekil 5.18 Kritik Tasarım Konfigürasyon 1 ve 2 Optik Dizilim

Çizelge 5.12 Kritik Tasarım Konfigürasyon 1 Optik Verileri

Surf	Type	Radius	Thickness	Glass	Diameter
OBJ	STANDARD	Infinity	Infinity		Infinity
1	STANDARD	92.334	5.000	N-KZFS8	26.000
2	STANDARD	49.181	2.220		25.000
3	STANDARD	50.598	7.800	N-LAK21	25.000
4	STANDARD	390.306	39.987		24.800
5	STANDARD	-90.909	2.800	N-SF66	7.800
6	STANDARD	-25.212	1.500	N-LAK33B	7.500
7	STANDARD	16.322	66.035		7.000
8	STANDARD	39.638	1.500	N-SF4	8.800
9	STANDARD	18.672	5.000	N-BALF5	8.600
10	STANDARD	-40.993	29.979		8.500
STO	STANDARD	Infinity	2.000		3.882
12	STANDARD	24.840	2.400	FK5HTI	4.400
13	STANDARD	103.503	1.610		4.400
14	STANDARD	20.092	2.600	N-SK11	4.400
15	STANDARD	78.665	2.900	N-BASF64	4.200
16	STANDARD	16.530	26.685		4.000
IMA	STANDARD	Infinity	-		4.260

Çizelge 5.13 Kritik Tasarım Konfigürasyon 2 Optik Verileri

Surf	Type	Radius	Thickness	Glass	Diameter
OBJ	STANDARD	Infinity	Infinity		Infinity
1	STANDARD	92.334	5.000	N-KZFS8	26.000
2	STANDARD	49.181	2.220		25.000
3	STANDARD	50.598	7.800	N-LAK21	25.000
4	STANDARD	390.306	146.801		24.800
STO	STANDARD	Infinity	2.000		3.882
12	STANDARD	24.840	2.400	FK5HTI	4.400
13	STANDARD	103.503	1.610		4.400
14	STANDARD	20.092	2.600	N-SK11	4.400
15	STANDARD	78.665	2.900	N-BASF64	4.200
16	STANDARD	16.530	26.685		4.000
IMA	STANDARD	Infinity	-		4.259

Çizelge 5.14 Kritik Tasarım Cam Tipleri ve Özellikleri

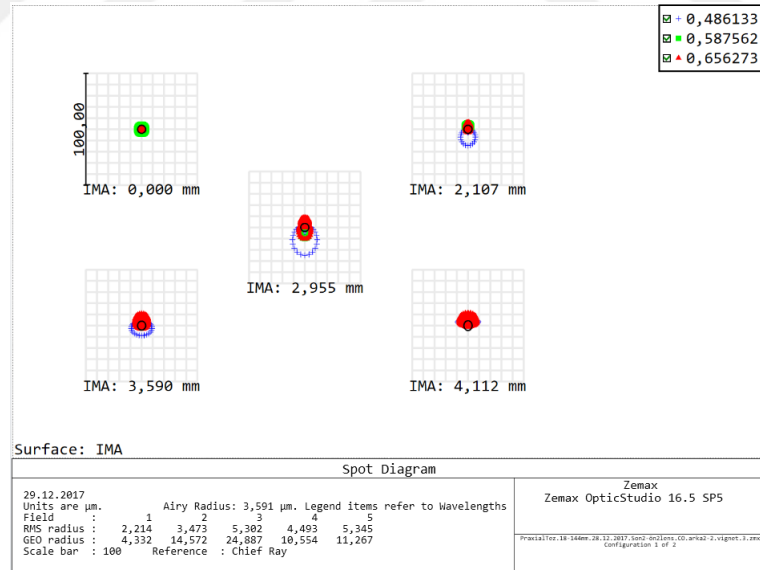
Lens No	Cam Adı	Kırıcılık İndeksi (Nd)	Abbe Numarası (Vd)	Geçirdiği Dalgaboyu (μm)
1	FK5HTI	1.4875	70.47	0.25-2.5
2	N-BALF5	1.5474	53.631	0.35-2.5
3	N-BASF64	1.704	39.384	0.365-2.5
4	N-KZFS8	1.7205	34.7	0.334-2.5
5	N-LAK21	1.6405	60.102	0.32-2.5
6	N-LAK33B	1.755	52.3	0.3-2.5
7	N-SF4	1.7551	27.377	0.365-2.5
8	N-SF66	1.9229	20.88	0.39-2.5
9	N-SK11	1.5638	60.799	0.3-2.5

Çizelge 5.15 Kritik Tasarım Konfigürasyon 1 Seidel Optik Kusur Katsayıları

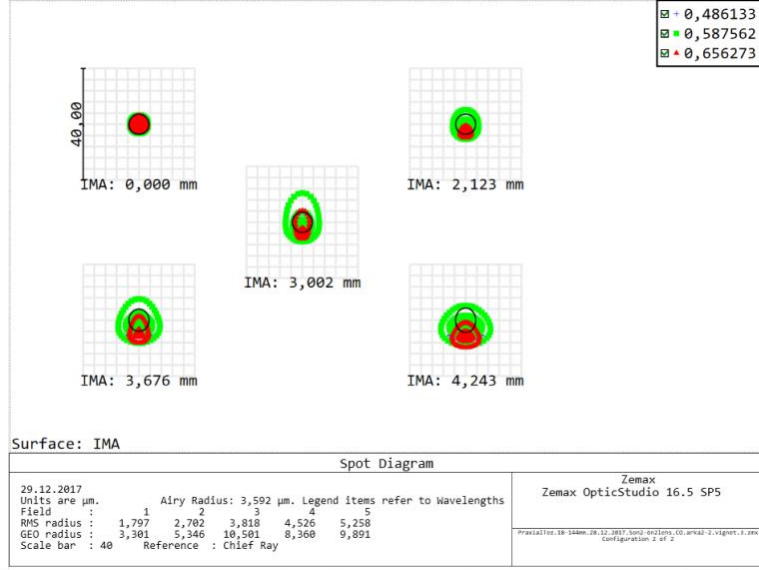
Surf	SPHA S1	COMA S2	ASTI S3	FCUR S4	DIST S5	CLA (CL)	CTR (CT)
1	0,000003	-0,000003	0,000002	0,000819	-0,000717	-0,000424	0,000370
2	-0,000065	0,000491	-0,003684	-0,001538	0,039198	0,001009	-0,007570
3	0,000062	-0,000450	0,003251	0,001394	-0,033569	-0,000545	0,003941
4	0,000000	-0,000007	0,000569	-0,000181	-0,031060	-0,000040	0,003231
5	-0,000008	0,000133	-0,002330	-0,000954	0,057343	0,000765	-0,013366
6	0,000041	-0,000296	0,002170	0,000356	-0,018485	-0,002144	0,015687
7	-0,002013	0,004445	-0,009813	-0,004760	0,032176	0,001745	-0,003852
8	0,017382	-0,004649	0,001243	0,001960	-0,000857	-0,017641	0,004718
9	-0,026793	0,012637	-0,005961	-0,000740	0,003160	0,023848	-0,011248
10	0,013096	-0,012924	0,012755	0,001559	-0,014126	-0,007052	0,006960
STO	-0,000000	0,000000	-0,000000	-0,000000	0,000000	0,000000	-0,000000
12	0,000091	0,000112	0,000139	0,002383	0,003121	-0,001675	-0,002074
13	0,001214	-0,001701	0,002384	-0,000572	-0,002539	-0,001308	0,001834
14	-0,000286	-0,000705	-0,001739	0,003241	0,003706	-0,001095	-0,002702
15	-0,000768	0,000547	-0,000390	0,000121	0,000192	0,002045	-0,001457
16	0,000266	0,000776	0,002265	-0,004514	-0,006567	0,001718	0,005016
IMA	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
TOT	0,002221	-0,001594	0,000860	-0,001426	0,030976	-0,000795	-0,000513

Çizelge 5.16 Kritik Tasarım Konfigürasyon 2 Seidel Optik Kusur Katsayıları

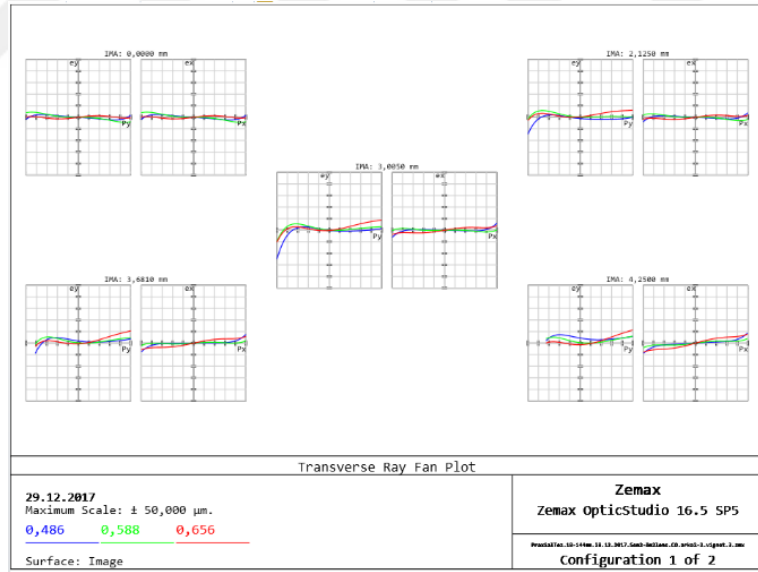
Surf	SPHA S1	COMA S2	ASTI S3	FCUR S4	DIST S5	CLA (CL)	CTR (CT)
1	0,007770	-0,008581	0,009477	0,000818	-0,011369	-0,020719	0,022882
2	-0,156462	0,193996	-0,240534	-0,001536	0,300140	0,049334	-0,061168
3	0,148878	-0,183746	0,226782	0,001392	-0,281614	-0,026672	0,032919
4	0,000213	-0,000579	0,001575	-0,000180	-0,003795	-0,001976	0,005376
STO	-0,000000	0,000000	-0,000000	-0,000000	0,000000	0,000000	-0,000000
6	0,000092	0,000114	0,000140	0,002379	0,003115	-0,001677	-0,002072
7	0,001211	-0,001698	0,002379	-0,000571	-0,002534	-0,001308	0,001832
8	-0,000286	-0,000704	-0,001735	0,003236	0,003699	-0,001096	-0,002700
9	-0,000767	0,000546	-0,000389	0,000121	0,000191	0,002044	-0,001456
10	0,000266	0,000775	0,002258	-0,004508	-0,006555	0,001721	0,005013
IMA	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
TOT	0,000915	0,000122	-0,000047	0,001151	0,001279	-0,000349	0,000624



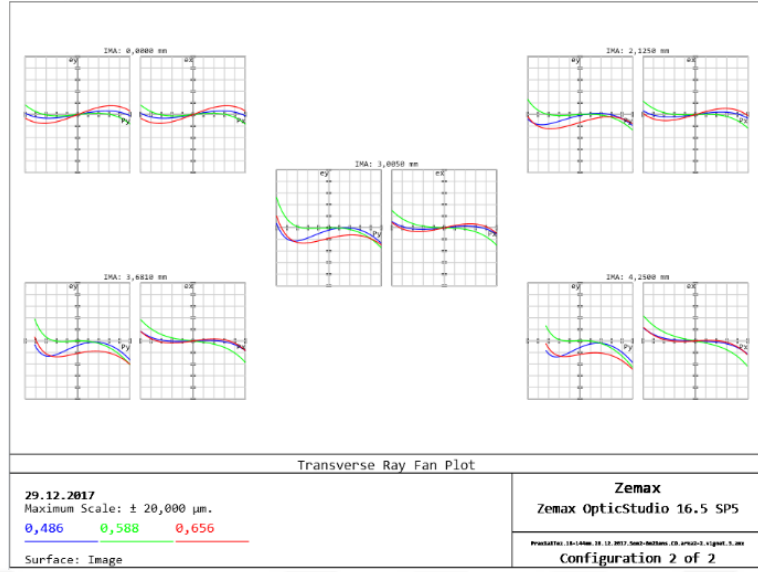
Şekil 5.19 Kritik Tasarım Konfigürasyon 1 Spot Diyagramı



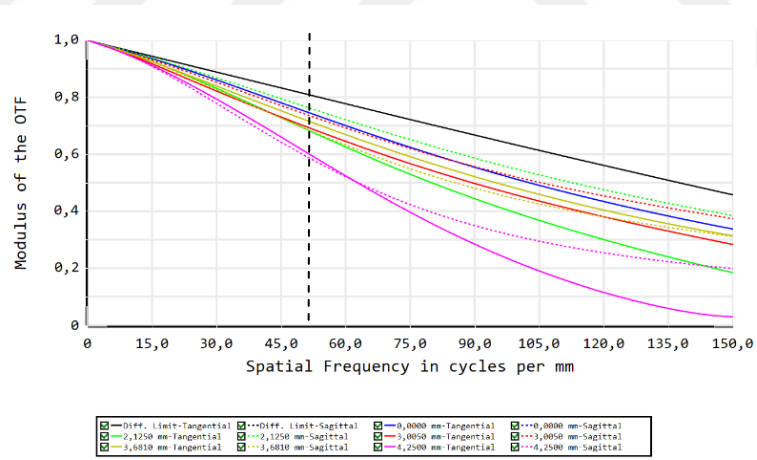
Şekil 5.20 Kritik Tasarım Konfigurasyon 2 Spot Diyagramı



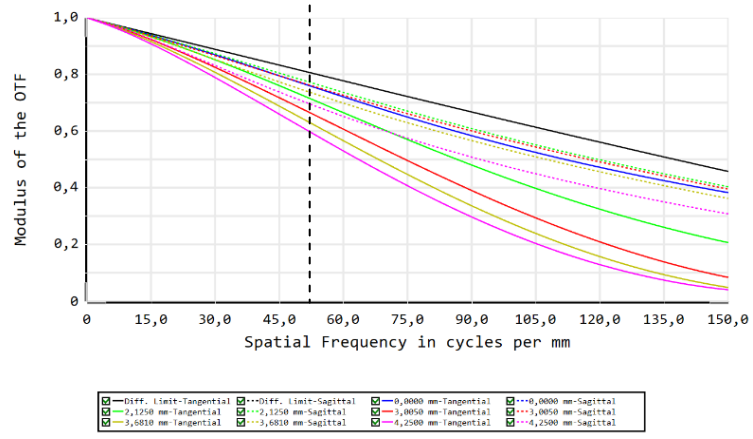
Şekil 5.21 Kritik Tasarım Konfigurasyon 1 Işın Kusuru



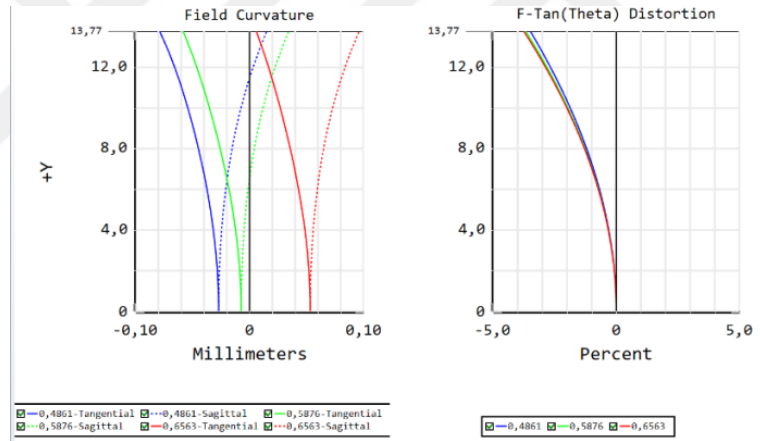
Şekil 5.22 Kritik Tasarım Konfigürasyon 2 Işın Kusuru



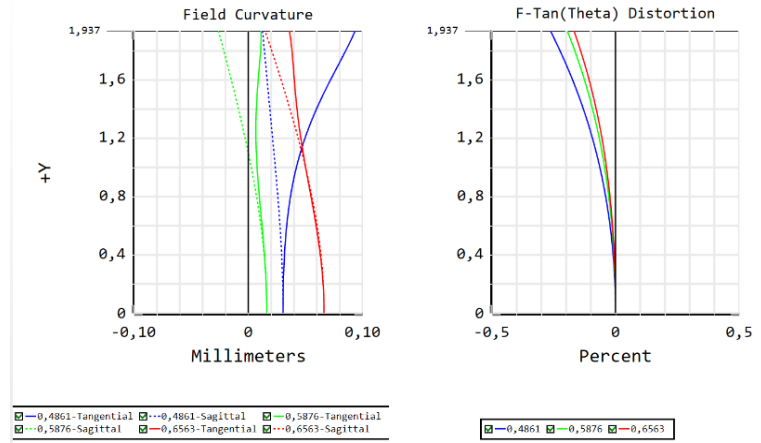
Şekil 5.23 Kritik Tasarım Konfigürasyon 1 MTF Grafiği



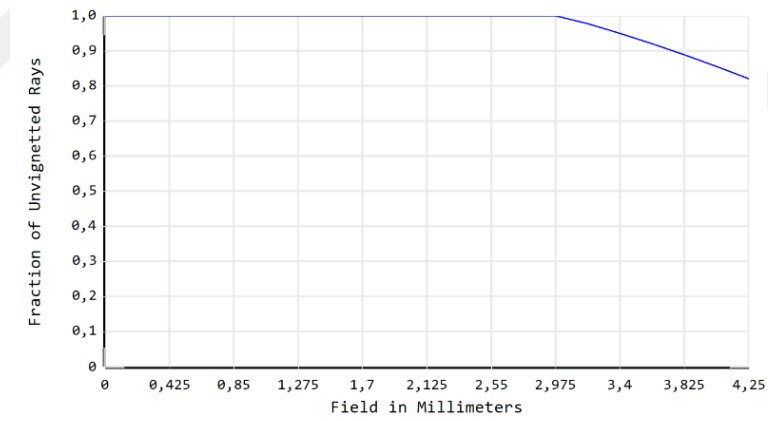
Şekil 5.24 Kritik Tasarım Konfigürasyon 2 MTF Grafiği



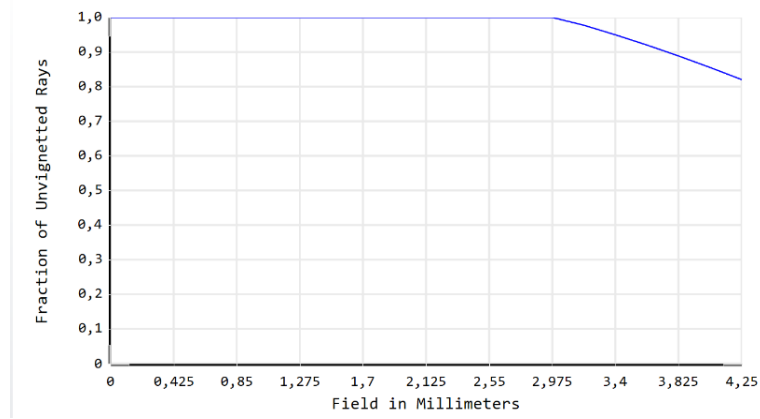
Şekil 5.25 Kritik Tasarım Konfigürasyon 1 Alan Eğriliği ve Biçim Bozukluğu Grafiği



Şekil 5.26 Kritik Tasarım Konfigürasyon 2 Alan Eğriliği ve Biçim Bozukluğu Grafiği



Şekil 5.27 Ön Tasarım Üçüncü Durum Konfigürasyon 1 Karama Grafiği



Şekil 5.28 Kritik Tasarım Konfigürasyon 2 Kararma Grafiği

5.6.6 Üçüncü Durum Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Şekil 5.19 ve Şekil 5.20’ da görülen spot değerleri sistem performansı için yeterli olduğu görülmüştür. Şekil 5.23 ve Şekil 5.24’ da verilen MTF grafiklerine bakıldığında 50 lp/mm’ de gerek optik eksen üzerinde gerek de optik eksen dışı alanlarda %60’ın üstünde performans sergilediği görülmektedir. Optik kusurların iyi bir şekilde dengelendiği Çizelge 5.15, Çizelge 5.16’ da ve Şekil 5.21, Şekil 5.22’ de görülmektedir. Şekil 5.25 incelendiğinde geniş görüş alanında biçim bozukluğunun %3,4 olduğu anlaşılmaktadır. Sistemin üretilebilirliği ve mekanik bütünleme düşünülerek mercek çaplarındaki değişiklik ile sisteme uygulanan kararma değeri Şekil 5.27 ve Şekil 5.28’ deki grafiklerde %20 olarak görülmektedir.

6. SONUÇ

Bu tez çalışmasında optik tasarıma ilk olarak iki görüş açısına sahip bir gündüz görüş sistemi objektifinin kavramsal tasarımının oluşturulması ile başlanılmıştır. İstenilen görüş alanı değerleri ve kullanılacak görüntü yüzeyi arayüzü gereksinimleri dâhilinde birinci dereceden hesaplamalar yapılmıştır. Daha sonra objektifin optik dizilimi tartışılmıştır ve uygun dizilim seçilerek Zemax optik tasarım programı kullanarak yakineksenel tasarıma geçilmiştir. Yakineksenel tasarımda grupların güçleri ve optik açıklığın yeri, mercek çap büyüklüğü, sistemin toplam uzunluğu ve olası optik kusurlar düşünülerek belirlenmiştir. Tasarım, iki farklı görüş açısı için iki farklı konfigürasyona sahip olacak şekilde düzenlenmiştir.

Optik tasarımda yakineksenel mercekler yerine gerçek mercekler yerleştirilerek ön tasarıma geçilmiştir. Optik tasarımların en kritik noktalarından biri olan cam cinsi seçimi bu noktada kendini göstermiştir. Bu çalışmada ilk olarak ortalama bir kırıcılık indeksi ve dispersiyon grafiği verdiği için N-KS2 camı seçilmiştir. Programda gerçek camlar ile yapılan iyileştirmeler sonucunda her iki konfigürasyon için de optik kusurlar incelenmiştir. İki konfigürasyon için de alan eğriliği optik kusuru büyük ölçüde telafi edilmiş olsa da küresel kusur, koma ve renk kusurları gibi diğer optik kusurların varlığı gözlemlenmiştir. Bunun nedeni az sayıdaki ve aynı cinsteki optik elemanlar olarak düşünülebilir. İkinci aşamada her bir merceğe bir mercek cinsi daha eklenmesi yani çift mercek oluşturulması düşünülmüştür. Bu sayede tasarımda oluşan kromatik kusurun telafisi öngörülmüştür. Çift mercek oluşturma işleminde mercek gruplarının kendi güçleri aynı kalacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Bu işlemler sonucunda ise optik kusurların bir miktar daha telafi edildiği fakat hala istenilen optik performansa ulaşılamadığı gözlemlenmiştir. Bunun sebebinin mevcut optik tasarımın halen fazla derecede küresel kusura sahip olması, sistemin az yüzey sayısının olması ve tasarımda sınırlı kullanılan cam cinsi olduğu belirlenmiştir.

Kritik tasarıma mevcut tasarımda lens ekleme ve ayırma yöntemleri uygulanması ile geçilmiştir. Bu sayede yüzey sayısı artırılmıştır ve küresel kusur büyük ölçüde telafi edilmiştir. Aynı zamanda tasarımda mercekler, Schott kataloğundaki farklı cam cinslerinin kombinasyonları ile denenmiş ve uygun cam cinsleri program yardımı ile belirlenmiştir. Bu sayede performansın büyük ölçüde arttığı optik sistem performans değerlendirme parametrelerinden en geneli olan MTF grafiğinin incelenmesi ile gözlemlenmiştir. Böylece objektif istenen gereksinimlerine uygun bir şekilde tasarlanmış ve kritik tasarım sonlandırılmıştır.

Sonuç olarak bu çalışmada, optik tasarım programı kullanarak çok kısa süre içerisinde çift görüş açılı mekanik objektifinin optik tasarımı yapılmıştır. Bu tez çalışmasında tasarlanan objektif için günümüz savunma sanayinde yüksek performanslı mekanik gündüz görüş sistemlerine bir alternatif olacağı belirtilmektedir.



7. KAYNAKLAR

[1] Geary, Josef M. Lens Design With Practical Zemax Examples. Richmond, Virginia : Willmann-Bell Inc., 2002.

[2] Warren, S. Modern Optical Engineering. Third Edition. U.S. : Mc-Graw Hill Inc., 2000.

[3] Nikon Corporation. [Çevrimiçi]

http://imaging.nikon.com/lineup/sportoptics/how_to/guide/binoculars/basic/basic_05.htm.

[4] Keating, M. P. Geometric, Physical, and Visual Optics. Boston : Butterworths, 2002.

[5] Comparison of Optical Aberrations. *Edmund Optics*. [Çevrimiçi]

<https://www.edmundoptics.eu/resources/application-notes/optics/comparison-of-optical-aberrations/>.

[6] M. N. Akram, M. H. Asghar. Step-Zoom Daul Field of View Infrared Telescope. Article of Aplied Optics : Volume 42, No. 13, 2003. Cilt 42.

[7] Huang, Chun Ju, et al. High Performance FOV Switching Mechanism Design for an Infrared Zoom. 2, Taiwan : International Journal of Automation and Smart Technology, 2011, Cilt 1.

[8] Shafer, Dave. A zoom lens design method. www.slideshare.com. [Çevrimiçi]

Haziran 2013. <https://www.slideshare.net/operacrazy/a-zoom-lens-design-method-july-3-2013>.

8. ÖZGEÇMİŞ

Kişisel bilgiler

Adı Soyadı Çağatay KOÇ
Doğum Yeri ve Tarihi Sivas, 21.10.1986
Medeni Hali Bekar
Yabancı Dil İngilizce

Eğitim ve Akademik Durumu

Lisans Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü, 2013

İş Tecrübesi

Anova Proje ve Danışmanlık TİC. LTD. ŞTİ
Optik Tasarımcı, 2016-2018

Opsin Elektro Optik Sistemler LTD. ŞTİ
Optik Tasarımcı, 2018-Halen