ANKARAÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BİLGİSAYAR ORTAMINDA GÖRME BOZUKLUKLARININ ORTADAN KALDIRILMASI VE SİMÜLASYONU

Pınar KOCABAŞOĞLU

BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ANKARA
2012

Her hakkı saklıdır

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BİLGİSAYAR ORTAMINDA GÖRME BOZUKLUKLARININ ORTADAN KALDIRILMASI VE SİMÜLASYONU

Pınar KOCABAŞOĞLU

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Baki KOYUNCU

Bu tez çalışmasında kornea şekil bozukluklarının bilgisayar ortamında ifade edilmesi, ortadan kaldırılması ve bunun 3B modellerle gösterilerek simülasyonu amaçlanmıştır. Oluşturulan sistemde kullanıcı tarafından seçilen, kornea şekil bozukluğu olan göz verisine en yakın eşdeğer Zernike polinomu bulunmuş, 2B ve 3B şekilde kullanıcı arayüzünde sunulmuştur. Bozukluğun tespiti için referans göz modeli hesaplanmıştır. Düzeltme işlemi için gerekli 3B veri, eşdeğer Zernike polinomu ve referans göz modeli kullanılarak bulunmuştur. Çalışma kapsamında ayrıca matematiksel modelleme için kullanılan Zernike polinomlarını hesaplayıp ekrana çizdiren bir fonksiyon yazılmış ve kullanıcı arayüzüne eklenmiştir. Geliştirilen arayüzle, kullanıcının seçilen göz verisine ait bulguları tek bir ekranda görerek inceleyebilmesi sağlanmıştır. Düzeltme için gerekli olan verinin kaydedilmesi ve daha önceden kaydedilen bir verinin açılarak incelenmesi özellikleri de yazılıma eklenmiştir.

Bu sistem elde edilen bir grup astigmat göz verisi ile test edilmiştir. Farklı göz bozuklarını temsil eden tüm Zernike polinomları içerisinden astigmat bozukluğuna karşılık gelen polinomların eşleştirilebildiği gözlenmiştir. Düzeltme işleminin, bu polinomlar kullanılarak uygulandığı taktirde ne kadar başarılı olacağı, göz verisi üzerinden kalan bozukluk hesaplanarak gösterilmiştir.

Kasım 2012, 56 sayfa

Anahtar Kelimeler: Kornea, görme bozuklukları, Zernike polinomları, optik, kornea topoğrafyası

ABSTRACT

Master Thesis

3D RECONSTRUCTION AND SIMULATION OF RECONSTRUCTIVE CORRECTION OF EYE AND EYE CORNEA

Pınar KOCABAŞOĞLU

Ankara University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Computer Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Baki KOYUNCU

The aim of this thesis is to express corneal aberrations and their removal in computer environment and to simulate these using 3D models. In the constructed system, the Zernike polynomial that best matches the problematic cornea given by the user is computed and displayed in both 2D and 3D in the user interface. In order to determine the aberration, a reference eye model is calculated. Then, the 3D data for removal of the aberration is derived from the matching Zernike polynomial and the reference eye model. In addition, a procedure was implemented and appended to the user interface to calculate and visually display Zernike Polynomials which represent the mathematical model. The user interface we developed allows a user to display all the findings about the selected eye data together on screen. The software also allows saving the data required for the removal and loading previously saved data for analysis.

This system is tested with a group of astigmatic eye data. It was observed that correct polynomials were matched among all the Zernike polynomials which represent different eye problems. The amount of success for the correction operation when these polynomials are used is shown by calculating the remaining aberration from the eye data.

November 2012, 56 pages

Key Words: Cornea, refractive errors, Zernike polynomials, optic, corneal topography

TEŞEKKÜR

Çalışmalarımı yönlendiren, araştırmalarımın her aşamasında bilgi, öneri ve yardımlarını esirgemeyerek akademik ortamda olduğu kadar beşeri ilişkilerde de engin fikirleriyle yetişme ve gelişmeme katkıda bulunan danışman hocam sayın Prof. Dr. Baki KOYUNCU'ya (Ankara Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı), tez çalışmam için göz verisi sağlayan Op. Dr. Kubilhan ELMAS'a (Kudret Göz Hastanesi), çalışmalarım süresince maddi, manevi desteklerini eksik etmeyen ve her anımda yanımda olan aileme ve dostlarıma minnettarlığımı belirterek, en içten duygularla teşekkür ederim.

Pınar KOCABAŞOĞLU
Ankara, Kasım 2012

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **i**
ABSTRACT ..... **ii**
TEŞEKKÜR ..... **iii**
KISALTMALAR DİZİNİ ..... **v**
ŞEKİLLER DİZİNİ ..... **vi**
ÇİZELGELER DİZİNİ ..... **viii**
1. GİRİŞ **1**
2. KURAMSAL TEMELLER **8**
2.1 Simülasyon **8**
2.2 Koordinat Sistemleri **8**
2.3 Kornea **10**
2.4 Topoğrafya **13**
2.4.1 Kornea topoğrafyası **14**
2.5 Zernike Polinomları **15**
2.6 En Küçük Kareler Yöntemi **19**
2.7 Matlab **20**
3. MATERYAL VE YÖNTEM **22**
3.1 Zernike Polinomları Kısmı **22**
3.2 Düzeltme İşlemleri Sekmesi **23**
3.2.1 Göz verisinin yüklenmesi **24**
3.2.2 Eşdeğer Zernike polinomunun bulunması **25**
3.2.3 Referans göz modelinin belirlenmesi **26**
3.2.4 Göz verisinde hata payının belirlenmesi **28**
4. BULGULAR **32**
5. TARTIŞMA VE SONUÇ **47**
KAYNAKLAR **54**
ÖZGEÇMİŞ **56**

KISALTMALAR DİZİNİ

2B	İki boyutlu
3B	Üç boyutlu
EKK	En Küçük Kareler
İng.	İngilizce
GKA	Grafiksel Kullanıcı Arayüzü
el	Yükseklik bileşeni (İng. Elevation)
az	Yatay bileşen (İng. Azimuth)

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 Kornea 1
Şekil 1.2 Kusuru olmayan bir gözde ışığın kırılması 2
Şekil 1.3 Miyopi olan bir gözde ışığın kırılması 2
Şekil 1.4 Hipermetropi olan bir gözde ışığın kırılması 3
Şekil 1.5 Astigmatizma olan bir gözde ışığın kırılması 3
Şekil 1.6 Kırma kusuru olan insanların çevreyi görüşü 4
Şekil 1.7 Lasik yöntemi aşamaları 5
Şekil 2.1 Kartezyen koordinat sistemi 9
Şekil 2.2 Kartezyen ve Polar koordinat sistemleri arasındaki bağlantı 10
Şekil 2.3 Optik terimler 11
Şekil 2.4 y = sinx eğrisi 11
Şekil 2.5 Kornea şekil haritası 12
Şekil 2.6 Korneanın önünde yer alan epitelyum tabakanın kaldırılması 12
Şekil 2.7 Korneaya lazer uygulanması 13
Şekil 2.8 Epitel tabakanın yerine yerleştirilmesi 13
Şekil 2.9 3B yüzey bilgilerinin topoğrafik karşılıkları 14
Şekil 2.10 Kartezyen, Polar koordinat sistemleri ve optik sistem 15
Şekil 2.11 Zernike polinomlarının 3B modelleri 16
Şekil 2.12 $Z_{2,2}$ polinomunun 3B gösterimi 19
Şekil 2.13 EKK yöntemi 20
Şekil 2.14 Arayüz örneği 21
Şekil 3.1 Düzeltme işlemleri sekmesi akış şeması 24
Şekil 3.2 Göz verisinin yüklenmesi 25
Şekil 3.3 Eşdeğer Zernike Polinomunun Bulunması 26
Şekil 3.4 Referans göz modelinin 2B gösterimi 27
Şekil 3.5 Referans göz modelinin 3B gösterimi 28
Şekil 3.6 Hata payının grafiksel gösterimi 29
Şekil 3.7 Bakış açısı (view([az, el])) parametreleri arasındaki ilişki 30
Şekil 3.8 Döndürme butonları işlevi 31
Şekil 4.1 Yazılım arayüzü açılış ekranı 32
Şekil 4.2 Arayüz Hakkında kısmı görünümü 33
Şekil 4.3 Zernike polinomları program çıktıları 34
Şekil 4.4 GKA Zernike Polinomları kısmı 34
Şekil 4.5 Zernike polinomları üzerinde döndürme düğmeleri kullanımı 35
Şekil 4.6 Referans göz modeli belirleme ekranı 36
Şekil 4.7 Kornea hata payı inceleme ekranı 37
Şekil 4.8 Astigmat göz bozukluğu olan kornea topoğrafyaları 37
Şekil 4.9 1. göz verisi kornea topoğrafyası 38
Şekil 4.10 1. göz verisi program çalışma görüntüsü 38
Şekil 4.11 1. göz verisi için eşleşen Zernike polinomu ve bulunan hata payı 39
Şekil 4.12 2. göz verisi kornea topoğrafyası 39
Şekil 4.13 2. göz verisi program çalışma görüntüsü 40
Şekil 4.14 2. göz verisi için eşleşen Zernike polinomu ve bulunan hata payı 40
Şekil 4.15 3. göz verisi kornea topoğrafyası 41
Şekil 4.16 3. göz verisi program çalışma görüntüsü 41

Şekil 4.17 3. göz verisi için eşleşen Zernike polinomu ve bulunan hata payı 42
Şekil 4.18 4. göz verisi kornea topoğrafyası.....42
Şekil 4.19 4. göz verisi program çalışma görüntüsü.....43
Şekil 4.20 4. göz verisi için eşleşen Zernike polinomu ve bulunan hata payı 43
Şekil 4.21 5. göz verisi kornea topoğrafyası.....44
Şekil 4.22 5. göz verisi program çalışma görüntüsü.....44
Şekil 4.23 5. göz verisi için eşleşen Zernike polinomu ve bulunan hata payı 45
Şekil 4.24 6. göz verisi kornea topoğrafyası.....45
Şekil 4.25 6. göz verisi program çalışma görüntüsü.....46
Şekil 4.26 6. göz verisi için eşleşen Zernike polinomu ve bulunan hata payı 46
Şekil 5.1 1. göz verisi için uzaklık hesaplamaları.....48
Şekil 5.2 2. göz verisi için uzaklık hesaplamaları.....49
Şekil 5.3 3. göz verisi için uzaklık hesaplamaları.....49
Şekil 5.4 4. göz verisi için uzaklık hesaplamaları.....50
Şekil 5.5 5. göz verisi için uzaklık hesaplamaları.....50
Şekil 5.6 6.göz verisi için uzaklık hesaplamaları.....51
Şekil 5.7 Göz verileri için bulunan kalan bozukluklar.....52

ÇİZELGELER DİZİNİ

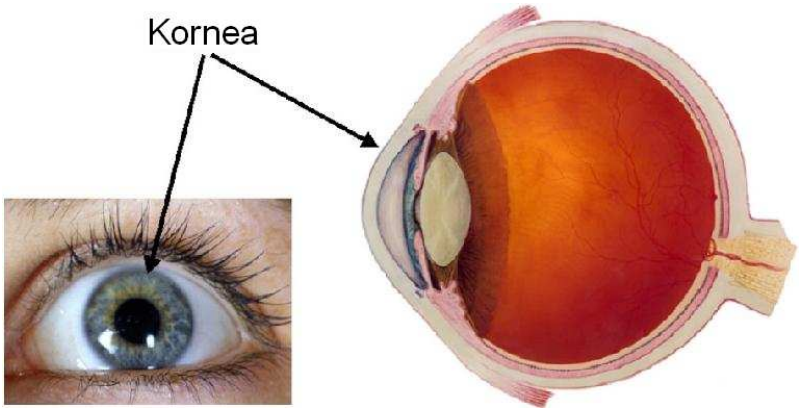
Çizelge 2.1 Radyal polinomlar çizelgesi.....17
Çizelge 2.2 Zernike polinomları çizelgesi 18

1. GİRİŞ

Göz, göz çukurunda bulunan, iri bir bilye büyüklüğünde, görmeyi sağlayan küremsi bir organdır.

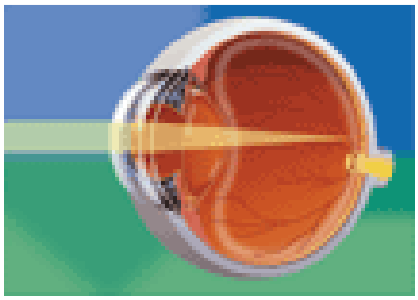
Göz kapakları açıldığında ışık gözün içine ulaşır ve görüntü oluşur. Gözün renkli kısmı olan iris gözün içine ulaşacak ışık miktarını ayarlar. Gözün ön camı olan kornea ve gözün içindeki lens nesnelerden gelen ışınları kırarak retina denilen sinir tabakası üzerinde odaklamakla görevlidir. Işık retinaya ulaştığında bir resim oluşur ve bu resimle ilgili mesaj görme siniri aracılığı ile beyne iletilir (http://www.isikgoz.com.tr, 2012).

Kornea, gözün en ön kısmında yer alan gözü toz, mikrop ve bunun gibi yabancı zararlı maddelerden koruyan ve ışığın odaklanmasını sağlayan saydam ve eğimli bir dokudur (Şekil 1.1).



Şekil 1.1 Kornea

Kornea, gözün temel kırıcı bileşenidir. Normal bir gözde gelen ışınlar korneada düzgün olarak kırılır, retinaya yönlendirilir ve net bir görüntü oluşur. Bulanık görmenin sebeplerinden biri ışığın korneada düzgün bir şekilde kırılamaması ve retinada hatalı odaklanma oluşmasıdır. Bu durum kırma kusuru olarak adlandırılır. Şekil 1.2'de, gelen ışınları düzgün bir şekilde retinada odaklayabilen bir kornea görülmektedir.



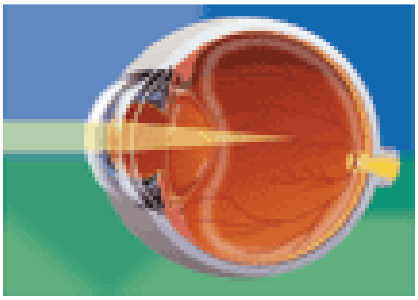
Şekil 1.2 Kusuru olmayan bir gözde ışığın kırılması

Kırma kusuru oluşmasının iki ana sebebi vardır:

1. Gözün ön-arka uzunluğunun normalden fazla veya az olması
2. Kornenın kırıcılığının normalden farklı olmasıdır.

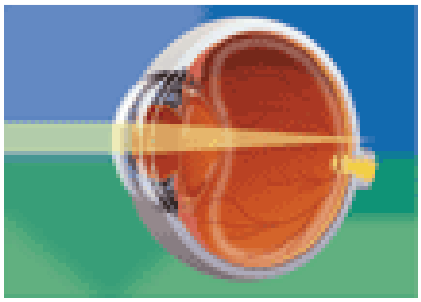
Miyopi, hipermetropi ve astigmatizma temel kırma kusurlarıdır ((http://www.lasikinturkey.com, 2012).

Miyopi: Gözün ön-arka uzunluğu veya korneanın kırıcılığı normalden fazla olduğunda gelen ışınlar retinanın önünde odaklanır. Şekil 1.3'de gösterilen bu durumdaki hastalar yakını iyi görebildikleri halde, uzağı bulanık görürler.



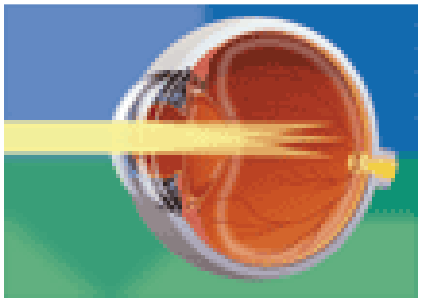
Şekil 1.3 Miyopi olan bir gözde ışığın kırılması

Hipermetropi: Gözün ön-arka uzunluğu veya korneanın kırıcılığı normalden az olduğunda gelen ışınlar retinanın arkasında odaklanır. Şekil 1.4'te bu olay gösterilmiştir. Hipermetroplar uzağı net görebildikleri halde, yakını bulanık görürler.



Şekil 1.4 Hipermetropi olan bir gözde ışığın kırılması

Astigmatizma: Astigmatizma genellikle kornea yüzeyinin düzgün olmayışından kaynaklanan bir kırma kusurudur. Göze gelen ışınlar Şekil 1.5'te olduğu gibi her açıda eşit kırılmazlar. Bu nedenle cisimler çarpık veya bulanık gözükür.



Şekil 1.5 Astigmatizma olan bir gözde ışığın kırılması

Şekil 1.6'da kırılma kusuru olan insanların çevreyi nasıl gördüklerine dair bir örnek verilmiştir.



Şekil 1.6 Kırma kusuru olan insanların çevreyi görüşü

Kırma kusuru olan bir gözde, ışığın düzgün olarak retina üzerinde odaklanması, muayene sonrası doktorun vereceği gözlükler veya kontakt lensler aracılığı ile sağlanabilir. Gözlük ve kontakt lensle yapılan bu düzenleme, korneanın şeklini değiştirmek suretiyle refraktif cerrahi aracılığıyla da gerçekleştirilebilir.

Korneanın şeklini değiştirerek göz bozukluklarını düzeltme işlemine dayanan operasyonlar yıllar içinde gelişme göstererek gözlük veya kontakt lens kullanan insanlara daha net, daha renkli ve daha sağlıklı bir yaşamın kapısını aralamıştır. Bu teknolojinin tarih içerisindeki gelişimi aşağıda verilmiştir (http://www.costellolasik.com, 2012):

1936 yılında Tsutomu Sato korneanın kalınlığının ölçümünü yapmıştır.

1948 yılında Kolombiyalı göz doktoru Jose Barraquer kırma kusurlarının cerrahi olarak düzeltmenin korneanın eğrilik çapını değiştirerek mümkün olabileceği fikrini öne sürmüş ve elle korneadan yapraksı diskler kesmiştir. Daha sonra dondurduğu disklerin şeklini tıraşlayarak değiştirmiş bu diskleri tekrar göze yapıştırmıştır (http://tr.wikipedia.org/wiki/LASIK, 2012).

1960'larda radyal keratotomi (RK) denilen teknik Rus Svyatoslav Fyodorov tarafından keşfedilmiştir. Radyal keratotomi, göz bebeği üzerindeki korneanın eğriliği değiştirilen cerrahi bir girişimdir.

1975-79 yıllarında tıpta birçok alanda kullanılan lazer cihazlarının bazı göz hastalıklarının tedavisinde de kullanılabileceği keşfedilmiş ve Excimer Lazer teknolojisi geliştirilmiştir.

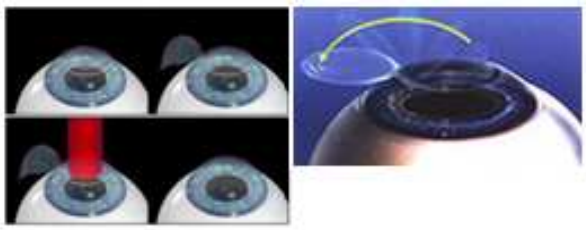
Lazer, temas ettiği noktadaki hücreler arasındaki bağları gevşetip bu hücrelerin oluşturduğu dokuların kaldırılması prensibiyle çalışır. Soğuk ışın olduğu için çevre dokulara her hangi bir zarar vermemektedir.

1983 yılında Stephen Trokel kornea dokusunun excimer lazer ile nasıl kaldırılacağına dair çalışmalar yapmıştır.

1987 yılında Theo Seiler lazer teknolojisini ilk defa bir insan gözü üzerinde korneada kullanılmıştır.

1991 yılında Stephen Brint ilk LASIK yöntemini uygulamıştır.

LASIK lazer yardımıyla korneanın yeniden şekillendirilmesi işlemidir. Gözlük veya kontakt lenslere alternatif olarak görme kusurunun düzeltilebilmesi için göz doktorları tarafından yapılan cerrahi bir tekniktir. Şekil 1.7'de LASIK teknolojisi aşamaları gösterilmektedir.



Şekil 1.7 Lasik yöntemi aşamaları

1995 yılında Excimer Laserle PRK (Photorefractve Keratomileusis) teknolojisi astigmatlı veya astigmatsız miyopu düzeltmek amacıyla uygulanmaya başlanmıştır. Bu teknik gözün önünde yer alan epitel tabaka kaldırılmaksızın göze uygulanmaktadır. Bu yöntemin dezavantajları ağrı ve iyileşmenin uzun sürmesidir.

1999 yılında LASIK ameliyatları için lazerler geliştirilmiştir.

2000 yılında Amerika Birleşik Devletleri'nin Sağlık Bakanlığı'na bağlı kurumu FDA hipermetropun düzeltilmesi için LASIK teknolojisinin uygulanmasını onaylamıştır.

2002 yılında IntraLase teknolojisi ortaya çıkmıştır. IntraLase, LASIK'ten farklı olarak epitelyum tabakanın bıçaksız lazer teknolojisiyle kaldırılmasıdır. LASIK yönteminin baştan sona kadar lazerle yapılmış versiyonudur. Bu yöntem sayesinde operasyon sırasında bıçak kullanımından doğabilecek istenmeyen durumlar engellenmiştir.

Lazer teknolojisiyle yeniden yapılandırılacak olan korneanın şeklini ifade etmek için bazı polinomlar kullanılmaktadır. Bunlar Seidel ve Zernike polinomlarıdır.

Seidel polinomları, 19. yy ortalarında, merkezli optik sistemlerde görülen tek renkli (monochrome) geometrik sapmaları, diğer bir deyişle optik eksene sahip optik sistemlerde mükemmel görüntüden uzaklaşmayı, göstermek için geliştirilmiştir.

Zernike polinomları 20. yy başlarında F. Zernike tarafından ortaya çıkarılmış, daha sonraları üzerinde çalışan birçokları tarafından sapmalardaki kırılma teorisini açıklayacak şekilde geliştirilmiştir. Seidel polinomunda olduğu gibi Zernike polinomları da mükemmel görüntüden uzaklaşmayı tanımlar, ancak Zernike açılımı, Seidel açılımından farklıdır. Zernike polinomları dalga cephesini oluşturan sistemin simetrik özelliklerini göz önünde bulundurmadan bozuk dalga cephesinin özelliklerini tanımlar. Zernike polinomlarının bazı kullanışlı özellikleri vardır: tam bir küme oluştururlar; radyal ve açısal fonksiyonlara kolayca ayrılabilirler.

Bu tez çalışmasında, şekil bozukluğu olan korneanın polinomlarla ifade edilebilmesi, düzeltilme için bir teknik geliştirilmesi ve bunun bilgisayar ortamında üç boyutlu (3B) modellerle gösterilmesi amaçlanmıştır.

Tez kapsamında öncelikle, görme bozuklukları nedenleri incelenmiş, temel kırma kusurlarından Giriş bölümünde bahsedilmiştir. Bu bölümde daha sonra korneanın şeklini değiştirerek göz bozukluklarını düzeltme işlemine dayanan operasyonların tarihi ile ilgili bilgi verilmiştir. Kuramsal Temeller bölümünde, amaçlanan simülasyon için ihtiyaç duyulacak kuramlar, algoritmalar ve teknikler anlatılmıştır. Kuramsal Temeller bölümünde anlatılan tekniklerin uygulamada nasıl kullanıldığı ve tez çalışmasında geliştirilen yazılımın mantığı Materyal ve Yöntem bölümünde irdelenmiştir. Bulgular bölümünde geliştirilen yazılımla elde edilen sonuçlar incelenmiştir. Son olarak Tartışma ve Sonuç kısmında oluşturulan sistem değerlendirilmiş, yapılan işlemler sonrasında göz verisinde kalan bozukluklar şekillerle gösterilerek sistem performansı irdelenmiştir.

2. KURAMSAL TEMELLER

Tez kapsamında yapılan çalışmalarda kullanılan yöntemlerin teorik bilgileri bu kısımda anlatılacaktır. Bu bölümde ilerideki konuların daha rahat anlaşılması için gerekli bilgilerin verilmesi amaçlanmaktadır.

2.1 Simülasyon

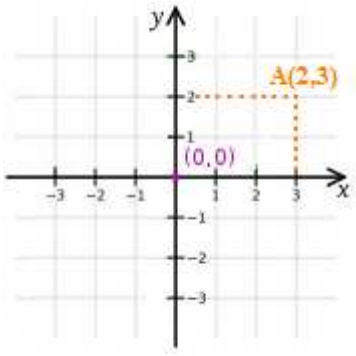
Simülasyon, bir diğer adıyla benzetim, bir işlemi temsil edebilecek bir model oluşturma işlemidir. Gerçek sistemin, işleyişini anlayabilmek, değişik stratejileri değerlendirebilmek için bilgisayar ortamında modellenmesidir.

Bu tez çalışması, korneanın şeklini değiştirmeyi temel alan ve lazer teknolojisi ile gerçekleştirilen göz ameliyatlarının bir benzetim modelidir.

2.2 Koordinat Sistemleri

Bir noktayı kabul edilen bir başlangıç sistemine göre belirtmek için koordinat sistemleri kullanılır.

Günümüzde en yaygın kullanılan Kartezyen koordinat sistemidir. Kartezyen koordinat sistemi iki eksenin birbiri ile dik kesişmesi sonucu oluşur. Yatay eksen x ekseni (apsisler ekseni), dikey eksen ise y ekseni (ordinatlar ekseni), iki eksenin kesiştiği nokta başlangıç noktası veya orijin olarak adlandırılır. Düzlem üzerinde bulunan bir nokta bu koordinat sistemi kullanılarak tanımlanabilir. Kartezyen koordinat sisteminde her bir nokta sıralı ikililerle gösterilir. Bir A noktası için bu sıralı ikili $A(A_x, A_y)$ şeklinde yazılır ve birinci sayı A noktasının x eksenindeki, ikinci sayı ise y eksenindeki koordinatını gösterir (Şekil 2.1).

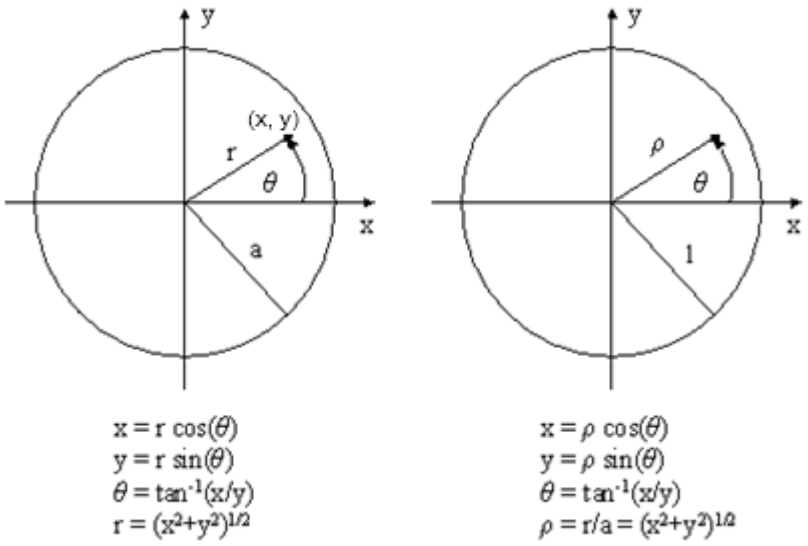


Şekil 2.1 Kartezyen koordinat sistemi

Bu tez çalışmasında Kartezyen koordinat sistemi yerine Polar (kutupsal) koordinat sistemi kullanılmıştır. Polar koordinat sistemi uzayda nokta belirtmenin bir başka yoludur. Polar koordinat sistemi iki nokta arasındaki ilişkinin açı ve uzaklık ile daha kolay ifade edilebildiği durumlar için kullanışlıdır. Polar koordinat sistemi, noktaların, Kartezyen koordinat sistemindeki orijinin eşdeğeri olan ve kutup olarak adlandırılan merkez noktaya olan uzaklık (r) ve bir açı (θ) ile tanımlandığı bir koordinat sistemidir. θ noktanın üzerinde bulunduğu ışınla kutupsal eksen arasındaki saat yönünün tersi yönündeki açıyı ifade eder (Brown 1997). Şekil 2.2'de polar koordinat sistemi ve Kartezyen koordinat sistemi arasındaki ilişki gösterilmiştir. Kartezyen koordinat sisteminde (x, y) olarak tanımlanan bir nokta polar koordinat sisteminde (ρ ,θ) olarak gösterilir. ρ, r olarak ifade edilen değişkenin normalize edilmiş halidir. (x, y) ve (r, θ) arasındaki bağlantı aşağıda gösterilmiştir:

$r^2 = x^2 + y^2$

$\text{Tan}(\theta) = y/x$



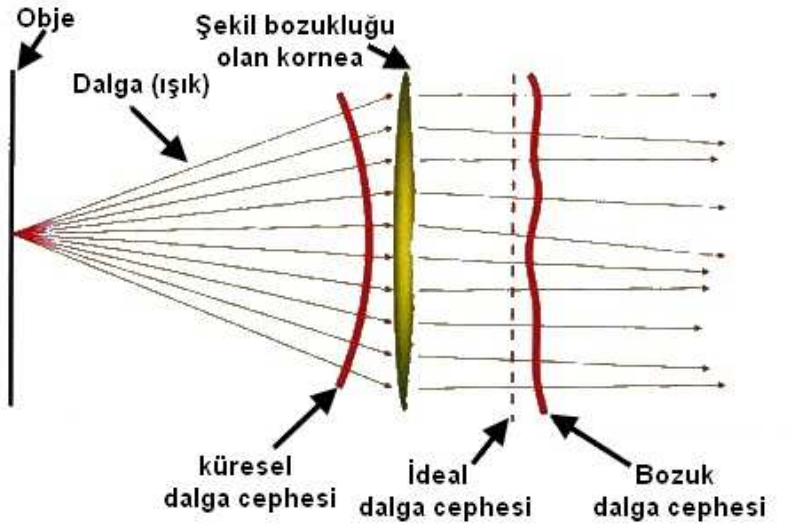
Şekil 2.2 Kartezyen ve Polar koordinat sistemleri arasındaki bağlantı

2.3 Kornea

Dış dünyayı algılamak için her bir duyumuzun ayrı ayrı önemi olmasına karşın, görme duyusu en önemli rolü üstlenmektedir. Görme organımız olan gözün temel görevi dış dünyanın net bir görüntüsünü retina üzerinde oluşturmak ve bu görüntüyü değerlendirilmek üzere beyin fonksiyonlarının hizmetine sunmaktır. Görüntünün oluşması için dış ortamdan gelen ışınlar gözün temel kırıcı ortamları olan kornea ve lens tarafından uygun bir kırılmaya uğratılır ve retinaya yönlendirilir. Bu sayede uzaktaki bir cismin retina üzerinde gerçek bir görüntüsü oluşturulur.

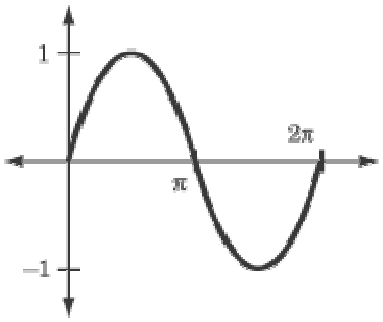
Hiçbir refraktif kusuru olmayan gözde göze paralel gelen ışınlar gözün kırıcı ortamlarında kırılarak retina üzerine fokus oluştururlar. Refraktif kusuru olan gözlerde ise göze paralel gelen ışınlar retina üzerine fokus oluşturamazlar.

Optikte ışık dalga olarak adlandırılır. Göze gelen dalgalara dik olan dalga düzlemlerine dalga cephesi ve olması gereken şeklinden sapmış dalga cephesine de bozuk dalga cephesi adı verilir. İdeal dalga cephesi ve bozuk dalga cephesi arasındaki fark ise dalga sapması (İng. wave aberration) olarak adlandırılır. Şekil 2.3'de bu kavramlar arasındaki bağlantı gösterilmiştir (MacRae vd. 2001).



Şekil 2.3 Optik terimler

Dalga sapmaları matematiksel ifadeler ile belirtilebilir. Örneğin, Şekil 2.4'deki gibi bir dalga sapması y = sinx denklemi ile ifade edilebilir.

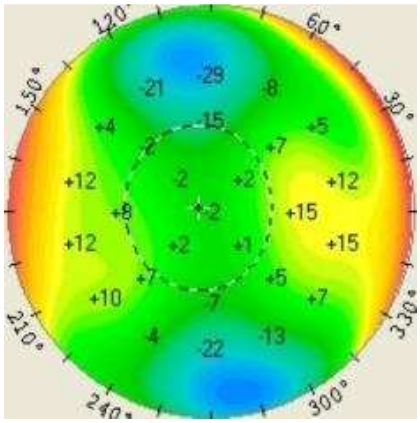


Şekil 2.4 y = sinx eğrisi

Korneanın modellenmesinde veri 2B ve şekiller daha karmaşık olduğu için durum farklıdır. Bu çalışmada korneanın ifade edilebilmesi için kullanılabilecek iki teknikten (Zernike polinomları, Seidel polinomları), her bir bozuk kornea şekli için eşdeğer bir Zernike polinom terimi bulunabildiği ve kornea yüzeyindeki etkiler bu polinomlarla detaylı bir şekilde ifade edilebildiği için Zernike polinomları tercih edilmiştir (Bürki 2011).

Modellenen kornea kullanılarak, kornea şekil bozukluklarına bağlı görme kusurları korneanın şeklini değiştirmeyi temel alan bir seri cerrahi işlemler sonucunda düzeltilebilir. Bu işlemler cerrahi öncesi ve cerrahi sırası olarak iki grupta incelenebilir.

Cerrahi öncesinde göz sağlığının durumunu saptamak için ayrıntılı bir göz muayenesi yapılmalıdır. Kornea kalınlığı ölçülür ve korneanın topoğrafik ölçümleri yapılır. Şekil 2.5'te görüldüğü gibi korneanın topoğrafyası ile korneanın şekil haritası çıkarılır.



Şekil 2.5 Kornea şekil haritası

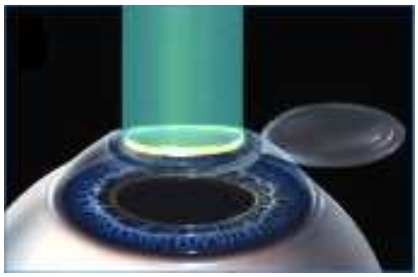
Ameliyat sırasında 3 aşama vardır (http://www.lasikinturkey.com, 2012):

1. Kornea dokusunun en önünde yer alan epitel tabaka lazerle katman halinde kaldırılır (Şekil 2.6).



Şekil 2.6 Korneanın önünde yer alan epitelyum tabakanın kaldırılması

2. Lazer teknikleri kullanılarak korneanın bu epitel tabaka altındaki kısmı şekillendirilir (Şekil 2.7).



Şekil 2.7 Korneaya lazer uygulanması

3. Epitel tabaka gözün üstüne tekrar yerleştirilir (Şekil 2.8).



Şekil 2.8 Epitel tabakanın yerine yerleştirilmesi

Bu çalışmada korneanın şekil bozukluğunun tanımlanması ve düzeltilmesine yönelik işlemler irdelenmiştir. Yapılanlar iki aşamada özetlenebilir:

– 1. Aşama: Kornea topoğrafyası elde edilmiş gözün en yakın Zernike eşdeğer polinomu bulanarak matematiksel olarak ifade edilmesi.

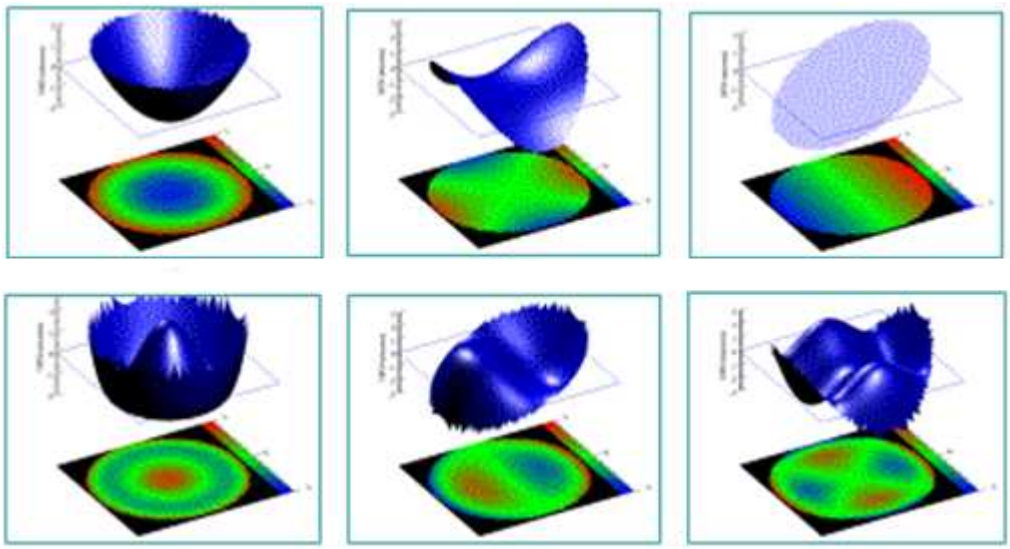
– 2. Aşama**:** 1. Aşama sonucunda elde edilen matematiksel modelin düzgün kornea şekline dönüştürülmesi için yapılacak işlemlerin belirlenmesi ve bilgisayar ortamında simülasyonu.

2.4 Topoğrafya

Topoğrafya, 3B bir cismin yüzey özelliklerini modelleyerek göstermek, tanımlamak anlamına gelmektedir.

Topoğrafya elde etmek için öncelikle bir referans nokta belirlemek gerekir. Referans yüzeyden yukarıda olan bölgeler sıcak renklerle (kırmızı, turuncu), referans yüzeyin

altında kalan bölgeler ise soğuk renkler ile (mor, mavi, yeşil) gösterilir (Boyd vd. 2003). 3B bir modelden topoğrafya haritası çıkarılması prosedürü Şekil 2.9'da gösterilmiştir.



Şekil 2.9 3B yüzey bilgilerinin topoğrafik karşılıkları

2.4.1 Kornea topoğrafyası

Korneanın yüzey şeklinin bilgisayar destekli bir cihaz yardımıyla çıkarılması sonucunda kornea topoğrafyası elde edilir. Farklı çaplarda ışık halkalarının kornea yüzeyine gönderilir ve kornea yüzeyinden geri yansıyan görüntüye göre kornea haritası oluşturulur (Boyd vd. 2003).

Topoğrafya kornea yüzeyinin optik özelliklerini göstermektedir. Refraktif cerrahi aşamaları planlanırken ve cerrahi sonrasında korneada oluşan değişiklikleri incelerken optik özellikleri detaylı bir şekilde inceleyebilmek büyük önem taşır.

Kornea topoğrafyasının klinikte kullanım alanları aşağıda listelenmiştir:

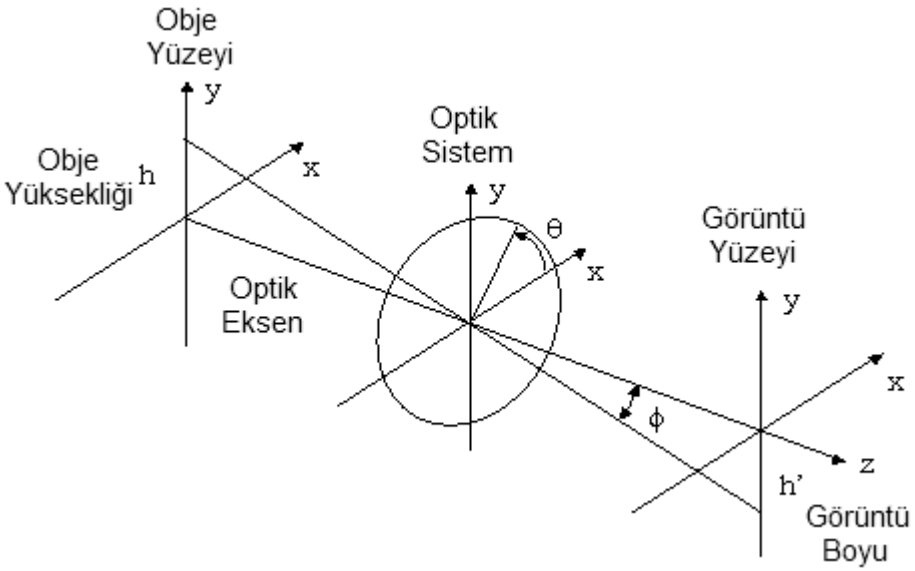
1. Normal topoğrafyanın sınıflandırılması
2. Anormal topoğrafyanın ortaya çıkarılması
3. Göziçi veya kornea cerrahisi sonrası astigmatizma takibi ve düzeltilmesi
4. Kornea enfeksiyon ve travmalarının refraksiyona etkilerinin gözlenmesi

5. Cerrahide ameliyat öncesi ve sonrasında analiz
6. Kontakt lens uygulaması planlaması

2.5 Zernike Polinomları

Matematikte Zernike polinomları birim çember üzerinde dikey olarak tanımlanan polinomlar dizisidir (McAlinden vd. 2011).

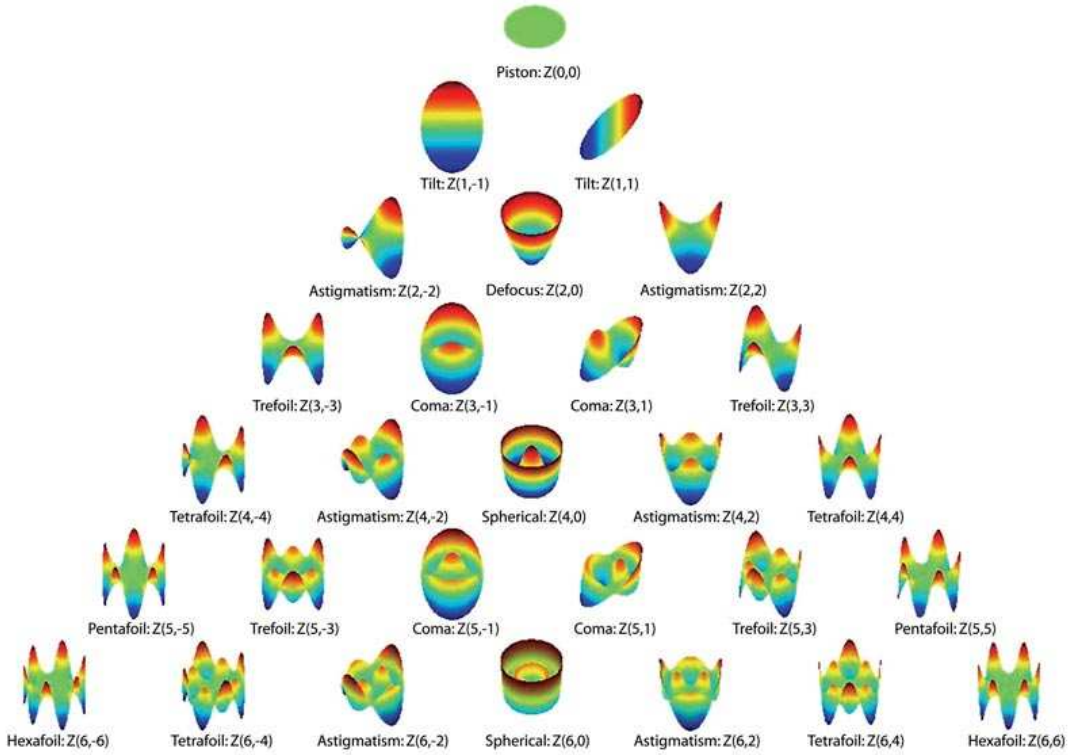
Zernike polinomları Kartezyen koordinat sistemi yerine polar (kutupsal) koordinat sistemini kullanır. Şekil 2.10'da obje, optik sistem ve Kartezyen ve Polar koordinat sistemleri arasındaki bağlantı gösterilmiştir.



Şekil 2.10 Kartezyen, Polar koordinat sistemleri ve optik sistem

Yüksek ve düşük dereceli görsel bozuklukların, göze gelen ışınları nasıl büktüğünü göstermek için dalga cephesi matematiksel olarak Zernike polinomlarına dönüştürülebilir, kornea topoğrafyasının matematiksel modellemesinde Zernike polinomları kullanılabilir (Alkhaldi vd. 2010, Oliveira vd. 2012). İdeal dalga cephesi bir düzlem olarak alınır. Zernike polinomları bozuk dalga cephesinin buna göre şeklinin

nasıl değiştiğini gösterir (Soumelidis vd. 2010, 2011). Bunlar, sapmaların şeklini taklit eden üç boyutlu modeller şeklinde gösterilebilir (Şekil 2.11).



Şekil 2.11 Zernike polinomlarının 3B modelleri

Zernike polinomları aşağıdaki gibi hesaplanabilir (Koyuncu ve Kocabasoglu 2009, Thibos vd. 2002):

$$
\begin{aligned}
Z_n^m(\rho,\theta) &= Z(n,\pm m) \\
&= \sqrt{(n+1)}\,R_n^0(\rho) && \text{for } m=0,\ 0\le\rho\le1,\ 0\le\theta\le2\pi \\
&= \sqrt{2(n+1)}\,R_n^{|m|}(\rho)\cos(m\theta) && \text{for } m>0,\ 0\le\rho\le1,\ 0\le\theta\le2\pi \\
&= -\sqrt{2(n+1)}\,R_n^{|m|}(\rho)\sin(m\theta) && \text{for } m<0,\ 0\le\rho\le1,\ 0\le\theta\le2\pi
\end{aligned}
$$

Bu denklemde $Z_n^m(\rho,\theta)$ ve $Z(n,\pm m)$ Zernike polinomlarının farklı iki gösterimidir. n radyal dereceyi, m ise açısal frekansı göstermektedir. $R_n^{|m|}(\rho)$ ise radyal polinom olarak ifade edilebilir. Bu radyal polinom aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$R_n^{|m|}(\rho)= \sum_{s=0}^{(n-|m|)/2} \frac{(-1)^s(n-s)!}{s![0.5(n+|m|)-s]![0.5(n-|m|)-s]!}\rho^{n-2s}$$

Örneğin n=3 ve m=1 değerleri için $R_n^{|m|}(\rho)$ değeri

$$= \sum_{s=0}^{1} \frac{(-1)^s(3-s)!}{s!(2-s)!(1-s)!}\rho^{3-2s}$$

$$= \frac{3!}{2!1!}\rho^3+\frac{-1(2)!}{1!1!0!}\rho^1$$

$$= 3\rho^3-2\rho$$

olarak bulunur. İlk 16 radyal polinomun değeri Çizelge 2.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.1 Radyal polinomlar çizelgesi

n	**|m|**	$R_n^{\|m\|}(\rho)$
0	0	1
1	1	R
2	0	$2\rho^2 - 1$
2	2	ρ^2
3	1	$3\rho^3 - 2\rho$
3	3	ρ^3
4	0	$6\rho^4 - 6\rho^2 + 1$
4	2	$4\rho^4 - 3\rho^2$
4	4	ρ^4
5	1	$10\rho^5 - 12\rho^3 + 3\rho$
5	3	$5\rho^5 - 4\rho^3$
5	5	ρ^5
6	0	$20\rho^6 - 30\rho^4 + 12\rho^2 - 1$
6	2	$15\rho^6 - 20\rho^4 + 6\rho^2$
6	4	$6\rho^6 - 5\rho^4$
6	6	ρ^6

Çizelge 2.1'de belirtilen radyal polinomlar kullanılarak hesaplanan Zernike polinomları Çizelge 2.2'de gösterilmiştir. Örneğin, radyal derece n, açısal frekans m değerlerini n= 2, m=2 alınarak hesaplanan Zernike polinomu $Z_2^2(\rho,\theta) = \sqrt{6}\rho^2\cos(2\theta)$ olarak bulunmuştur. Bu polinomun, aşağıdaki eşitlikler kullanılarak X, Y, Z koordinat sisteminde çizilmiş şekli Şekil 2.12'de gösterilmiştir.

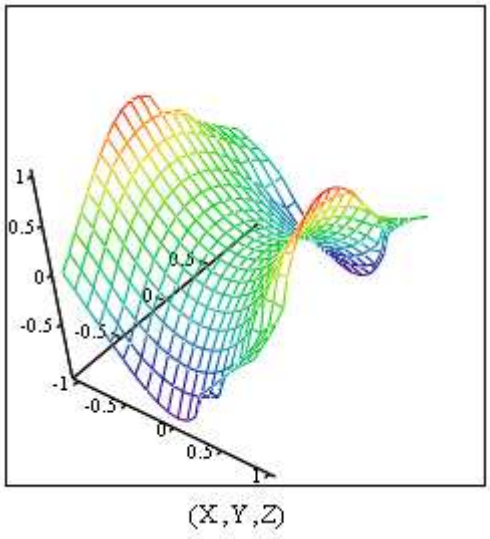
$x=\rho\cos(\theta)$

$y=\rho\sin(\theta)$

$z= Z_n^m(x,y)$

Çizelge 2.2 Zernike polinomları çizelgesi

mode j	order n	frequency m	$Z_n^m(\rho,\theta)$ $(Z(n, \pm m))$	Meaning
0	0	0	1	Constant term, or Piston
1	1	-1	$2\rho\sin(\theta)$	Tilt in y-direction, Distortion
2	1	1	$2\rho\cos(\theta)$	Tilt in x-direction, Distortion
3	2	-2	$\sqrt{6}\rho^2\sin(2\theta)$	Astigmatism with axis at $\pm 45^\circ$
4	2	0	$\sqrt{3}\left(2\rho^2-1\right)$	Field curvature, Defocus
5	2	2	$\sqrt{6}\rho^2\cos(2\theta)$	Astigmatism with axis at 0° or 90°
6	3	-3	$\sqrt{8}\rho^3\sin(3\theta)$	
7	3	-1	$\sqrt{8}\left(3\rho^3-2\rho\right)\sin(\theta)$	Coma along y-axis
8	3	1	$\sqrt{8}\left(3\rho^3-2\rho\right)\cos(\theta)$	Coma along x-axis
9	3	3	$\sqrt{8}\rho^3\cos(3\theta)$	
10	4	-4	$\sqrt{10}\rho^4\sin(4\theta)$	
11	4	-2	$\sqrt{10}\left(4\rho^4-3\rho^2\right)\sin(2\theta)$	Secondary Astigmatism
12	4	0	$\sqrt{5}\left(6\rho^4-6\rho^2+1\right)$	Spherical Aberration, Defocus
13	4	2	$\sqrt{10}\left(4\rho^4-3\rho^2\right)\cos(2\theta)$	Secondary Astigmatism
14	4	4	$\sqrt{10}\rho^4\cos(4\theta)$	
⋮	⋮	⋮	⋮	



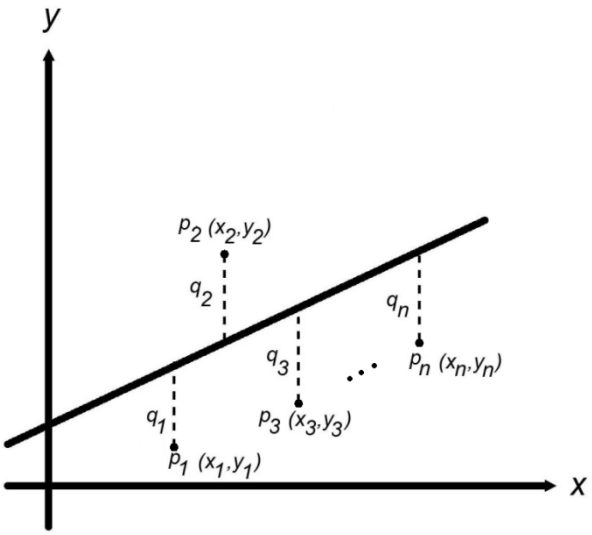
Şekil 2.12 $Z_{2,2}$ polinomunun 3B gösterimi

2.6 En Küçük Kareler Yöntemi

En küçük kareler yöntemi (EKK), bir takım ölçümler sonucu elde edilmiş veriyi modelleyen, bu veriyle mümkün olduğunca eşleşen bir fonksiyon eğrisi bulma işlemidir.

$y_i(x)$: gerçek değerler
$\hat{y}_i(x)$: tahmini değerler(regresyon değerleri)
q_i : bu değerler arasındaki fark olmak üzere;

Gerçek değerler ve tahmini değerler arasındaki farkların toplamı ($\sum_{i=0}^{n} q_i^2$) minimum olan denklem, dağılımı en iyi temsil eden denklemdir. q_i değerlerinin gösterimi Şekil 2.13'de verilmiştir.



Şekil 2.13 EKK yöntemi

Şekil 2.13'deki (x_0, y_0), (x_1, y_1), (x_n, y_n) noktaları arasından sonsuz sayıda doğru geçebilir. Her doğru için $y_i(x)$ ve $\hat{y}_i(x)$ değerleri arasında değişik farklar çıkacaktır. Dağılımı en iyi temsil eden doğru farkların kareleri toplamı minimum olan doğru olacaktır (Björck 1996).

Bu karşılaştırma deforme olmuş kornea şekline en yakın eşdeğer Zernike polinomunu bulmamıza yarayacağı gibi ameliyat sonrası yapılan işlemlerin başarılı olup olmadığına dair de bilgi verir.

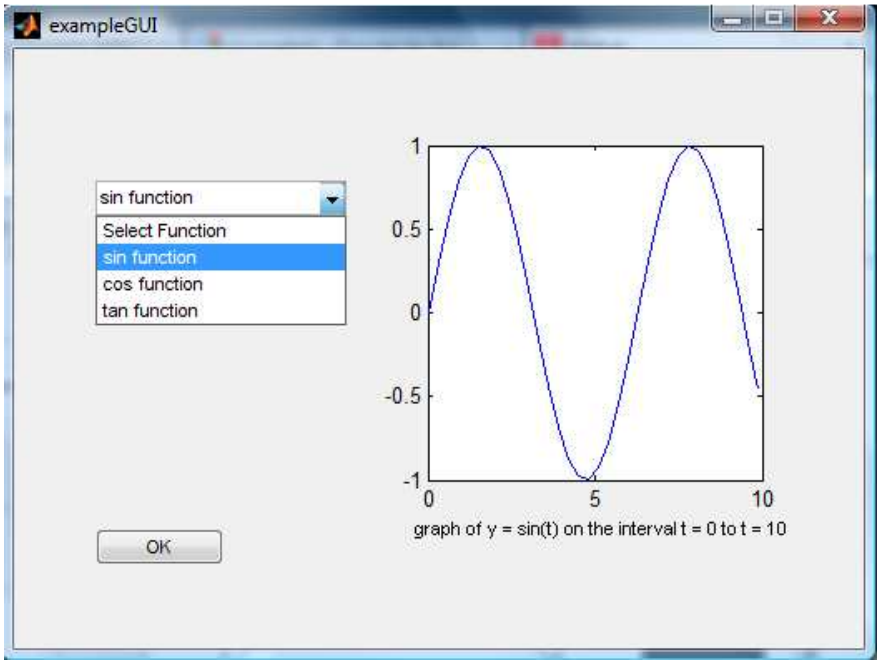
2.7 Matlab

MATLAB sayısal görüntü işleme (İng. digital image processing), sinyal işleme (İng. signal processing), yapay sinir ağları (İng. artificial neural networks), bulanık mantık (İng. fuzzy logic), optimizasyon (İng. optimization) gibi sistem analizinde kullanılan araçları ile matematiksel problemlerin çözümü ve analizi için tasarlanmış bir yazılım geliştirme ortamıdır.

MATLAB'da komut satırında çalışan programlar oluşturulabileceği gibi MATLAB Grafiksel Kullanıcı Arayüzü (GKA) Geliştirme Aracı (İng. Graphical User Interface Toolkit) ile görsel yazılımlar da elde edilebilir.

GKA, kullanıcıların bilgisayarlarda metin tabanlı komutlar ve çıktılar yerine, simgeler, pencereler, düğmeler gibi grafiksel öğelerle etkileşimini sağlayan arayüzlerin genel adıdır. GKA'lar, bilgisayar kullanıcılarının komut satırı kodlarını ezberlemeden fare, klavye gibi araçlar sayesinde iş yapmalarını sağlamıştır.

MATLAB'da GKA nesneleri kullanılarak veri alımı, grafik çizimi gibi pek çok işlem gerçekleştirilebilir. Şekil 2.14'de basit bir GKA arayüz örneği gösterilmiştir.



Şekil 2.14 Arayüz örneği

GKA'ne düğmeler, metin kutuları, listeler, menüler ve grafikler eklenebilir. GKA tasarlanırken eklenen nesneler kopyalanabilir, silinebilir, taşınabilir veya bunların boyutları, renkleri, isimleri ve yazıları değiştirilebilir. GKA uygulamasına ana menü oluşturulabilir ya da araç çubuğu eklenebilir. GKA alanına eklenen nesnelerin geri çağırım fonksiyonları tanımlanarak kullanıcının yaptığı seçim sonrasında yapılacak işlemler belirlenir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Tez çalışmasında geliştirilen yazılım üç ana kısma ayrılabilir.

– Yazılım ve göz hakkında bilgi verilen Hakkında (İng. About) kısmı

– Kullanıcının herhangi bir Zernike Polinomunu hesaplatıp, 2B ve 3B grafik olarak görebileceği "Zernike Polinomları" (İng. Zernike Polynomials) kısmı

– Kusurlu göz görüntüsünün yüklenip en yakın eş değer Zernike polinomunun bulunup düzeltilecek kısımlarının belirlendiği "Düzeltme" (İng. Correction) kısmı

3.1 Zernike Polinomları Kısmı

Kullanıcı arayüzünden "İşlemler" (İng. Operations) – Zernike Polinomları sekmesine basılması ile işleyişe geçen arayüz nesneleri ve bunlara bağlı işlemler dizisinden oluşan kısımdır. Kullanıcının açılır menü kutusundan seçeceği Zernike Polinomunun grafiğini ekrana çizdirme prensibine dayalı olarak çalışır. Algoritma aşağıda ifade edildiği gibidir.

```
Kullanıcının seçtiği Zernike Polinomu dizinini al
İlgili Zernike polinomunu hesapla
     Polar koordinatlarda tanımlanmış ızgara (İng. grid)
     matrisleri oluştur
     Her bir birim daire içinde bulunan ızgara noktası için
     Zernike Polinomunu hesapla
2B grafiğini çiz
3B grafiğini çiz
```

Zernike Polinomu hesaplama fonksiyonu, kullanıcının seçtiği Zernike Polinomunun dizinine göre radyal derecesi n, açısal frekansı m olan, (theta, r) pozisyonlarında değerlendirilen Zernike fonksiyonunu geri döndürür.

```
[theta,r] = cart2pol(X,Y);
```

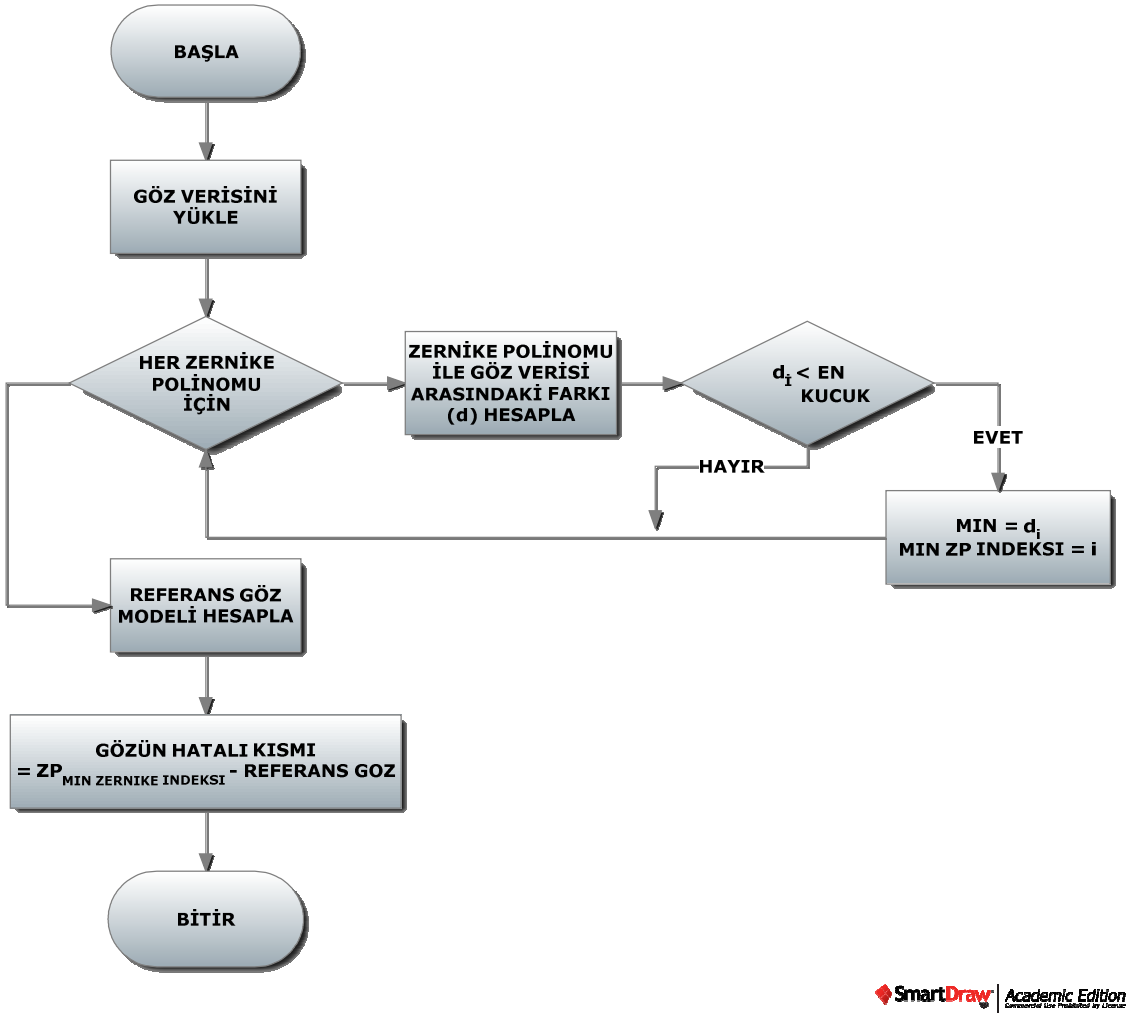
Matlab programında yazılmış kodda, theta ve r Kartezyen koordinatlarda tanımlanmış [-1 1] aralığında bir vektörün polar koordinat sisteminde eşdeğeri olarak tanımlanabilir. [theta,r] = cart2pol(X,Y), X ve Y dizilerinde tutulan 2B Kartezyen koordinatlarını polar koordinat sistemindeki değerlerine çevirir. Zernike Polinomları polar koordinatlarda tanımlanmış olduklarından eşdeğer Zernike Polinomunu hesaplayan fonksiyonda X, Y dizileri yerine theta ve r dizileri kullanılır.

3.2 Düzeltme İşlemleri Sekmesi

Kullanıcı arayüzünden İşlemler – Düzeltme sekmesine basılması ile işleyişe geçen arayüz nesneleri ve bunlara bağlı işlemler zincirinden oluşan kısımdır. Göz verisinin yüklenmesi, şekil bozukluğunun ifade edilmesi ve bu bozukluğun düzeltilmesi için gerekli verilerin bulunması işlemleri arayüzün bu parçasında yürütülmektedir. Bu kısımda

1. Göz verisinin yüklenmesi
2. Eşdeğer Zernike Polinomunun Bulunması
3. Referans Göz Modelinin Belirlenmesi
4. Göz Verisinde Hata Payının Belirlenmesi işlemleri yapılmaktadır.

Düzeltme İşlemleri Sekmesinin işleyiş prensibi Şekil 3.1'deki akış şemasında gösterilmektedir.



Şekil 3.1 Düzeltme işlemleri sekmesi akış şeması

3.2.1 Göz verisinin yüklenmesi

Kullanıcının Göz Verisi Yükle (İng. Load Eye Data) butonuna tıklamasının ardından açılan pencereden seçtiği ilgili kornea topoğrafyasının yüklenmesi işlemlerine dayanır (Şekil 3.2). Seçilen göz verisi arayüzde ilgili alanda gösterilir.



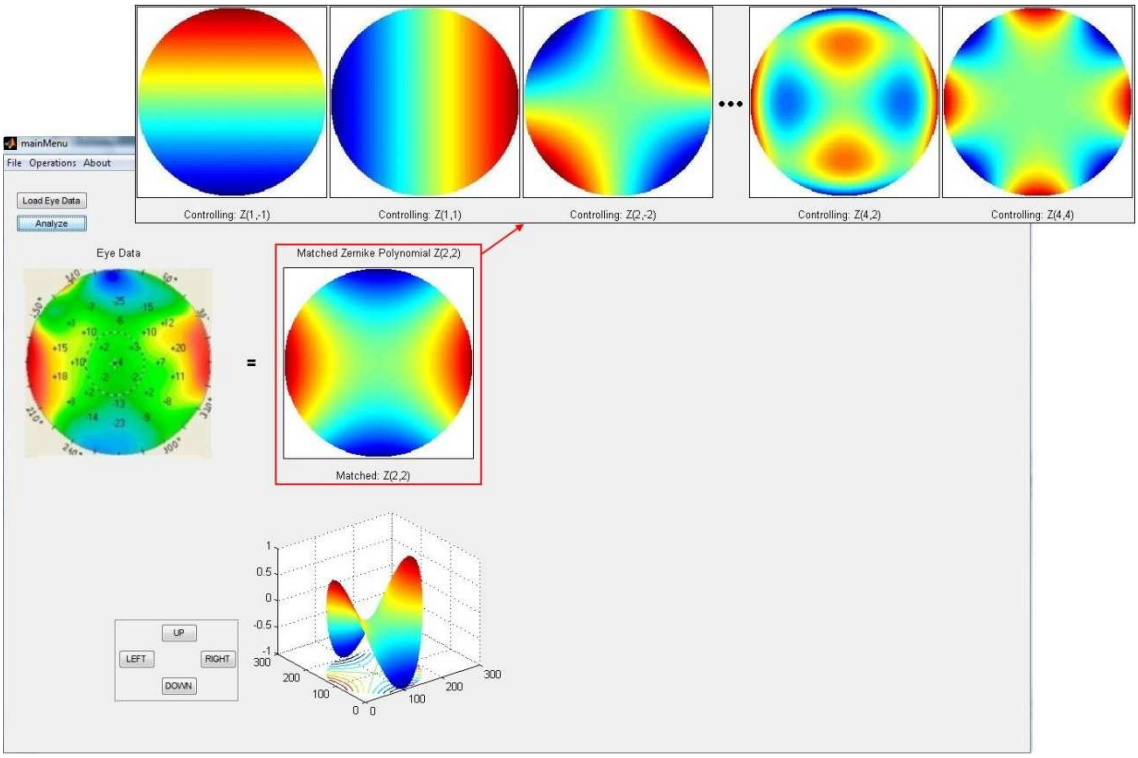
Şekil 3.2 Göz verisinin yüklenmesi

3.2.2 Eşdeğer Zernike polinomunun bulunması

Kullanıcının seçtiği göz verisi görüntü durumundadır. Düzeltme işlemleri için sayısal değerlere, yani matematiksel bir modele ihtiyaç duyulmaktadır. Göz verisinin matematiksel modellenmesinde kullanılacak en yakın eşdeğer Zernike polinomunu bulabilmek için en küçük Zernike polinomundan başlayarak Z_1^{-1}, Z_1^1, …, Z_4^4 aralığındaki bütün Zernike polinomları için karşılaştırma yapılır. Bu karşılaştırma için EKK yöntemi kullanılır. EKK yöntemi kullanılarak göz verisine en yakın Zernike polinomu aşağıdaki algoritma yardımıyla bulunmaktadır. Algoritma yardımıyla belirlenen eşdeğer Zernike polinomu arayüzde ilgili alana eklenmiştir. Şekil 3.3'de arayüzde bu algoritmanın işleyişi gösterilmiştir.

```
Her bir Zernike Polinomu ZPi için
     ZPi'yi z'yi hesapla
     z'yi göz verisiyle karşılaştırabilmek için görüntü
     olarak elde et
```

```
z ile göz verisi arasındaki uzaklığı d'yi EKK
kullanarak hesapla
Eğer d < minimum uzaklık
     minimum uzaklık = d
     minimum uzaklık dizini = i
```



Şekil 3.3 Eşdeğer Zernike Polinomunun Bulunması

3.2.3 Referans göz modelinin belirlenmesi

Bu aşamada görme bozukluğu olan göz verisine en yakın Zernike polinomu hesaplanmıştır. Gözün yeniden biçimlendirilmesi işleminde ilk olarak karar verilmesi gereken korneanın düzeltildikten sonra nasıl bir şekil alacağıdır. Bunun için öncelikle bir referans göz modeli belirlenmelidir.

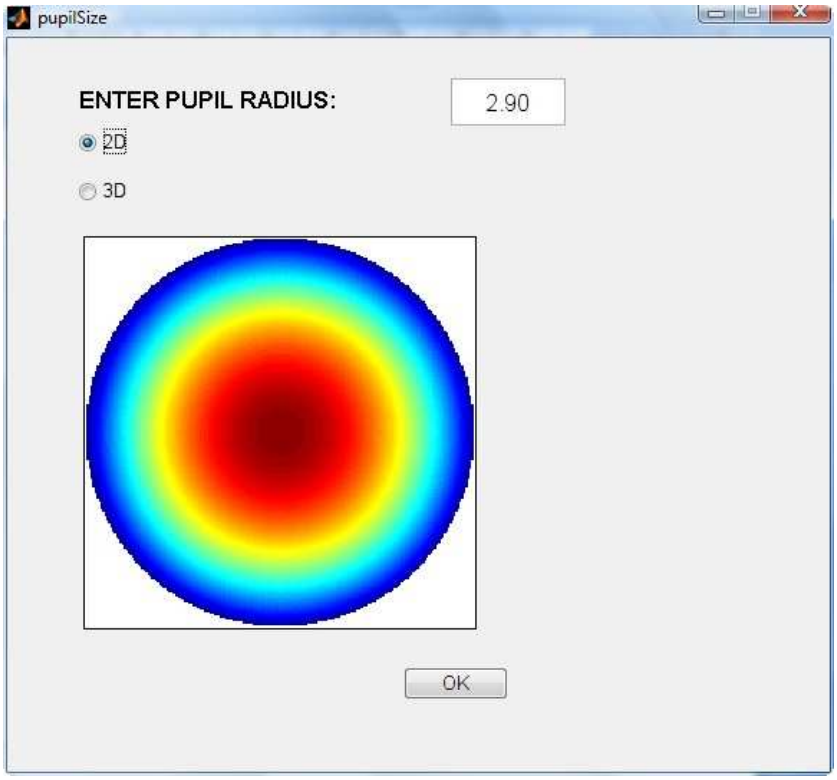
Referans göz modeli iki şekilde belirlenebilir:

1. Elimizde düzgün şekilli bir kornea varsa (hastanın bir diğer gözü kullanılabilir) bu gözün şekil haritası çıkarılır ve görme bozukluğu olan gözün düzeltilme işlemleri sırasında bu düzgün şekilli korneanın parametreleri temel olarak alınır.

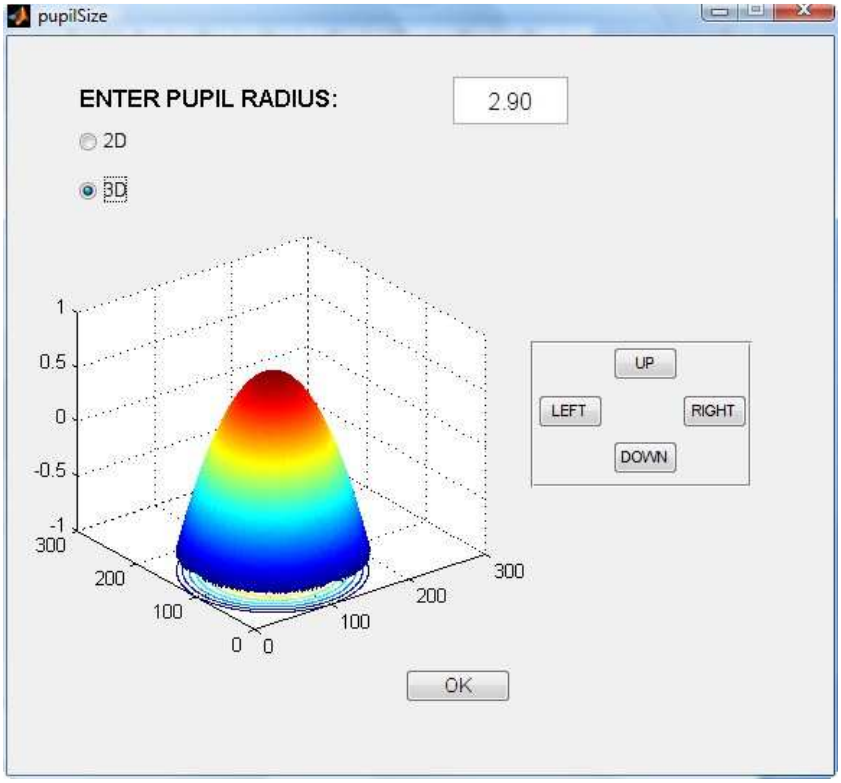
2. Eğer elimizde kullanabileceğimiz düzgün şekilli bir kornea yoksa göz bebeği yarıçapı kullanılarak referans göz modeli elde edilebilir. Z_2^0 Zernike polinomu kullanılarak elde edilen referans göz modeli denklemi aşağıda verilmiştir (MacRae vd. 2001).

$$\text{Referans Göz Modeli} = -\frac{4\sqrt{3}Z_2^0}{(\text{Göz Bebeği Yarıçapı})^2}$$

Bu tez çalışmasında referans göz modelinin hesaplanmasında ikinci yöntem kullanılmıştır. Hesaplanan değer grafiksel olarak kullanıcıya 2B ve 3B olarak sunulur. 2B (Şekil 3.4) veya 3B (Şekil 3.5) gösterim kullanıcının seçeneğine bırakılmıştır.



Şekil 3.4 Referans göz modelinin 2B gösterimi



Şekil 3.5 Referans göz modelinin 3B gösterimi

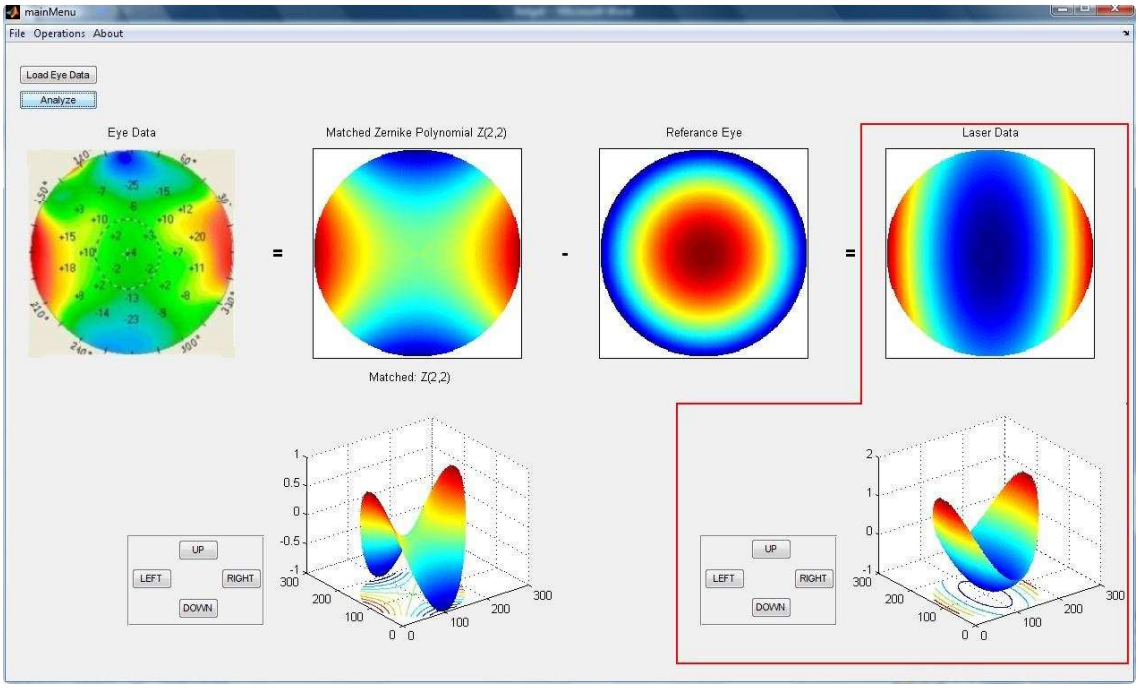
3.2.4 Göz verisinde hata payının belirlenmesi

Bir önceki işlemler sonucunda belirlenen referans göz modeli ile en yakın eşdeğer Zernike polinomunun hesaplandığı göz verisi arasındaki fark gözün hatalı kısmının değerlerini vermektedir. Basit olarak;

Hata Payı = (Zernike Göz Verisi) – (Referans Göz Modeli Verisi)

eşitliği yardımı ile bulunan bu değerler matrisi grafiksel olarak ekranda gösterilmekte ve laserFunction.txt dosyasında saklanmaktadır. Grafik arayüzde kullanıcıya 2B ve 3B olarak sunulur (Şekil 3.6).

Daha önceden kaydedilen kornea şekli düzeltme verisinin istenildiği takdirde açılarak incelenmesini sağlayan bir kısım arayüzde bulunmaktadır. Kullanıcının seçtiği dosyadan tek boyutlu bir diziye okunan göz verisi, 2B değerler matrisine çevrilir ve verinin ekranda 2B ve 3B gösterimi sağlanır.

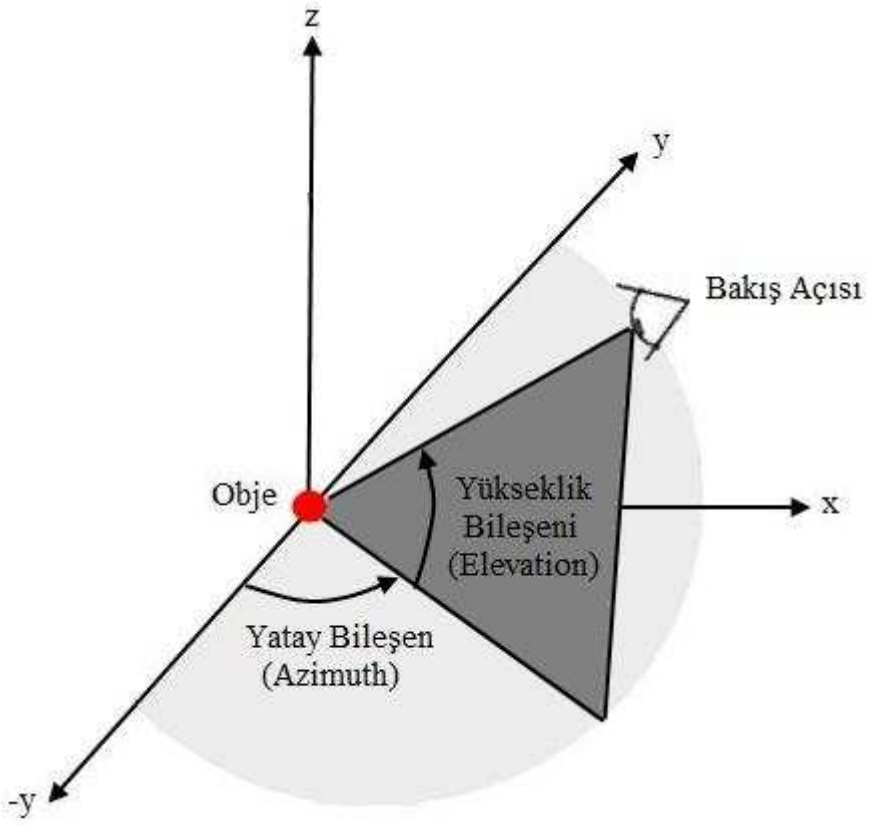


Şekil 3.6 Hata payının grafiksel gösterimi

3B çizdirilen grafiklerde kullanıcının grafiği incelemesine olanak sağlayan grafiği döndürme butonları bulunmaktadır Grafiğin bakış açısı değiştirilerek yapılan bu yöntem kullanıcının grafiği detaylı incelemesine olanak sağlar.

Bakış açısının pozisyonu, eksen oryantasyonunu belirler. Bakış açısı, yükseklik (İng. Elevation) ve yatay bileşen (İng. Azimuth) değerleri ile belirlenebilir.

view([az, el]), 3B bir yüzeyde bakış açısını değiştirmek için kullanılan bir MATLAB komutudur. Yatay bileşen, az, z ekseni etrafındaki dönüş miktarının negatif y ekseni ile yaptığı açıyı, yükseklik bileşeni, el, ise bakış açısının dikey eksendeki değişimini ifade eder (Şekil 3.7). Pozitif az değerleri bakış açısının saat yönünün tersine olan hareketini belirtirken, pozitif el değerleri bakış açısının objenin üst tarafına doğru hareketini gösterir. 3B çizimde başlangıç bakış açısı değerleri az = –37.5, el = 30'dur.



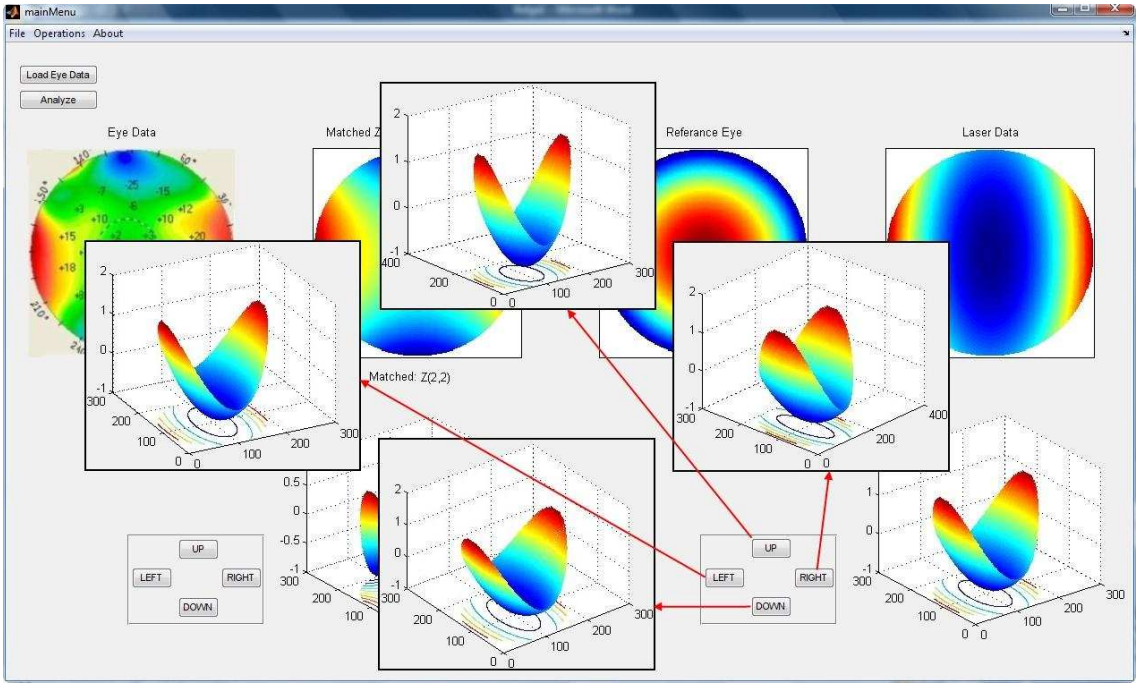
Şekil 3.7 Bakış açısı (view([az, el])) parametreleri arasındaki ilişki

Objeyi sola döndürmek için bakış açısını objenin sağına, objeyi sağa döndürmek için ise bakış açısını objenin soluna kaydırmak gerekmektedir. Bu az değerinin azaltılıp artırılmasıyla mümkün olmaktadır.

Objeyi yukarı döndürmek için bakış açısını objenin aşağısına, objeyi aşağı döndürmek için ise bakış açısını objenin yukarısına alınması gerekmektedir. el değeri bakış açısının yüksekliğini belirlediğinden bu değerin azaltılıp artırılmasıyla bakış açısının yüksekliği belirlenebilir.

Şekil 3.8'de bir grafiğin sola, sağa, yukarıya veya aşağıya döndür düğmelerine tıklandığında, ortaya çıkan grafikler gösterilmiştir. Düğmelere tıklandığında yeni az ve el değerlerini hesaplanma algoritması aşağıda belirtilmiştir.

```
Eğer sola döndür düğmesine tıklandığında (LEFT)
     az ← az+10
     el ← el
Eğer sağa döndür düğmesine tıklandığında (RIGHT)
     az ← az-10
     el ← el
Eğer yukarı döndür düğmesine tıklandığında (UP)
     az ← az
     el ← el-10
Eğer aşağı döndür düğmesine tıklandığında (DOWN)
     az ← az
     el ← el-10
view([az el])
```



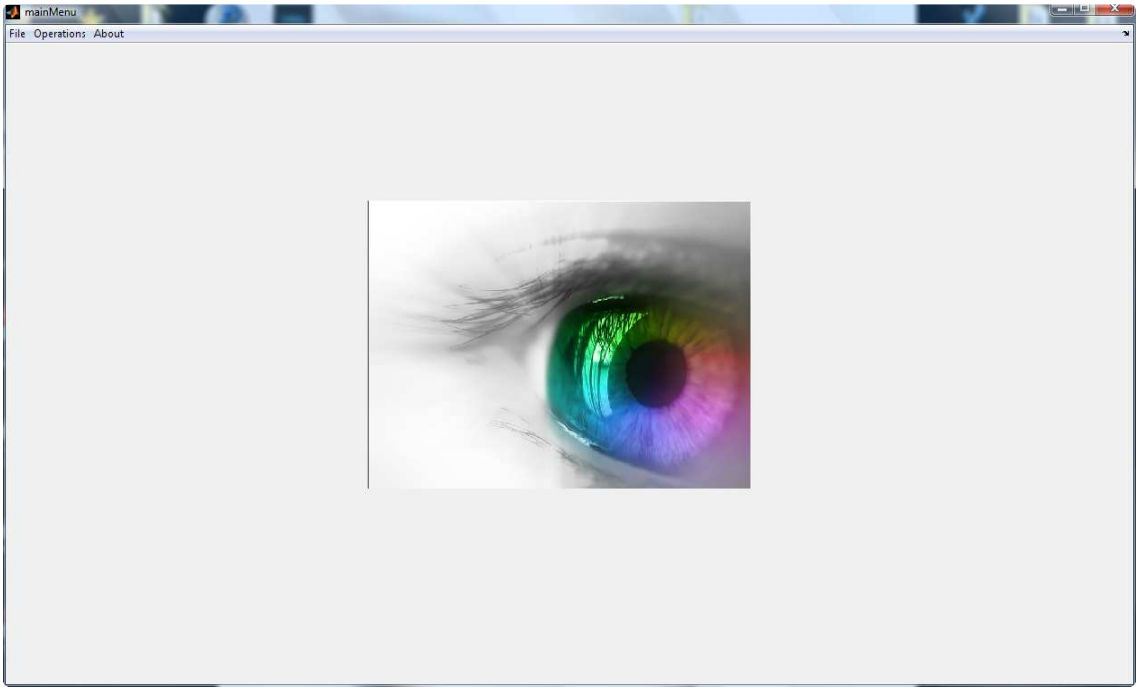
Şekil 3.8 Döndürme butonları işlevi

4. BULGULAR

Bu bölümde geliştirilen yazılım ve elde edilen sonuçlar incelenecektir.

Tez kapsamında görme bozukluklarının düzeltilmesi işleminde kullanıcı kontrollerini sağlayan bir arayüz geliştirilmiştir. Oluşturulan arayüzde (Şekil 4.1) 3 ana menü vardır:

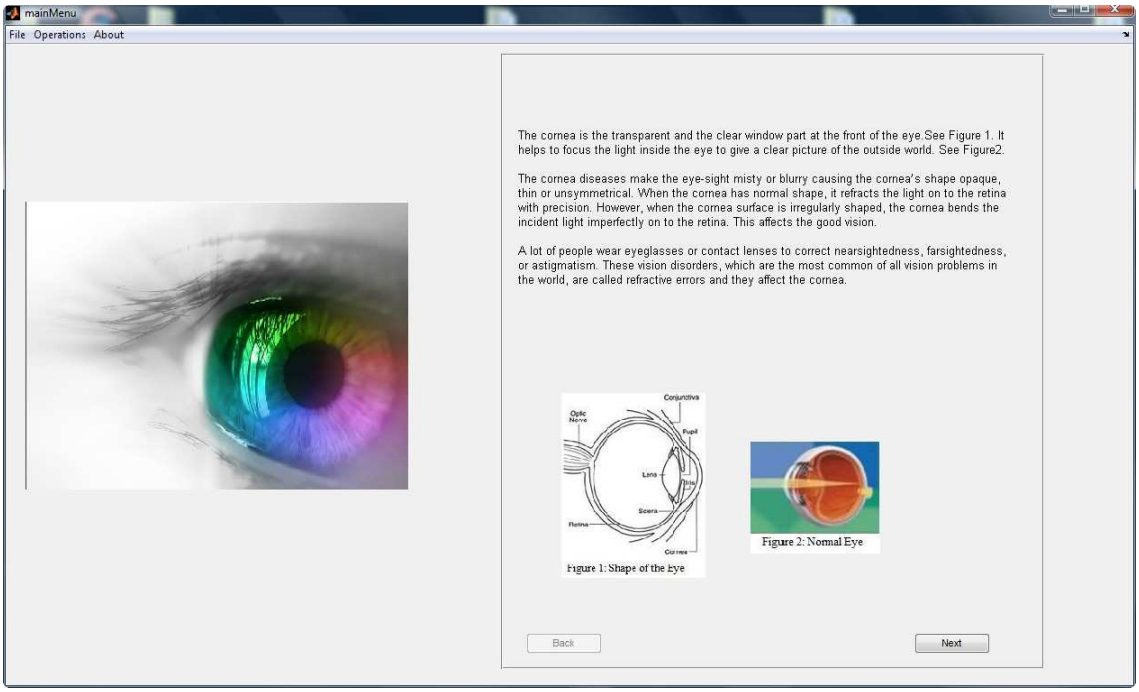
- Dosya (İng. File)
- İşlemler
- Hakkında



Şekil 4.1 Yazılım arayüzü açılış ekranı

Dosya menüsüne, kullanıcının programdan çıkmasını (İng. Exit), hesaplanan kornea hata payının dosyaya kaydedilmesini (İng. Save Eye Data) ve daha önceden kaydedilen hata payı verisinin açılmasını (İng. Load Eye Data) sağlayan kısımlar eklenmiştir.

Göz bozuklukları ve sistem hakkında bilgi vermek için Hakkında menüsü oluşturulmuştur (Şekil 4.2). Kullanıcının arayüz üzerindeki İleri ve Geri düğmeleriyle detaylı bilgi edinebilmesi sağlanmıştır.



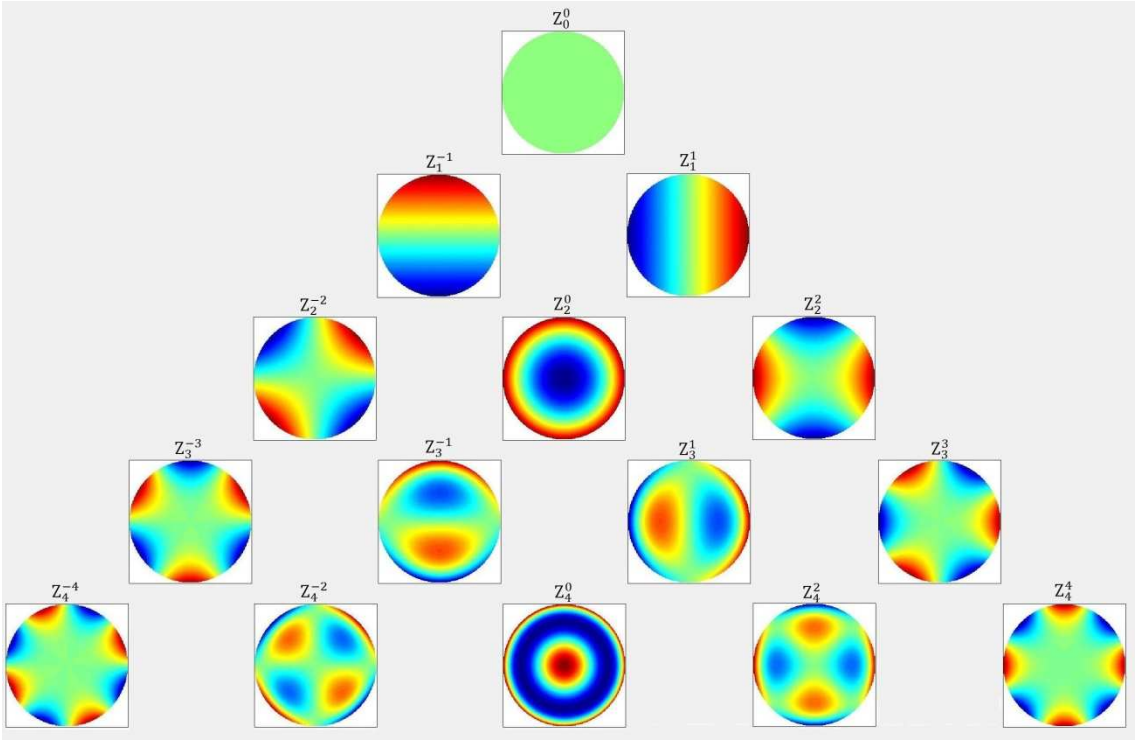
Şekil 4.2 Arayüz Hakkında kısmı görünümü

İşlemler menüsünde yazılımın ana işlemlerinin yürütülmesi sağlanmıştır. İki bölümden oluşur:

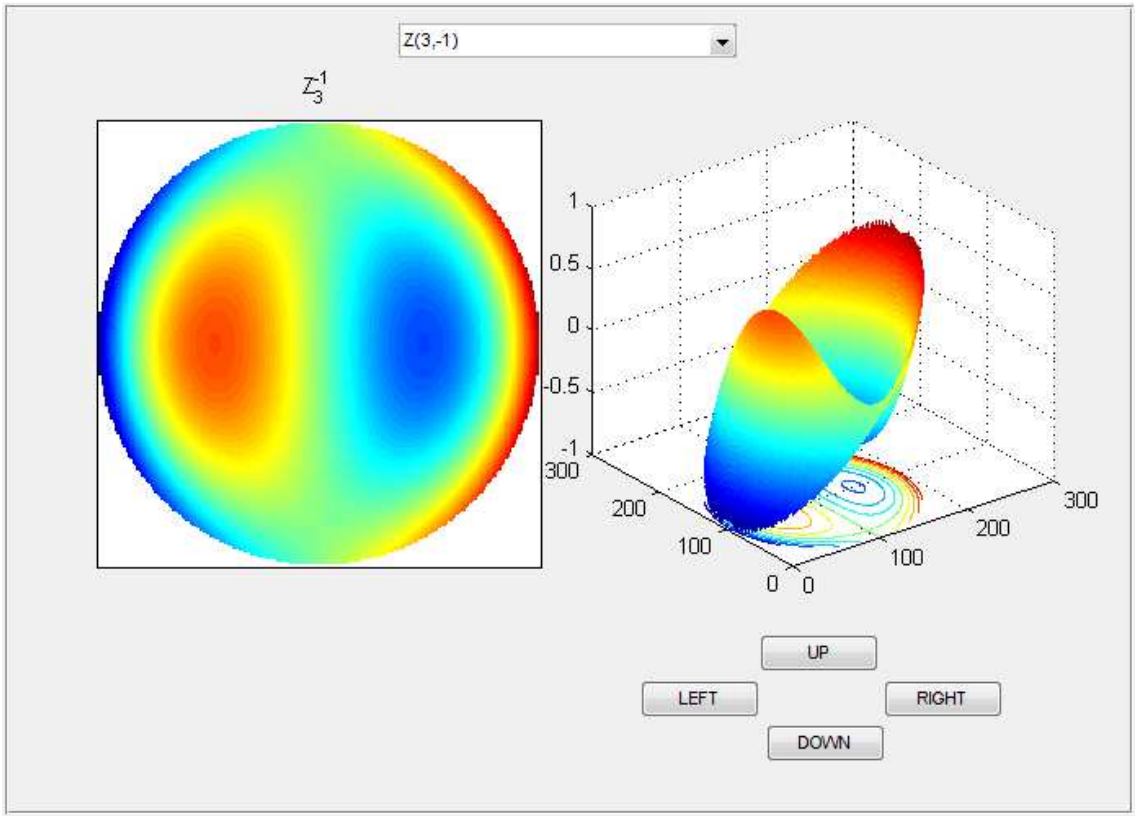
– Seçilen Zernike polinomunu hesaplayıp ekranda grafiksel olarak gösteren, bu şekilde kullanıcının Zernike polinomları hakkında bilgi sahibi olabileceği bölüm

– Yüklenen göz verisinin işlendiği bölüm

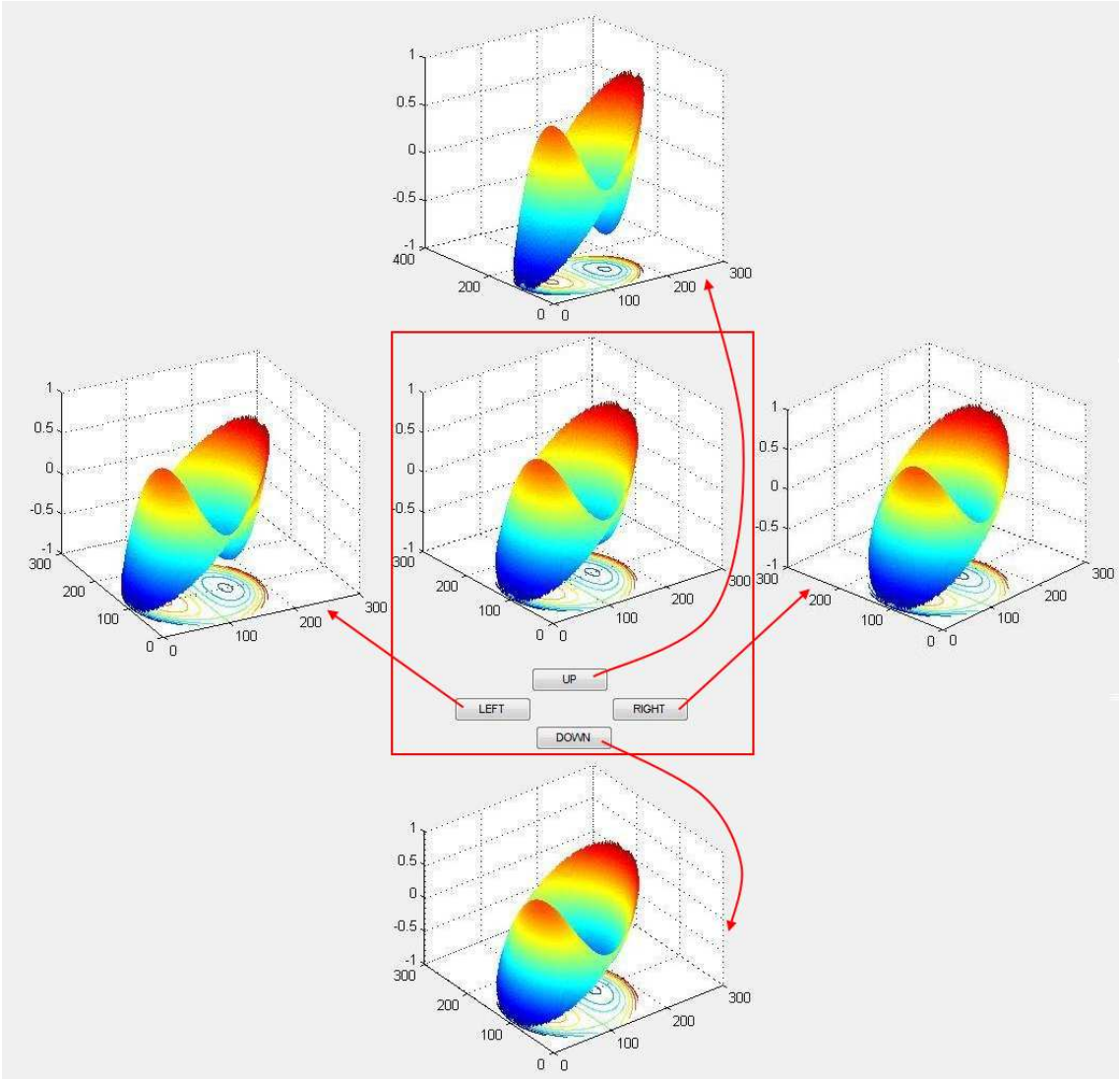
Zernike polinomları bölümünde, kullanıcının açılır menü kutusundan 15 polinom arasından (Şekil 4.3) seçeceği Zernike polinomunu ekrana çizdiren fonksiyonlar tanımlanmış, 2B gösterimin yanında 3B gösterimde de sunulmuştur (Şekil 4.4). 3B gösterimin altında bulunan düğmeler sayesinde bu grafiği sağ, sol, yukarı veya aşağıya doğru döndürebilme imkânı sağlanmıştır. Şekil 4.5'te döndürülme işlemleri sonucunda grafiğin son durumu gösterilmiştir.



Şekil 4.3 Zernike polinomları program çıktıları



Şekil 4.4 GKA Zernike Polinomları kısmı

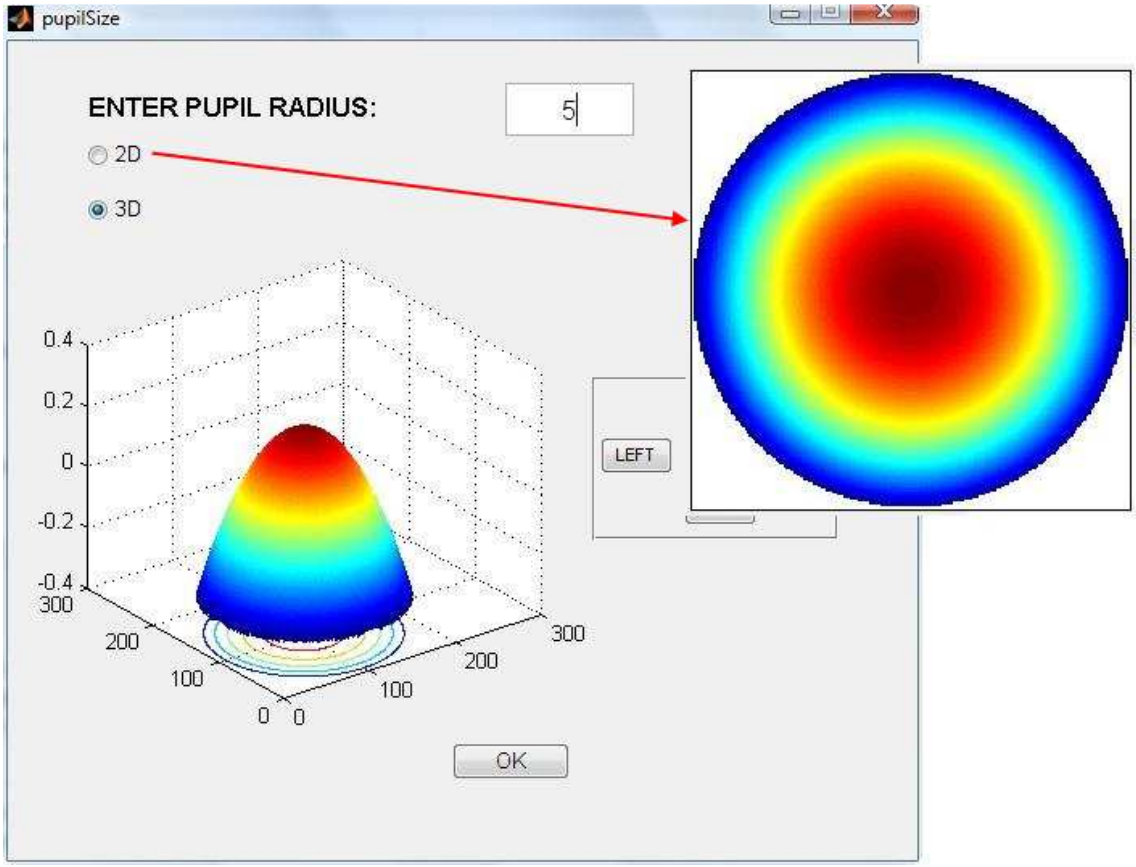


Şekil 4.5 Zernike polinomları üzerinde döndürme düğmeleri kullanımı

Düzeltme kısmında kornea şekil bozukluklarının analizi ve hata payı bulma işlemleri gerçekleştirilir. Açılan arayüzden kullanıcının istediği göz verisini yüklemesine olanak sağlanmıştır. Göz verisiyle en küçük dizinli Zernike polinomundan başlayarak EKK yöntemine göre karşılaştırma yapılmış ve göz verisine en yakın Zernike polinomu belirlenmiştir.

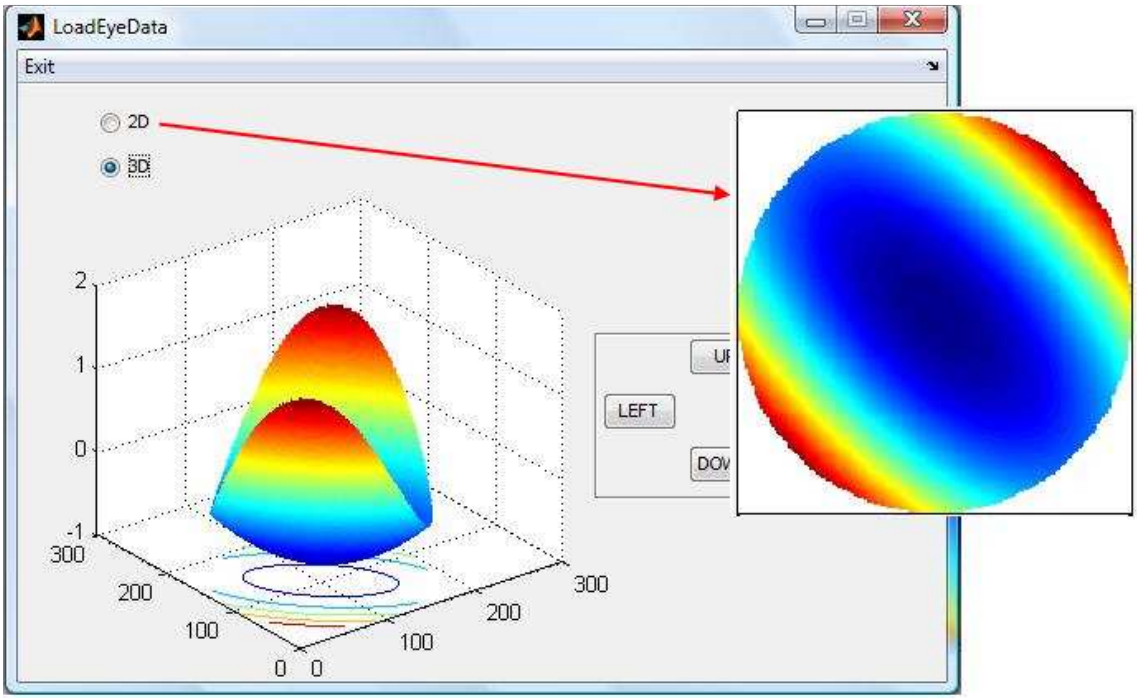
Şekil bozukluğu olan kornea verisine en yakın Zernike polinomu bulunduktan sonra düzeltme işlemi sonunda korneanın benzemesi gereken şekle karar verilmelidir. Referans göz modeli olarak adlandırılan bu şekil kullanıcının girdiği göz bebeği

yarıçapı değeri sonucunda hesaplanmış, bu şekil arayüz üzerinde 2B ve 3B olarak kullanıcının incelemesine sunulmuştur (Şekil 4.6).



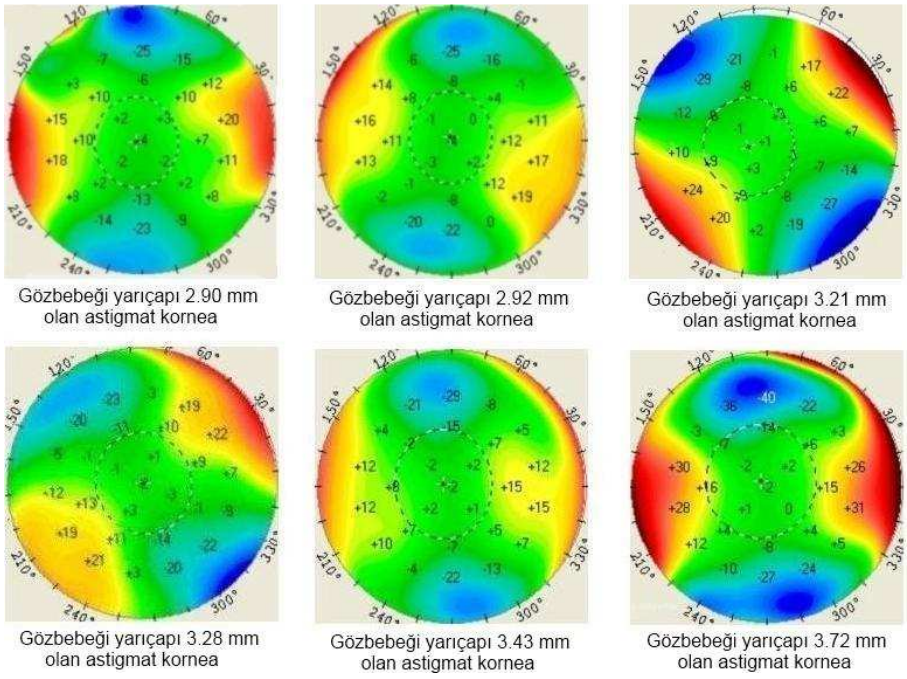
Şekil 4.6 Referans göz modeli belirleme ekranı

Şekil bozukluğu olan korneanın eşdeğer Zernike polinomu ve referans göz modeli hesaplandıktan sonra aralarındaki fark bulunarak gözdeki hata payı belirlenmiştir. Bu pay 2B ve 3B grafik şeklinde arayüzde gösterilmiştir. Dosya kısmından "Göz Verisini Kaydet" (İng. Save Eye Data) tıklanarak verinin bilgisayar ortamına kaydedilmesi sağlanmıştır. Dosya kısmına "Göz Verisi Yükle" (İng. Load Eye Data) kısmı eklenerek daha önceden kaydedilmiş hata payı verisinin açılması ve bir arayüz üzerinde 2B ve 3B olarak incelenmesi sağlanmıştır (Şekil 4.7).



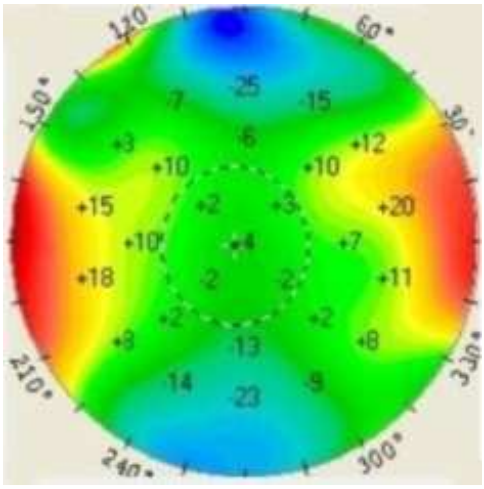
Şekil 4.7 Kornea hata payı inceleme ekranı

Sistem, göz hastanesinden temin edilen, iki farklı türde astigmat göz bozukluğu olan 6 farklı kornea verisi (Şekil 4.8) üzerinde denenmiştir. Görüntü formatında olan bu kornea verileri kullanılarak sistem test edilmiş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

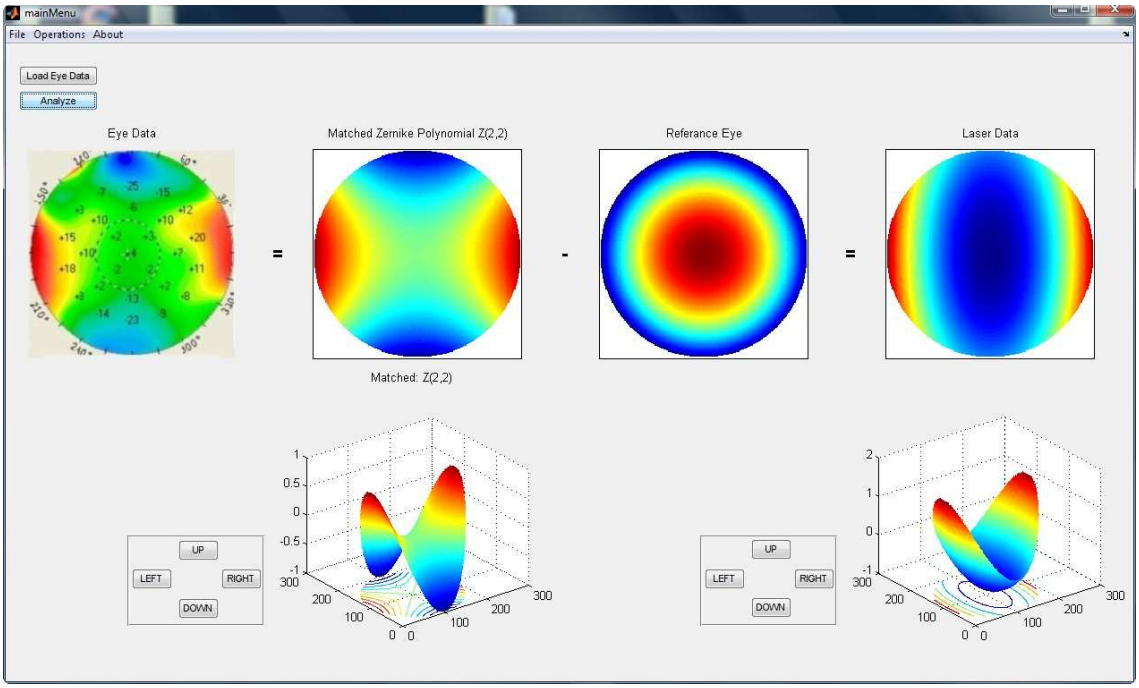


Şekil 4.8 Astigmat göz bozukluğu olan kornea topoğrafyaları

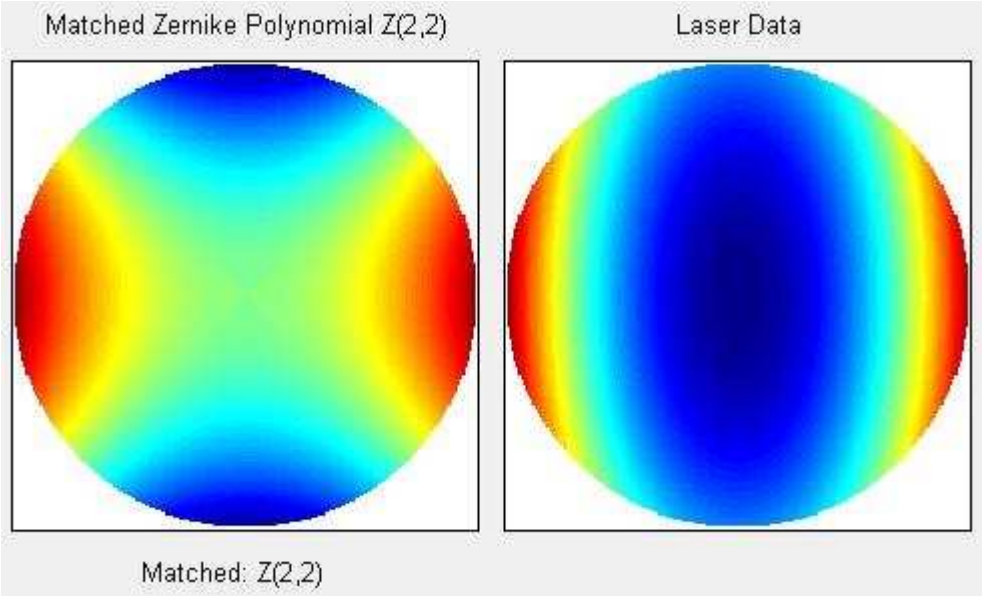
1. Göz Verisi: Program Şekil 4.9'da gösterilen göz bebeği yarıçapı 2.90 mm olan astigmat göz verisi için çalıştırıldığında Şekil 4.10'daki sonucu vermiştir. Eşdeğer Zernike polinomu olarak, n değeri 2, m değeri 2 olan Z_2^2 Zernike polinomu bulunmuştur. Referans göz modeli hesaplanmış ve arayüzde gösterilmiştir. Son olarak hata payı hesaplanmış ve arayüze hem 2B hem 3B olarak yerleştirilmiştir. Eşleşen Zernike polinomu ve hata payı verisi Şekil 4.11'de gösterilmiştir.



Şekil 4.9 1. göz verisi kornea topoğrafyası

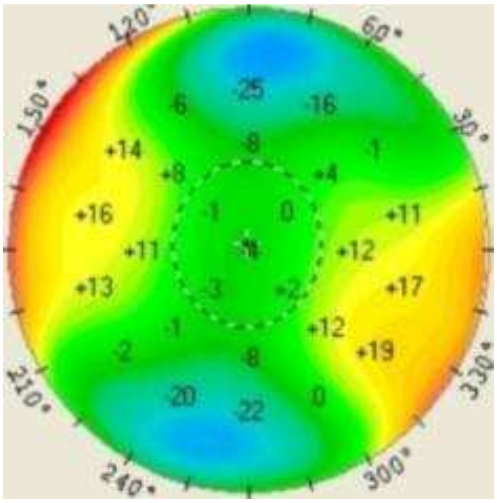


Şekil 4.10 1. göz verisi program çalışma görüntüsü

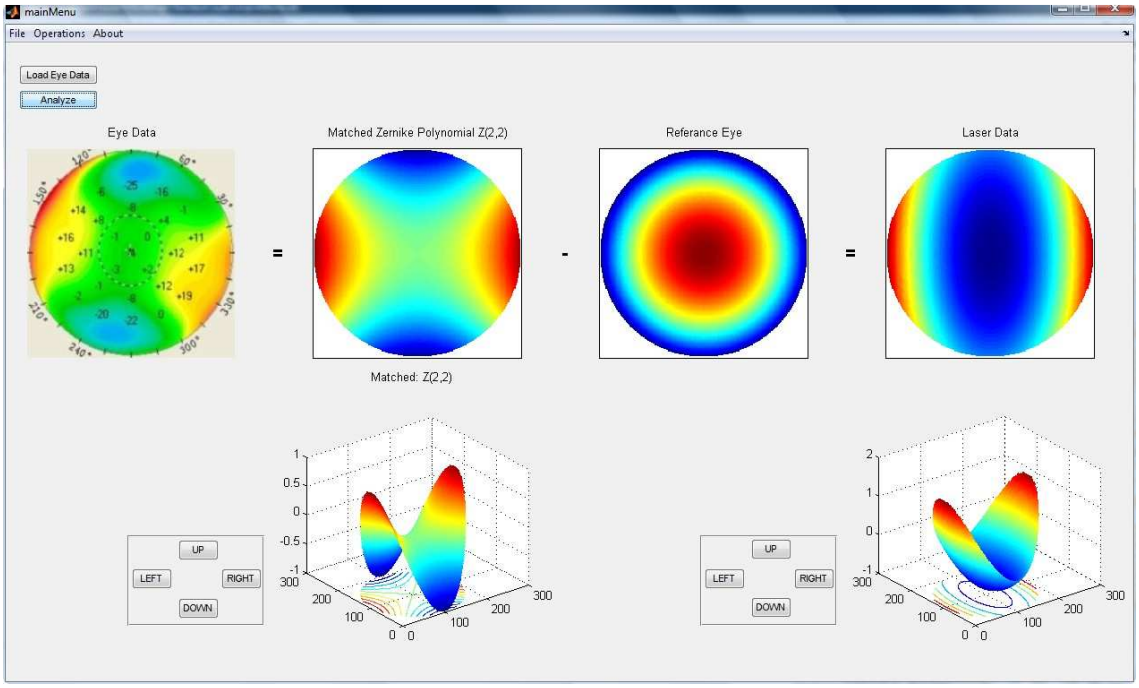


Şekil 4.11 1. göz verisi için eşleşen Zernike polinomu ve bulunan hata payı

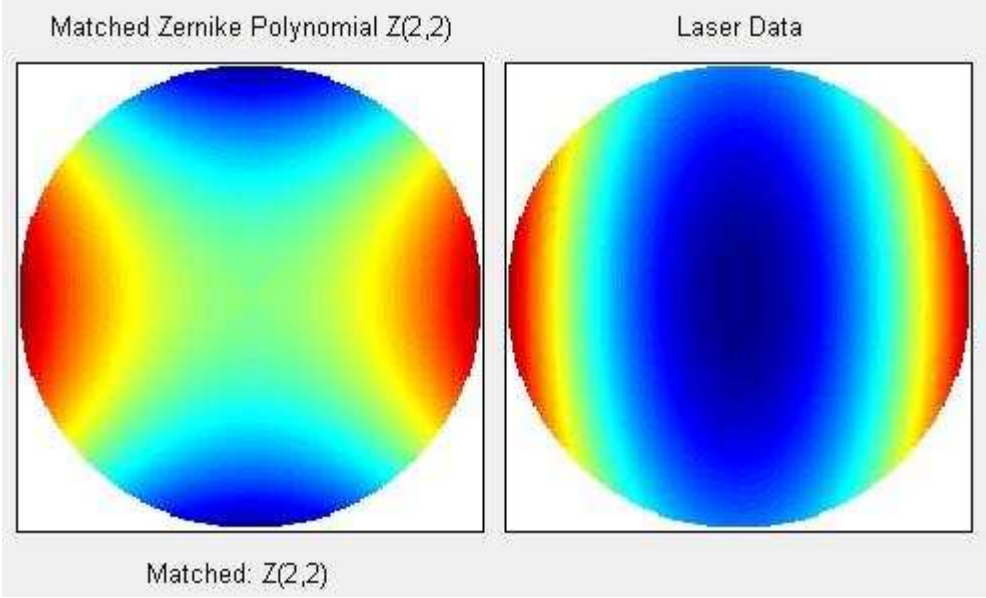
2. Göz Verisi: Program, Şekil 4.12'te gösterilen göz bebeği yarıçapı 2.92 mm olan astigmat göz verisi için çalıştırıldığında Şekil 4.13'deki sonuç elde edilmiştir. Göz bozukluğunun eşdeğer Zernike polinomu, astigmat göz bozukluğunu ifade eden Z_2^2 Zernike polinomu olarak bulunmuş ve hata payı verisi hesaplanmıştır (Şekil 4.14).



Şekil 4.12 2. göz verisi kornea topoğrafyası

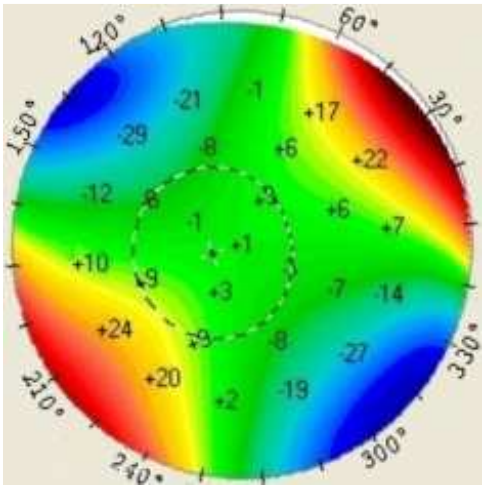


Şekil 4.13 2. göz verisi program çalışma görüntüsü

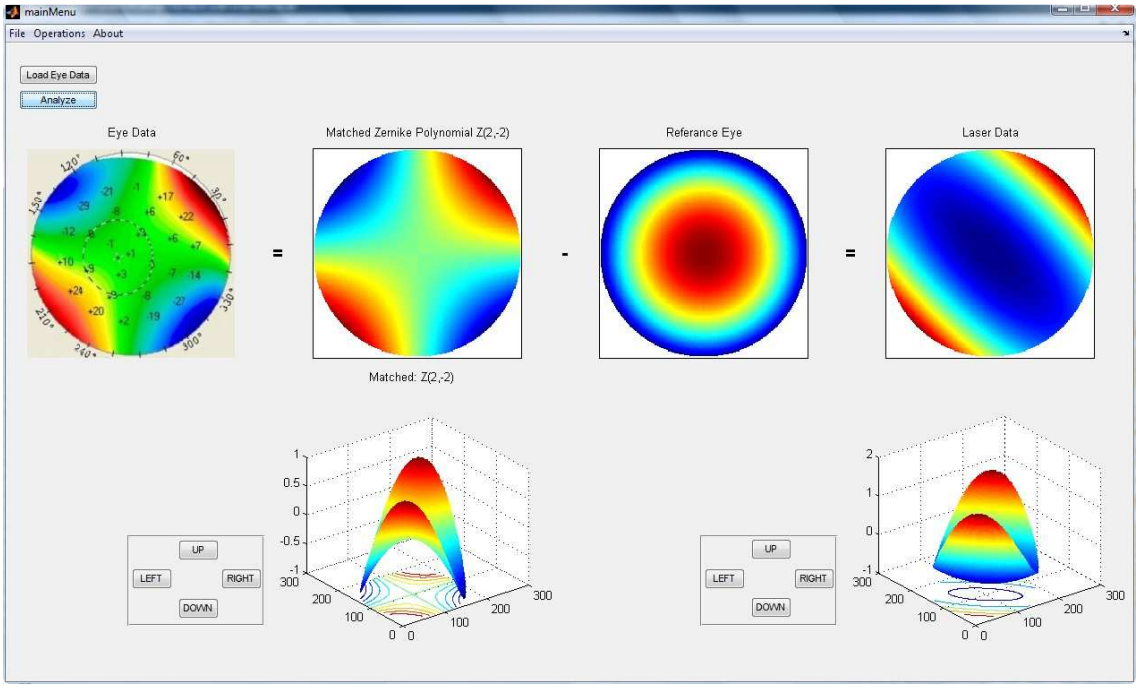


Şekil 4.14 2. göz verisi için eşleşen Zernike polinomu ve bulunan hata payı

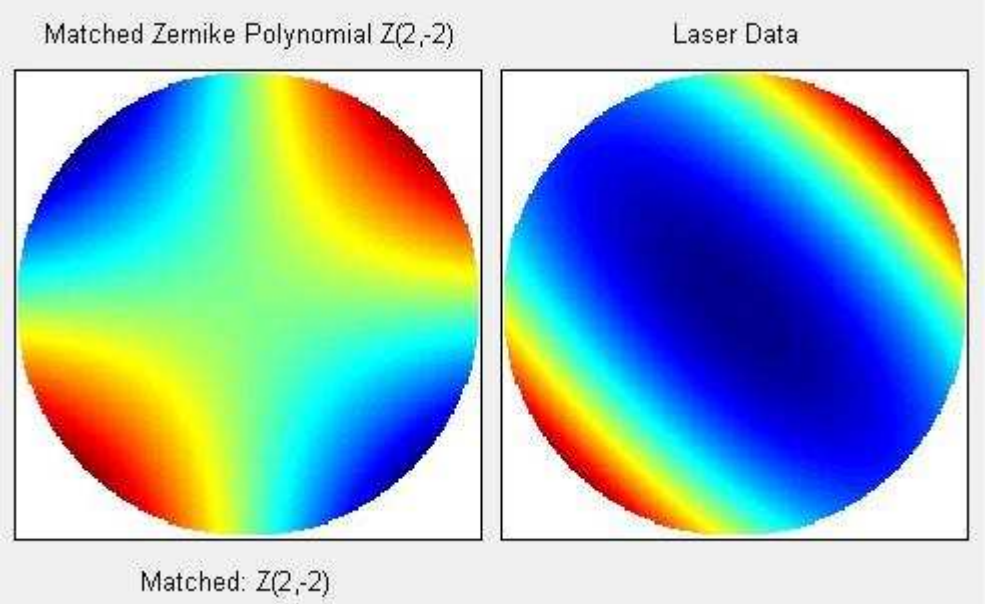
3. Göz Verisi: Program, Şekil 4.15'te gösterilen göz bebeği yarıçapı 3.21 mm olan astigmat göz verisi için çalıştırıldığında Şekil 4.16'deki sonuç elde edilmiştir. Göz bozukluğunun eşdeğer Zernike polinomu, astigmat göz bozukluğunu ifade eden Z_2^{-2} Zernike polinomu olarak bulunmuş ve hata payı verisi hesaplanmıştır (Şekil 4.17).



Şekil 4.15 3. göz verisi kornea topoğrafyası

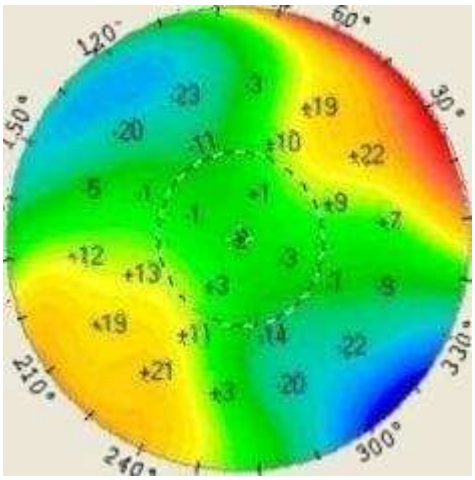


Şekil 4.16 3. göz verisi program çalışma görüntüsü

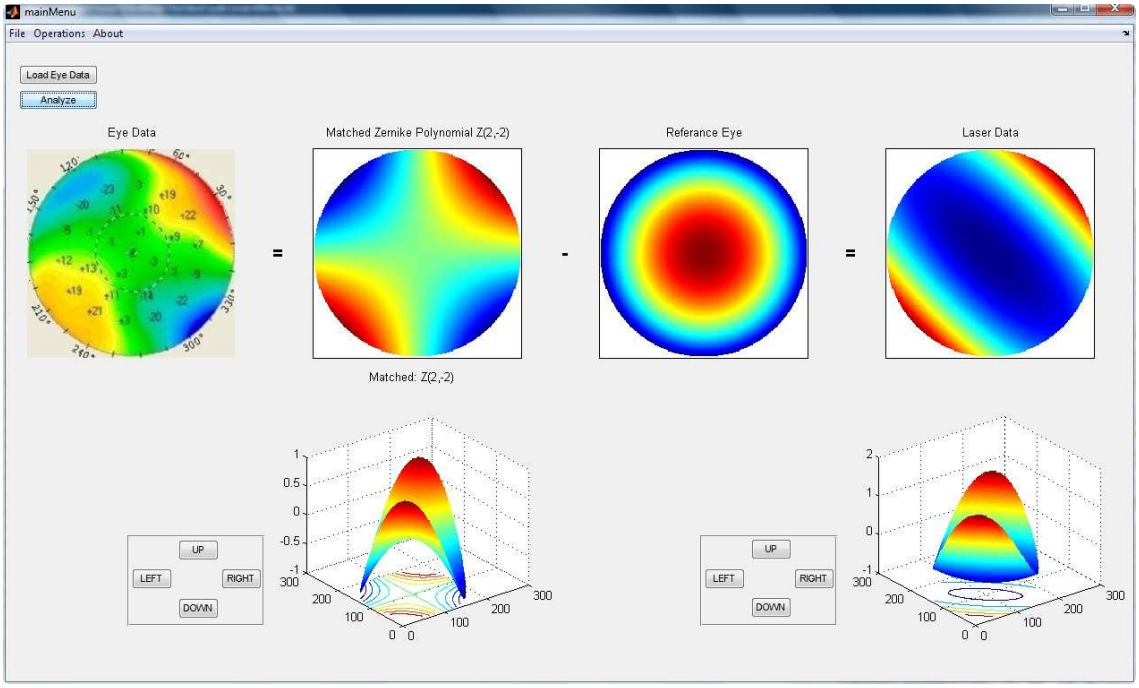


Şekil 4.17 3. göz verisi için eşleşen Zernike polinomu ve bulunan hata payı

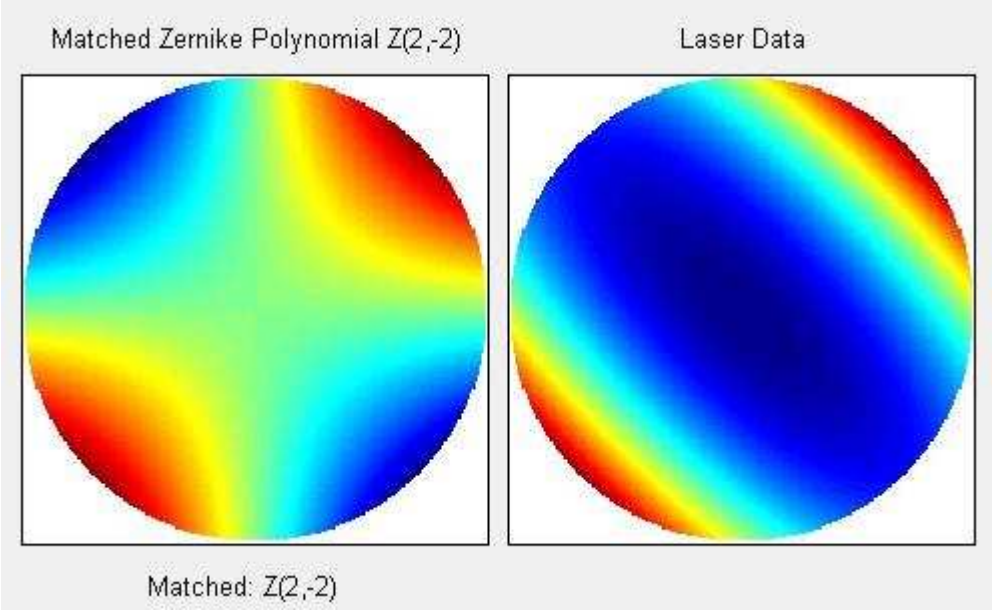
4. Göz Verisi: Program, Şekil 4.18'de gösterilen göz bebeği yarıçapı 3.28 mm olan astigmat göz verisi için çalıştırıldığında Şekil 4.19'daki sonuç elde edilmiştir. Göz bozukluğunun eşdeğer Zernike polinomu, astigmat göz bozukluğunu ifade eden Z_2^{-2} Zernike polinomu olarak bulunmuş ve hata payı verisi hesaplanmıştır (Şekil 4.20).



Şekil 4.18 4. göz verisi kornea topoğrafyası

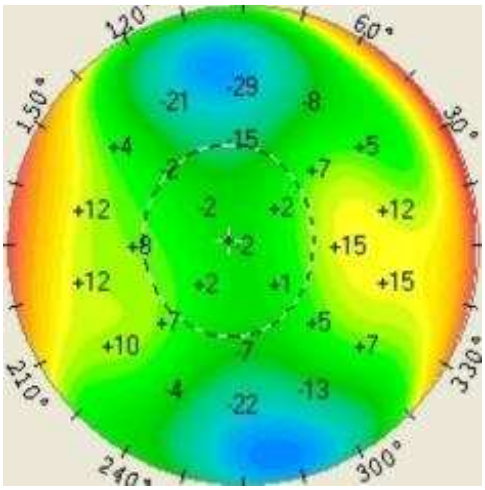


Şekil 4.19 4. göz verisi program çalışma görüntüsü

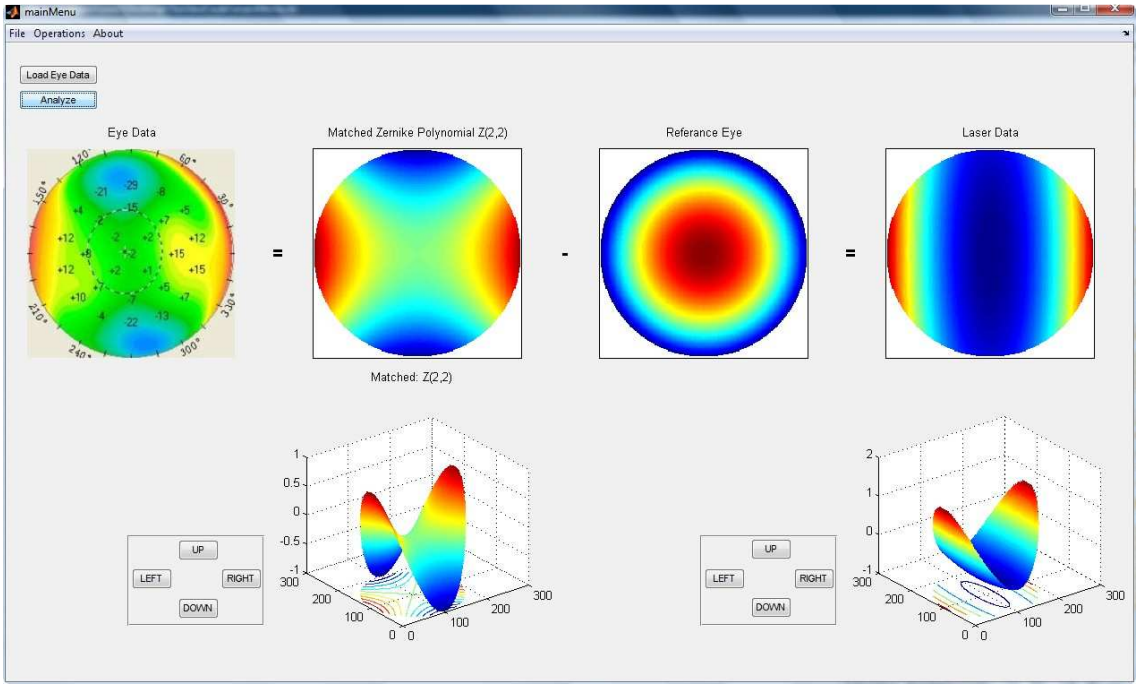


Şekil 4.20 4. göz verisi için eşleşen Zernike polinomu ve bulunan hata payı

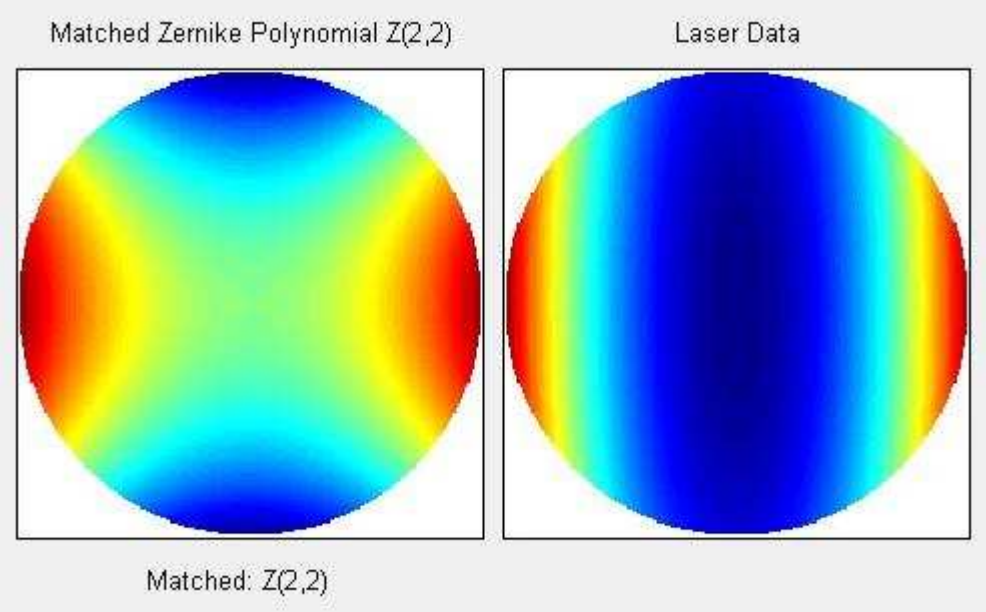
5. Göz Verisi: Program, Şekil 4.21'de gösterilen göz bebeği yarıçapı 3.43 mm olan astigmat göz verisi için çalıştırıldığında Şekil 4.22'deki sonuç elde edilmiştir. Göz bozukluğunun eşdeğer Zernike polinomu, astigmat göz bozukluğunu ifade eden Z_2^2 Zernike polinomu olarak bulunmuş ve hata payı verisi hesaplanmıştır (Şekil 4.23).



Şekil 4.21 5. göz verisi kornea topoğrafyası

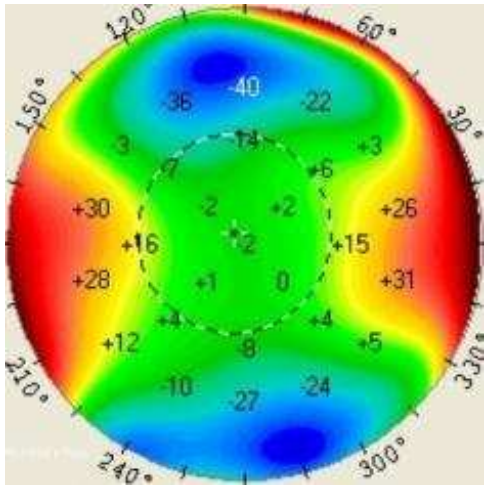


Şekil 4.22 5. göz verisi program çalışma görüntüsü

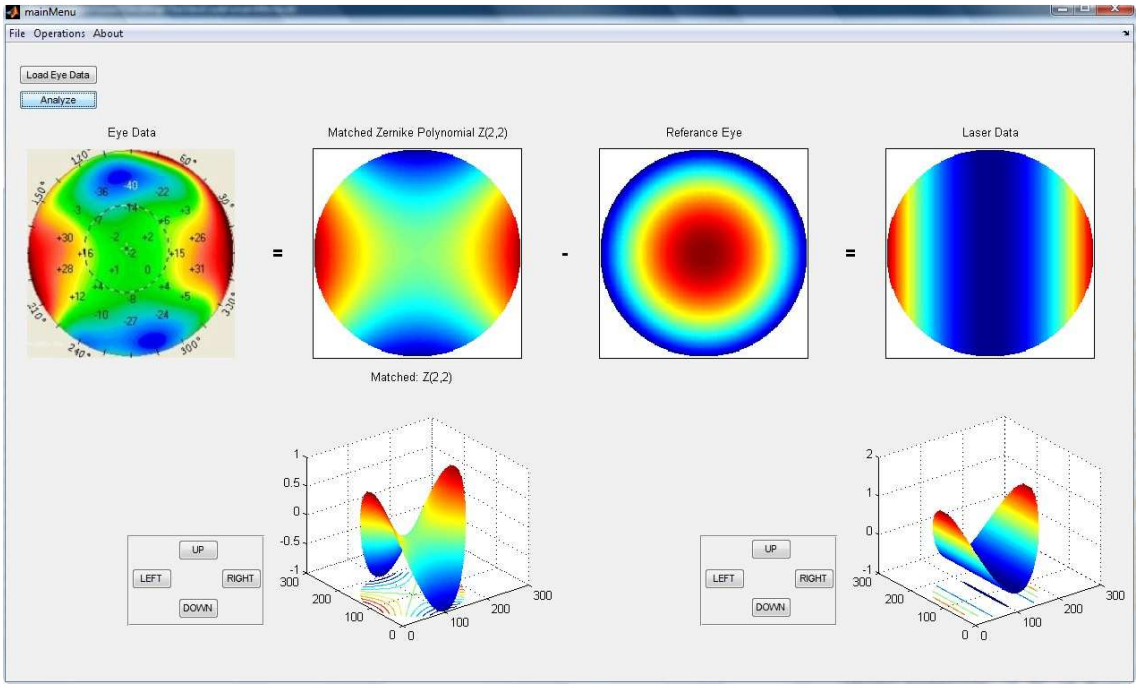


Şekil 4.23 5. göz verisi için eşleşen Zernike polinomu ve bulunan hata payı

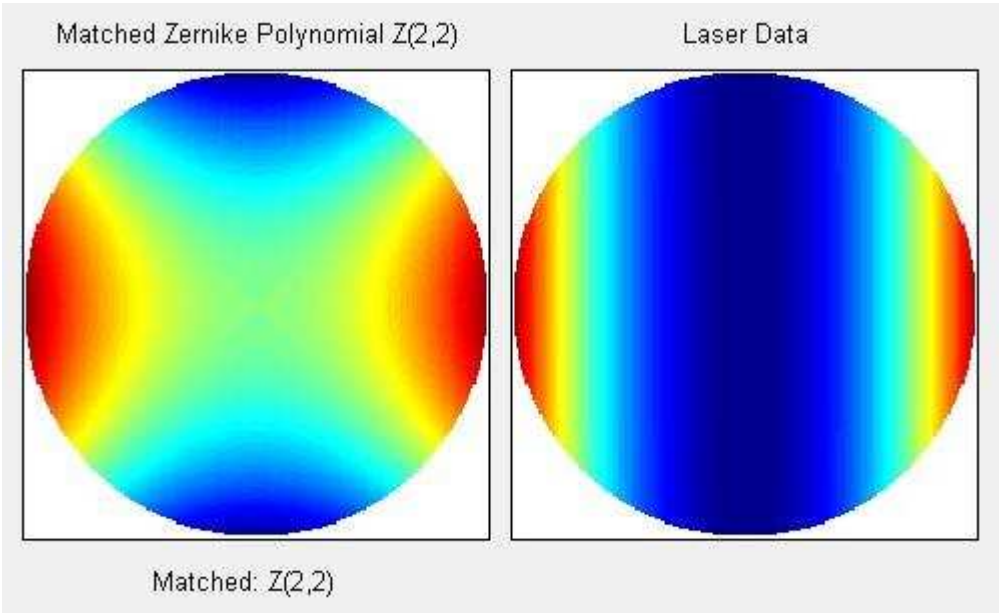
6. Göz Verisi: Program, Şekil 4.24'de gösterilen göz bebeği yarıçapı 2.92 mm olan astigmat göz verisi için çalıştırıldığında Şekil 4.25'deki sonuç elde edilmiştir. Göz bozukluğunun eşdeğer Zernike polinomu, astigmat göz bozukluğunu ifade eden Z_2^2 Zernike polinomu olarak bulunmuş ve hata payı verisi hesaplanmıştır (Şekil **4.26**).



Şekil 4.24 6. göz verisi kornea topoğrafyası



Şekil 4.25 6. göz verisi program çalışma görüntüsü



Şekil 4.26 6. göz verisi için eşleşen Zernike polinomu ve bulunan hata payı

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Genel olarak bu tezdeki amaç bilgisayar ortamında görme bozukluklarını ortadan kaldıracak ve bunu sanal ortamda 3B grafiklerle görselleştirecek bir yazılım geliştirmekti. Geliştirilecek bu yazılım için bir tasarım ortaya konmadan önce literatür araştırmaları ile benzer çalışmalar incelenmiştir. Bu incelemeler sonucunda, aşağıdaki avantajlarından dolayı Zernike polinomlarının kullanılmasına karar verilmiştir.

- Her bir bozuk kornea şekli için eşdeğer bir Zernike polinom terimi bulunmaktadır.
- Kornea yüzeyindeki etkiler detaylı bir şekilde gösterilebilir.
- Bozukluğu ve görme kaybını Zernike polinomlarıyla ifade etmesi kolaydır.
- Her bir Zernike polinomu istatiksel olarak analiz edilebilir.
- Zernike polinomlarının katsayılarını karşılaştırmak kolaydır.

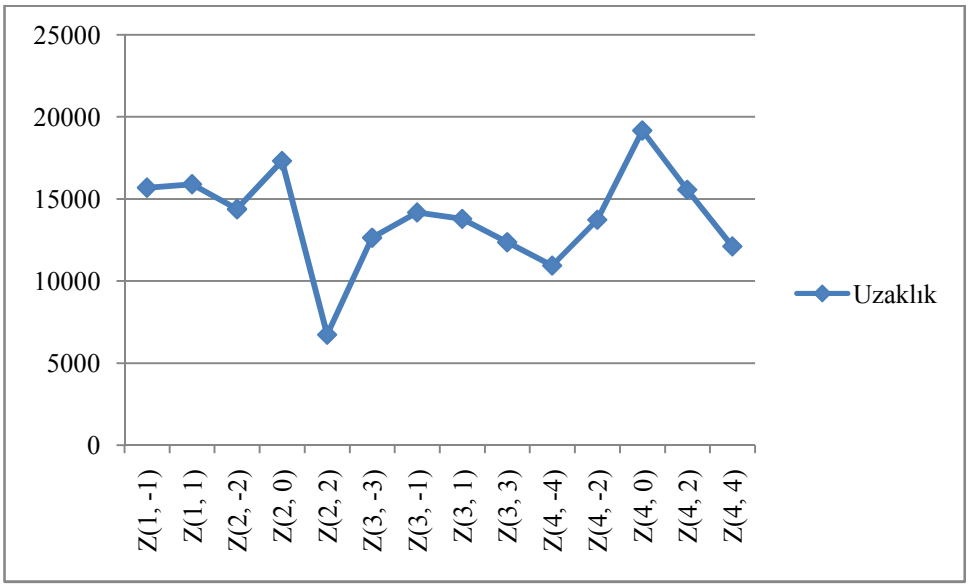
Yöntemi belirlenen tez çalışması için arayüz tasarlanmış, ilk olarak matematiksel modelleme için kullanılacak Zernike polinomlarını hesaplayan ve ekrana çizdiren parça arayüze eklenmiştir. Zernike polinomlarını hesaplayan kısmın diğer hesaplamalarda da kullanılabilmesi için hesaplanan değeri alıp grafik olarak ekrana çizdiren bir fonksiyon yazılıma ilave edilmiştir. Öncelikle 2B grafik çizimi gerçekleştirilen sisteme kullanıcının grafiği inceleme isteğini karşılama amaçlı 3B çizim ve döndürme butonları eklenmiştir.

Şekil bozukluğu olan korneanın düzeltilmesi işlemleri için yeni bir kısım oluşturulmuş, arayüze eklenmiştir. Bu kısım göz verisini, eşdeğer Zernike polinomunu, referans göz modelini ve hata payını gösterecek şekilde dörde bölünmüştür.

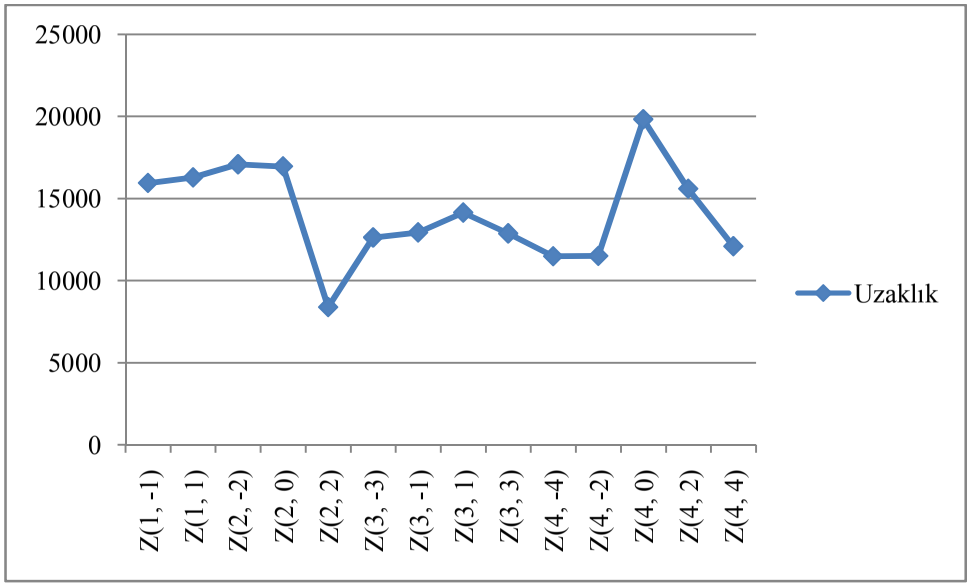
Kullanıcının yazılıma göz verisini yüklemesi ve yüklenen göz verisinin arayüz üzerinde gösterimi sağlanmıştır.

Yüklenen göz verisini tanımlamak amaçlı eşdeğer Zernike polinomu hesaplama işlemleri için iki fiziksel büyüklük arasındaki matematiksel uzaklığı hesaplayan EKK yöntemi kullanılmıştır. Tanımlanan bütün Zernike polinomlarına olan uzaklık

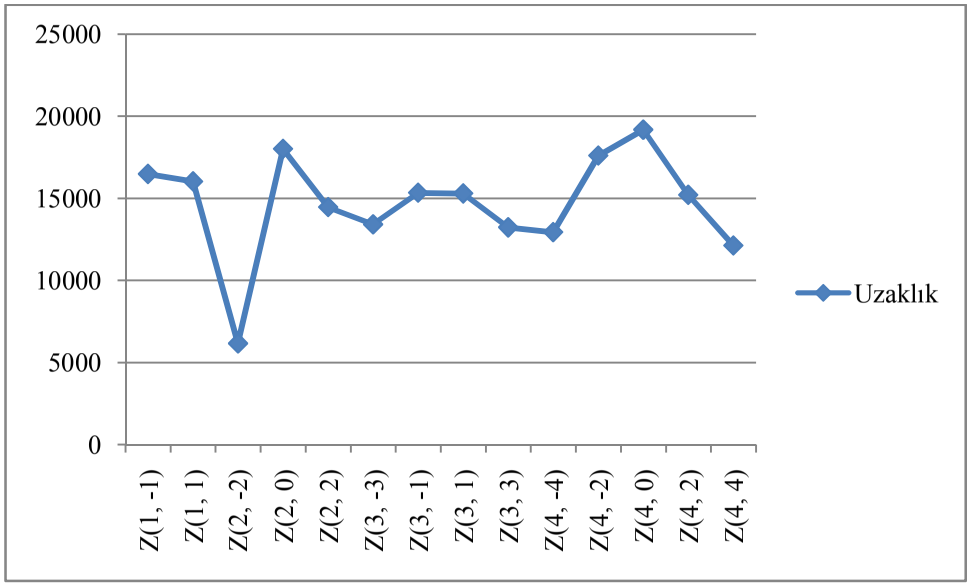
hesaplanmış ve uzaklığı en küçük olan polinom en yakın eşdeğer Zernike polinomu olarak belirlenmiştir. Sistem, elde edilebilen iki farklı türde astigmat göz bozukluğu olan veriler üzerinde denenmiş ve eşleşmelerin astigmat göz bozukluğuna eş değer Z_2^2 ve Z_2^{-2} Zernike polinomlarıyla olduğu gözlemlenmiştir. Gözbebeği yarıçapı 2.90 mm, 2.92 mm, 3.21 mm, 3.28 mm, 3.43 mm ve 3.72 mm olan göz verileri ile her bir Zernike polinomu arasında hesaplanan uzaklık değerleri sırasıyla Şekil 5.1 - Şekil 5.6'daki grafiklerde gösterilmiştir.



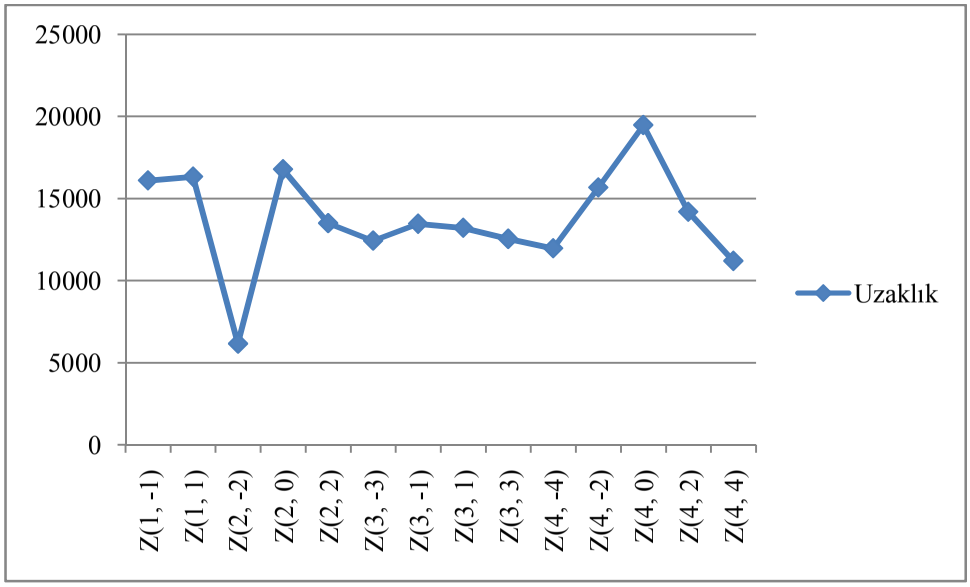
Şekil 5.1 1. göz verisi için uzaklık hesaplamaları



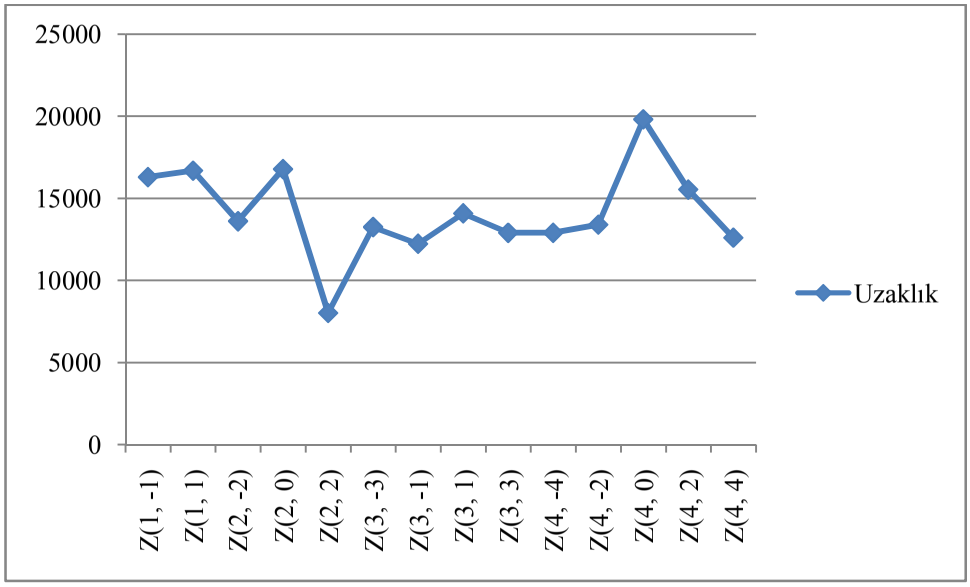
Şekil 5.2 2. göz verisi için uzaklık hesaplamaları



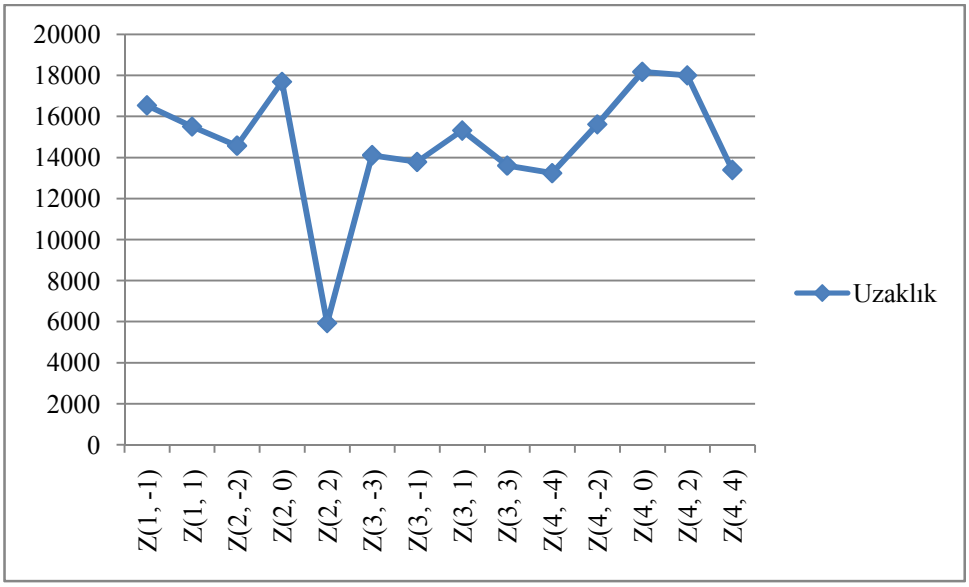
Şekil 5.3 3. göz verisi için uzaklık hesaplamaları



Şekil 5.4 4. göz verisi için uzaklık hesaplamaları



Şekil 5.5 5. göz verisi için uzaklık hesaplamaları

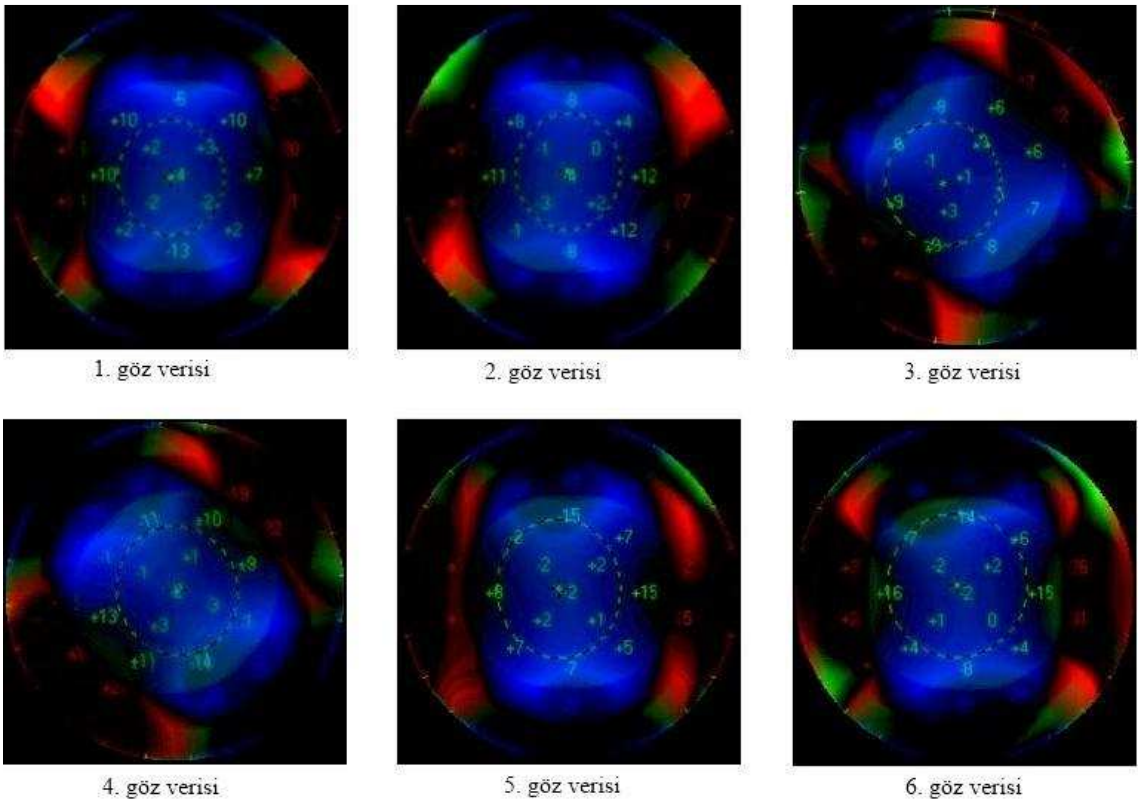


Şekil 5.6 6.göz verisi için uzaklık hesaplamaları

Kullanıcıdan göz bebeği yarıçapı değeri alınarak ideal kornea şekline yakın göz verisi (referans göz modeli) hesaplanmış ve bunun 2B ve 3B grafiksel gösterimleri arayüze eklenmiştir.

Düzeltme işleminde kullanılacak olan hata payı verisi, eşleşen Zernike polinomundan referans göz modeli polinomu çıkarılarak elde edilir. Oluşturulan sistemde bu veri hesaplanmıştır ve 2B ve 3B grafiksel gösterimi arayüzde kullanıcının incelemesine sunulmuştur. Arayüze eklenen düğmeler sayesinde 3B grafiklerin sağ, sol, yukarı ve aşağıya çevrilmesi sağlanarak detaylı inceleme sağlanmıştır.

Kornea topoğrafyası ile referans göz modeli topoğrafyası arasındaki fark yapılması gereken ideal düzeltmeyi temsil etmektedir. Bu ideal düzeltme topoğrafyası ile yukarıda bahsedilen hata payı verisi arasındaki fark da lazer işlemi sonucunda korneada kalacak şekil bozukluğunu gösterir. Şekil 5.7'de her bir test verisi için kalacak şekil bozuklukları gösterilmiştir.



Şekil 5.7 Göz verileri için bulunan kalan bozukluklar

Kullanıcının Dosya sekmesindeki Kaydet düğmesinden hesaplanan hata payını txt formatında bilgisayar ortamına kaydetmesi sağlanmıştır. Daha önceden kaydedilen verinin açılarak 2B ve 3B grafiksel gösterimi ile inceleme özelliği arayüze eklenmiştir.

Arayüze Hakkında kısmı eklenmiş, kullanıcının göz bozuklukları hakkında bilgi sahibi olması sağlanmıştır. İleri ve geri düğmeleriyle bilgi kısmı görselleştirilmeye çalışılmıştır.

Dosya kaydedilmesi, Zernike polinomları ve düzeltme kısımları için kısayollar atanmış kullanıcıya kullanım kolaylığı sağlanmıştır.

Bu tez çalışmasında elde edilen sonuçlar özetlenecek olursa:

- Sistem elde edilebilen sınırlı sayıda astigmat kusurlu göz verilerinde denenmiş ve sonuçlar incelenmiştir.

- Elde edilen hata payı ile yapılan düzeltme sonrası korneada kalacak bozukluklar şekilsel olarak topoğrafyalarla gösterilmiştir.

- Kullanımı kolay bir arayüz geliştirilmiş, kullanıcıya göz verisini detaylı inceleme imkânı sunulmuştur.

- İnsandan kaynaklı hata faktörünü azaltmak için kullanılabilecek, bilgisayar destekli, göz bozukluklarını tespit edebilen bir sistem geliştirilmiştir.

- Deneysel verilerin çok hassas olmasına karşın veri sayısının az olması kuvvetli sonuçlar elde etmeyi zorlaştırmıştır.

KAYNAKLAR

Alkhaldi, W., Iskander, D.R. and Zoubir, A. M. 2010. Model-Order Selection in Zernike Polynomial Expansion of Corneal Surfaces Using the Efficient Detection Criterion. IEEE Transactions On Biomedical Engineering, 57 (10).

Björck, A. 1996. Numerical Methods for Least Squares Problems. SIAM, 401 p.

Boyd, B. F., Agarwal, A., Alio, J., Krueger, R. and Wilson, S. E. 2003. Wavefront Analysis, Aberrometers & Corneal Topography. Highlights of Ophthalmology, 350 p.

Brown, R. G. and Gleason, A. M. 1997. Advanced Mathematics: Precalculus with Discrete Mathematics and Data Analysis. Evanston, Ill. : McDougal Littell, 886 p.

Bürki, E. 2011. New Possibilities of Corneal Diagnostics Using Videokeratometry. Web Sitesi: http://www.oculus.de/chi/downloads/dyn/prod_sonstige/kerato/indiceszernike_bbuerk.pdf, Erişim Tarihi: 12/12/2011.

Carvalho, L. A. 2005. Accuracy of Zernike polynomials in characterizing optical aberrations and the corneal surface of the eye. Investigative Ophthalmology & Visual Science, 46 (6), pp. 1915-1926.

Holladay, J. T. 2007. Quality of vision. Essential optics for the cataract and refractive surgeon. Slack, 143 p.

Anonim. 2012. Web Sitesi: http://www.isikgoz.com.tr, Erişim Tarihi: 01/09/2012.

Anonim. 2012. Web Sitesi: http://www.lasikinturkey.com, Erişim Tarihi: 01/09/2012.

Anonymous. 2012. Web Sitesi: http://www.costellolasik.com, Erişim Tarihi: 01/09/2012.

Kohnen, T. and Koch, D. D. 2005. Cataract and refractive surgery. Springer, pp. 177-186.

Koyuncu, B. and Kocabasoglu, P. 2009. Simulation of Corneal Aberrations by using Zernike Polynomials. 2nd WSEAS International Conference on VISUALIZATION, IMAGING and SIMULATION (VIS'09), pp. 174-178.

Koyuncu, B. and Kocabaşoğlu, P. 2012. Identification of Corneal Aberrations by using Computer Techniques. International Journal of Computer Engineering Science (IJCES), 2 (3).

MacRae, S., Krueger R. R. and Applegate R. A. 2001. Customized Corneal Ablation: The Quest for Supervision. Slack, pp. 9-63.

McAlinden, C., McCartney, M. and Moore, J. 2011. Mathematics of Zernike Polynomials: A Review. Clinical and Experimental Ophthalmology, 39 (8), pp. 820-827.

Oliveira, C. M., Ferreira, A. and Franco S. 2012. Wavefront analysis and Zernike polynomial decomposition for evaluation of corneal optical quality. Journal of Cataract and Refractive Surgery, 38 (2), pp. 343-356.

Soumelidis, A., Fazekas, Z., Pap, M. and Schipp F. 2010. Discrete Orthogonality of Zernike Functions and Its Application to Corneal Measurements. Electronic Engineering and Computing Technology Lecture Notes in Electrical Engineering, pp. 455-469.

Soumelidis, A., Fazekas, Z., Pap, M. and Schipp, F. 2011. Generic Zernike-based surface representation of measured corneal surface data. IEEE International Symposium on Medical Measurements and Applications, pp. 148-153.

Thibos, L. N., Applegate, R. A., Schwiegerling J. T., Webb, R. and VSIA Standards Taskforce Members 2002. Standards for Reporting the Optical Aberrations of Eyes. Journal of Refractive Surgery, 18, pp. 652-660.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı: Pınar KOCABAŞOĞLU

Doğum Yeri: Bolu

Doğum Tarihi: 01/01/1985

Medeni Hali: Bekâr

Yabancı Dili: İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Bolu İzzet Baysal Anadolu Lisesi (2003)

Lisans : Ankara Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği (2008)

Yüksek Lisans : Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı (Eylül 2008 - Kasım 2012)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl

Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi
Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Araştırma Görevlisi 2009-(devam etmekte)

Yayınları

Koyuncu, B. and **Kocabaşoğlu, P.** 2012. Identification of Corneal Aberrations by using Computer Techniques. International Journal of Computer Engineering Science (IJCES), 2 (3).

Koyuncu, B. and **Kocabasoglu, P.** 2009. Simulation of Corneal Aberrations by using Zernike Polynomials. 2nd WSEAS International Conference on VISUALIZATION, IMAGING and SIMULATION (VIS'09), pp. 174-178.

Koyuncu,B., **Kocabaşoğlu, P.** 2008. Virtual Campus. Multimedia systems and Signal Processing proceedings of 8th WSEAS, pp. 280 – 284. Koyuncu,B., Kocabaşoğlu, P. 2008. Virtual Campus. International Journal of Computers, 1 (4), pp. 280-284.