



**T.C.  
TURGUT ÖZAL ÜNİVERSİTESİ  
TIP FAKÜLTESİ  
GÖZ HASTALIKLARI ANABİLİM DALI**

**KERATOKONUSTA GÖRME KALİTESİNİN TOPOGRAFİK,  
ABEROMETRİK VE REFRAKTİF ÖZELLİKLERE GÖRE  
DEĞİŞİMİ**

**TIPTA UZMANLIK TEZİ  
Dr. NESLİHAN BAYRAKTAR BİLEN**

**ANKARA-2013**



**T.C.  
TURGUT ÖZAL ÜNİVERSİTESİ  
TIP FAKÜLTESİ  
GÖZ HASTALIKLARI ANABİLİM DALI**

**KERATOKONUSTA GÖRME KALİTESİNİN TOPOGRAFİK,  
ABEROMETRİK VE REFRAKTİF ÖZELLİKLERE GÖRE  
DEĞİŞİMİ**

**TIPTA UZMANLIK TEZİ  
Dr. NESLİHAN BAYRAKTAR BİLEN**

**TEZ DANIŞMANI  
Prof. Dr. YÜKSEL TOTAN**

**ANKARA-2013**

## TEŐEKKÖR

Uzmanlık eğitimim boyunca bilgi ve tecrübelerini her zaman örnek aldığım, teorik ve pratik deneyimlerini her zaman benimle paylaşan ve her açıdan kendimi geliőtirmemde büyük katkıları olan, ayrıca tezimin konu seçiminden itibaren sonuçlanmasına kadar her aşamasında büyük desteğini gördüğüm tez danışmanım değerli hocam Sayın Prof. Dr. İbrahim Feyzi Hepşen ile değerli hocam Sayın Prof. Dr. Yüksel Totan'a sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım. Kendileriyle çalışmaktan daima büyük zevk aldığım asistan arkadaşlarıma ve klinik personelimize de ayrı ayrı teşekkür ederim.

Üzerimde sonsuz emekleri bulunan ve her zaman yanımda bulunan kıymetli anneme ve babama, ayrıca desteği ile her zaman yanımda olan sevgili eşime ve minik kızıma sonsuz sevgilerimi sunarım.

Eylül, 2013

DR. NESLİHAN BAYRAKTAR BİLEN

## İÇİNDEKİLER

Özet .....	iv
İngilizce Özet (Abstract) .....	vi
Kısaltmalar .....	viii
Tablo Listesi .....	ix
Şekil Listesi .....	x
1. GİRİŞ VE AMAÇ .....	1
2. GENEL BİLGİLER .....	3
2.1. Kornea .....	3
2.1.1. Kornea anatomisi: .....	3
2.1.2. Kornea fizyolojisi .....	4
2.2. Keratokonus .....	5
2.2.1. Keratokonus tanımı .....	5
2.2.2. Keratokonus epidemiyolojisi .....	6
2.2.3. Keratokonusun klinik özellikleri .....	6
2.2.4. Keratokonus bulguları .....	7
2.2.5. Keratokonus sınıflaması .....	8
2.2.6. Histopatoloji .....	11
2.2.7. Etyo-patogenez .....	12
2.2.8. Tedavi .....	14
2.3. Wavefront (Dalga önyüzü) .....	17
2.3.1. Wavefront analizi .....	17
2.3.2. Kornea Wavefront Aberasyon Ölçümü .....	18
2.3.3. Zernike Polinomları, Optik Kalite Tanımlaması .....	19
2.3.4. Normal kornea aberometrisi .....	21
2.3.5. Oküler aberasyonlar .....	22
2.3.6. Keratokonusta wavefront aberometri bulguları .....	24
2.4. Kontrast Duyarlılık .....	25
2.4.1. Kontrast ve kontrast duyarlılığı .....	25
2.4.2. Kontrast duyarlılığı etkileyen durumlar .....	27
2.4.3. Kontrast duyarlılığı ölçen yöntemler .....	27

<b>2.4.4. Kontrast duyarlılık ölçümünde kullanılan klinik yöntemler .....</b>	<b>28</b>
<b>2.4.5. Keratokonusta kontrast duyarlılık .....</b>	<b>29</b>
<b>3. GEREÇ VE YÖNTEM.....</b>	<b>30</b>
<b>4. BULGULAR .....</b>	<b>36</b>
<b>5. TARTIŞMA .....</b>	<b>53</b>
<b>6. SONUÇLAR .....</b>	<b>65</b>
<b>7. KAYNAKLAR.....</b>	<b>67</b>

## Özet

**Amaç:** Keratokonus tanısı konmuş hastalarda görme kalitesinin refraktif, topografik ve aberometrik özelliklere göre değişimini incelemektir.

**Gereç ve Yöntem:** Çalışma prospektif olarak yapıldı. Turgut Özal Üniversitesi Tıp Fakültesi Göz Hastalıkları Anabilim Dalı kliniğinde keratokonus tanısı konan, başka oküler patolojisi olmayan 123 göz çalışma kapsamına alındı. Hastaların objektif sferik ve silindirik refraksiyon değerleri ile en iyi görme keskinliğini veren subjektif sferik ve silindirik değerleri kaydedildi. Hastaların görme kalitesi en iyi uzak görme keskinliği, en iyi yakın görme keskinliği, harf kontrast duyarlılığı (KD) ve RGP görme keskinliği bakılarak tayin edildi. Galilei Topografi haritaları üzerinden geleneksel keratokonus indeksleri yanında Thickness Progression Index (TPI), Kranemann-Arce indeksi, astigmat ve koma aks farkı, pakimetri desantralizasyon miktarı (PDM) ve  $\epsilon^2$  gibi yeni topografik indeksler ve kornea wavefront değerleri elde edildi. Görme kalitesi göstergeleri ile refraktif, topografik, pakimetrik ve wavefront parametreleri arasındaki ilişkiye bakıldı.

**Bulgular:** En iyi düzeltilmiş uzak görme keskinliği ortalaması  $0,7\pm 0,25$ , en iyi düzeltilmiş yakın görme keskinliği ortalaması  $0,4\pm 0,22$ , RGP ile uzak görme keskinliği ortalaması  $0,9\pm 0,15$  ve harf KD değerleri ortalaması  $9,8\pm 3,09$  idi. Refraksiyon değerleri ile görme kalitesi göstergelerinden özellikle objektif silindirik refraksiyon değeri ile KD ve yakın görme arasında en güçlü pozitif bir ilişki dikkati çekmekte idi (sırasıyla  $r=0,602$ ,  $r=0,550$ ).

Görme kalitesi göstergeleri ile topografik ölçümler arasındaki en kuvvetli ilişkiler sırasıyla SRI ile KD ( $r=-0,791$ ), SRI ile yakın görme keskinliği ( $r=-0,770$ ), IAI ile KD ( $r=-0,761$ ), IAI ile yakın görme keskinliği ( $r=-0,750$ ), K-A anterior ile KD ( $r=-0,717$ ), anterior BFS ile KD ( $r=-0,698$ ), KPI ile KD ( $r=-0,685$ ) ve  $\epsilon^2$  posterior ile KD ( $r=-0,684$ ) arasında idi. PDM miktarı ile hiçbir görme kalitesi göstergesi arasında anlamlı ilişki görülmedi. Topografik olarak keratokonusun santralize ve desantralize olmasıyla görme kalitesi göstergeleri arasında fark yoktu.

Root mean square (RMS) değerleri ortalaması  $3,9\pm 1,92$   $\mu\text{m}$ , vertikal koma değerleri ortalaması  $-1,9\pm 1,36$   $\mu\text{m}$ , sferik aberasyon (SA) değerleri ortalaması  $-0,3\pm 0,61$   $\mu\text{m}$ ,

horizontal koma değerleri ortalaması  $0,1\pm 0,76$   $\mu\text{m}$  idi. Görme kalitesi göstergeleri ile aberometrik ölçümler arasında özellikle RMS ile KD ( $r=-0,684$ ) ve vertikal koma ile KD ( $r=0,671$ ) arasında kuvvetli ilişki mevcuttu. Horizontal koma ile hiçbir görme parametresi arasında anlamlı ilişki görülmedi. Koma aksı ile astigmat aksı arasındaki fark ile görme kalitesi göstergeleri arasında anlamlı ilişki yoktu.

**Sonuç:** Bu alıŐmada KD refraktif, topografik ve aberometrik değişikliklerden en çok etkilenen görme kalitesi göstergesiydi. Görme kalitesi, bilinen topografik keratokonus indekslerinden en çok SRI ve IAI ile iliŐkiliydi. Kullanılan yeni indekslerden K-A anterior ve  $\epsilon^2$  posteriorun keratokonik gözlerde grme kalitesi tahmininde kullanılabileceği gsterildi.

**Anahtar Kelimeler:** keratokonus, topografik indeksler, kontrast duyarlılık, grme keskinliği, korneal aberasyonu.

## İngilizce Özet (Abstract)

**Purpose:** To evaluate the correlation between refractive, topographic and aberrometric measurements and visual function in eyes with keratoconus (KC).

**Material and method:** This study was performed in a prospective manner. 123 eyes without any other ocular pathology which were diagnosed with keratoconus in Ophthalmology Department of Turgut Özal University's Faculty of Medicine have been included in the study. Objective refraction and subjective refraction (sphere and cylinder) which gives best corrected distance visual acuity were recorded. Visual acuity was evaluated with contrast sensitivity (CS), corrected distance and near visual acuities (CDVA, CNVA) and RGP visual acuity. Conventional and new topographic indices such as Thickness Progression Index (TPI), Kranemann-Arce Index, axis difference between astigmatism and coma, the amount of pachymetric decentralization,  $\epsilon^2$  and corneal aberrations were recorded from Galilei topography maps. Correlations between refractive, topographic, pachymetric and wavefront measurements and visual functions were evaluated .

**Results:** The corrected distance visual acuity was  $0,7\pm 0,25$ , corrected near visual acuity was  $0,4\pm 0,22$ , distance visual acuity with RGP was  $0,9\pm 0,15$ , letter contrast sensitivity was  $9,8\pm 3,09$ . The most significant correlations between refractive and visual quality parameters were between objective cylindrical refraction and CS ( $r=0,602$ ) and CNVA ( $r=0,550$ ) respectively.

The most significant correlations between visual quality parameters and topographic measurements were between SRI and CS ( $r=-0,791$ ), SRI and CNVA ( $r=-0,770$ ), IAI and CS ( $r=-0,761$ ), IAI and CNVA ( $r=-0,750$ ), K-A anterior and CS ( $r=-0,717$ ) ve anterior BFS and CS ( $r=-0,698$ ), KPI ile CS ( $r=-0,685$ ),  $\epsilon^2$  posterior and CS ( $r=-0,684$ ) respectively. There was not any significant correlation between visual quality parameters and the amount of pachymetric decentralization. There was not any difference in visual quality parameters between central and decentral topographic keratoconus types.



The root mean square (RMS) was  $3,9\pm 1,92 \mu\text{m}$ , vertical coma was  $-1,9\pm 1,36 \mu\text{m}$ , spheric aberration (SA) was  $-0,3\pm 0,61 \mu\text{m}$ , horizontal coma was  $0,1\pm 0,76 \mu\text{m}$ .

The most significant correlations between visual quality parameters and aberrometric measurements were between RMS and CS ( $r=-0,684$ ), vertical coma and CS ( $r=0,671$ ) respectively. There was not any significant correlation between visual quality parameters and horizontal coma. There was not any significant correlation between visual quality parameters and axis difference between astigmatism and coma.

**Result:** In this study, CS was the most affected visual function from refractive, topographic and aberrometric changes. Visual quality was mostly correlated with SRI and IAI as conventional topographic indices. New indices such as Kranemann-Arce Index and  $\epsilon^2$  posterior can be useful in predicting visual quality in keratoconic eyes.

**Keywords:** keratoconus, topographic indices, contrast sensitivity, visual acuity, corneal aberration.

## **Kısaltmalar**

- BFS : Best fit sphere  
BFTA : Best fit toric aspheric  
CXL : Korneal cross-linking  
D : Diyoptri  
DSA : Düşük sıralı aberasyonlar  
GİL : Göz içi lens  
GK : Görme keskinliği  
ICRS : İntrastromal kornea halkaları  
KC : Keratokonus  
KD : Kontrast duyarlılık  
KL : Kontakt lens  
OCT : Optik koherans tomografi  
PDM : Pakimetri desantralizasyon miktarı  
PRK : Fotorefraktif keratektomi  
RGP : Gaz geçirgen kontakt lens  
RMS : Root mean square  
SA : Sferik Aberasyon  
TPI : Thickness progression index  
YSA : Yüksek sıralı aberasyonlar

## Tablo Listesi

Tablo 1. Hastalık Evresine Göre Keratokonus Sınıflaması .....	9
Tablo 2. Keratokonus Tanısında İndekse Dayalı Sistem .....	10
Tablo 3. Topografik sistemler ve çalışma prensipleri .....	18
Tablo 4. Olguların Demografik Özellikleri .....	36
Tablo 5. Görme Kalitesi Göstergelerine Ait Tanımlayıcı İstatistikler .....	37
Tablo 6. Reaktif Özelliklere Ait Tanımlayıcı İstatistikler .....	37
Tablo 7. Görme Kalitesi Göstergeleri ile Refraktif Özellikler Arasındaki Korelasyon Katsayıları ve Önemlilik Düzeyleri.....	38
Tablo 8. Topografik Ölçümlere Ait Tanımlayıcı İstatistikler .....	39
Tablo 9. Görme Kalitesi Göstergeleri ile Topografik Ölçümler Arasındaki Korelasyon Katsayıları ve Önemlilik Düzeyleri .....	48
Tablo 10. Kon Santral ve Desantral Olan Gözlere Göre Görme Kalitesi Göstergeleri ..	49
Tablo 11. Aberometrik Ölçümlere Ait Tanımlayıcı İstatistikler.....	49
Tablo 12. Görme Kalitesi Göstergeleri ile Aberometrik Ölçümler Arasındaki Korelasyon Katsayıları ve Önemlilik Düzeyleri.....	52
Tablo 13. Koma Astigmat Aks Farkına Göre Görme Kalitesi Göstergeleri .....	52

## Şekil Listesi

Şekil 1. Keratokonusta histolojik görüntü .....	11
Şekil 2. Zernike polinomları .....	21
Şekil 3. Zernike piramidi .....	23
Şekil 4. Kontrast duyarlılık çizgileri .....	26
Şekil 5. Uzak görme keskinliği ile K1 arasındaki ilişki .....	40
Şekil 6. Harf kontrast duyarlılığı ile posterir Ksteep arasındaki ilişki .....	41
Şekil 7. Yakın görme keskinliği ile $\epsilon^2$ Posterior arasındaki ilişki.....	42
Şekil 8. Harf kontrast duyarlılığı ile K-A Anterior indeksi arasındaki ilişki.....	43
Şekil 9. Yakın görme keskinliği ile anterior BFS arasındaki ilişki .....	44
Şekil 10. Harf kontrast duyarlılığı ile pakimetri arasındaki ilişki .....	45
Şekil 11. Harf kontrast duyarlılığı ile IAI indeksi arasındaki ilişki .....	46
Şekil 12. Harf KD ile DSI indeksi arasındaki ilişki .....	46
Şekil 13. Harf kontrast duyarlılığı ile KPI indeksi arasındaki ilişki .....	47
Şekil 14. Harf kontrast duyarlılığı ile RMS arasındaki ilişki .....	50
Şekil 15. Harf kontrast duyarlılığı ile vertikal koma arasındaki ilişki .....	51
Şekil 16. Yakın görme keskinliği ile sferik aberasyon arasındaki ilişki .....	51

## 1. GİRİŞ VE AMAÇ

Keratokonus, inflamatuvar olmayan bir kornea bir dejenerasyondur. Merkezi korneada konik biçimde öne doğru bombeleşme ve incelme ile karakterizedir. İlk ve en belirgin klinik bulgusu düzensiz astigmatizmadır. Düzensiz astigmatizma hem görüntünün niceliğinde hem de niteliğinde bozulmaya ve görüntünün distorsiyonuna yol açar. Düzensiz astigmatizma en erken topografi ile belirlenebilir.

Kornea topografisi keratokonusun hem klinik öncesi erken tanısında hem de progresyon takibinde çok değerlidir. Son yıllarda kornea topografisindeki gelişmelerle birlikte sayısal kornea indeksleri elde edilmiştir. Bu indeksler keratokonus ve subklinik keratokonus tanısı konusunda yardımcıdır. Günümüzde mevcut topografi sistemleri, keratokonus tarama algoritmaları oluşturmak amacı ile bu indekslerle otomatize edilmiştir. Galilei, hem scheimpflug kamera sistemini hem de placido disk görüntüleme yöntemini kullanarak her iki sistemin de avantajından yararlanan yeni bir topografi sistemidir. Keratokonus gibi ektazik kornea bozukluklarını daha hassas tespit edebilme özelliğine sahiptir.

Optik aberasyonlar gözdeki görüntü kalitesini düşüren ana faktörlerdendir. Kornea gözün kırma gücünü oluşturan ana yapı olduğundan dolayı gözün wavefront aberasyonuna önemli oranda katkıda bulunur. Keratokonusta kornea aberasyonlarında belirgin artış vardır.

Keratokonus hastalarında, hastalar ve doktorlar görme bozukluğunun ciddiyeti ile yakından ilgilidir, görme keskinliği ilerleyici olarak azalmaktadır. Klinik olarak benzer iki hastada görme kalitesi farklı olabilmektedir. Daha önce görmeyi etkileyen faktörler ve bunların etki düzeyleri kapsamlı olarak çalışılmamıştır. Bu çalışmanın amacı sferik ve silindirik kırma gücünün, yeni ve geleneksel topografik indekslerin, kornea aberasyonlarının keratokonik gözlerdeki kontrast sensitivite, en iyi uzak ve yakın görme gibi görsel fonksiyonlara etkisini incelemektir. Bilindiği gibi keratokonusta gözlük ve RGP gibi bilinen görsel düzeltim metodlarına son zamanlarda yeni metodlar eklenmiştir. Çalışmamızın sonuçlarının keratokonus gözlerde, ideal görsel

rehabilitasyonda, hangi görme düzeltim metodunun seçileceği konusunda doktorlara yardımcı ipuçları sağlayabilmesini umut ediyoruz.

## **2. GENEL BİLGİLER**

### **2.1. Kornea**

#### **2.1.1. Kornea anatomisi:**

Kornea göz küresinin ön kısmında yer alan ve göz küresinin ön 1/6'sını oluşturan saydam, avasküler ve optik özellikli bir dokudur. Kornea sklera ile birlikte gözün dış kılıfını oluşturur. Kornea, korneo-skleral limbus denilen geniş zonu ile sklerayla birleşir. Eğrilik yarıçapı skleradan küçük olduğu için saat camı gibi konveks çıkıntı yapar. Fibröz kollajen, kornea ve skleraya mekanik güç sağlayarak gözün bütünlüğünün korunmasını ve gözün iç yapılarının devamlılığını sağlar (1, 2). Ortalama kornea çapı 11,5 mm (dikey) ve 12 mm (yatay) dir (3). Kornea aşağıdaki tabakalardan oluşur:

#### **Epitel**

Kornea epiteli çok katlı skuamoz hücrelerden (40-50 µm) oluşur. Tek sıra bazal küboidal hücreler, 2-3 sıra kanat hücreler ve en yüzeyde 2-3 sıra skuamoz yüzey hücreleri bulunur (3). Bazal hücreler bazal membrana hemidesmozomlarla yapışmıştır. Bu bağ sistemindeki bozukluklar klinikte tekrarlayan erozyon sendromu veya iyileşmeyen inatçı epitel ülserlerine sebep olur (4). Bazal membran, bazal hücreler tarafından salgılanan ekstraselüler bir matriksten oluşur. Tip IV kollajen ve laminin bazal membranın majör bileşenleridir (4). En üstteki hücreler mikrovillus ve mikropolikatalara sahiptir. Bu, musin ve gözyaşı tabakasının tutunmasını sağlayarak yüzey alanını genişletir. Yüzey hücreler yedi ile on dört günde farklılaşarak gözyaşı film tabakasına dökülürler (3). Lateral olarak bitişik olan yüzey hücreler sıkı bağ kompleksleri ile birleşirler, bunlar gözyaşının hücreler arası alana geçişini engellerler (4). Yüzey hücrelerinde daha az organel bulunur (4).

#### **Bowman tabakası**

Stroma, ön bölümünde kısa kollajen liflerin ve proteoglikanların yoğunlaşması ile oluşan ve hücre içermeyen bir yapıdır. Yenilenme yeteneği olmadığından yaralanması skar oluşumuna neden olur (5). Epitelin altında yerleşen 8-16 µm kalınlığında saydam bir tabakadır. Primer olarak tip 1 ve tip 3 kollajen içerir. Bu liflerin stromadaki kollajen lifleri ile devamlılığı vardır ve stromadakilerin aksine rastgele dizilim gösterirler.

Bowman tabakası gerçekte bir membran değildir. Bowman tabakasının fizyolojik önemi tam olarak anlaşılamamıştır (2).

### **Stroma**

Korneanın %90'nını oluşturur (6). Korneanın fiziksel gücünü, stabilizasyonunu ve saydamlığını oluşturan asıl komponenti stromadır. Ekstraselüler matriks, keratosit (kornea fibroblastı) ve sinir liflerinden oluşur. Hücre komponenti stromanın sadece %2-3'lük kısmını oluşturur, geri kalan kısım kollajen ve glikozaminoglikanlardan oluşur. Kornea saydamlığını oluşturan ana faktör kollajen fibrillerinin düzenli sıralanmasıdır (2).

### **Desme zarı**

Kornea endotelinin bazal membranıdır (6). Doğumdan (3 µm) yetişkinliğe (8-10 µm) kadar kalınlığı artmaktadır. Kollajen tip IV ve lamininden oluşur, fibronektin de içerir (2).

### **Endotel**

Desme zarının arka yüzünü kaplayan mozaik şeklinde dizilmiş tek sıralı hücrelerden oluşur. Hücreler 5 µm kalınlık, 20 µm genişlikte, hegzogonal şekillidir. Yetişkinde 3500 hücre/mm<sup>2</sup>'dir. Hücreler metabolik olarak aktif ve salgılayıcıdır. Birbirine bağlı endotel hücreleri aköz hümöre geçirgen bir bariyer oluşturur. Bölünmezler. Herhangi bir hasar durumunda sayıları değişmeden genişleyerek hasarlı alanı kapatırlar (2).

## **2.1.2. Kornea fizyolojisi**

Kornea optik sistem olarak gözün en önemli refraktif kısmını oluşturur. Kornea bu özelliğini epitelin düzenli dizilimine, epiteli örten düzgün gözyaşı tabakasına, ışığı dağıtmayan stromaya ve endotele borçludur. Korneanın en önemli özellikleri: saydam olması, sert olması ve konveksliğinden dolayı büyük bir kırıcılığa sahip olmasıdır. Işığın ilk temas ettiği yer kornea olduğu için son derece düzgün olması gerekir. 7 µm kalınlığında gözyaşı tabakası ile çok katlı epitelten kaynaklanan düzensizlikler örtülür. Epitelde sonlanan serbest sinir uçlarının en ufak bir uyararla göz kapaklarını kapaması



gözü her türlü travmadan koruyarak korneanın düzgünlüğünü devam ettirir. Epitel hasarı durumunda epitel hücreleri hızla yer değiştirerek epitel boşluğunu doldurur, özellikle limbus bölgesinde çok belirgin olan mitoz sayesinde epitel bütünlüğü sağlanır (7).

Kornea epiteli ve endotel hücreleri metabolik olarak aktiftir ve ATP'ye ihtiyaç duyarlar. Korneaya glukoz aköz hümörden difüzyonla sağlanır. Kornea, oksijeni ise gözyaşı tabakasından yani havadan difüzyonla alır. Az bir miktar oksijen de aköz hümörden ve limbal dolaşımdan sağlanır (2).

Stromada kollajen fibriller arasında yer alan proteoglikanlar fibriller arası mesafeyi koruyarak düzenli yapıyı koruyarak korneanın saydamlığının devamını sağlarlar. Kornea endoteli, hümör aközün stromaya girişini engelleyerek stroma fibrillerinin düzeninin bozulmasını engeller. Endotel hücrelerinin bu bariyer fonksiyonunu tight junctionlar ve gap junctionlar sağlar. Kornea endotelinde yer alan metabolik pompayı, endotel hücrelerinin lateral membranlarında yer alan sodyum potasyum ATP'az (Na-K ATP'az) ve Na-H pompaları oluşturur. Bu pompa sistemi hücreler arası boşluğa, ön kamaraya sodyumla birlikte su moleküllerinin de atılmasını sağlar. Ön kamaradan stromaya olan su akımı ise tight junctionlar tarafından önlenir. Na-K ATP'az pompası endotelde bulunan karbonik anhidraz enzimi ile çalışır. Bu enzimin aracılık ettiği reaksiyonla karbondioksit ve su hidrojen ve bikarbonat iyonuna ayrılır. Bikarbonat iyonu aköz hümöre atılır. Bu işlemle su da aköze geçmiş olur (2, 7).

## **2.2. Keratokonus**

### **2.2.1. Keratokonus tanımı**

Keratokonus (KC), Yunanca kerato (kornea) ve konos (kon) kelimelerinden türemiştir (8). KC bilateral, asimetric yerleşim gösteren kornea incilmesi ve incelme alanında kornea protrüzyonu ile karakterize bir kornea dejenerasyonudur. Kornea incilmesi genellikle inferotemporal ve santral korneada oluşur. Kornea protrüzyonu görme kalitesini etkileyen yüksek miyopi ve irregüler astigmatizmaya sebep olur (8).

### **2.2.2. Keratokonus epidemiyolojisi**

KC klasik olarak ergenlik dönemi ile başlayan 30'lu 40'lı yaşlara kadar ilerleyen bir hastalıktır (9). Ortalama insidansı yılda 100,000'de 2 vaka şeklinde bildirilmiştir. Prevalansı 1:435 ile 1:2,000 arasındadır, yalnız bu durum tanıda kullanılan tanı aletine, ırka ve çeşitli çevre koşullarına göre değişmektedir. Asyalılar'da bu oran 1:4,000 iken Avrupalılar'da 1:30,000'dir. Erkekleri bayanlara göre %69'a %57 gibi bir oranla daha fazla etkilemektedir (6).

### **2.2.3. Keratokonusun klinik özellikleri**

KC'nin semptom ve bulguları hastalığın ciddiyetine göre değişir.

Hastalığın başlangıç evrelerinde (subklinik veya form fruste) herhangi bir semptom olmadığı için özel testler yapılmazsa (kornea topografisi) hasta ve hekim tarafından fark edilemeyebilir. Hastalığın ilerlemesi gözlükle düzeltilemeyen ciddi görme kaybı ortaya çıkarır. Bu nedenle göz hekimleri artan kurula aykırı astigmatta tam veya iyi görme keskinliği olmaması durumunda lehine şüphelenmelidir (10). Retinoskopide makaslama irregüler astigmat varlığını gösterir. Retinoskopi ile konveksiyonu ve çapını tahmin etmek ve gözlüklü düzeltilmiş görme keskinliği elde etmek mümkündür. Midriatik pupilde retroillumünasyon ile görülen Charleux yağ damlası uyarıcı bir bulgudur. Kerotometri değerleri genellikle normal aralıktadır fakat düzensiz gözüktür. Kornea incilmesi ektaziye gösteren ortak bir bulgudur (8).

Orta derece ve ilerlemiş KC olgularında şu bulgular biyomikroskopide görülebilir: Santral-parasantralde çoğunlukla inferior ve inferotemporal alanda stromal incelme, konu kısmen veya tamamen çevreleyen demir çizgisi (Fleischer halkası). Bu çizginin, hastalıkla indüklenen anormal kurvatür değişikliklerinden ve /veya anormal epitel süreç değişikliklerinden kaynaklanan gözyaşı demir depozitlerinin kornea üzerinde birikmesi ile oluştuğu iddia edilir (8, 9). Diğer bir karakteristik bulgu, arka kornea stromasında, desme zarının hemen önünde oluşan dikey Vogt's çizgileridir. Bu çizgiler kornea üzerine parmakla veya RGP ile fiziksel basınç uygulandığında kaybolur (8, 10).

Kornea sinirlerinin görünürlüğünün artması ve yüzeysel ve derin opasiteler hastalığın değişik derecelerinde bulunabilen ortak bulgulardır. KC hastalarının çoğunluğu sonuç olarak kornea skarı geliştirirler. Munson belirtisi, göz aşağı doğru baktığında alt göz kapağında görülen V şekilli deformitedir. Rizutti belirtisi ise; ışık temporal limbal alana yöneldiğinde nazal limbal alanda görülen parlak yansımadır. Munson ve Rizutti belirtileri genellikle ileri evrelerde görülen bulgulardır. Hidrops olarak bilinen ciddi KC'de desme membranı çatlaklarının sebep olduğu akut stromal ödem, ciddi görme kaybına ve ağrıya sebep olur (8, 9).

#### **2.2.4. Keratokonus bulguları**

##### **Eksternal Bulgular :**

- Munson bulgusu
- Rizutti fenomeni

##### **Biyomikroskopik Bulgular:**

- Stromal incelme
- Posterior stres çizgileri (Vogt striaları)
- Demir halkası (Fleischer halkası)
- Skar (epitelyal veya subepitelyal)

##### **Retroilimünasyon Bulguları**

- Retinoskopide makaslama
- Yağ damlacığı bulgusu (Charleaux bulgusu)

##### **Fotokeratoskopi Bulgusu**

- Mirlerin alt temporale doğru baskılanması (yumurta şekilli mirler)
- Mirlerin alt veya santralde yoğunlaşması

##### **Videokeratografi Bulguları**

- Lokale artmış kırma gücü
- Alt üst dioptrik asimetri
- En dik radial aksın horizontal meridyenin altına veya üstüne yer değiştirmesi

Hastalığın erken dönemlerinde biyomikroskopik bulgular normalken keratometri mirlerinde distorsiyon, santral veya inferior dikleşme görülebilir. Bu durumda pupil dilate edilip retinoskopide makaslanma ve 'Charleux' yağ damlacığı bulgusuna bakılmalıdır. Böyle erken KC vakalarında santral veya parasantral ön topografi tanıyı doğrulamak için yararlıdır (9).

Erken KC tanısı için korneayı topografi ile değerlendirmek üzere birçok araç geliştirilmiştir. Bunlar, plasido diskleri gibi pahalı olmayan elle tutularak kullanılan keratoskoplar olabileceği gibi pahalı bilgisayarlı videokeratoskoplar da olabilmektedir. Keratoskoplar ile erken KC teşhisi, plasido disk eğrilerinin horizontal düzlemden inferior ve inferotemporale doğru kayması ile konulabilir (9, 11).

Amsler 1938'de fotografik plasido diskini kullanarak erken KC'de topografik değişiklikleri göstermiştir. Plasido diskine göre KC'i sınıflandırmıştır. Erken evreleri iki alt gruba ayırmıştır:

- KC fruste; plasido diskinin horizontal aksının 1-4° derece deviasyonu vardır.
- Erken veya hafif KC; deviasyon 4-8° derecedir. Sadece hafif asimetric oblik astigmatizma bu erken formlarda saptanabilir (9).

Bilgisayarlı videokeratoskoplar, renklerle kodlanmış kornea topografi indeksleri ve haritaları oluşturarak KC tanısı koymak için tasarlanmış en duyarlı ve gelişmiş cihazlardır. Bu cihazlarda KC çevresi daha düşük yüzey kırma gücüne sahip konsantrik alanlarla çevrilmiş artmış kırma gücüne sahip bölgeler olarak izlenir. Sagittal topografi kullanan bilgisayarlı videokeratoskoplarda üç özellik KC için ortakır:

- Lokale olarak artış gösteren yüzey kırma gücü;
- Alt ve üst kornea bölgeleri arasındaki asimetri;
- Horizontal eksenin alt ve üstünde birbirine dik radial aksların çarpıklığı (12).

### **2.2.5. Keratokonus sınıflaması**

Morfolojiye, evreye ve indekse dayalı sistemlere göre KC sınıflaması mevcuttur:

### 2.2.5.1. Morfoloji

**Nipple:** Kon çapı  $\leq 5$ mm, yuvarlak morfolojide, santral veya parasantral yerleşimli, çoğunlukla inferonazal kornea kadranına yerleşimlidir. Kontakt lens ile düzeltim göreceli olarak kolaydır (8, 10).

**Oval:** Kon çapı  $\geq 5$ mm, parasantraldan periferik kadar yerleşimli, çoğunlukla inferotemporal kornea yerleşimli. Kontakt lens düzeltimi daha zordur (8, 10).

**Keratoglobus:** Kon korneanın %75'lik kısmını kaplar, kontakt lens ile düzeltim nadir vakalar dışında oldukça zordur (8).

Topografinin yaygın kullanımı ile süperior nazal ve santral korneayı etkileyen yeni KC paternleri tanımlanmıştır. LASIK refraktif cerrahi prosedürleri sonrası görülen yeni D şekilli KC paterni literatürde tanımlanmıştır (13, 14).

### 2.2.5.2. Evre

Amsler KC'yi değişik ciddiyet derecelerine göre 4 gruba ayırmıştır:

**Tablo 1. Hastalık Evresine Göre Keratokonus Sınıflaması. Görme keskinliği (GK); diyoptri (D); kontakt lens (KL) (8).**

Evre	Tanım
1	Fruste veya subklinik form, kornea topografisi ile tanı, GK gözlükle tam.
2	Erken form, hafif kornea incilmesi, kornea skarı yok.
3	Moderate form, kornea skarı ve opasiteleri yoktur. Vogt çizgileri, Fleischer halkası, gözlükle GK azalmış, KL ile tam. 2,0- 8,0 D arası irregüler astigmat. Belirgin kornea incilmesi.
4	Ciddi form, kornea dikleşmesi $> 55,0$ D, kornea skarı, KL ile GK $< 0,8$ , ciddi kornea incilmesi, Munson belirtisi.

### 2.2.5.3. İndekse dayalı sistem

Hastalığın erken evrede tanınması özellikle subklinik KC'de refraktif cerrahi işlem sonrasında oluşan iatrojenik ektaziye önlemeye yönelik olarak giderek önem kazanmıştır. Bu nedenle birkaç tane indekse dayalı klasifikasyon metodu KC'yi ciddiyetine göre sınıflamak için kornea topografi sistemlerine dayanarak geliştirilmiştir (8).

**Tablo 2. Keratokonus Tanısında İndekse Dayalı Sistem. Eşik değerinden değerinden daha yüksek bir değer KC varlığını düşündürür (8).**

Yazar	İndeks	Eşik değeri	Tanım
Rabinowitz / Mc Donnel	K I-S değeri	47.2 1.4	Tanı, santral keratometri ve kerometrik güçte inferior-superior asimetriye göre konur.
Maeda/Klyce	KPI KCI%	0.23 0%	KPI videokeratografideki 8 niceliksel değerden üretilir. KCI, % KPI ve diğer 4 indeksten türetilir.
Smolek/Klyce	KSI	0.25	KC tanısı ve ciddiyet derecesi bir program (intelligent sys) kullanılarak tayin edilir.
Schwiegerling/Greiv enkamp	Z3	0.00233	Tanı ortogonal Zernike polinomları ile görülen videokeratoskopik yükseklik verisine göre konur.
Rabinowitz/Rasheed	KISA %	100%	Tanı K, I-S, AST ve SRAX değerlerine göre konur.
Mc Mahon ve arkadaşları	KSS	0.5	Tanı biyomikroskopik bulgulara, kornea topografisine, korneal güce ve yüksek dereceli kornea aberasyonlarının kareköküne göre konur.
Mahmoud ve arkadaşları	CLMI	>0.45	Tanı keratokonik paternlerin olup olmamasına, konun lokalizasyonuna ve kon büyüklüğüne göre konur.

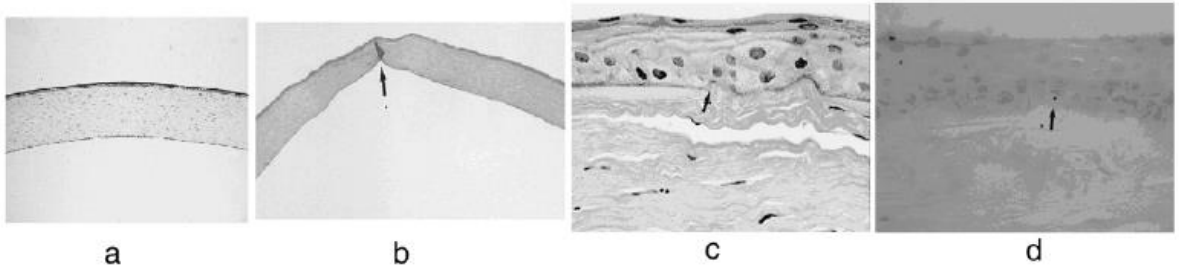
Optik koherans tomografi (OCT) ve kornea aberometre aletlerinin de kornea kalınlığını ve normal bireylerden kornea aberasyon farklılığını tayin ederek KC tanısında faydası gösterilmiştir (15, 16).

KC tanı ve tedavisinde ön segmentin değişik özelliklerini gösteren topografi aletleri ve Oküler Response Analyzer cihazları da kullanılmaktadır. Oküler respons analyzer KC tanı ve klasifikasyonunu kornea histeresis ve resistance'ı tayin ederek yapar. KC'li gözlerde bu değerler, normal popülasyonla karşılaştırıldığında daha düşüktür (17).

### 2.2.6. Histopatoloji

KC'i karakterize eden 3 bulgu mevcuttur:

- 1- Kornea stromasında incelmeye
- 2-Bowman tabakası defektleri
- 3- Kornea epitel bazal membranında demir birikimleri



**Şekil 1. Keratokonusta histolojik görüntü – (a) normal , (b–d) keratokonik kornea. KC'nin karakteristik özellikleri: (b) katlanma defekleri ile birlikte stromal incelmeye (c) Bowman tabakasında kırıklar (d) kornea epitel bazal tabakasında demir depozitleri (17).**

KC hastalığında, korneanın bütün tabakalarında artmış apoptozis ve azalmış hücre yoğunluğu vardır. Keratosit yoğunluğunda azalma, apeks bölgesindeki epitel hücrelerinde incelmeye, yüzeysel hücrelerde uzama, düzensiz kanat hücre çekirdekleri, epitel bazal membranının düzleşmesi ve parçalara ayrılması, Bowman ve Desme membranında kırıklar, azalmış kornea sinir yoğunluğu ile sinirlerde kalınlaşma görülür (6).

Stromada kollajen fibril kaybı proteolitik enzimlere ve  $\alpha 1$  inhibitör ve  $\alpha 2$  makroglobulin gibi proteinaz inhibitörlerinin azalmış seviyesine bağlanmıştır. Kornea epitel abrazyonu sonucu artan interlökin-1 (IL-1) apoptozis yolu ile keratosit kaybına bu da kollajen lif kaybına yol açar. KC'li gözlerde IL-1 seviyesi normal gözlere göre 4 kat fazladır (17).

Keratokonik gözlerde kornea rijiditesi ve kornea histeresisi normal gözlere göre daha düşüktür, keratokonik kornealar normal kornealara göre daha zayıf ve daha elastiktir (17).

Akut hidrops durumunda stromada ödem vardır. Desme membranı arka yüzden ayrılır ve kendi üstüne kıvrılır. İlerleyen dönemde kornea endoteli, ayrılmış desme membranının ön ve arka yüzüne oradan da stromaya uzanır, akut olaydan 3-4 ay sonra endotel bütünlüğü sağlanır (9).

### **2.2.7. Etyo-patogenez**

#### **İlişkili hastalıklar:**

KC değişik klinik durumlarla birlikte rapor edilmiştir. İzole sporadik bir hastalık da olabilir veya Down sendromu, Leber'in konjenital amorozisi, konnektif doku hastalıkları, sert KL kullanımı, göz ovuşturma veya diğer ailesel hastalıklarla da birlikte bulunabilir. KC'nin en sık görülme şekli sistemik ve oküler hastalıkla ilişkili olmayan izole sporadik hastalık şeklindedir (9).

Atopi; egzema, astım ve saman nezlesini içermektedir. KC hastalarında atopik hastalık daha yaygındır (11, 18). KC hastalarında atopik hastalık oranı normal populasyona göre 10 kat daha fazladır (19). KC hasta serum IgE düzeyleri normal populasyona göre fazladır (20). Atopik konjonktivit ve KC arasında herhangi bir ilişki olmadığını söyleyen çalışmalar da vardır (10). Down sendromu ile KC'nin %0,5-%15'e kadar değişen birlikteliği bildirilmiştir. Aynı şekilde Leber'in konjenital amorozis hastalarında da KC görülme sıklığı fazladır. Bu iki hastalıkta KC sıklığı sık göz ovuşturmaya bağlanmıştır (9). Ayrıca şu hastalıklarla da ilişkilendirilmiştir: Magnezyum eksikliği, xeroderma pigmentoza, osteogenesis imperfekta, mitral kapak



prolapsusu, nörofibratozis, sindaktili, uyku apnesi. Oküler birliktelikleri ise şunlardır: myopi, epikantal kıvrımlar, gevşek göz kapağı, retinitis pigmentosa, mavi sklera, aniridi, konjenital ve juvenil katarakt, mikrokornea, ektopia lentis, Axenfeld-Rieger sendromu (6).

KC'nin sebebi ve gelişim mekanizması henüz tam olarak anlaşılmamıştır. Kabul edilmiş hipotezlerden birine göre kornea deformasyonu, incilmesi ve dikleşmesi göz içi basıncının ve diğer vektör kuvvetlerinin korneaya uyguladığı kuvvet sonucu kornea stroma kollajeninin ilerleyici olarak interlameller ve interfibriler ayrılmaya uğramasıdır. Sigara içimi, diyabet, kornea ödemi ve UV ışık maruziyeti KC ilerlemesine karşı korurken göz kaşıma, düşük atmosferik basınç, yüksek sıcaklıklar hastalığın ilerlemesini hızlandırır (6).

### **Genetik:**

Aile, ikiz ve genetik çalışmalar KC'nin genetik ilişkisini ortaya çıkarmak için yapılmıştır (8).

KC'nin en sık görülen formu konjenital sporodik olmakla birlikte %10-19 arasında aile hikayesi vardır, aile üyelerinin 2/3'ünde başka bağ dokusu hastalıkları bulunmaktadır. Monozigot ikiz çalışmalarında kalıtım otozomal dominant olarak, başka çalışmalarda resesif olarak tanımlanmıştır, değişken bir kalıtım ve değişik kromozomlarda çoklu lokus mevcuttur (6).

Şimdiye kadar 19 monozigot ikizde KC tanımlanmıştır. Çoğu vakada hastalık dereceleri farklı veya benzer olarak her ikiz de etkilenmiştir, bu hastalık gelişiminde çevresel faktörlerin etkisi ile beraber güçlü genetik katkıyı gösterir. Bununla birlikte başka bir çalışma da iki ikizde KC varlığını saptayamamıştır (8).

Değişik KC hastalarında VSX1 geninde mutasyonlar saptanmıştır (8).

### **2.2.8. Tedavi**

Hastalığın evresine ve ilerleyici olup olmamasına bağlı olarak cerrahi ve cerrahi olmayan tedavi yöntemleri mevcuttur. Primer tedavi yöntemleri gözlükler, kontakt lensler, intrastromal kornea halkaları (ICRS), kornea transplantasyonu, derin anterior lameller keratoplasti, kollajen çapraz bağlama (CXL), fakik göz içi lenslerdir (GİL), fotorefraktif keratektomi (PRK) (17).

#### **Kontakt lensler:**

Hastalığın erken dönemlerinde gözlükler yeterli düzeltme sağlarken ileri hastalık evresinde irregüler astigmat KL'ler ile düzeltilebilir. KL'ler anormal şekilli korneada yeni bir refraktif yüzey oluşturarak irregüler astigmatı düzeltir. Hastaların %90'ında tedaviyi sağlar. KC'de hidrojel, silikon hidrojel, gaz geçirgen ve hibrid materyaller kullanılabilir de gaz geçirgen KL'ler (RGP) yüksek seviyedeki irregüler astigmatı iyi düzelttiklerinden dolayı en sık kullanılan KL çeşididir (8). Değişik özelleşmiş RGP lensler mevcuttur: Super Cone, Rose K gibi lenslerin konu örten arka yüzeyi daha dik, periferi daha düzdür. Bazı RGP lensler yüksek oksijen geçirgenliğine sahiptir ve kullanımı daha rahattır. Hibrid KL'ler RGP lenslere bir alternatiftir. Hibrid lensler sert bir merkez ve etrafında yumuşak bir etekten oluşur. Diğer bir alternatif piggyback KL'lerdir, bu durumda yumuşak lens korneaya, RGP lens de yumuşak lens üzerine oturur. Çok irregüler kornealarda gaz geçirgen skleral KL'ler son tercihtir (21). KL ile ilişkili bazı komplikasyonlar şunlardır: kornea zaman içinde şekil değiştirerek lensle elde edilen iyi görüş süresi kısalabilir, yetersiz gözyaşı ve kornea abrazyonuna bağlı lens toleransı azalabilir ve görüş kalitesi bozulabilir (22).

#### **İntrastromal kornea halkaları:**

2004'te FDA onayı almıştır. Halka segmenti, korneanın dış kısmına konulan ve korneayı tekrar şekillendiren ince bir yapıdır. Segmentler polimetilmetakrilattan yapılmıştır ve 150 derecelik hilal şeklindedir. Kalınlıkları 0,25-0,45 mm arasında değişir. Korneaya mekanik olarak veya femtosecond lazerlerin açtığı kornea tünelleri vasıtası ile yerleştirilirler. Halkanın konulacağı en uygun yer ve halkanın kalınlığı sferik eşdeğer, konun yeri ve asimetric astigmata göre belirlenir. Kornea halkalarının kornea midperiferine ilave materyal ekleyerek periferal korneayı dikleştirdiği, santral korneayı

düzleştirdiği ve ince ektatik korneaya biyomekanik destek sağladığı öne sürülür. Çalışmalar KC hastalarında ICRS implantasyonunun güvenilir, geri dönüşümlü, objektif görme fonksiyonunu artırıcı olduğunu göstermiştir. Erken ve hafif KC vakalarında tek başlarına yeterli düzeltme sağlayabilirler. CXL, ICRS ve fakik GİL kombine tedavi olarak yapılmaktadır. Epitel defektleri, kornea tüneli açma sırasında oluşan ön ve arka kornea perforasyonları, insizyonun görme aksına uzanması, halka segmentinin yer değiştirmesi, stromal incelme ve tünellerde depozit birikmesi gibi komplikasyonlar görülebilir (21, 23, 24).

### **Penetran keratoplasti:**

KL ile başarı elde edilememiş ciddi KC olgularında ve santral kornea skarı olan vakalarda uygulanır. Tüm kornea dokusu çıkarılarak yerine saydam kornea dokusu konulur. KC olgularında %95'ten fazla başarı oranı ile transplantasyon başarısı yüksektir. Greft reddi, intraoküler (iris, lens) hasar, postoperatif astigmatizma ve KC rekürrensi gibi komplikasyonlar görülebilir. KC'de yeni tedavi yollarının da bulunması ile uygulanırılığı azalmıştır. Penetran keratoplastiye gidecek KC hastalarındaki risk faktörleri şöyledir: kornea skarı, görme keskinliğinin kontakt lensle 0,5'in altında olması, kornea keratometrisi > 55 D, kornea astigmatı > 10 D, erken yaşta KC gelişimi ve kontakt lens toleransının az olmasıdır (8, 17).

### **Derin lamellar keratoplasti:**

Desme zarı ve endotel kalacak şekilde yüzeysel kornea dokuları çıkarılarak sağlıklı donör korneası ile değiştirilir. Ameliyat süresinin daha uzun olması, endotel hasarı riskinin yüksek olması, görmedeki artışın penetran keratoplastiye göre daha az olması dezavantajlarıdır. Avantajları: intraoperatif olarak daha güvenli ekstraoküler bir olaydır, penetran keratoplastiye göre hem intraoperatif hem de postoperatif komplikasyonları daha azdır, endotel greft rezeksiyonu daha azdır. Geniş lameller greft astigmatı azaltıp görmeyi artırır (25, 26).

### **Fotorefraktif keratektomi:**

Excimer lazer kullanarak anterior santral kornea şeklinde sürekli değişiklik yapan bir tekniktir (8). Parsiyel topografiye dayanan (topography-guided) PRK sonrası yapılan

CXL'in KC ilerlemesini durdurmada güvenilir ve etkili bir tedavi olduğu, sferosilindirik refraksiyonu ve aberasyonları düzelterek görme fonksiyonunu düzelttiği gösterilmiştir. Zaman içinde ilerleyici iyileşme ve stabilite izlenmiştir (27).

### **Korneal cross-linking (çapraz bağlama) :**

Kornea kollajeni içindeki çapraz bağları arttırarak kornea rijiditesini ve stabilitesini arttırmayı amaçlayan bir tekniktir. Kornea epitelini soyularak riboflavin (vitamin B2) solüsyonu 30 dakika uygulanıp kornea doyurulduktan sonra kornea, 370 nm'de 30 dakika UV-A'ya maruz bırakılır. Kornea bandaj kontakt lensle kapatılarak antibiyotik ve steroid olmayan anti-inflamatuvar damlalarla hasta taburcu edilir. Oluşan oksijen radikalleri fotopolimerizasyon süreci ile kollajen fibrilleri arasındaki çapraz bağları arttırır (28, 29). CXL KC ilerlemesini etkili ve güvenli bir şekilde durdurur. Kon lokalizasyonunu değiştirmeden kornea dikliğini azaltarak, keratometri değerlerini düşürerek düzeltilmemiş ve düzeltilmiş en iyi görme keskinliğini arttırır (30, 31). Transepitelyal çapraz bağlamada Ricrolin TE (transepitel riboflavin) isimli bir madde kullanılarak epitel soyulmadan işlem yapılabilir. Standart CLX yöntemi için uygun olmayan, ince kornealı ve kooperasyonu zayıf olan hastalarda bu yöntem kullanılmaktadır (32).

### **Fakik göz içi lensler:**

Anterior veya posterior fakik GİL'ler KC hastalarında tek başına veya ICRS sonrası kalan rezidüel refraktif kusuru düzeltmek için yapılan bir tedavi şeklidir. Açık destekli fakik GİL (ZSAL-4, Morcher GmbH) ve iris destekli Verisyse fakik GİL anterior lenslerdendir, bu lensler endotel hücre kaybına sebep olabilir. Posterior kamara Collamer Lensin (ICL, STAAR, Monrovia, CA, USA) ve fakik torik ICL'nin hastalarda refraktif kusuru düzelttiği bildirilmiştir. Intrakornea segment ve GİL'in kombine implantasyonu gün geçtikçe artmaktadır ve görme keskinliğini arttırdığı, refraktif sferik eşdeğeri düşürdüğü bildirilmiştir (21).

## **2.3. Wavefront (Dalga önyüzü)**

### **2.3.1. Wavefront analizi**

Wavefront analizi ışığın dalga teorisinin temel uygulamalarındandır. Analizle düşük ve yüksek düzey aberasyonlar (ışığın sapması) verilir. Düşük sıralı aberasyonlar sferik ve silindirik bozukluklardır ve gözlükle düzeltilebilirler; yüksek sıralı aberasyonlar gözlükle düzeltilemezler. Wavefront analizi 4 metodla yapılabilmektedir. Bunlar: Hartmann-Shack, Tschering, thin-beam single ray tracing (tek ince bir ışın demeti izleme yöntemi) ve optik yön farkıdır (33).

Işık geometrik ve fizik optiğinde farklı tanımlanmıştır. Geometrik optikte noktasal bir ışık kaynağından gelen ışınlar tüm yönlere dağılır. Sonsuzdan gelen ışık, lineer ışık demetleri olarak düşünülür. Fizik optiğinde ışık dalga olarak tanımlanır ve ışık dalgaları sferik dalga olarak tüm yönlere yayılır. Wavefront bütün fazlardaki ışık dalgalarının şeklidir. Sonsuzdan gelen ışık düzlemsel wavefront olarak ifade edilir. Lens, ışık ışınlarını kıran ve wavefront şekline dönüştüren bir objedir. Gözün refraktif durumu; emetropi, miyopi, hiperopi gibi ve yüksek sıralı aberasyonları (düzensiz astigmat gibi) wavefront kullanılarak gösterilebilir.

Wavefront aberasyon, ideal bir optik sistemden gelen referans wavefronta göre ölçülen optik sistemdeki wavefront sapmasıdır. Wavefront aberasyon birimi mikrondur ve root mean square (RMS) olarak ifade edilir. Wavefront analizin amacı gözün wavefront şeklini wavefront aberasyon olarak ölçerek gözün optik niteliğini belirlemektir. Bu amaçla aberometre veya wavefront algılayıcı, kornea wavefront ölçümü için ise kornea topografisi kullanılmaktadır (34).

Kornea teknolojisi ile elde edilen Zernike polinomları ile korneanın optik özellikleri detaylı şekilde sunulur ve korneanın wavefront fonksiyonu aberasyon bileşenleri şeklinde verilir. (35).

### 2.3.2. Kornea Wavefront Aberasyon Ölçümü

Kornea topografisinden elde edilen elevasyon bilgileri kornea wavefront aberasyon ölçümü için kullanılır. En sık kullanılan kornea topografi yöntemleri plasido disk, slit-tarama ve Scheimplug teknolojilerini kullanmaktadır (35).

Plasido disk sistemleri ön kornea yüzeyinin eğriliğini korneadan speküler olarak yansıyan halka görüntülerini analiz ederek ölçmektedir. Bu aletler direkt elevasyon hesabı yapamazlar, sadece ön kornea şeklini ölçerler ve ölçümün aksı bakış aksı değildir (35).

Slit-tarama ve Scheimplug görüntüleme hem ön hem de arka kornea elevasyon hesabı yapmaktadır. Bu sistemler korneanın çoklu görüntülerini alarak 3 boyutlu modelini oluşturmaktadır. Scheimplug görüntüleme ile ön kornea yüzeyinden arka lens kapsülüne kadar iyi derinlik odaklaması ile düzgün görüntüler alınmaktadır (35).

Şu an mevcut olan topografik sistemler ve çalışma prensipleri Tablo 3'te özetlenmektedir (35):

**Tablo 3. Topografik sistemler ve çalışma prensipleri.**

Alet	Ölçme prensibi	Disk halkaları	Scheimplug kamera
Orbscan II	Paralel slit-tarama ve Plasido disk	40	-
Pentacam	Scheimplug slit görüntülerin rotasyonel taraması	-	1
Galilei	Dual-Scheimplug slit görüntülerin rotasyonel taraması ve Plasido disk görüntüleri	20	2
Sirius	Scheimplug slit görüntülerin rotasyonel taraması ve Plasido disk görüntüleri	24	1

### **2.3.3. Zernike Polinomları, Optik Kalite Tanımlaması**

Gözün optik sisteminde wavefront aberasyonlar matematik olarak sonsuz Zernike polinom serisi olarak tanımlanır. Seri birbirinden bağımsız ortogonal terimlerden oluşur. Zernike polinomları, korneanın optik özelliklerinin iyi bir tanımlamasıdır. Zernike tanımlamasının her bir polinomial fonksiyonu wavefront hatasının bir parçasıdır ve bu parçalar düşük sıralı aberasyonlar (DSA) ve yüksek sıralı aberasyonlar (YSA) olarak gruplanır. Bunlar Zernike terimi olarak  $Z(n,m)$  şeklinde yazılır. Zernike fonksiyonlarının tümü geometriktir.  $n$  terimin sırası,  $m$  ise frekansını ifade eder (36).

#### **Düşük Sıralı Aberasyonlar:**

Genellikle bu aberasyonlar ortalama wavefront kusurunun yaklaşık %85'ini oluşturan 0, 1 ve 2. sıra aberasyonlardır (33, 37)

$n=0$  aberasyonlar: İmajda distorsiyona yol açmayan sabit faz kaymalarıdır.

$n=1$  aberasyonlar: Kaymaya (shift) karşılık gelir. Tilt prizmatik bir kusurdur. İdeal wavefrontun şeklini bozmaz ancak orjinal pozisyonundan kaymasına neden olur. Oküler yapıların açılanmasındaki farklılıktan kaynaklanır (36).

$n=2$  aberasyonlar: Defokus ve astigmatizmaya karşılık gelir (örn. sferosilindirik emetropi). Defokus ideal düz wavefrontta parabolik distorsiyona yol açar. İkinci derece astigmatizma parabolik distorsiyonun simetrik aksdaki varyasyonlarıdır. İkinci derece astigmatizmaya karşılık gelen bu selektif polinomların tespiti astigmatizmanın hem büyüklüğünün hem de aksının belirlenmesine olanak sağlar (36).

#### **Yüksek Sıralı Aberasyonlar:**

Zernike açılımında 3. düzey ve daha yüksek aberasyonlar YSA olarak adlandırılır (33, 36). Pupil dilate edildiğinde artan wavefront aberasyonlardır.

$n=3$  aberasyonlar: Koma ve trefoil 3. sıra aberasyonlardır. Koma refraktif cerrahi sonrası sık olarak görülen bir aberasyondur. Bu üçüncü düzey aberasyonda, pupillanın bir köşesindeki ışınlar bitiş çizgisini ilk olarak çaprazlarken, tam karşı köşedeki ışınlar en son olarak çaprazlar. Bunun etkisi her obje noktasının imajının vertikal ve horizontal

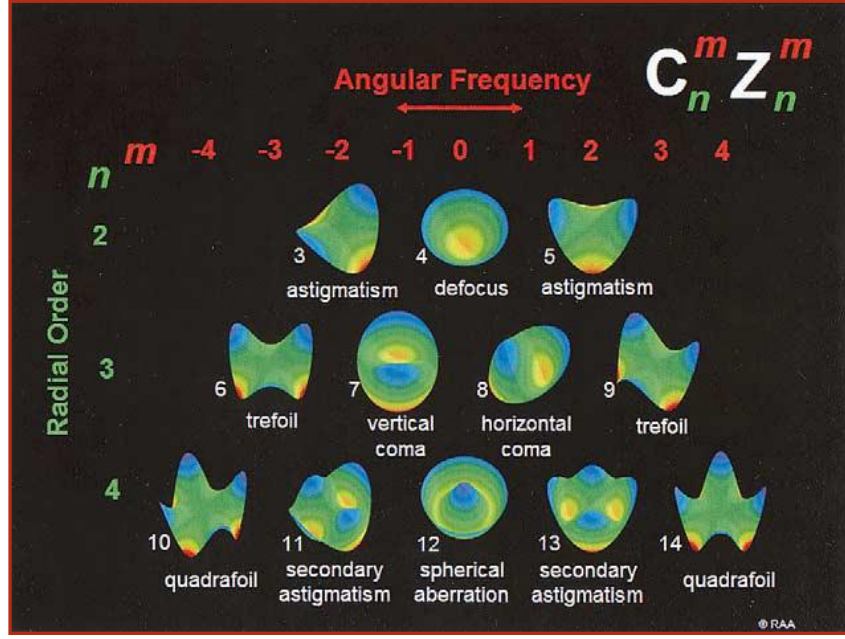
komponentleri olan bir kuyruklu yıldız benzemesidir. Özellikle horizontal koma çift görme şikâyeti ile ilişkili olabilir. Koma ameliyat sonrası dönemde GİL'in tilt ve desantralizasyonuna bağlı olarak gelişebilir. Trefoil refraktif cerrahiden sonra görülen bir diğer üçüncü düzey aberasyondur. Benzer RMS büyüklüğündeki komaya göre görüntü kalitesini daha az düşürür.

n=4 aberasyonlar: Tetrafoil (quadrafoil), sekonder astigmatizma ve primer sferik aberasyon (SA) 4. sıra aberasyonlardır. SA'lar korneanın ön yüzeyi, lensin ön yüzeyi ve arka yüzeyinden kaynaklanır. Periferal ve santral ışık ışınlarının retina üzerinde aynı noktada odaklanamaması sonucu oluşur. Periferal ışınlar santral ışınların önünde odaklanırsa pozitif SA; arkasında odaklanırsa negatif SA adını alır (38). İnsan gözünde SA'ya neden olan iki ana kaynak kornea ve lenstir. Normal popülasyonda kornea pozitif SA'ya, lens ise negatif SA'ya sahiptir ve aralarında bir denge söz konusudur. Yaş arttıkça veya refraktif cerrahi sonrası bu denge bozulabilir. Bunun sonunda retinal imajda dağılma, bulanıklaşma ve cisimlerin etrafında halo benzeri görünüm ortaya çıkar (38).

n=5 ve üzeri aberasyonlar: Radial katsayısına göre pentafoil ( $C5^5$ ), hekzafoil ( $C6^6$ ) gibi aberasyonların yanı sıra yüksek sıralı trefoil, koma, astigmatizma ve SA bu gruplar içerisinde yer alabilir. Ancak bu gruptaki aberasyonlar nadirdir ve görme kalitesi üzerindeki etkileri azdır (37).

Koma, SA ve diğer YSA optik kaliteyi, kontrast sensitiviteyi ve fonksiyonel görmeyi belirgin olarak azaltan aberasyonlardır ve tedavi edilmeleri gerekir. Zernike katsayısına bakılarak yapılan değerlendirmelerde görme keskinliği ve kalitesi üzerine etkili iki esas aberasyonun SA ve koma olduğu görülmüştür (37).





**Şekil 2. Zernike polinomları. İki numara ile sınıflandırılır. Birinci parametre n ile gösterilir ve polinomun radyal dağılımındaki sıralanmasını gösterir. Sıra sayısı büyüdükçe ana özellikler daha periferde doğru yer değiştirir. İkinci parametre m ile gösterilir ve polinomun rotasyonel simetrisini (açısal frekans) gösterir (36, 39).**

Bazı vakalarda tüm wavefrontun ortalama değeri mesela RMS wavefront değeri hesabı daha uygun olabilir. RMS değeri şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$RMS^2 = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} [Z(n,m)]^2 d\theta \quad (33).$$

#### 2.3.4. Normal kornea aberometrisi

Ön korneaya ait YSA'da bireysel farklılıklar görülse de en yaygın YSA 3. sıra ve 4.sıra aberasyonlardır. Her YSA'nın katkısı aberasyon sırası arttıkça düşmektedir, bunun tek istisnası 4. Sıra SA'dır, Z(4,0). Ön kornea 4. sıra aberasyonlar pozitif değerlere sahipken kornea arkası SA gençlerde çoğunlukla negatiftir, bu da total kornea SA'nın düşük olmasına sebebiyet verir.

Bir gözün optik performansı korneaya ve gözün içine ait optik aberasyonların kombinasyonu ile belirlenir. Kornea aberasyonları ve internal oküler aberasyonlar (arka kornea ve kristalin lens) ayrı ayrı değerlendirildiğinde internal oküler aberasyonların kornea aberasyonunu kompanse ettiği gösterilmiştir (35).

### **2.3.5. Oküler aberasyonlar**

Oküler aberasyonlar 2 ana tipe ayrılır; kromatik aberasyonlar ve monokromatik aberasyonlar.

#### **Kromatik aberasyonlar:**

Kromatik aberasyonlar gözün optik elemanlarının ışığı ayrıştırması sonucu oluşan kusurlardır. Bunun iyi bilinen örneği beyaz ışığı eşit açılardaki ışık demetlerine ayıran cam prizmadır. Her ortamın refraktif indeksi ışığın dalga boyuna göre değişiklik gösterdiğinden insan gözündeki kromatik aberasyonlar her dalga boyu için farklı odak noktasındadır. Kromatik aberasyonlar ideal imajdan hareket eden ışınların dağılımına karşılık gelir ve sadece polikromatik ışıkta görülür. Retinal imaj kontrastında düşme meydana gelir. Refraktif cerrahi teknikleri kromatik aberasyonları düzeltemez çünkü bu kusurlar oküler materyalin optik özellikleri ile ilişkilidirler ve göz komponentlerinin optik şeklinden bağımsızdırlar (37).

#### **Monokromatik aberasyonlar:**

Monokromatik aberasyonlar spesifik dalga boyundaki görünür ışığı kapsar ve DSA ve YSA olarak iki alt gruba ayrılır. Monokromatik aberasyonlar, kromatik aberasyonlar düzeltilmeksizin tek başına düzeltildiğinde bile görme kalitesinde iyileşme sağlar (37).

DSA (sferik ve silindirik kusurlar); gözlük, kontakt lensler ve refraktif cerrahi ile düzeltilebilirler. Genellikle bu aberasyonlar ortalama wavefront kusurunun yaklaşık %85'ini oluştururlar. Koma, SA ve diğer YSA ortalama wavefront kusurunun yaklaşık %15'ine karşılık gelirler (37).

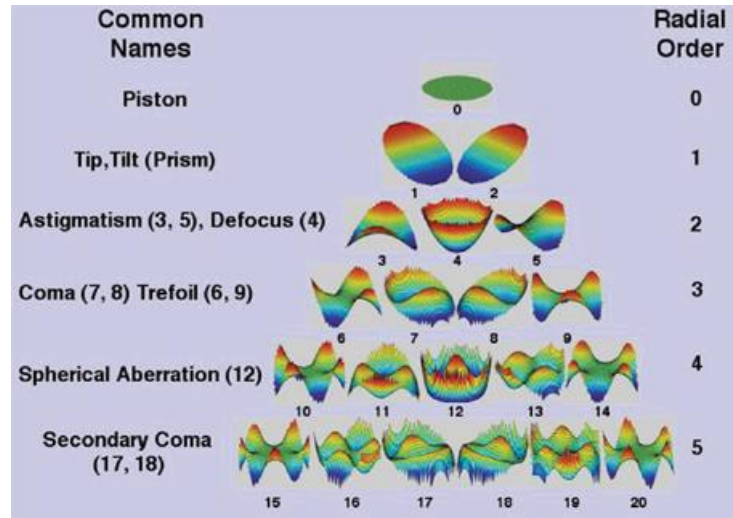
#### **Yüksek düzenekli aberasyonların görme keskinliği ve semptomlarla ilişkisi:**

Zernike katsayısına bakılarak yapılan değerlendirmelerde görme keskinliği ve kalitesi üzerine etkili iki esas sapmanın sferik ve koma aberasyonlar olduğu görülmüştür (37).

Koma üçüncü düzenekli bir aberasyondur. Aynı meridyende hipermetropik alanın komşuluğundaki myopik alanı temsil eder. İsmi bu aberasyonun yarattığı virgül şeklindeki paternden kaynaklanır. Zernike komponentleri incelendiğinde koma vertikal

veya horizontal şekillidir. Çift görme şikayeti belirgin olarak horizontal koma ile ilişkilidir. KC hastalarında baskın YSA'nın myopik komponentinin inferior yerleşimli koma paterni olduğu gösterilmiştir (37).

SA, pupillanın santralinden ölçülen radyal mesafeye bağlı olarak varyasyon gösteren dördüncü düzenekli bir aberasyondur. Bir optik sistem pupilla santralinde refraktif kusur barındırmazken pupil merkezini çevreleyen dairesel zonlarda kusur artabilir. Sonuç imaj, küçük pupil çapı için keskin iken pupil genişledikçe bozulur (37). SA pozitif veya negatif olabilir. Normal gözlerde genellikle düşük miktarda pozitif SA bulunur. Pozitif SA, santralde hızlanmış alan (hipermetropik odak) ve bunu çevreleyen gecikmiş bir ışık halkası (myopik daire) içerir. Normal populasyonun küçük bir bölümünde negatif SA bulunabilir. Negatif SA santralde geri kalmış alan (myopik odak) ve bunu çevreleyen hızlanmış ışık halkası (hipermetropik daire) içerir. SA cisimlerin etrafında halo görme şikâyeti ile ilişkilidir (37).



**Şekil 3. Zernike piramidi: Tabana doğru inildikçe aberasyonların derecesi artmaktadır.**

YSA yaşlanmayla birlikte kornea ve lens arasındaki dengenin bozulması (kornea hastalıkları veya katarakt gibi) sonucu belirginleşirler. Özellikle SA görme kalitesinde ve kontrast duyarlılıkta azalmaya neden olabilir. YSA cam veya kontakt lenslerle düzeltilemezler.

### 2.3.6. Keratokonusta wavefront aberometri bulguları

Keratokonik gözlerdeki karakteristik YSA bulgusu korneadan kaynaklanan vertikal komadaki belirgin artıştır. Ayrıca trefoil, tetrafoil ve sekonder astigmat da keratokonik gözlerde yüksektir. Her bir terim Zernike vektör analizine göre analiz edildiğinde KC gözlerin inferior slow (yavaş) paternli belirgin vertikal koma ile ters koma paternine sahip olduğu görülür. RGP lens ile YSA belirgin şekilde azalsa da toplam YSA hala normal RGP'li gözlere göre yüksektir. Keratokonik gözlerde arka korneal yüzeyden kaynaklanan artmış YSA mevcuttur ve koma aberasyonun ön kornea koma aberasyonunu dengeleyici rolü vardır (34, 35).

KC'li gözlerde apeks genellikle kornea santralinden yer değiştirmiştir, bu da kornea gücünde asimetriye sebep olur. Ektatik rahatsızlıklardan kaynaklanan kornea düzensizlikleri oküler YSA'yı arttırarak gözün optik kalitesinde ve görme performansında azalmaya sebep olur. KC'li gözlerde YSA'daki artış başlıca koma ve SA artışından kaynaklanır ve primer olarak ön kornea yüzeyinden kaynaklanır. Ön kornea sferik aberasyonu genellikle koma aberasyondan düşüktür. Bu durum koma aberasyonun özellikle vertikal komponentinin KC'li gözlerdeki optik kalite düşüşünün ana sebebi oluşunu açıklar. Ayrıca vertikal koma subklinik KC veya KC şüphesi olan gözlerde normal gözlere göre daha yüksektir, bu hastalığın ilk bulgusunun ön korneadaki vertikal asimetri olduğunu düşündürür. (35).

Zernike polinomları arasındaki denge vizual görme kalitesinin düzgünlüğünü sağlar. Bozulduğunda KC'deki gibi bozulur. Bu durum muhtemelen kon anteriora doğru bulge oldukça SA daha negatif hale gelmekte, koma ve astigmatizma artmaktadır(40) .

Keratokonusta inferior-superior indeks (I-S) ve surface asimetri indeks (SAI) gibi indekslerin artması kornea gücündeki asimetric dağılımı gösterir ve keratokonustaki koma aberasyon artışı ile ilişkilidir. KC'li gözlerde genellikle kon inferiorda yer alır, bu da inferior korneada daha düşük, superior korneada daha yüksek wavefronta sebep olur (41).Kornea aberometrisindeki özellikle primer komadaki artışın görme keskinliğini sınırlamada direkt rolü vardır. Primer komanın sebep olduğu bulanıklığın görme keskinliğinde belirgin negatif etkisi vardır (42). Bununla birlikte bilindiği gibi ön kornea YSA ve sferosilindirik düzeltme görme azlığındaki temel sebep değildir, başka

faktörler mesela arka kornea yüzeyinin optiksel degradasyonu son görme keskinliğinde rol oynar (43).

## **2.4. Kontrast Duyarlılık**

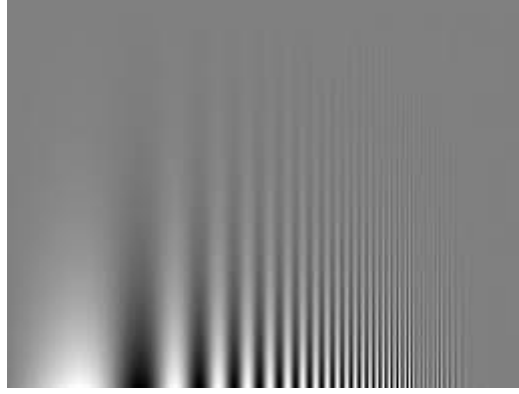
### **2.4.1. Kontrast ve kontrast duyarlılığı**

Kontrast, objenin zemine göre aydınlanma farkı olarak ya da iki bölge arası ortalama aydınlanma farkı olarak tanımlanmaktadır. Kontrast duyarlılığı, hastanın bir test cismini ayırt etmek için, ihtiyaç duyduğu en az miktardaki kontrast (açık ve koyu renk arasındaki fark) miktarıdır. Eğer bir cismin parlaklığı ( $I_{min}$ ) ve arka planın parlaklığı ( $I_{max}$ ) biliniyorsa cisim ile arka plan arasındaki kontrastın derecesi  $(I_{max} - I_{min}) / (I_{max} + I_{min})$  formülü ile hesaplanır.

Snellen görme keskinliği ölçülürken görme sistemi tarafından %100 kontrastta algılanabilen en küçük optotipi ölçeriz. Günlük hayatta %100 kontrasta nadir rastlanır, çoğu görsel iş daha düşük kontrastlı ortamlarda uygulanmaktadır.

Modulasyon transfer fonksiyonu (MTF) kontrast duyarlılığın değerlendirilmesinde kullanılan bir kavramdır. Işık yoğunluğunun sinüzoidal şekilde sıfırdan en tepe değere doğru değiştiği bir hedef düşünüldüğünde kontrast %100 dür, kenarlarının keskinliği azalmış bir çubuk grafik olarak görülmektedir. Her açı veya uzunluk birimine düşen ışık şeritlerinin sayısına uzaysal frekans denir. Uzaysal frekans Snellen görme keskinliği ile yakından ilişkilidir, 20/20 Snellen görme keskinliği (%100 hedef kontrastı için) uzaysal frekans sistemine göre 30 devir/derece rezolüsyona karşılık gelir.

Ayırt edilebilen en düşük kontrast, kontrast eşik değeri; kontrast eşik değerinin tersi, kontrast duyarlılığı olarak tanımlanır. Kontrast duyarlılığın, hedefin uzaysal frekansının fonksiyonu olarak değişimine ise kontrast duyarlılık (KD) fonksiyonu denir. Tipik bir kontrast duyarlılık eğrisi sinüzoidal çizgiler (grating) ile elde edilir (44).



**Şekil 4. Kontrast duyarlılık çizgileri. Bu örnekte kontrast aşağıdan yukarıya doğru azalmakta ve desenin uzaysal frekansı soldan sağa doğru artmaktadır.**

Objeleri düşük kontrastta tanıyabilmek görme performansının iyi bir göstergesidir ve araba sürmek okumak, yer-yön bulmak gibi görevleri yapabilmekle yakın ilişkilidir. KD glokom, katarakt ve optik nörit gibi hastalık tanı ve izleminde de yardımcıdır. Kontrast sensitivite ölçümü görmenin niteliği hakkında yararlı bilgiler sağlar ve az görme kliniklerinde kullanılması tavsiye edilir.

Günümüzde KD ölçümünde hedef olarak hem harfler hem de çeşitli örgü (grid) desenleri kullanılmaktadır. Grid hedefler değişik parlaklıklarda siyah beyaz çubuklardan oluşmaktadır. Sinüzoidal dalga desenleri en çok kullanılan ve Campbell tarafından santral sinir sisteminin çözümüline en yakın görüntü örneği olduğu ifade edilen desendir. Bu dalga yönlerinin tanınabilmesi için en az 6 kez tekrarlandıkları bir desen sunulmalıdır. Ayrıca görsel sistem vertikal oryantasyonlu desenlere oblik olanlardan daha duyarlıdır (45). Ek olarak düzeltilmemiş astigmatizma, astigmatik aksa paralel olan desenlerin diğer yönlerden daha kolay tanınmasını sağlar (45, 46). Buradan hareketle harflerin kontrast testi için daha uygun olduğu fikri doğmaktadır. Harfler kullanılarak kişinin grid desenlerindeki 3 oryantasyondan birini seçmek yerine kontrastı giderek azalan harfleri tahmin etmesi istenmektedir. Ayrıca astigmatizmadan etkilenmeyen harf tipi hedefler yaşlı insanlar tarafından da daha kolay anlaşılabilir. Pelli ve Robson pratik bir çözüm yolu bulmuş, kontrast duyarlılık ölçümü için değişik kontrast düzeylerinde harf tipi hedefler kullanmıştır (45, 46). Oluşturdukları kartlarla elde ettikleri test sonuçlarının da grating testleriyle benzer olduğunu göstermişlerdir. Tek uzaysal frekanslı test üretenlerin savunma mantıkları, kontrast duyarlılık eğrisinin, hemen hemen her hastalıkta benzer şekilde olduğu ve bir

tek uzaysal frekansa ait kontrast duyarlılık değeri ile görme keskinliği düzeyinin bilinmesinin diğer frekansları tahmin etmek için yeterli olduğu iddiasıdır (47).

#### 2.4.2. Kontrast duyarlılığı etkileyen durumlar

Pupilla boyutu: Miyotik pupillada, difraksiyon (dağılma) kontrast KD'ı azaltırken, dilate pupillada optik aberasyonlar KD'ı etkileyebilir.

Kornea patolojileri

Lens değişiklikleri: Özellikle yeni başlangıç kataraktlar Snellen görme keskinliğini etkilemeden KD'ı etkileyebilir.

Retina patolojileri

Glokom

Ambliyopi (44).

KD ile oküler YSA arası ilişki değişik oküler hastalıklarda çalışılmıştır (48-52). Kataraktlı gözlerde KD azalmış, YSA artmıştır (49). Applegate ve arkadaşları radial keratomi sonrası wavefront arttıkça KD fonksiyonunun azaldığını göstermişlerdir (50). Yamane ve arkadaşları LASIK cerrahisi sonrası oküler yüksek sıralı aberasyonların belirgin derece arttığını ve bu durumun kontrast sensitivite fonksiyonunun azalttığını göstermişlerdir (51).

#### 2.4.3. Kontrast duyarlılığı ölçen yöntemler

KD'ı ölçen testler üç farklı yöntem ile uygulanabilir;

**Limit sistemi** Snellen'de kullanılır, seçilen en düşük kontrast düzeyi kaydedilir.

**Tercihli bakış** uzun sürer, hedef siyah veya beyaz zemin ile karşılaştırılır.

**Merdiven metotta** limit sistemindeki gibi önce seçilebilecek en yüksek frekans kabaca belirlenir, sonra bu değer altındaki ve üstündeki değerler tek tek değerlendirilerek eşik değeri saptanır.

KD için kullanılan sinüzoidal "grating" örnekleri ekranda bilgisayar yardımı ile veya katot ışıklı tüp ekranında oluşturulabilir; bunlar en çok kullanılan yöntemlerdir (53, 54). Sinüzoidal örnek içeren uzak ve yakın kontrast duyarlılık kartları klinik

kullanım için basılı şekillerde de kullanılabilir (55). Osiloskop 14 ekranında elde edilen sinuzoidal örneklerin kullanılması taşınma zorluğu ve maliyeti nedeniyle kullanım açısından pratik değildir. Ayrıca kalibrasyon gerektiren ve oftalmologların alışık olmadığı test yöntemleridir. Kartlar üzerine basılmış olanların kullanımı ise basit ve hızlıdır (56, 57).

#### **2.4.4. Kontrast duyarlılık ölçümünde kullanılan klinik yöntemler**

**Pelli-Robson Kartı:** Pelli-Robson 3 metreden bakıldığında yaklaşık 0,5 devir/derece, uzaysal frekansa denk gelen tek boyutlu harf ortotipleri ile çalışmıştır (45). Her sırada üç harflik iki ayrı kontrast grubu bulunmaktadır. Kontrast seviyesi her bir grupta 0,15 logaritmik ünite azalmakta olup, 8 satırda toplam 16 ayrı kontrast sergilenir. İlk üç harf % 100 kontrastta olup, en sonunda % 0,56'lık kontrast seviyesindeki harf üçlüsü yer alır (45, 47). Bu testin otörleri tek uzaysal frekanstaki bu ölçümün, görme keskinliği ile birlikte değerlendirildiğinde hastanın her türlü KD kaybını saptamak için yeterli olacağını öne sürmektedir. Testin avantajı hastanın tanıdığı harfleri (Snellen harfleri) kullanması sebebiyle kolay uygulanabilmesidir. Rubin yüksek test tekrarı güvenilirliği bildirmiştir (45). Testin temel dezavantajı bir tek büyüklükteki harflerle oluşturulmasıdır.

**Hamilton Veale Kartı:** Pelli-Robson kartlarına benzer şekilde tek boyutlu harflerden ibarettir. Her sırada iki harflik iki ayrı kontrast grubu bulunmaktadır. Kontrast seviyesi her bir grupta 0.15 logaritmik ünite azalmakta olup, 8 satırda toplam 16 ayrı kontrast sergilenir. İlk iki harf % 100 kontrastta olup, en sonunda % 0,60'lık kontrast seviyesindeki harf ikilisi yer alır. Hastanın harfleri okuması istenir, yanlış okuduğu harf çiftine dek ilerlenir. Hatalı okuduğu bu sıranın bir öncesi o kişinin skoru olarak kabul edilir.

#### **Diğer klinik yöntemler (56, 57):**

- Arden Kartı
- Cambridge Düşük Kontrast Gratingleri
- Mentor B-VAT II Video Acuity Meter
- Mr. Happy Testi
- Nicolet Biomedikal Aletleri



- Vistech Vizyon Kontrast Testi Sistemi (VCTS)
- Regan Düşük Kontrast Testi
- Vistech VCTS 6500 eşeli
- F.A.C.T. (Functional Acuity Contrast Test)

#### **2.4.5. Keratokonusta kontrast duyarlılık**

Deneysel olarak oluşturulan keratokonik gözlerde orta ve yüksek uzaysal frekanslarda KD'de azalma gösterilmiştir. Keratokonik gözlerde KD'deki azalmanın ana nedeni kornea distorsiyonudur, fakat ilerleyen evrelerde kornea opasitelerinin gelişmesi ile düşük uzaysal frekanslarda da KD kaybı görülmektedir (58). Keratokonusta uzak ve yakın görme normal olsa dahi topografik parametrelerde anormallikle orantılı olarak KD kaybı görülmektedir (59). Sert kontakt lensle görmede düzelme olan keratokonus hastalarında KD seviyesi daha düşük kalmaktadır (60). KC'li gözlerde harf kontrast duyarlılığı 3. sıra koma aberasyonlarla 4. Sıra sferik aberasyonlara göre daha koreledir (35). CLEK çalışmasında KC'li gözlerde düşük kontrastta görme keskinliğinin yüksek kontrasta göre daha hızlı düştüğü gösterilmiştir (93). Pesudovs ve arkadaşları normal, KC'li ve penetran keratoplasti geçirmiş hastaları karşılaştırırken GK'nin yanında düşük kontrast GK ve Pelli-Rabson KD'nin de yardımcı bilgiler sağladığını göstermişlerdir (94).

### 3. GEREÇ VE YÖNTEM

Turgut Özal Üniversitesi Tıp Fakültesi Göz Hastalıkları Anabilim Dalı kliniğinde Mart 2011- Mart 2012 tarihleri arasında muayene olup keratokonus tanısı konan 40'ı erkek, 31'i kadın toplam 71 hastanın 123 gözü çalışma kapsamına alındı.

Keratokonus tanısı refraktif, keratometrik ya da klinik bulgulara göre kondu. Tanı topografi bulgularıyla desteklendi ya da erken evrelerde tanı için ön aksiyel, tanjansiyel, ön ve arka elevasyon ve pakimetri haritaları kullanıldı.

Kornea ya da intraoküler göz ameliyatı geçiren ve ileri kornea skarı olan, fakik ya da psödo fakik GİL taşıyan gözler, diyabetik retinopati, optik disk hastalığı ve tilted disk olan hastalar çalışmaya alınmamıştır.

Ailede keratokonus hikâyesi araştırıldı. Sağlıklı topografi ölçümü için RGP tipinde kontakt lens kullanan hastalardan muayeneden 3 gün önce lenslerini çıkartmaları istendi. Bütün hastalar tam bir oftalmolojik muayeneden geçirildi. Tüm fizik muayene ve görme testleri aynı göz hekimi tarafından yapıldı.

Makroskopik ve biyomikroskopik keratokonus ve eşlik edebilecek alerji ve atopi bulguları (Munson belirtisi, Vogt's çizgileri, Fleischer halkası, arkus vernalis, atopik keratokonjonktivit) araştırıldı ve kaydedildi.

#### **Refraksiyon ve Görme Testleri**

Hastaların refraksiyon muayeneleri otorefraktometre cihazı (KR 8900, Topcon, Japonya) ile yapıldı. Otorefraktometre sonucuna göre duvara asılmış Snellen Projeksiyon Eşeli (Auto Chart Projector ACP 8, Topcon, Japonya) ve Otomatik Compüterize Foropter (Compu Vision CV 3000, Topcon, Japonya) yardımıyla aydınlık ortamda 6 m mesafeden en iyi görme keskinliğini veren sferik ve silindirik değerler ve en iyi uzak GK kaydedildi. 45 cm mesafeden standart Jaeger Eşeli kullanarak

düzeltilmiş yakın GK'e bakıldı. Hemalton Veale KD kartı ile her göz için 1 m mesafeden uzak düzeltme ile tek tek gözler kapatılarak, standart şekilde aydınlatılmış muayene odasında, harf KD ölçümleri ayrı ayrı kaydedildi.

Son olarak her bir keratokonuslu göze uygun sert kontakt lens takılarak RGP ile görme keskinliğine bakılıp kaydedildi.

### **Kornea Topografi Analizi**

Kornea Topografi analizi "Galilei Dual Scheimpflug Topografi" (Ziemer, İsviçre) cihazı kullanılarak yapıldı. Hastanın çenesi çeneliğe oturtulup alını alınlığa yaslandı. Hastaya iki gözünü de açması ve fiksasyon noktasına bakması söylendi. Her göz için birkaç tane topografik görüntü alındı. Placido ve Scheimpflug imajı için yeterli görüntü kalitesinin alındığı kontrol edilip her göz için yüksek kalitedeki bir görüntü kaydedildi.

Galilei cihazında kayıtlı olan ve KC olma ihtimalini değerlendiren çeşitli KC indeksleri kullanıldı. Ayrıca çeşitli topografik haritalardan da indeksler hesaplandı. Kullanılan topografik indeksler ve ifade ettiği değerler şöyledir:

**I-S değeri (Inferior-Superior Value):** Kornea asimetrisinin bir ölçüsüdür. Superior değer inferior değerden çıkarılması ile elde edilir. Kısaca diyoptrik güç alt korneada 5 noktada ( santral korneadan 3,0 mm uzakta 30° aralıklarla [210°, 240°, 270°, 300°, 330°]) ve üst korneada 5 simetrik noktada [30, 60, 90, 120, 150] kaydedilir. Pozitif I-S değeri daha dik inferior korneayı, negatif olması daha dik superior korneayı gösterir.

**ACP (average central power):** Santral 3 mm'lik alandaki bütün noktaların diyoptrik gücünün ortalamasıdır.

**CSI (central/surround index):** Santral 3mm'lik alandaki güç ile (ortalama area corrected power) santral alanı çevreleyen 3-6 mm'lik alandaki gücün farkıdır.

**DSI (differential sector index):** Komşu olmayan herhangi iki 45 derecelik sektördeki (1/8 lik dilim) ortalama (area corrected ) güçteki en yüksek farkı verir.

**OSI (opposite sector index):** Karşılıklı 45 derecelik dilimlerdeki (birbirine zıt dilimler) ortalama güçteki en yüksek farkı verir.

**IAI (irregüler astigmatism index):** Her karşılıklı semi-meridyende analiz edilen ve ortalama kornea gücüne göre normalize edilmiş ortalama diyoptrik değişimlerin toplamıdır.

**SAI (surface asymmetry index):** Her meridyende birbirine 180 derece karşılıklı noktalardaki santral ağırlıklı kornea güç farkının toplamıdır.

**SRI (surface regularity index):** Bir hemimeridyendeki ardışık noktaların güç farkı (pozitif bir değerdir) toplanır, bu değer toplama katılan nokta sayısına bölünür ve derecelendirilir.

**KPI (keratoconus prediction index):** DSI, OSI, CSI, SAI, simK1, simK2, IAI ve AA'dan hesaplanan bir indekstir.  $KPI = 4.62 * [0.30 + 0.01 (-41.23 - 0.15 * DSI + 1.18 * OSI + 1.49 * CSI + 4.13 * SAI - 0.56 * SimKs + 1.08 * SimKf - 3.74 * IAI + 0.10 * AA)] - 60.25$

KPI ve KProb kornea deformasyonunun göstergesidir ve sadece ön kornea yüzeyi ile ilişkilidir.

$\epsilon^2$ : Korneanın şekli koniden kesitler şeklinde ve  $\epsilon^2$  şeklinde sunulabilir. Normal kornea yüzeyi küreden (sfer) ( $\epsilon^2=0$ ) dışı doğru çıkıntılı (merkezde dik, periferde daha düz) torik elipsoid asfer ( $1 > \epsilon^2 > 0$ ) arasında değişir. Anterior ve posterior aksiyel kurvatur haritalarından elde edilir.

**Kranemann-Arce indeksi:** Galilei'de torik asferik referans yüzeyden türetilmiş elevasyon haritası best fit toric aspheric (BFTA) olarak adlandırılır. Kranemann-Arce indeksi, Galilei BFTA elevasyon haritalarından en yüksek pozitif ve en düşük negatif

değerler arasındaki farkı göstererek her iki kornea yüzeyindeki asferik kurvatür değişikliklerinin asimetrisini belirler. Normal değerleri 0 ila 20-25 µm arasındadır.

**Anterior, posterior BFS:** Kornea şeklinin referans yüzey olarak sfer ile karşılaştırıldığı elevasyon haritalarında (best fit spheric- BFS) pakimetrik olarak en ince noktalara karşılık gelen anterior ve posterior elevasyon değerleri kaydedildi.

**K<sub>1</sub>, K<sub>2</sub> değerleri:** Anterior kornea keratometri değerleri

**Posterior Ks:** Posterior kornea dikliği kaydedildi. Posterior aksiyel kurvatür haritasından elde edilir.

**Pakimetri:** Ortalama santral kornea kalınlığı kaydedildi.

**TPI indeksi (Thickness Progression Index):** Bu indeks periferik pakimetrik değer ile en ince pakimetrik değer farkının aradaki mesafeye bölünmesi ile bulunur. Birimi um/mm'dir. Normal değeri 40-45 um/mm'den küçüktür. Bu değer Display menüsünden Map X1 haritasından her bir göz için ayrı ayrı manual olarak hesaplandı. Periferik kornea değeri olarak renk geçişlerinin en fazla olduğu, en ince pakimetrik değere en yakın nokta alındı.

**Pakimetri desantralizasyon miktarı (PDM):** Normal korneaların %90'ında pupil santrali ile kornea pakimetri haritasındaki en ince alanın merkezi arasındaki mesafe 1 mm'nin altındadır. Bu mesafenin artmış olması keratokonus lehinedir.

Ayrıca topografide aksiyel kurvatür haritasına göre kon lokalizasyonları santral ve diğerleri şeklinde gruplandı.

### **Kornea Aberasyon Analizi**

Topografik keratokonus indekslerinden başka kornea wavefront (aberasyon) haritasından total kornea RMS (µm), SA (µm) ve horizontal ve vertikal koma (µm) değerlerine bakıldı.

**RMS:** Tüm kornea yüksek dereceli aberasyonlarını özetleyen toplam kornea aberasyonudur.

**Sferik aberasyon:** Değeri kornea şekli ile ters orantılıdır. Normal değerler +0.15-+0.30 µm arasındadır. Kornea daha prolabe oldukça SA daha az pozitifdir veya negatiftir. Artmış negatif SA artmış pozitif  $\epsilon^2$  ile ilişkilidir, ikisi birlikte multifokalite büyüklüğünün ve yüzeyin ne kadar prolabe olduğunun göstergesidir. İlerleyen vakalarda kornea sinusoid bir şekil aldığında SA ve  $\epsilon^2$  değerleri daha düşük olabilir.

**Koma:** Santralden periferde kornea kurvatüründeki asimetrik değişikliği gösterir. Çoğu KC olgusunda asimetri vertikaldir. Bu nedenle vertikal coma artmış inferior dikleşmeyi gösterir.

**Koma ve astigmatizma aks farkı:** Koma aksı ile astigmatik aks arasındaki fark alındı. Eğer koma aksı 180 dereceden fazla ise, o değerden 180 çıkarılarak bulunan değer ile astigmat aksı arasındaki farka bakıldı. Fark 30 dereceden fazla olanlar ve olmayanlar şeklinde hastalar gruplandırıldı.

### **İstatistik Analizi**

Bu çalışmada görme kalitesi göstergeleri (uzak ve yakın düzeltilmiş en iyi görme keskinliği, KD, RGP ile görme keskinliği) ile (fonksiyonel ve anatomik keratokonus özelliklerini yansıtan) topografik, pakimetrik ve wavefront parametreleri arasındaki korelasyona bakıldı.

Verilerin analizi SPSS for Windows 11.5 paket programında yapıldı. Tanımlayıcı istatistikler sürekli değişkenler için ortalama, standart sapma, ortanca, en düşük ve en yüksek olarak gösterildi. Sürekli değişkenler arasında anlamlı ilişkinin olup olmadığı ise Spearman'ın Korelasyon testi kullanılarak araştırıldı.

İstatistiksel olarak korelasyon (ilişki) değerlendirilirken öncelikle p değerine bakılır. p değeri 0,05'in altında ise değişken çiftleri arasında istatistiksel olarak anlamlı ilişki vardır. İlişkinin yönünü belirlemek için korelasyon katsayısının (r değerinin) önündeki işarete bakılır. Eksi (-) işareti varsa, değişken çiftleri arasında ters yönlü

korelasyon vardır; korelasyon katsayısının önünde işaret yoksa, bu artı (+) olarak kabul edilir ve değişken çiftleri arasında aynı yönlü korelasyon vardır. Korelasyon katsayısı ters yönlü ilişkinin olduğu durumlarda -1.000'e ne kadar yakınsa, aynı yönlü ilişkinin olduğu durumlarda 1.000'e ne kadar yakınsa değişken çiftleri arasındaki ilişki o kadar güçlüdür.

#### 4. BULGULAR

Çalışmaya 71 hastanın 123 gözü alındı. Hastaların yaşları 14-54 arasında değişmekteydi. Hastaların %56 sı erkekti. 52 hastanın iki gözü çalışmaya alınırken, 7 hastanın sadece sağ gözü, 12 hastanın sadece sol gözü çalışmaya alındı. Olguların demografik özellikleri Tablo 4'te verilmiştir.

**Tablo 4. Olguların Demografik Özellikleri.**

<b>Değişkenler</b>	<b>n=71</b>
<b>Yaş</b>	28,3±8,3
<b>Yaş Aralığı</b>	14-54
<b>Cinsiyet</b>	
<i>Erkek</i>	40 (%56,3)
<i>Bayan</i>	31 (%43,7)
<b>Taraf</b>	
<i>Sağ</i>	7 (%9,9)
<i>Sol</i>	12 (%16,9)
<i>Bilateral</i>	52 (%73,2)

Hastaların 5'i ailede keratokonus hikayesi verirken, 25'sinde alerji görülmekte idi. 14 gözde Fleischer halkası, 20 gözde Munson belirtisi, 22 gözde Vogt's çizgileri ve 2 gözde arcus vernalis mevcuttu.

Hastaların en iyi düzeltilmiş uzak görme keskinliği 0,1-1,0 arasında değişmekteydi, ortanca 0,7 iken ortalaması 0,7±0,25'tir. RGP ile uzak görme keskinliği değerleri 0,4-0,9 arasında değişmekteydi, ortanca 0,9 iken ortalaması 0,9±0,15'tir. Düzeltilmiş en iyi yakın görme keskinliği değerleri 0,1-1 arasında idi, ortanca 0,4; ortalama 0,4±0,22 idi. Harf KD değerleri 1-13 arasındaydı, ortanca 10 iken ortalama 9,8±3,09 idi (Tablo 5).



**Tablo 5. Görme Kalitesi Göstergelerine Ait Tanımlayıcı İstatistikler.**

Değişkenler	Ortalama	Std.Sapma	Ortanca	En Düşük	En Yüksek
<b>GK Uzak</b>	0,7	0,25	0,7	0,1	1,0
<b>GK RGP</b>	0,9	0,15	0,9	0,4	1,0
<b>GK Yakın</b>	0,4	0,22	0,4	0,1	1,0
<b>KD</b>	9,8	3,09	10,0	1,0	13,0

**Refraksiyon değerlerinin analizi:**

Hastaların objektif ve subjektif sferik refraksiyon değerleri -18,00 ile 5,25 D arasındaydı, objektif sferik refraksiyon ortalaması  $-3,43 \pm 4,13$  D idi. En iyi gördükleri sferik refraksiyon ortalaması  $-2,55 \pm 3,24$  D idi. Silindirik değerler -10,00 ve 2,25 arasında idi, objektif silindirik refraksiyon ortalaması  $-3,64 \pm 2,44$  D, en iyi gördüğü silindirik refraksiyon ortalaması  $-1,90 \pm 1,74$  D idi (Tablo 6).

**Tablo 6. Reaktif Özelliklere Ait Tanımlayıcı İstatistikler.**

Değişkenler	Ortalama	Std.Sapma	Ortanca	En Düşük	En Yüksek
<b>Sferik Oтореfraksiyon (D)</b>	-3,43	4,13	-2,37	-18,00	5,25
<b>Silindirik Oтореfraksiyon (D)</b>	-3,64	2,44	-3,25	-10,00	2,25
<b>En İyi Gösteren Sferik (D)</b>	-2,55	3,24	-1,50	-13,00	4,75
<b>En İyi Gösteren Silindirik (D)</b>	-1,90	1,74	-1,50	-6,50	2,00

Görme kalitesi ile refraktif değerler arasındaki ilişki Tablo 7’de gösterilmiştir. Görme kalitesi ile refraktif değerler arasındaki ilişkiye bakıldığında objektif sferik, silindirik refraksiyon ve en iyi gördüğü sferik ve silindirik refraksiyon ile bütün görme parametreleri arasında anlamlı ilişki vardı (tüm refraksiyon ölçümleri için  $p < 0,001$ ) (Tablo 7).

Tablo 7’de görüldüğü üzere refraksiyon ile görme parametreleri arasındaki anlamlı ilişki sırasıyla KD, yakın ve uzak görme keskinliği arasında bulundu. Refraksiyon değerlerinden özellikle silendir değeri ile KD, yakın görme ve uzak görme arasında en güçlü pozitif bir ilişki dikkati çekmektedir (sırasıyla  $r=0.602$ ,  $r=0.550$  ve  $r=0.503$ ). Bu ilişki eksi yönde refraksiyon değeri yükseldikçe görme ve KD değerinin

de azaldığı şeklinde bir ilişkidir. Objektif sferik refraksiyon uzak görme keskinliği ile yakın görme keskinliği ve KD'e göre daha kuvvetli ilişki göstermiştir (sırasıyla  $r=0,512$ ,  $0,461$ ,  $0,387$ )

**Tablo 7. Görme Kalitesi Göstergeleri ile Refraktif Özellikler Arasındaki Korelasyon Katsayıları ve Önemlilik Düzeyleri.**

Değişkenler	Gk Uzak		Gk RGP		Gk Yakın		KD	
	r	p	r	P	r	P	r	P
Sferik Ostorefraksiyon (D)	0,512	<0,001	0,464	<0,001	0,461	<0,001	0,387	<0,001
Silindirik Ostorefraksiyon (D)	0,503	<0,001	0,332	<0,001	0,550	<0,001	0,602	<0,001
En İyi Gösteren Sferik (D)	0,451	<0,001	0,406	<0,001	0,392	<0,001	0,328	<0,001
En İyi Gösteren Silindirik (D)	0,355	<0,001	0,274	0,002	0,354	<0,001	0,337	<0,001

#### **Kornea topografisinden elde edilen indekslerin analizi:**

Hastalardan elde edilen topografik ölçümler ve değerleri Tablo 8'de görülmektedir.

**Tablo 8. Topografik Ölçümlere Ait Tanımlayıcı İstatistikler.**

Değişkenler	Ortalama	Std.Sapma	Ortanca	En Düşük	En Yüksek
<b>K1(D)</b>	46,0	3,50	45,1	39,2	56,4
<b>K2(D)</b>	49,7	4,29	49,3	40,1	60,3
<b>Posterior K<sub>s</sub> (D)</b>	-7,6	0,84	-7,4	-9,9	-5,7
<b>ε<sup>2</sup> Anterior</b>	1,1	0,62	1,1	-0,5	3,3
<b>ε<sup>2</sup> Posterior</b>	1,3	0,71	1,3	-0,6	3,4
<b>K-A Anterior (µm)</b>	49,8	25,28	45,0	7,0	158,0
<b>K-A Posterior (µm)</b>	96,1	45,86	84,0	19,0	263,0
<b>Anterior BFS (µm)</b>	15,9	8,15	14,0	1,0	44,0
<b>Posterior BFS (µm)</b>	35,5	15,58	34,0	2,0	91,0
<b>Pakimetri (µm)</b>	491,7	34,95	493,0	384,0	564,0
<b>TPI</b>	53,9	12,46	53,0	30,0	94,0
<b>PDM</b>	1,0	0,43	0,9	0,3	4,7
<b>I-S (D)</b>	7,5	4,63	6,6	0,1	23,1
<b>SAI (D)</b>	3,9	2,21	3,5	0,4	14,0
<b>SRI (D)</b>	1,7	0,41	1,8	0,7	3,0
<b>IAI (D)</b>	0,8	0,30	0,8	0,4	2,7
<b>DSI (D)</b>	7,8	3,98	7,4	1,2	24,3
<b>OSI(D)</b>	6,9	3,97	6,2	0,8	20,7
<b>CSI(D)</b>	2,5	2,01	2,1	-1,0	10,0
<b>ACP(D)</b>	49,0	4,33	48,1	39,8	60,1
<b>KPI</b>	74,9	28,77	82,7	3,1	100,0
<b>KPROB</b>	90,9	23,57	100,0	3,3	100,0

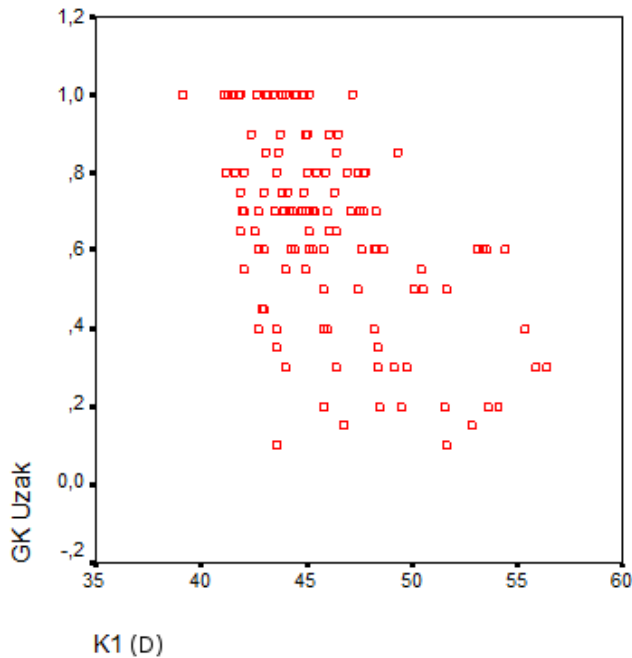
Topografik ölçümler ile görme kalitesi arasındaki ilişki Tablo 9’da gösterilmektedir. Görme parametreleri ve topografik ölçümler arasındaki ilişkiye bakıldığında uzak görme keskinliğinin pakimetri değeri ve pakimetrik desantralizasyon miktarı (PDM) (sırasıyla  $p=0,002$ ,  $p=0,279$ ) dışında bütün diğer parametreler ile anlamlı ilişki içinde olduğu görüldü. RGP görme keskinliği pakimetri, TPI, PDM, I-S ve OSI ( $p=0,007$ ,  $p=0,037$ ,  $p=0,3$ ,  $p=0,01$ ,  $p=0,006$ ) dışındaki parametrelerle anlamlı ilişki içinde idi. Yakın

görme keskinliği PDM ( $p=0.214$ ), KD ise TPI ve PDM ( $p=0,002$ ,  $p=0,328$ ) dışındaki parametrelerle anlamlı ilişkide idi.

İlişkilerin yönüne bakıldığında genel olarak, ilişkilerin ters yönlü olduğu yani topografik ölçümler arttıkça görme kalitesinin düştüğü görülmekte idi. Sadece iki parametrede ilişkinin yönü pozitifti. Bunlardan birisi pakimetri, diğeri posterior  $K_s$  değeridir. Pakimetri değeri arttıkça görme kalitesi de artmaktadır. Posterior  $K_s$  değeri negatif olarak arttığında görme kalitesi de düşme göstermekte idi.

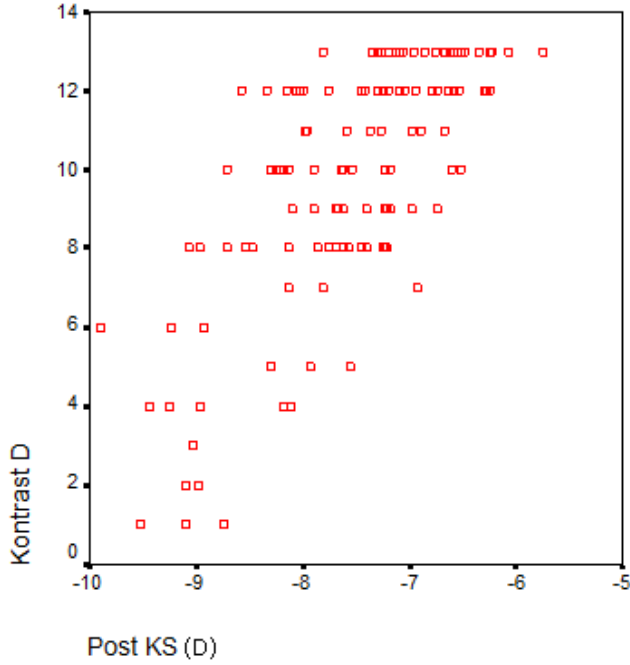
Tablo 8 ve 9'a baktığımızda:

K1 ve K2 değerleri sırası ile  $46\pm 3,50$  D,  $49,7\pm 4,29$  D idi. K1 ve K2 değerleri arttıkça bütün görme kalitesi göstergeleri düşme göstermekte idi (Şekil 5), K2 ile görme parametreleri arasında K1'e göre daha kuvvetli ilişki gözlemlendi. K2 ile sırası ile KD, yakın GK ve uzak GK arasındaki ilişki (sırası ile  $r=-0,680$ ,  $r=-0,657$ ,  $r=-0,616$ ) daha kuvvetli iken K1 ile en kuvvetli ilişki uzak GK sonra sırası ile yakın GK ve KD arasında idi (sırasıyla  $r=-0,486$ ,  $r=-0,478$ ,  $r=-0,476$ ).



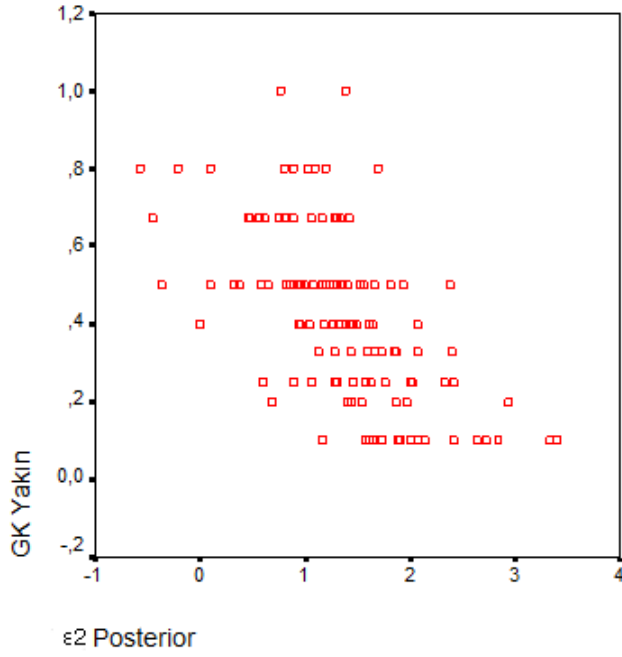
**Şekil 5. Uzak görme keskinliği ile K1 arasında anlamlı bir ilişki vardır. (Spearman'ın korelasyon katsayısı  $r= -0,486$ ,  $p<0,001$ ).**

Posterior Ks değerleri  $-7,6 \pm 0,84$  idi. sırasıyla KD, yakın GK ve uzak GK arasında pozitif yani değerler negatif olarak arttıkça görme seviyesi düşmekte idi (sırasıyla  $r=0,675$ ,  $r=0,630$ ,  $r=0,596$ ) (Şekil 6).



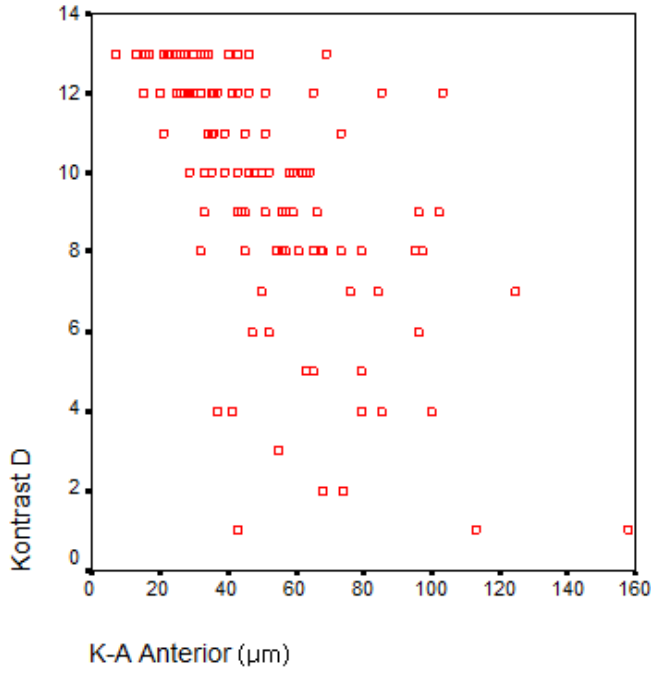
**Şekil 6. Harf kontrast duyarlılığı ile posterir Ksteep arasında anlamlı ilişki mevcuttur (Spearman'ın Korelasyon katsayısı  $r= 0,675$   $p<0,001$ ).**

$\varepsilon^2$  posterior değerleri beklenildiği gibi  $\varepsilon^2$  anterior değerlerinden daha büyüktü ( $1,3 \pm 0,71$  /  $1,1 \pm 0,62$ ). Her iki parametre de attıkça görme kalitesi düşmekte idi (Şekil 7). Her iki parametre de sırası ile KD, yakın GK ve uzak GK ile daha kuvvetli ilişki içinde idi (sırasıyla  $r=-0,684$ ,  $r=-0,650$ ,  $r=-0,592$  /  $r=-0,668$ ,  $r=-0,642$ ,  $r=-0,617$ ).  $\varepsilon^2$  posterior sadece uzak GK dışında  $\varepsilon^2$  anteriora göre görme parametreleri ile daha kuvvetli ilişki gösterdi.



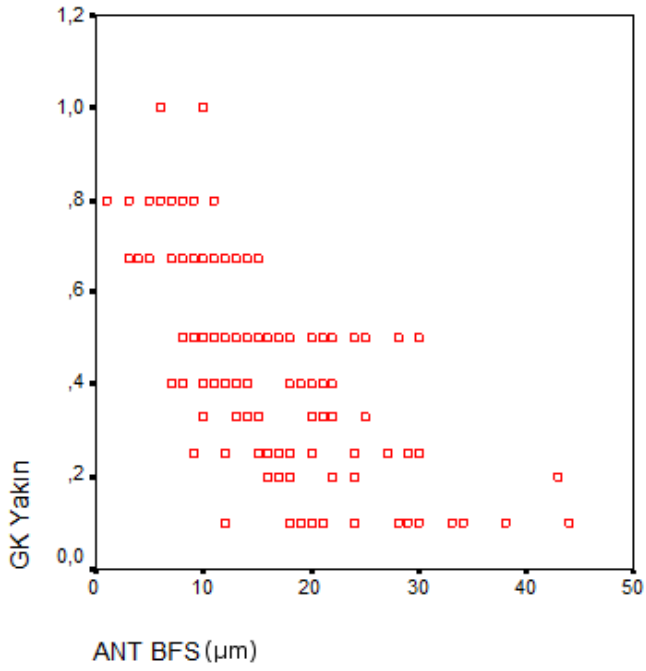
**Şekil 7. Yakın görme keskinliği ile  $\epsilon_2$  Posterior arasında anlamlı ilişki mevcuttur (Spearman'ın Korelasyon katsayısı  $r = -0,650$ ,  $p < 0,001$ ).**

K-A anterior ve K-A posterior ortalaması sırası ile  $49,8 \pm 25,28 \mu\text{m}$ ,  $96,1 \pm 45,86 \mu\text{m}$  idi. K-A anterior görme kalitesi ile K-A posteriora göre daha kuvvetli negatif bir ilişki içinde idi (Şekil 8), yani değerler arttıkça görme kalitesi düşüyordu. Her iki değer de öncelikle KD ve yakın GK ile kuvvetli ilişki gösterdi.



**Şekil 8. Harf kontrast duyarlılığı ile K-A Anterior indeksi arasında anlamlı ilişki mevcuttur (Spearman'ın Korelasyon katsayısı  $r = -0,717$ ,  $p < 0,001$ ).**

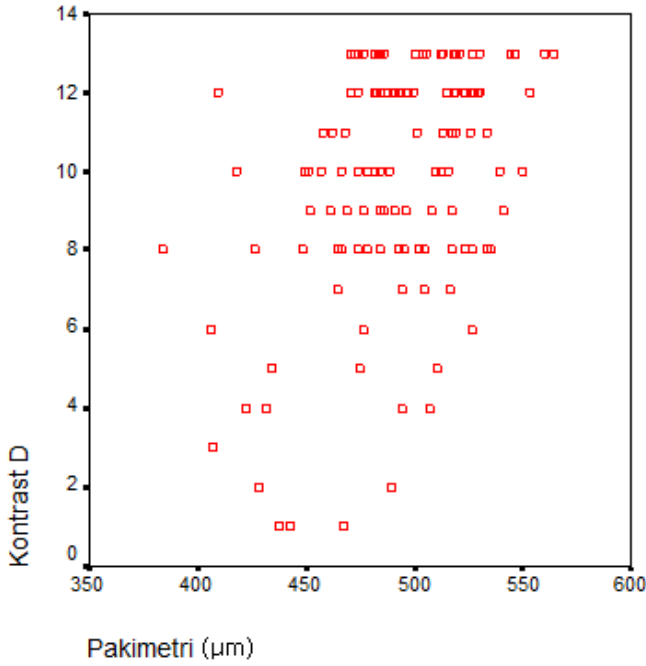
Anterior ve posterior BFS değerleri sırası ile  $15,9 \pm 8,15 \mu\text{m}$ ,  $35,5 \pm 15,58 \mu\text{m}$  idi. BFS değerleri arttıkça görme kalitesi düşmekte idi (Şekil 9). Anterior BFS değerlerinin görme parametreleri ile ilişkisi posterior BFS'ye göre RGP GK dışında daha kuvvetli idi. Her iki parametre de sırası ile KD, yakın GK ve uzak GK ile daha kuvvetli ilişki içinde idi (sırasıyla  $r = -0,698$ ,  $r = -0,687$ ,  $r = -0,648$ ,  $r = -0,376$  /  $r = -0,666$ ,  $r = -0,658$ ,  $r = -0,600$ ,  $r = -0,393$ ).



**Şekil 9. Yakın görme keskinliği ile anterior BFS arasında anlamlı ilişki mevcuttur (Spearman'ın Korelasyon katsayısı  $r = -0,687$ ,  $p < 0,001$ ).**

Pakimetri değeri  $491 \pm 34,95$   $\mu\text{m}$  idi. Sadece KD ve yakın GK arasında pozitif yönde anlamlı fakat zayıf bir ilişki vardı (Şekil 10), KD ile olan ilişki yakın GK'e göre daha kuvvetli idi ( $r = 0,357$  /  $r = 0,351$ ).



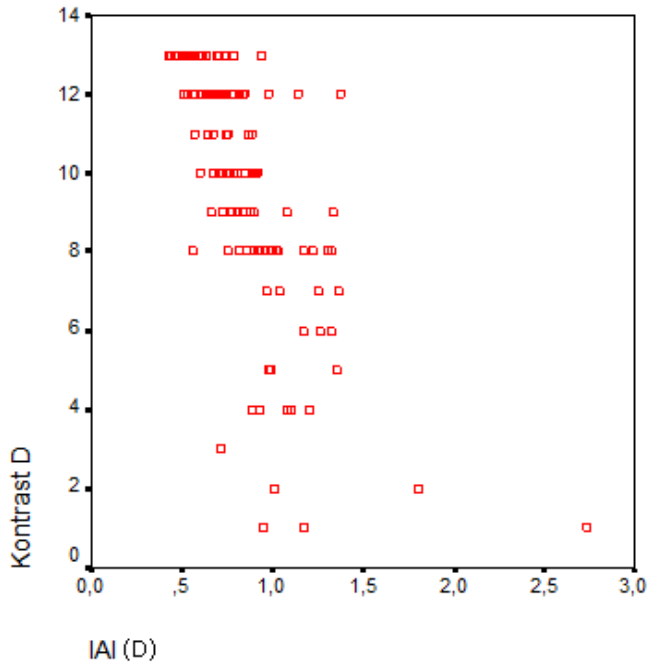


**Şekil 10. Harf kontrast duyarlılığı ile pakimetri arasında anlamlı ilişki mevcuttur (Spearman'ın Korelasyon katsayısı  $r= 0,357$ ,  $p<0,001$ ).**

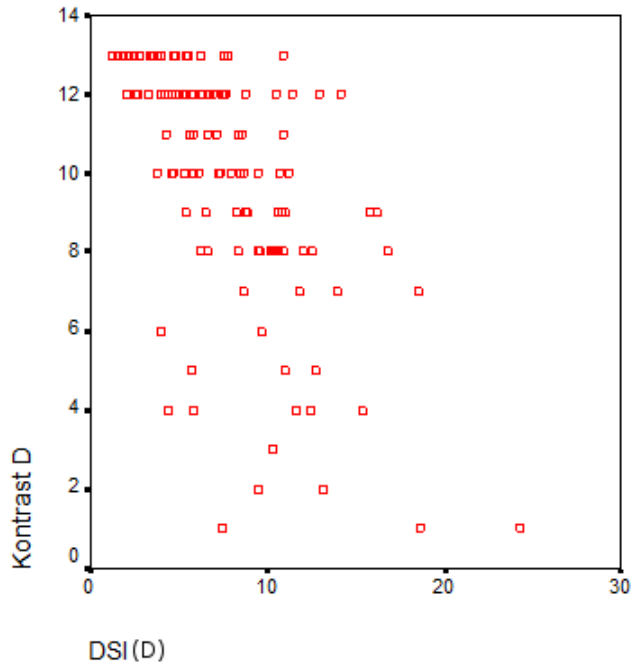
TPI ile hem uzak GK, hem de yakın GK arasında negatif yönde yani TPI değerleri arttıkça görme seviyesi düşecek şekilde zayıf bir ilişki vardı (sırasıyla  $r=-0,324$ ,  $-0,315$ ).

PDM miktarı ile hiçbir görme kalitesi göstergesi arasında anlamlı ilişki görülmedi.

I-S, SAI, SRI, IAI, DSI, OSI, CSI ve ACP KC indeks ölçümlerinin ortalamaları sırası ile şöyle idi:  $7,5\pm 4,63$  D,  $3,9\pm 2,21$  D,  $1,7\pm 0,41$  D,  $0,8\pm 0,3$  D,  $7,8\pm 3,98$  D,  $6,9\pm 3,97$  D,  $2,5\pm 2,01$  D,  $49,0\pm 4,33$  D. Bu ölçümlerle görme kalitesi arasında negatif ilişki vardı yani değeri arttıkça görme kalitesi düşmekte idi (Şekil 11, Şekil 12). Bütün indeks ölçümleri ile görme kalitesi parametrelerinden en kuvvetli ilişki sırası ile KD, yakın ve uzak GK arasında idi. Tablo 9'daki tüm parametrelerden görme kalitesi parametreleri ile en kuvvetli ilişki sırasıyla SRI ile KD ve yakın GK arasında (sırasıyla  $r=-0,791$ ,  $-0,770$ ), sonra IAI ile KD ve yakın GK arasında (sırasıyla  $r=-0,761$ ,  $-0,750$ ) idi. Bu indekslerden görme parametreleri ile en zayıf ilişkiyi gösteren indeks I-S idi.

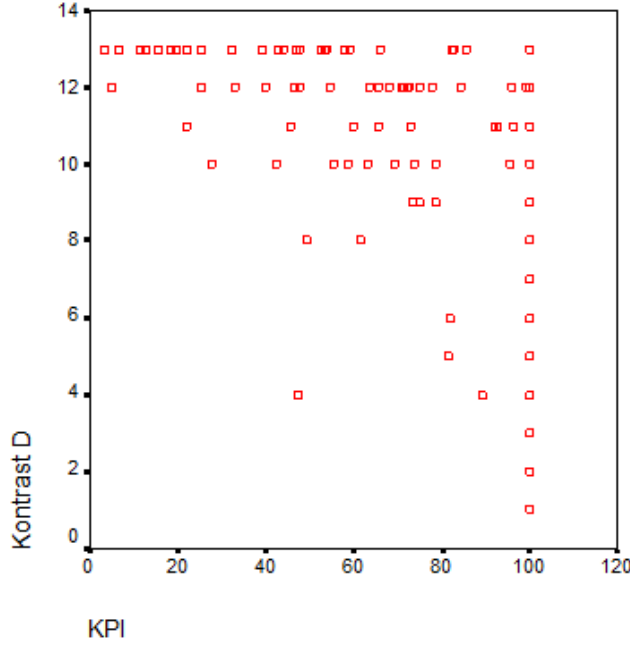


**Şekil 11. Harf kontrast duyarlılığı ile IAI indeksi arasında anlamlı ilişki mevcuttur (Spearman'ın Korelasyon katsayısı  $r = -0,761$ ,  $p < 0,001$ ).**



**Şekil 12. Harf KD ile DSI indeksi arasında anlamlı ilişki mevcuttur (Spearman'ın Korelasyon katsayısı  $r = -0,630$ ,  $p < 0,001$ ).**

KPI ve Kprob indeksleri de görme parametreleri ile negatif ilişki içinde idi (Şekil 13), ilişki KPI'da Kprob'a göre az bir miktarda daha kuvvetli idi, yine en kuvvetli ilişki KD ve yakın GK'de mevcuttu.



**Şekil 13. Harf kontrast duyarlılığı ile KPI indeksi arasında anlamlı ilişki mevcuttur (Spearman'ın Korelasyon katsayısı  $r = -0,685$ ,  $p < 0,001$ ).**

Özet olarak topografik ölçümler ve görme parametreleri arasındaki en anlamlı ilişki sırasıyla KD, yakın ve uzak görme keskinliği arasında bulunmuştur. Topografik KC indeks ölçümlerinden özellikle SRI değeri ile KD ve uzak görme arasında en güçlü pozitif bir ilişki dikkati çekmektedir (sırasıyla  $r = -0.791$ ,  $r = -0.770$ ). Onu sırası ile IAI ile KD ve yakın görme keskinliği (sırasıyla  $r = -0.761$ ,  $r = -0.750$ ), K-A Anterior ile KD ( $r = -0.717$ ), Anterior BFS ile KD ve yakın GK arasındaki (sırasıyla  $r = -0.698$ ,  $r = -0.687$ ) güçlü anlamlı ilişki izlemekte idi.

**Tablo 9. Görme Kalitesi Göstergeleri ile Topografik Ölçümler Arasındaki Korelasyon Katsayıları ve Önemlilik Düzeyleri.**

Değişkenler	Gk Uzak		Gk RGP		Gk Yakın		Kontrast D.	
	r	p	r	p	r	p	r	p
<b>K1 (D)</b>	-0,486	<0,001	-0,372	<0,001	-0,478	<0,001	-0,476	<0,001
<b>K2 (D)</b>	-0,616	<0,001	-0,446	<0,001	-0,657	<0,001	-0,680	<0,001
<b>Posterior K<sub>s</sub> (D)</b>	0,596	<0,001	0,439	<0,001	0,630	<0,001	0,675	<0,001
<b>ε<sup>2</sup> Anterior</b>	-0,617	<0,001	-0,422	<0,001	-0,642	<0,001	-0,668	<0,001
<b>ε<sup>2</sup> Posterior</b>	-0,592	<0,001	-0,448	<0,001	-0,650	<0,001	-0,684	<0,001
<b>K-A Anterior (µm)</b>	-0,570	<0,001	-0,370	<0,001	-0,669	<0,001	-0,717	<0,001
<b>K-A Posterior (µm)</b>	-0,482	<0,001	-0,306	<0,001	-0,583	<0,001	-0,608	<0,001
<b>Anterior BFS (µm)</b>	-0,648	<0,001	-0,376	<0,001	-0,687	<0,001	-0,698	<0,001
<b>Posterior BFS (µm)</b>	-0,600	<0,001	-0,393	<0,001	-0,658	<0,001	-0,666	<0,001
<b>Pakimetri (µm)</b>	0,277	0,002	0,243	0,007	0,351	<0,001	0,357	<0,001
<b>TPI</b>	-0,324	<0,001	-0,189	0,037	-0,315	<0,001	-0,272	0,002
<b>PDM</b>	-0,099	0,279	-0,095	0,300	-0,113	0,214	-0,089	0,328
<b>I-S(D)</b>	-0,398	<0,001	-0,232	0,010	-0,455	<0,001	-0,493	<0,001
<b>SAI(D)</b>	-0,496	<0,001	-0,287	<0,001	-0,563	<0,001	-0,576	<0,001
<b>SRI(D)</b>	-0,695	<0,001	-0,460	<0,001	-0,770	<0,001	-0,791	<0,001
<b>IAI(D)</b>	-0,677	<0,001	-0,445	<0,001	-0,750	<0,001	-0,761	<0,001
<b>DSI(D)</b>	-0,537	<0,001	-0,307	<0,001	-0,602	<0,001	-0,630	<0,001
<b>OSI(D)</b>	-0,443	<0,001	-0,247	0,006	-0,502	<0,001	-0,526	<0,001
<b>CSI(D)</b>	-0,580	<0,001	-0,406	<0,001	-0,590	<0,001	-0,620	<0,001
<b>ACP(D)</b>	-0,599	<0,001	-0,435	<0,001	-0,626	<0,001	-0,632	<0,001
<b>KPI</b>	-0,595	<0,001	-0,345	<0,001	-0,657	<0,001	-0,685	<0,001
<b>KPROB</b>	-0,571	<0,001	-0,362	<0,001	-0,613	<0,001	-0,625	<0,001

Topografik olarak santral ve diğer konlara sınıflanan gözlerin görme kalitesi göstergeleri arasında anlamlı fark olmadığı görüldü (Tablo 10).

**Tablo 10. Kon Santral ve Desantral Olan Gözlere Göre Görme Kalitesi Göstergeleri.**

Değişkenler	Ortalama	Std.Sapma	Ortanca	En Düşük	En Yüksek	p-değeri
<b>GK Uzak</b>						0,403
<i>Santral (n=52)</i>	0,6	0,26	0,6	0,1	1,0	
<i>Desantral (n=71)</i>	0,7	0,23	0,7	0,1	1,0	
<b>GK RGP</b>						0,527
<i>Santral (n=52)</i>	0,8	0,16	0,9	0,4	1,0	
<i>Desantral (n=71)</i>	0,9	0,14	0,9	0,4	1,0	
<b>GK Yakın</b>						0,526
<i>Santral (n=52)</i>	0,4	0,24	0,4	0,1	1,0	
<i>Desantral (n=71)</i>	0,4	0,20	0,5	0,1	0,8	
<b>KD</b>						0,209
<i>Santral (n=52)</i>	9,3	3,29	10,0	1,0	13,0	
<i>Desantral (n=71)</i>	10,0	2,91	10,5	1,0	13,0	

**Kornea aberometrik ölçümlerinin analizi:**

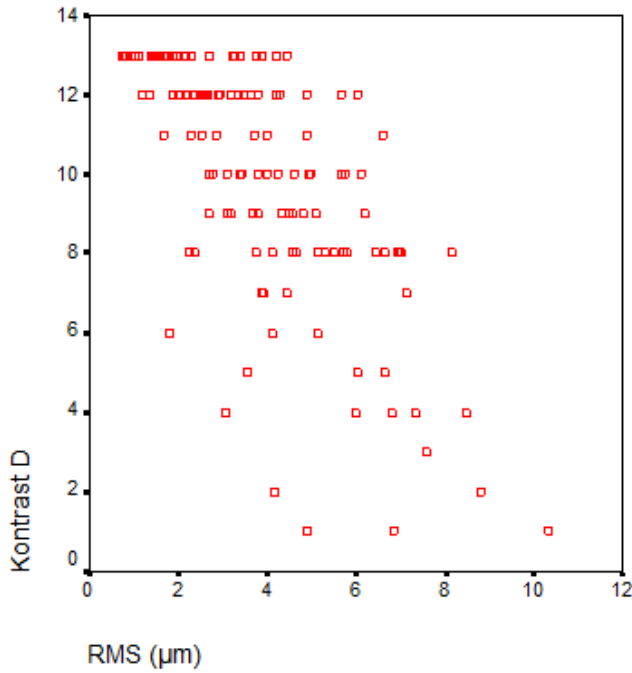
Hastalardan elde edilen aberometrik değerler şu şekildedir: RMS değeri 0,8 ile 10,4 µm arasında değişmekte olup ortalaması  $3,9 \pm 1,92$  µm idi. SA değeri ile -2,9 ile 1,1 µm arasındadır, ortalaması  $-0,3 \pm 0,61$  µm 'dir. Vertikal koma değerleri -7,1 ve 2,4 µm arasındadır, ortalaması  $-1,9 \pm 1,36$  µm'dir. Horizontal koma değerleri -2 ve 2,4 µm arasındadır, ortalaması  $0,1 \pm 0,76$  µm'dir (Tablo 11).

**Tablo 11. Aberometrik Ölçümlere Ait Tanımlayıcı İstatistikler.**

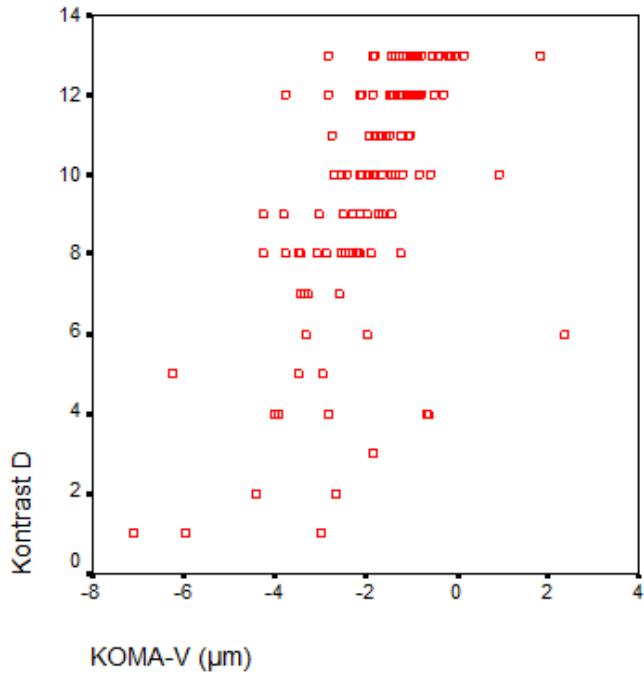
Değişkenler	Ortalama	Std. Sapma	Ortanca	En Düşük	En Yüksek
<b>RMS (µm)</b>	3,9	1,92	3,8	0,8	10,4
<b>SA (µm)</b>	-0,3	0,61	-0,2	-2,9	1,1
<b>Vertikal Koma (µm)</b>	-1,9	1,36	-1,8	-7,1	2,4
<b>Horizontal Koma (µm)</b>	0,1	0,76	0,1	-2,0	2,4

Aberometrik ölçümler ve görme kalitesi arasındaki ilişkiye bakıldığında RMS, SA ve vertikal koma değerleri ile dört görme kalitesi göstergesi arasında anlamlı ilişki olduğu

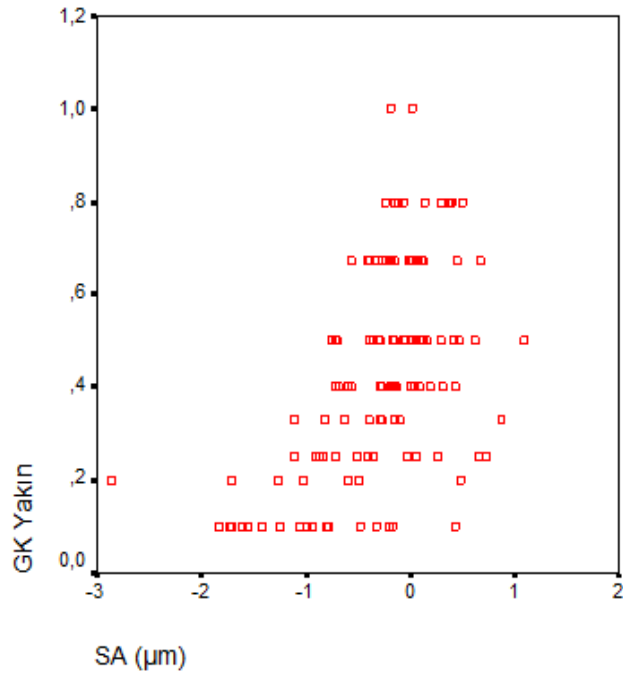
görüldü. Horizontal koma ve görme parametrelerinin hiçbiri arasında anlamlı ilişki yoktu. En kuvvetli ilişki RMS değerleri ile KD arasında negatif yönlü bir ilişki şeklinde idi ( $r=-0.684$ ) (Şekil 14). Onu vertikal koma ile KD arasındaki ilişki takip etmekte idi, vertikal koma değerleri negatif değer olarak arttıkça görme kalitesi göstergelerinde özellikle KD’de düşüş görüldü ( $r=0,672$ ) (Şekil 15). Aynı şekilde SA değerleri negatif olarak arttıkça görme kalitesi göstergelerinin de düştüğü görüldü (Şekil 16). KD ile aberometrik ölçümler arasındaki güçlü ilişkiyi yakın görme keskinliği takip etmekte idi (Tablo 12).



**Şekil 14. Harf kontrast duyarlılığı ile RMS arasında anlamlı ilişki mevcuttur (Spearman’ın Korelasyon katsayısı  $r= -0,684$   $p<0,001$ ).**



**Şekil 15. Harf kontrast duyarlılığı ile vertikal koma arasında anlamlı ilişki mevcuttur (Spearman'ın Korelasyon katsayısı  $r=0,672$   $p<0,001$ ).**



**Şekil 16. Yakın görme keskinliği ile sferik aberasyon arasında anlamlı ilişki mevcuttur (Spearman'ın Korelasyon katsayısı  $r=0,510$   $p<0,001$ ).**

**Tablo 12. Görme Kalitesi Göstergeleri ile Aberometrik Ölçümler Arasındaki Korelasyon Katsayıları ve Önemlilik Düzeyleri.**

Değişkenler	Gk Uzak		Gk RGP		Gk Yakın		Kontrast D.	
	r	p	r	p	r	P	r	p
<b>RMS (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	-0,553	<0,001	-0,408	<0,001	-0,641	<0,001	-0,684	<0,001
<b>SA (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	0,511	<0,001	0,357	<0,001	0,510	<0,001	0,495	<0,001
<b>Vertikal Koma (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	0,536	<0,001	0,320	<0,001	0,619	<0,001	0,672	<0,001
<b>Horizontal Koma (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	-0,146	0,106	-0,045	0,621	-0,119	0,189	-0,088	0,333

Koma ve astigmatik aks farkı  $<30^0$  olan gözler ve diğer gözler arasında görme kalitesi göstergeleri arasındaki ilişkiye bakıldığında iki hasta grubu arasında hiçbir görme parametresinde anlamlı fark olmadığı görüldü (Tablo 13).

**Tablo 13. Koma Astigmat Aks Farkına Göre Görme Kalitesi Göstergeleri**

Değişkenler	Ortalama	Std.Sapma	Ortanca	En Düşük	En Yüksek	p-değeri
<b>GK Uzak</b>						0,361
$<30^0$ (n=45)	0,7	0,26	0,7	0,1	1,0	
$\geq 30^0$ (n=78)	0,6	0,24	0,7	0,1	1,0	
<b>GK RGP</b>						0,767
$<30$ (n=45)	0,9	0,18	1,0	0,4	1,0	
$\geq 30$ (n=78)	0,9	0,13	0,9	0,5	1,0	
<b>GK Yakın</b>						0,566
$<30$ (n=45)	0,4	0,24	0,5	0,1	0,8	
$\geq 30$ (n=78)	0,4	0,22	0,4	0,1	1,0	
<b>KD</b>						0,807
$<30$ (n=45)	9,5	3,50	10,0	1,0	13,0	
$\geq 30$ (n=78)	9,9	2,84	10,0	2,0	13,0	



## 5. TARTIŞMA

Keratokonusta, stroma dokusunun dejenerasyonu ve biyomekaniksel değişikliklerle kornea konik bir şekil alır (9). Değişik tanı teknolojilerini kullanarak ve bazılarında klinik verilerin de katılımı ile birçok çalışmada KC'li gözlerde kornea morfolojisi ve bu morfolojinin görmeye etkisi karakterize edilmeye çalışılmıştır (61-66). Son birkaç yıldır ön kornea yüzeyinin topografik analizi KC'i karakterize etmede ana yöntem olmuştur. Computer-assisted videokeratoskoplar kornea yüzeyindeki en ufak topografi değişimlerini saptayabilir ve kornea şeklinin niteliksel ve niceliksel analizine olanak sağlar. Kornea yüzey topografisi KC gibi özellikle irregüler astigmatlı korneaların tanı ve izleminde vazgeçilmezdir (67). Kornea şeklini görüntüleyen ve haritalayan ileri metodların gelişimine rağmen, videokeratografik bilgilerin yorumlanması ve niteliksel analizi hem klinisyenler hem de araştırmacılar için problem olmaya devam etmektedir. Niteliksel analizi kolaylaştıran videografik bilgiyi özetleyen çeşitli sayısal değerler mevcuttur, bunların çoğu KC tanısı için geliştirilmiştir ve sadece zaman içindeki karşılaştırmalara olanak sağlar (12). Orbiscan ve Pentacam gibi tarayıcı topografik sistemler ile yapılan çalışmalardan elde edilen bilgiler, KC'de deformasyonun sadece ön korneada değil, arka korneada da oluştuğunu göstermiştir (65, 68, 69). Arka korneaya bakmanın bir avantajı da gözyaşı düzensizliklerinden etkilenmemesidir.

Galilei kornea topografisi de çift Scheimpflug görüntü tarayıcı kamaraya ilaveten plusido disk prosedürünü de kullanarak hem ön hem de arka kornea yüzeyini haritalar. Galilei otomatik kornea pakimetrisi alabilme özelliği olan, kornea Zernike analizi yapabilen ve iris tanıma sistemi olan bir alettir. Gözün ön segmentinden 122,000 noktanın analizini yapar, her haritada 14,400 veri noktası içerir. Hem plusido hem de Scheimpflug kamera sistemi ile çalıştığı için gerçek kurlatür ve gerçek elevasyon haritalarını verir. İris yakalayıcısı ile iyi görüntü alır ve bütün Scheimpflug görüntülerin tam lokalizasyonuna olanak sağlar (70, 71).

Kornea optiğini anlamak ön segmentle ilgili birçok patolojinin tedavisini planlamak için gereklidir. Kornea gözün kırıcılığının en fazla kısmını oluşturan ilk kırıcı yüzey olduğu için korneanın wavefront analizi klinik pratikte oküler optik özelliklerin tayininde önemli bir araçtır. Kornea wavefront analizi akomodasyon ve

pupil büyüklüğü gibi değişkenlerden etkilenmediği için ayrıca değerlidir. Kornea aberometrisi normal yaşlanma, kornea hastalıkları, kontakt lensler, GİL'ler, LASIK/LASEK/PRK gibi laser cerrahileri, CXL tedavisi ve ICRS implantasyonu gibi durumların korneada oluşturduğu optik özellikleri anlamamızı sağladı. Kornea wavefront analizi wavefront-guided excimer laser cerrahisi, GİL, gözlük hatta kontakt lens seçimi gibi işlemlerin ayrılmaz parçası haline geldi (35).

Wavefront analizi KC gibi ektatik hastalık tanı ve monitorizasyonunda önemli bir araç olarak kullanılabilir. Ektatik rahatsızlıklardan kaynaklanan kornea düzensizlikleri oküler YSA'yı arttırarak gözün optik kalitesinde ve görme performansında azalmaya sebep olur (35). Normal ve KC'li gözlerde kornea aberasyonları ve oküler aberasyonlar arasında belirgin ilişki bulunmuş, YSA'nın çoğunun ön korneadan kaynaklandığı belirtilmiştir. KC'li gözlerde YSA'daki artış başlıca koma ve SA artışından kaynaklanmaktadır (41).

Ön korneanın geometrik ve optik özelliklerini hesaba katan çeşitli indeksler, algoritmalar hatta neural network yaklaşımları KC tanı ve tayini için geliştirilmiştir (63, 64, 72-75). KC'li gözlerin ön kornea yüzeyinin geometrik ve optik özelliklerinde değişiklik yapan kornea biyomekaniğinde altta yatan değişikliklerin posterior korneal yüzeyde ve korneal pakimetride de etkileri vardır (62, 72, 76). Ön kornea yüzeyin ve diğer objektif faktörlerin analizi ile korneal yapının tam karakterize edilmesi KC'de görme performansını daha iyi anlamak için gereklidir. Bu çalışmadaki amacımız KC'deki klinik özellikleri, refraktif bilgileri ve Galilei kornea topografisi verilerinden elde edilen topografik ve aberometrik indeksleri kullanarak bunların hastanın görme performansı ile ilişkisini değerlendirmektir.

Değişik derecelerde KC vakalarını çalışmamıza aldık bu nedenle bütün analiz edilen parametrelerde geniş bir değişkenlik gördük. Keratokonik gözlerde korneal dikleşme, santral incelme, korneal aberometrik değerlerde artış, ön korneal yüzeyde belirgin astigmat artışı beklediğimiz bulgulardı. Bu bulguların çoğu klasik KC tanımında belirtilmiştir (8), keratokonik korneada oluşan yapısal ve biyomekanik değişikliklerin bir sonucudur. KC'nin kornea yapısında oluşan değişikliklerle elastisite ve rijiditede belirgin etkileri vardır. Oluşan değişiklikler korneayı zayıflatarak üzerindeki herhangi bir basınca (mesela IOP) daha duyarlı hale getirir, sonuç olarak

kornea şekli çok daha kolay bozulabilir (6), kornea daha dikleşebilir ve aberometrik sapmalar artabilir (6). Bu çalışmada refraktif, topografik ve aberometrik olarak sayısal değerlere dönüştürülmüş KC bulguları ile görme kalitesini gösteren değişik parametreler arasındaki ilişkileri ortaya koymak istedik. Çalışmamızda hem geleneksel KC indekslerini hem de literatüre yeni giren daha üzerinde çok çalışılmamış indeksleri (TPI, Kranemann-Arce İndeksi, astigmat ve koma aks farkı, PDM,  $\epsilon^2$ ) kullandık. Literatürde bizim çalışmamıza benzeyen bir çalışmaya rastlayamadık.

Çalışma grubumuzdaki KC'li bireylerde tüm refraktif değişkenler ile görme parametreleri arasında anlamlı ilişki mevcutu. Bütün refraksiyon değerleri negatif yönde arttığında yani sferik ve silindirik miyopik D değeri arttığında görme kalitesi parametreleri düşmekte idi. Silindirik değerler olarak total astigmatik değerler alınmıştır. Yalnız keratokonik gözlerde asıl patolojinin irregüler korneada olduğu ve çalışmamıza aldığımız hastaların herhangi başka bir oküler patolojilerinin olmadığı düşünülünce objektif silindirik değerlerin korneal irregüler astigmatizmanın boyutu hakkında fikir verdiği söylenebilir. Bu sonuç diğer çalışmalarla da koreledir. Oshika ve arkadaşları keratokonik, normal ve penetran keratoplasti geçiren gözlerde irregüler astigmat ile düzeltilmiş uzak görme keskinliği (CDVA) arasında anlamlı ilişki olduğunu ortaya koymuştur. Bu çalışmaya yalnızca RGP ile görme keskinliği tam olan keratokonik ve penetran keratoplastili hastalar alınmıştır, ayrıca bu çalışmada CDVA ile refraktif astigmatizma, surface regularity index (SRI) ve surface asymmetry index (SAI) arasında korelasyon bulunmamıştır (77). Yine başka bir çalışmada da irregüler astigmatın görme kalitesini düşürücü etkisi ortaya konulmuştur (78).

Bizim KC grubumuzda refraksiyon değerleri ile görme kalitesi parametreleri arasındaki ilişkide dikkat çeken bir nokta da objektif refraksiyon değerleri ile görme parametreleri arasındaki ilişkinin, subjektif refraksiyon değerleri ile görme kalitesi parametreleri arasındaki ilişkiye göre daha kuvvetli olması idi (Tablo 7). Ortalama sferik objektif refraksiyon değeri  $-3,4 \pm 4,13$  iken sferik subjektif refraksiyon  $-2,55 \pm 3,24$  idi (Tablo 6). Ortalama silindirik objektif refraksiyon değeri  $-3,64 \pm 2,44$  iken silindirik subjektif refraksiyon  $-1,90 \pm 1,74$  idi. Pinero ve arkadaşları KC'li gözlerde objektif sferik refraksiyon değerini  $-3.06 \pm 5.22$ , objektif silindirik refraksiyon değerini ise  $-4.03 \pm 2.98$  şeklinde bulmuşlardır (79).

Jinabhai ve arkadaşları 6 KC'li gözde logMAR GK ile subjektif otorefraksiyon ve aberometrik otorefraksiyonu karşılaştırmışlar. Subjektif otorefraksiyonda GK'yi aberometrik otorefraksiyona göre daha yüksek bulmuşlardır (80).

Bizim KC grubumuzda objektif refraksiyon değerleri ile görme parametrelerinin etkileşimine genel olarak bakıldığında, sferik refraksiyonun daha çok uzak GK'yi etkilediği ve silindirik refraksiyon değerinin artmasının ise uzak görmeden daha fazla yakın görme ve KD fonksiyonunu etkilediği gözlenmektedir (Tablo 7). Refraktif değerlerle görme arasındaki en kuvvetli ilişki silindirik objektif refraksiyon ve KD arasında idi, onu yakın görme izliyordu. Bu durum keratokonik gözlerde KD'deki azalmanın ana nedeninin korneal distorsiyon olması ve uzak GK tam olan keratokonik gözlerde bile belli oranlarda KD kaybı olabilmesi ile açıklanabilir (58, 59).

Görme kalitesi göstergeleri ile **topografik ölçümler** arasındaki ilişkiye baktığımızda genel olarak topografik ölçümlerle kontrast duyarlılık görme keskinliği arasında ilişki daha kuvvetli idi. Bu durum keratokonik gözlerde kontrast duyarlılık kaybının topografik parametrelerden daha çabuk etkilendiğini, keratokonus progresyon takibinde uzak görme keskinliğinden daha hassas bir takip sağlayabileceğini düşündürür (59, 60).

Keratometri değerleri arttıkça görme keskinliği düşmekte idi. Bu beklenen bir sonuçtu, keratokonus korneal dikleşme ile seyreder (8). Ortalama keratometri değeri her zaman KC sınıflamasında bir parametre olarak kullanılmıştır. Ayrıca ortalama K değeri korneal asiferisite ile de koreledir, çünkü santral veya parasantral lokalize korneal dikleşme negatif korneal asiferisitede artışa sebep olur. Ortalama K ve asiferisite arasındaki ilişki çalışmalarla gösterilmiştir (81). Çalışmamızda K1 değerleri  $46.0 \pm 3.50$ , K2  $49.7 \pm 4.29$  idi. Daha dik meridyeni gösteren K2 ile bütün görme kalitesi parametreleri arasında K1'e göre daha güçlü negatif ilişki vardı. KC'nin en dik keratometrik değere göre sınıflandığı CLEK (collaborative longitudinal evaluation of keratokonus) çalışmasında daha ileri keratokonik gözlerin sadece daha dik korneaya sahip olmadıkları, aynı zamanda daha torik korneaya da sahip oldukları, keratometri değerleri arttıkça korneal torisitenin de arttığı gösterilmiştir (82). Keratokonus sınıflamasında ortalama keratometri değerlerinden ziyade K2 değerlerinin kullanılması

daha doğru bir sınıflama yöntemi olabilir. Pinero ve arkadaşları kerometri değerleri ile kornea biyomekaniği hakkında bilgi veren korneal resistance faktor (CRF) arasındaki ilişkiye bakmışlar ve hem K1 hem K2 ile CRF arasında orta seviyede negatif bir ilişki bulmuşlardır, K2 ile olan ilişki K1'e göre bir miktar daha kuvvetlidir (K1,  $r = -0,554$ ; K2,  $r = -0,558$ ) (79). Bu nedenle keratokonusta korneanın viskoelastik özelliklerindeki değişiklikler keratometri değerlerini (öncelikle K2) etkilemekte ve görme kalitesini düşürmektedir. Çalışmamızda K2 ile özellikle KD ve yakın GK'de kuvvetli ilişki varken K1 ile uzak GK arasında daha kuvvetli ilişki olduğunu gördük (Tablo 9, Şekil 5).

Galilei ile hem ön hem de arka korneal yüzey ile ilgili direk bilgi edinilebilmektedir (70). Arka korneadan elde edilen posterior K değeri  $-7,6 \pm 0,84$  arasında idi. Değerler negatif olarak arttıkça görme fonksiyonu özellikle KD ve yakın görme düşme göstermekte idi (Şekil 6, Tablo 9).

$\epsilon_2$  daha çok yüzeyin şekli ve multifokalitesi ile ilişkilidir. Normal kornea şekli sferden ( $\epsilon_2 = 0$ ) sferoid (prolate) (merkezde daha dik, periferde daha düz) torik elipsoid asfere ( $+1 > \epsilon_2 > 0$ ) doğru değişir. Normal korneada ön korneal yüzey arka korneadan daha az sferoiddir (posterior  $\epsilon_2 >$  anterior  $\epsilon_2$ ). Normal korneada  $\epsilon_2 \geq +1$  olamaz,  $\epsilon_2 \geq 1$  olması KC olduğunu düşündürür ama KC'li gözlerde  $\epsilon_2 < +1$  olabilir (6). Çalışmaya katılan hastalardaki hem anterior hem de posterior  $\epsilon_2$  ortalaması 1'den büyük idi.  $\epsilon_2$  posterior sadece uzak GK dışında  $\epsilon_2$  anteriora göre görme parametreleri ile daha kuvvetli ilişki gösterdi. Bu durum keratokonusta ilk değişikliklerin posterior korneada oluşması ile açıklanabilir (83). Bu iki parametrede de KD ve yakın görme ile ilişki daha kuvvetli idi (Şekil 7, Tablo 9).

Modern topografik ve tomografik sistemler her bir kornea yüzeyinin yükseklik verisi ile ideal bir yüzey hesaplaması yapabilmektedir. Elevasyon, 3 boyutlu haritalama ile tayin edilen her bir nokta ile ideal yüzey arasındaki ön arka mesafe farkıdır. Şu anda sfer (best fit sphere, BFS) korneal yüzeyin karşılaştırıldığı ve elevasyon haritalarının hesaplandığı en popüler referans yüzeydir. Galilei'de best fit toric aspheric (BFTA) elevasyon haritalarından hesaplanan Kranemann-Arce indeksi her iki korneal yüzeydeki

asimetrik asferik kurvatür değişikliklerini hesaplamakta kullanılmaktadır. K-A indeksi her bir yüzeyin asimetrik kurvatür değişikliklerini belirlediği için daha çok koma değeri ile ilişkili gibi görünmektedir. KC'nin karakteristik özelliği olan stromal incelme korneal topografisinde BFS üzerinde artmış posterior elevasyona sebep olur (6). Kata Mihaltz ve arkadaşları KC tanısında posterior elevasyonun en etkili parametre olduğunu ileri sürmüşlerdir (84). Bizim çalışmamızda elevasyon haritalarından elde edilen değerler anterior, posterior BFS ve BFTA haritalarından elde edilen K-A anterior ve posterior değerleri idi. Bu dört değişikenden genel olarak anterior BFS'nin görme ile daha kuvvetli ilişkide olduğu görüldü. K-A anterior K-A posteriora göre dört görme parametresi ile de daha kuvvetli ilişki gösterdi. Görme kalitesi göstergeleri arasındaki en kuvvetli ilişki K-A anterior ile kontrast duyarlılık arasında idi (Şekil 8, Şekil 9, Tablo 9).

Çalışmamızda **pakimetrik** değerler ile görme fonksiyonlarına da bakıldı. Normal korneal kalınlık dağılımı periferde doğru simetrik ilerleyici artış gösterip limbusta 700 µm'e ulaşan tipik bir patern gösterir (6). KC'nin ana patolojik özelliği kornea incelmesidir (85, 86). KC'de kornea incilmesi hem KC ilerlemesinin sebebi hem de sonucu gibi görünmektedir. KC'li gözlerde normal simetrik pakimetrik dağılım olabileceği gibi asimetrik pakimetrik dağılım da olabilir. Keratokonik kornealar en ince alandan periferde doğru kornea kalınlığında ani artışlar gösterir (87). TPI simetrik veya asimetrik kalınlık dağılımını gösteren pakimetrik bir indekstir. En ince noktanın yer değiştirmesi asimetri ve komanın oluşumu ile de ilişkilendirilmiştir. Artmış TPI korneal distansiyon ve bulging ile alakalı gibi görünmektedir. Asimetrik TPI (artmış veya normal TPI değerleri) korneal distansiyondan ziyade daha çok düşük korneal vizkosite ve elastisite ile ilişkili gibi görünmektedir. Hem artmış hem de asimetrik TPI değerleri kornea ektazisi için bir risk faktörüdür. En ince kornea kalınlığı daha çok TPI ile ilişkili iken ince noktanın yer değiştirmesi asimetrik TPI ile ilişkilidir. TPI değeri görüntünün tam düzgün çekilememesinden ve kappa açısından etkilenmediği için değerlidir (6).

Ambrossi ve arkadaşları KC'li gözlerde normal gözlerle göre kalınlık yüzde artışının (en ince kornea noktasından) periferde doğru gittikçe farklı olduğunu göstermişlerdir (87). Saad ve arkadaşları form fruste keratokonusta KC'nin en hafif

formunda PTI (the percentage of thickness increase)'nın normal gözlerle karşılaştırıldığında daha yüksek olduğunu bulmuşlardır. Yine Saad ve arkadaşları en ince kornea noktasında arka kurvatürün KC'li gözlerde normal gözlere göre daha büyük absölü değere sahip olduğu gösterdiler (88). Yine en ince pakimetrik değer Alio ve Shabayek tarafından önerilen KC sınıflamasında da kullanılmıştır (6). Sonuçlarımızda pakimetrik değerler ile yakın ve KD arasında, TPI ile en iyi düzeltilmiş uzak GK ve yakın görme arasında anlamlı fakat zayıf korelasyon gösteren bir ilişki vardı. Pakimetri desantralizasyon miktarı ile görme parametrelerinin hiçbiri arasında ilişki yoktu. Bu nedenle pakimetrik parametreler görme fonksiyonu diğer etkenlere göre daha az etkilemektedir denilebilir.

Galilei topografi aletinin otomatik olarak verdiği, çalışmamızda baktığımız bütün **KC indeksleri** ile görme kalitesi göstergeleri arasında anlamlı ilişki mevcuttu (tümü için  $p < 0,001$ ). İndekslerden SRI ve IAI ile görme parametrelerinden özellikle KD ve yakın görme arasında kuvvetli korelasyon olması hastaların GK tahmininde bu iki parametrenin daha çok göz önüne alınabileceğini düşündürür. Maeda ve arkadaşları uzak GK tam olan keratokonik ve normal gözlerde yaptıkları çalışmada topografik anormalliklerle harf KD arasındaki ilişkiye bakmışlardır. Bu çalışmaya göre keratokonik gözlerde KD normal gruba göre daha düşüktür. Ayrıca bizim çalışmamızda olduğu gibi doğru harf sayısı ile SRI ve SAI indeksleri arasında anlamlı ters yönlü bir ilişki mevcuttur (59). Parametrelerden görme kalitesi ile en zayıf ilişkiyi gösteren parametre I-S değeri idi. SRI indeksi topografik görüntülerin en içteki 10 halkanın analiz edilmesi sonucudur. Bu nedenle periferdeki değişikliklerden çok etkilenmez. I-S değeri de inferior ve superior arasındaki diyoptrik farkını, vertikal asimetriyi gösteren bir indekstir.

Görsel parametreleri oldukça anlamlı şekilde etkileyen SRI ve IAI gibi indeklere kıyasla CSI nin orta derecede anlamlı olması, I-S değerinin en az ilişkili parametre olması bizim KC grubumuzda önemli sayıda olgunun (%43) kon yerleşiminin santralize olması ile açıklanabilir. Kuzey ve Güney Amerika toplumlarında KC olgularının kon lokalizasyonu daha çok parasantral olmaktadır (6).

Çalışmamızda GK ile karşılaştırdığımız parametrelerden biri de **kornea aberasyonları**ydı. Genel olarak YSA kornea yüzey şekil ve kurvatürdeki deformasyonunun sonucu olduğu için görme kalitesini etkiler. Korneal ektazi söz konusu olduğunda diğer internal oküler aberasyonların etkisini hesaba katmadan sadece kornea aberasyonlarını ölçmenin daha uygun olduğunu düşünüyoruz. KC’de kornea aberometrisinin avantajı ön korneal yüzeyin göz optik sisteminin en etkili yüzeyinin büyük bir alanını değerlendirerek, oküler aberasyonlarda ve Hartmann Shack aberometrilerde olduğu gibi pupiller alana sınırlı kalmadan, korneanın optik özelliklerini daha iyi anlamamıza izin vermesidir (73).

Çalışmamızda RMS, SA ve koma değerlerine bakılmıştır. Total RMS birden fazla YSA toplamı olduğu için non spesifik bir indekstir. Koma merkezden perifer kurvatürdeki asimetrik değişikliğin bir göstergesidir. Keratokonik gözlerdeki gibi hiperprolate kornealar daha negatif SA üretirken, inferior dikleşme negatif vertikal komayı artırır. Horizontal koma sağ veya sol göz olmasına göre pozitif veya negatif olabilir. Sonuçlarımızda RMS değerleri  $3,9\pm 1,92$   $\mu\text{m}$ , vertikal koma değerleri  $-1,9\pm 1,36$   $\mu\text{m}$ , SA değerleri  $-0,3\pm 0,61$   $\mu\text{m}$ , horizontal koma değerleri  $0,1\pm 0,76$   $\mu\text{m}$  idi. RMS, SA ve vertikal komadan görme kalitesini en çok etkileyeni RMS idi. RMS ve vertikal koma ile KD ve yakın GK arasındaki kuvvetli korelasyon dikkati çekmekte idi. Bu durum KD’nin gözde YSA artışından kaynaklanan görme kaybının tayininde yüksek sensitivitesi olan bir ölçüm yolu olması ile açıklanabilir. Horizontal koma ile görme parametreleri arasında anlamlı ilişki görülmedi.

Çalışmamızda baktığımız parametrelerden biri de koma ve astigmatik aks farkı  $<30^0$  olan gözler ve diğer gözler arasında görme kalitesi göstergeleri arasındaki ilişki idi. Astigmatizma dik meridyendeki düşük elastisitenin göstergesi, koma kendi aksında az viskozitenin bir göstergesi olarak düşünüldüğünde koma ve astigmat aksları aynı veya yakın değilse daha fazla deforme bir kornea dolayısı ile daha düşük görme keskinliği bekleriz. Sonuçlarımızda ise koma ve astigmatik aks farkı  $<30^0$  olan gözler ve diğer gözler arasında hiçbir görme parametresinde anlamlı fark olmadığı görüldü.

Literatürde KC’de kornea aberasyonları ve etkileri üzerine yapılmış çok çalışma bulunmaktadır. Kata Mihaltz ve arkadaşları oküler wavefront aberasyonlara ve onların görme kalitesine etkisine bakmışlardır, görme kalitesi olarak görme kalite ölçümlerine



optiksel olarak tasarlanmış bir programla bakmışlardır. Şu sonuçlara varmışlar: vertikal koma KC ve subklinik KC grubunda baskın YSA'dır. Horizontal koma ve horizontal asimetri erken KC bulgusu olarak düşünülebilir. Astigmatizma, koma ve SA KC prediktörüdür (40). Bizim çalışmamızda horizontal koma ile görme kalitesi arasında ilişki çıkmazken bu çalışmada horizontal koma ve asimetri erken KC bulgusu olarak bulunmuştur.

Jinabhai ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada, vertikal koma aberasyon ile subjektif ve aberometrik otorefraksiyon değerleri karşılaştırılmış, subjektif logMAR GK ile vertikal koma aberasyon arasında anlamlı negatif korelasyon olduğu görülmüştür. RMS azaldıkça hem subjektif hem de aberometrik otorefraksiyona göre olan logMAR GK düzelmiştir. Subjektif logMAR GK ve RMS arasında anlamlı pozitif korelasyon vardır. Aberometrik otorefraksiyon logMAR GK ile YSA RMS arasında ve vertikal koma arasında anlamlı ilişki yoktur. Bu çalışma bizim çalışmamıza benzer şekilde KC'li gözlerde YSA arttıkça GK'nin düştüğünü göstermektedir. KC'li gözlerde vertikal koma ve YSA RMS ile subjektif logMAR GK arasında anlamlı ilişkiyi gösterir (80).

Diğer çalışmalarda da KC'li gözlerde özellikle koma ile SA'da artış gösterilmiştir (41, 48, 73, 89). Maeda ve arkadaşları koma aberasyonun KC'li gözlerde sferik aberasyonun 2,32 katı olduğunu, Barbero ve arkadaşları koma aberasyonun normal gözlerin 3,74 katı olduğunu bildirmişlerdir (41, 73). Başka bir çalışmada KC'li gözlerde üçüncü sıra koma aberasyonların dördüncü sıra SA'nın 3,25 katı, üçüncü sıra aberasyonların normal gözlerin 6,29 katı olduğu gösterilmiştir (90).

Maeda ve arkadaşları kornea YSA'nın KC'li gözlerde normal gözlere göre belirgin artmış olduğunu göstermişlerdir. Ayrıca normal ve KC'li gözlerde kornea ve oküler aberasyonları arasında belirgin ilişki bulmuşlardır, YSA'nın çoğunun ön korneadan kaynaklandığını belirtmişlerdir (41).

Koma benzeri aberasyonlar korneal aberometri haritasının da yardımı ile KC'nin erken tanısında ve sınıflamasında da iyi bir yardımcıdır (73). Anterior korneal aberasyon analizinin KC tanı ve sınıflamasında etkili bir yöntem olduğu gösterilmiştir (63, 64, 72, 91). Ön korneal koma benzeri aberasyon büyüklüğü kullanılarak KC sınıflaması geliştirilmiştir (63).

Pantanelli ve arkadaşları KC ve penetran keratoplastili hastalarda YSA'nın normal gözlere göre yüksek olduğunu, 5. Sıra aberasyonlara kadar her aberasyonun anormal gözlerde normal gözlerin 2-7 katı (ortalama 5,5 kat) büyüklükte olduğunu, KC hastalarında normal ve penetran keratoplastili gözlere göre komanın en yüksek olduğunu gösterdiler. Negatif vertikal koma en belirgin YSA idi. Bu aberasyon direk olarak kon şeklinin karakteri ve kornea dejenere olurken kon apeksinin aşağıya kayması ile ilişkilendirilebilir (92).

Pinero ve arkadaşları KC'li gözlerde normal gözlere göre vertikal koma, primer vertikal koma ve koma benzeri aberasyonların daha yüksek seviyede olduğunu göstermiştir. Horizontal primer ve sekonder komada bir fark bulunamamıştır. Hem normal gözlerde hem de KC'li gözlerde arka korneadan kaynaklanan aberasyonların daha yüksek olduğunu bulmuşlar ve bu durumun optik özelliklerle açıklanamayacağını, Pentacam aletinin posterior aberasyonları yanlış ölçtüğüne bağlamışlardır (72).

Nakagawa ve arkadaşları KC'li gözlerde korneanın her iki yüzündeki YSA'nın normal korneaya göre daha yüksek olduğunu bulmuşlardır. Posterior yüzeyden kaynaklanan koma aberasyon anterior yüzey koma aberasyonu ile dengelenmektedir. RGP kullanan hastalardaki rezidüel kornea irregüler astigmatı posterior kornea YSA ölçümü ile tayin edilebilir. Ortalama total kornea YSA değerleri KC'li gözlerde anterior/posterior korneada 4,34/1,09 iken normal popülasyonda 0,46/0,15'tir ( $p < 0,001$ ). KC'li gözlerde anterior/posterior kornea trefoil, koma ve SA değerleri (0,77/0,19, 3,57/0,87, -0,44/0,17) normal popülasyona (0,09/0,04, 0,33/0,07, 0,25/ -0,07) göre anlamlı derecede yüksek idi. Genel olarak anterior korneadan kaynaklanan aberasyonlar posterior korneadan kaynaklanan aberasyonların yaklaşık olarak 4 katı idi. Bu durum muhtemelen hava ve kornea arasındaki refraktif indeks ile kornea ve aköz arasındaki refraktif indeks arasındaki büyük farktan kaynaklanıyor (43).

Okamoto ve arkadaşları KC'li gözlerde 3. ve 4. sıra aberasyonların normal gözlere göre belirgin olarak yüksek olduğunu, harf KD'nin KC'li gözlerde belirgin düştüğünü, özellikle üçüncü sıra aberasyonlar ve dördüncü sıra aberasyonlar ile harf KD arasında ters yönlü kuvvetli ilişki ( $r = -0,736$   $p < 0,001$ ), ( $r = -0,464$   $p < 0,05$ ) varken logMAR uzak GK ile hem üçüncü sıra hem de dördüncü sıra aberasyonlar arasında sınırdaki pozitif yönde bir ilişki ( $r = -0,413$   $p = 0,070$ ), ( $r = 0,394$ ,  $p = 0,070$ ) olduğunu

göstermişlerdir. Normal kontrollerde KD ile üçüncü ve dördüncü sıra aberasyonlar arasında ilişki yoktur. KC'li gözlerde harf KD'si 3. Sıra koma aberasyonlarla 4. Sıra sferik aberasyonlara göre daha koreledir (90). Bizim çalışmamızda da koma aberasyon ile KD arasında SA'a göre daha kuvvetli bir korelasyon gördük

Bizim çalışmamıza benzer olarak Alio ve arkadaşları yaptıkları çalışmada KC'li gözlerde ortalama keratometri, internal astigmat, kornea astigmatı ve kornea aberometrik değerlerinin arttıkça düzeltilmiş uzak GK'yi azalttığını göstermişlerdir, ilişki belirgindir. Orta derecede pozitif korelasyonu kornea YSA'sı ile düzeltilmiş uzak GK arasında bulmuşlardır. Aberasyon arttıkça KC hastalarında görme daha önceki çalışmalarda da gösterildiği gibi düşmektedir (63, 79). Çalışmalarında arka kornea astigmatı direkt olarak ölçülemediği için, arka kornea astigmatını total astigmat değerinden ön kornea astigmatını çıkararak hesaplamışlar, lens kaynaklı astigmatı da her hangi bir patoloji olmadığı için önemsiz kabul etmişlerdir. Çalışmalarında GK'e göre KC hastalarını 4 gruba ayırmışlar ve parametrelerle gruplar arasındaki ilişkiye bakmışlardır. Bütün grup çiftlerinde düzeltilmemiş uzak GK, K ve internal astigmat değerlerinde belirgin fark görülürken; kornea incelme seviyesi, kornea astigmatı ve asiferisitede gruplar arasındaki fark belirgin değildir. Kornea YSA değerleri her bir grupta anlamlı olarak farklıdır. Çalışma sonunda şu sonuca ulaşmışlardır: KC'deki görme azalması özellikle K, kornea aberasyonu ve internal astigmat ile ilişkilidir (93). Biz çalışmamızda hastaları GK'e göre sınıflamadık, ama genel olarak kornea pakimetrik değerleri ile görme kalitesi arasında belirgin bir korelasyon bulamadık. Galilei aleti arka kornea keratometri değerlerini direkt verdiği için çalışmamıza arka kornea dik keratometri değerini aldık, bu değer ile bütün görme parametreleri arasında kuvvetli korelasyon bulduk, bizim çalışmamızda da kornea aberasyonları vertikal koma, SA ve RMS değerleri ile görme parametreleri arasında kuvvetli korelasyon göze çarpmakta idi. Korneal asiferisitenin bir ölçüsü olan  $\epsilon^2$  ( $\epsilon^2 = -Q$ ) çalışmamızda görme parametreleri ile anlamlı ilişki içinde idi

Çalışmamızda RGP GK ile bakılan parametreler arasındaki ilişkinin kuvvetinin genel olarak diğer 3 görme kalitesi parametresine göre daha düşük olduğunu gördük. Bu durum RGP kontakt lenslerin sadece düşük ve yüksek sıralı ön korneal aberasyonları düzeltmesi ile ilişkili olabilir. RGP lens ile düzeltim sonrasında KC gözlerde normal

gözlere göre yine de yüksek YSA vardır. Bu durum internal YSA'dan kaynaklanmakta bunun çoğu da posterior korneadan kaynaklanmaktadır (66, 87). Belirgin rezidüel arka kornea YSA'sı RGP kontakt lensler ile elde edilen görme faydalanımını sınırlayabilir. Ayrıca lens desantralizasyonu gibi diğer faktörler de RGP ile total oküler aberasyonları arttırabilir (35). KC'li gözlerde ön ve arka YSA arasında dengeleyici etki vardır (normal gözlerde yoktur) (94).

**Sonuç olarak,** KC'de hem ön korneada ve hem de arka korneada korneanın biyomekanik özelliklerinde karakteristik bulgular mevcuttur. Bu nedenle ön ve arka kornea yüzeyinin analizine yardım eden ve ek bilgiler sunan değişik klinik incelemelerden (topografik indeksler, pakimetrik değerler, kornea aberasyonları) elde edilen yeni kriterler KC'de GK tahmininde kullanılmalıdır. Bu çalışmada refraktif, topografik, pakimetrik ve wavefront parametreleri ile görme kalitesi arasındaki ilişkiyi çalışarak hangi deformitenin daha çok etkili olduğuna baktık.

KC'deki görme azalmasının bazı parametrelerle daha yakından ilişkili olduğunu gördük. KC indeksleri ile sırası ile KD ve yakın GK arasındaki kuvvetli korelasyon göze çarptı. KC'nin sebep olduğu kornea yüzey, şekil ve kurvatürdeki deformasyonun anterior K-A, SRI ve IAI indekleri, RMS ve vertikal koma ile daha kuvvetli ilişki gösteren görme kalitesi düşüşüne sebep olduğunu düşünüyoruz. Yaptığımız çalışma KC'deki görme azalmasına sebep olan nedenleri daha iyi aydınlatarak hem KC tanı ve takibine hem de görsel rehabilitasyon için yeni ve daha faydalı tedavi yöntemlerinin doğmasına yardımcı olabilecektir.

## 6. SONUÇLAR

1. Görme kalitesi ile **refraktif değerler** arasındaki ilişkide objektif sferik, silindirik refraksiyon ve en iyi gördüğü sferik ve silindirik refraksiyon ile bütün görme parametreleri arasında anlamlı ilişki vardı. Refraktif değerler negatif yönde arttıkça görme kalitesi göstergeleri düşmekte idi.
2. Refraksiyon ile görme parametreleri arasındaki en anlamlı ilişki sırasıyla KD, yakın ve uzak GK arasında bulundu.
3. Görme kalitesi göstergeleri ile refraktif parametreler arasındaki en kuvvetli ilişki KD ile silindirik otorefraksiyon arasında idi ( $r=0,602$ ). Onu silindirik otorefraksiyon ile yakın GK arasındaki ilişki izlemekte idi ( $r=0,550$ ).
4. **Topografik** indeksler ile görme göstergeleri arasındaki ilişkilerin genel olarak ters yönlü olduğu yani topografik ölçümler arttıkça görme kalitesinin düştüğü görüldü. İlişkiler öncelikle KD'ta en kuvvetli idi, onu sırası ile gözlükle düzeltilmiş yakın GK ve gözlükle düzeltilmiş uzak GK izlemekte idi.
5. Topografik indekslerden sadece iki parametrede ilişkinin yönü pozitifti. Bunlardan birisi pakimetri, diğeri posterior  $K_s$  değeridir. **Pakimetri** değeri arttıkça görme kalitesi de artmaktadır. Posterior  $K_s$  değeri negatif olarak arttığında görme kalitesi de düşme göstermekte idi. Pakimetri değeri ile sadece KD ve yakın GK arasında pozitif yönde anlamlı fakat zayıf bir ilişki vardı ( $r=0,357$  /  $r=0,351$ ).
6.  $K_1$  ve  $K_2$  değerleri arttıkça bütün görme kalitesi göstergeleri düşme göstermekte idi,  $K_2$  (daha dik kornea değeri) ile görme parametreleri arasında  $K_1$ 'e göre daha kuvvetli ilişki gözlemlendi.  $K_2$  ile en kuvvetli ilişki KD arasında ( $r=-0,680$ ) iken  $K_1$  ile en kuvvetli ilişki uzak GK arasında idi (sırasıyla  $r=-0,486$ ).
7.  $\varepsilon^2$  posterior ve  $\varepsilon^2$  anterior arttıkça görme kalitesi düşmekte idi. Her iki parametre de en dışında  $\varepsilon^2$  anteriora göre görme parametreleri ile daha kuvvetli ilişki gösterdi.
8. K-A anterior görme kalitesi göstergeleri ile K-A posteriora göre daha kuvvetli ve negatif bir ilişki içinde idi. Her iki değer de öncelikle KD ve yakın GK ile kuvvetli ilişki gösterdi.
9. Posterior  $K_s$  değerleri negatif olarak arttıkça görme seviyesi düşmekte idi.

10. Anterior ve posterior BFS değerleri arttıkça görme kalitesi düşmekte idi. Anterior BFS değerlerinin görme parametreleri ile ilişkisi posterior BFS'ye göre RGP GK dışında daha kuvvetli idi
11. TPI ile hem uzak GK, hem de yakın GK arasında negatif yönde zayıf bir ilişki vardı (sırasıyla  $r=-0,324$ ,  $-0,315$ ).
12. PDM miktarı ile hiçbir görme kalitesi göstergesi arasında anlamlı ilişki görülmedi.
13. I-S, SAI, SRI, IAI, DSI, OSI, CSI ve ACP indeks ölçümlerinden görme kalitesi parametreleri ile en kuvvetli ilişki sırasıyla SRI ile KD ve yakın GK arasında (sırasıyla  $r=-0,791$ ,  $-0,770$ ), sonra IAI ile KD ve yakın GK arasında (sırasıyla  $r=-0,761$ ,  $-0,750$ ) idi. Bu indekslerden görme parametreleri ile en zayıf ilişkiyi gösteren indeks I-S idi.
14. KPI ve Kprob indeksleri de görme parametreleri ile negatif ilişki içinde idi, ilişki KPI'da Kprob'a göre az bir miktarda daha kuvvetli idi, yine en kuvvetli ilişki KD ve yakın GK'de mevcuttu.
15. Tüm topografik indeksler içinde SRI değeri ile KD ve uzak görme arasında en güçlü pozitif bir ilişki dikkati çekmekte idi (sırasıyla  $r=-0.791$ ,  $r=-0.770$ ). Onu sırası ile IAI ile KD ve yakın görme keskinliği (sırasıyla  $r=-0.761$ ,  $r=-0.750$ ), K-A Anterior ile KD ( $r=-0,717$ ), Anterior BFS ile KD ve yakın GK arasındaki (sırasıyla  $r=-0.698$ ,  $r=-0.687$ ) güçlü anlamlı ilişki izlemekte idi.
16. Topografik olarak santral ve diğer konlara sınıflanan gözlerin görme kalitesi göstergeleri arasında anlamlı fark olmadığı görüldü.
17. Aberometrik ölçümlerden RMS ( $\mu\text{m}$ ), SA ( $\mu\text{m}$ ) ve vertikal koma ( $\mu\text{m}$ ) değerleri ile dört görme kalitesi göstergesi arasında anlamlı ilişki olduğu görüldü. Horizontal koma ve görme parametrelerinin hiçbirisi arasında anlamlı ilişki yoktu. En kuvvetli ilişki RMS değerleri ile KD arasında negatif yönlü bir ilişki şeklinde idi ( $r=-0.684$ ). Vertikal koma ve SA değerleri negatif olarak arttıkça görme kalitesi göstergelerinin de düştüğü görüldü. İlişkiler öncelikle KD'de en kuvvetli idi, onu sırası ile yakın GK ve uzak GK izlemekte idi.
18. Koma ve astigmatik aks farkı  $<30^0$  olan gözler ve diğer gözler arasında hiçbir görme parametresinde anlamlı fark olmadığı görüldü.

## 7. KAYNAKLAR

1. Ü B. Göz Hastalıkları. Kornea. 4 ed. İstanbul: Palme Yayıncılık, 1998.
2. Krachmer JH and H.E.e. Mannis MJ e. Basic Science And Pathophysiologic Responses. . Cornea, Fundamentals, Diagnosis and Management. Second ed. ed: Elsevier Mosby., 2005.
3. JJ. K. Cornea. Clinical Ophthalmology. 3rd ed: Reed Educational and Professional Publishing Group. Oxford 1994.
4. M Y. Ophthalmology. In: D.J., editor. Kornea ve Dış Hastalıklar. 2 ed: Mosby, 2004.
5. Apaydın C. Anatomi. In: pınar Aydın YA, editor. Temel Göz Hastalıkları, 2001. p. 10-1.
6. CG A, W. T. Keratoconus and keratoectasia. In: S B, AM G, JP M, editors. Atlas and Text of Corneal Pathology and Surgery. Panamá City,Panamá: Jaypee-Highlights Medical Publishers, 2010.
7. Ovalı T. Fiziyoloji. In: Pınar Aydın YA, editor. Temel Göz Hastalıkları: Güneş kitabevi, 2001. p. 41-2.
8. Romero-Jimenez M, Santodomingo-Rubido J, Wolffsohn JS. Keratoconus: a review. Cont Lens Anterior Eye. Aug;33(4):157-66; quiz 205.
9. Rabinowitz YS. Keratoconus. Surv Ophthalmol. 1998 Jan-Feb;42(4):297-319.
10. Krachmer JH, Feder RS, Belin MW. Keratoconus and related noninflammatory corneal thinning disorders. Surv Ophthalmol. 1984 Jan-Feb;28(4):293-322.
11. Totan Y, Hepsen IF, Cekic O, Gunduz A, Aydin E. Incidence of keratoconus in subjects with vernal keratoconjunctivitis: a videokeratographic study. Ophthalmology. 2001 Apr;108(4):824-7.
12. Rabinowitz YS, McDonnell PJ. Computer-assisted corneal topography in keratoconus. Refract Corneal Surg. 1989 Nov-Dec;5(6):400-8.
13. Abad JC, Rubinfeld RS, Del Valle M, Belin MW, Kurstin JM. Vertical D: a novel topographic pattern in some keratoconus suspects. Ophthalmology. 2007 May;114(5):1020-6.
14. Zarnowski T, Haszcz D, Zagorski Z. [Corneal topography of keratoconus]. Klin Oczna. 1997;99(1):21-4.

15. Mesplie N, Leoni-Mesplie S, Gallois A, Colin J, Touboul D. [Detection of keratoconus using wavefront analysis]. *J Fr Ophtalmol.* Oct;34(8):547-56.
16. Nakagawa T, Maeda N, Higashiura R, Hori Y, Inoue T, Nishida K. Corneal topographic analysis in patients with keratoconus using 3-dimensional anterior segment optical coherence tomography. *J Cataract Refract Surg.* Oct;37(10):1871-8.
17. Ambekar R, Toussaint KC, Jr., Wagoner Johnson A. The effect of keratoconus on the structural, mechanical, and optical properties of the cornea. *J Mech Behav Biomed Mater.* Apr;4(3):223-36.
18. Gasset AR, Hinson WA, Frias JL. Keratoconus and atopic diseases. *Ann Ophthalmol.* 1978 Aug;10(8):991-4.
19. Copeman PW. Eczema and keratoconus. *Br Med J.* 1965 Oct 23;2(5468):977-9.
20. Rahi A, Davies P, Ruben M, Lobascher D, Menon J. Keratoconus and coexisting atopic disease. *Br J Ophthalmol.* 1977 Dec;61(12):761-4.
21. Espandar L, Meyer J. Keratoconus: overview and update on treatment. *Middle East Afr J Ophthalmol.* Jan;17(1):15-20.
22. Bergmanson JP, Chu LW. Contact lens-induced corneal epithelial injury. *Am J Optom Physiol Opt.* 1982 Jun;59(6):500-6.
23. Rabinowitz YS. INTACS for keratoconus. *Int Ophthalmol Clin.* 2006 Summer;46(3):91-103.
24. Rabinowitz YS. Intacs for keratoconus. *Curr Opin Ophthalmol.* 2007 Jul;18(4):279-83.
25. Al-Torbak AA, Al-Motowa S, Al-Assiri A, Al-Kharashi S, Al-Shahwan S, Al-Mezaine H, et al. Deep anterior lamellar keratoplasty for keratoconus. *Cornea.* 2006 May;25(4):408-12.
26. Krachmer JH, Mannis M.J., Holland E. J. Lamellar keratoplasty. *cornea, surgery of the cornea and conjunctiva*, 2005. p. 1685-93.
27. Krueger RR, Kanellopoulos AJ. Stability of simultaneous topography-guided photorefractive keratectomy and riboflavin/UVA cross-linking for progressive keratoconus: case reports. *J Refract Surg.* Oct;26(10):S827-32.
28. Hafezi F, Kanellopoulos J, Wiltfang R, Seiler T. Corneal collagen crosslinking with riboflavin and ultraviolet A to treat induced keratectasia after laser in situ keratomileusis. *J Cataract Refract Surg.* 2007 Dec;33(12):2035-40.



29. Newman BY. Hope for keratoconus. *Optometry* (St Louis, Mo). 2011.
30. Cross-linking suggested effective for keratoconus, with vision and corneal curvature improvements. 2012 [cited; Available from:  
<http://www.healio.com/ophthalmology/cornea-external-disease/news/online/%7BCB6376A6-CD16-4BEA-89AC-9033A9317BC3%7D/Cross-linking-suggested-effective-for-keratoconus-with-vision-and-corneal-curvature-improvements>
31. Corneal cross-linking improves quality of life, refraction in patients with keratoconus. 2012 [cited; Available from:  
<http://www.healio.com/ophthalmology/cornea-external-disease/news/online/%7B1519D5F0-A878-42C1-A652-1C3CD67F24E1%7D/Corneal-cross-linking-improves-quality-of-life-refraction-in-patients-with-keratoconus>
32. patients Tc-lmbagfs. 2012 [cited; Available from:  
<http://www.healio.com/ophthalmology/cornea-external-disease/news/online/{48C42A5B-44EA-45DE-AEAD-4024CFCFEDD5}/Transep>
33. Refraktif Cerrahi. *American Academy of Ophthalmology*, 2008-2009. p. 14.
34. Maeda N. Clinical applications of wavefront aberrometry - a review. *Clin Experiment Ophthalmol*. 2009 Jan;37(1):118-29.
35. Oliveira CM, Ferreira A, Franco S. Wavefront analysis and Zernike polynomial decomposition for evaluation of corneal optical quality. *J Cataract Refract Surg*. Feb;38(2):343-56.
36. Azar DT GD, Hoang-Xuan T. Wavefront Analysis. *Refractive Surgery*. 2nd ed. Philadelphia: Elsevier Mosby, 2006. p. 117-46.
37. Rabinowitz YS. The genetics of keratoconus. *Ophthalmol Clin North Am*. 2003 Dec;16(4):607-20, vii.
38. Khan S, Rocha G. Cataract surgery and optimal spherical aberration: as simple as you think? *Can J Ophthalmol*. 2008 Dec;43(6):693-701.
39. Applegate RA, Marsack JD, Ramos R, Sarver EJ. Interaction between aberrations to improve or reduce visual performance. *J Cataract Refract Surg*. 2003 Aug;29(8):1487-95.

40. Mihaltz K, Kovacs I, Kranitz K, Erdei G, Nemeth J, Nagy ZZ. Mechanism of aberration balance and the effect on retinal image quality in keratoconus: optical and visual characteristics of keratoconus. *J Cataract Refract Surg.* May;37(5):914-22.
41. Maeda N, Fujikado T, Kuroda T, Mihashi T, Hirohara Y, Nishida K, et al. Wavefront aberrations measured with Hartmann-Shack sensor in patients with keratoconus. *Ophthalmology.* 2002 Nov;109(11):1996-2003.
42. Applegate RA, Sarver EJ, Khemsara V. Are all aberrations equal? *J Refract Surg.* 2002 Sep-Oct;18(5):S556-62.
43. Nakagawa T, Maeda N, Kosaki R, Hori Y, Inoue T, Saika M, et al. Higher-order aberrations due to the posterior corneal surface in patients with keratoconus. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2009 Jun;50(6):2660-5.
44. Klinik Optik. American Academy of Ophthalmology. Ankara: Güneş Tıp Kitabevleri, 2007-2008. p. 112-5.
45. T W, AJ E. The Clinical Utility of Spatial Contrast Sensitivity Testing. In: HW S, editor. *Duane's Ophthalmology on CD-ROM.* Philadelphia: Corporate Technology Ventures, 1995. p. 105: 63-348.
46. DG F, DG B. Assessment of visual function in eyes with visual loss. In: S.Rubin G, editor. *Assessment of visual function for the clinician.* Philadelphia: W. B. Saunders Company, 1989. p. 357-67.
47. Williamson TH, Strong NP, Sparrow J, Aggarwal RK, Harrad R. Contrast sensitivity and glare in cataract using the Pelli-Robson chart. *Br J Ophthalmol.* 1992 Dec;76(12):719-22.
48. Applegate RA, Hilmantel G, Howland HC, Tu EY, Starck T, Zayac EJ. Corneal first surface optical aberrations and visual performance. *J Refract Surg.* 2000 Sep-Oct;16(5):507-14.
49. Kuroda T, Fujikado T, Maeda N, Oshika T, Hirohara Y, Mihashi T. Wavefront analysis in eyes with nuclear or cortical cataract. *Am J Ophthalmol.* 2002 Jul;134(1):1-9.
50. Applegate RA, Howland HC, Sharp RP, Cottingham AJ, Yee RW. Corneal aberrations and visual performance after radial keratotomy. *J Refract Surg.* 1998 Jul-Aug;14(4):397-407.

51. Yamane N, Miyata K, Samejima T, Hiraoka T, Kiuchi T, Okamoto F, et al. Ocular higher-order aberrations and contrast sensitivity after conventional laser in situ keratomileusis. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2004 Nov;45(11):3986-90.
52. Tanabe T, Miyata K, Samejima T, Hirohara Y, Mihashi T, Oshika T. Influence of wavefront aberration and corneal subepithelial haze on low-contrast visual acuity after photorefractive keratectomy. *Am J Ophthalmol*. 2004 Oct;138(4):620-4.
53. S. M. Glare disability and contrast sensitivity function in the evaluation of symptomatic cataract. In: RL S, SA. O, editors. *Ophthalmology Clinics of North America*. Philadelphia: W.B. Saunders Company, 1991. p. 365-81.
54. RD H, DL. M. The development of spatial vision. In: DM A, FA. J, editors. *Principles and Practice of Ophthalmology*. Philadelphia: W.B. Saunders Company, 1994. p. 578-91.
55. Arden GB. The importance of measuring contrast sensitivity in cases of visual disturbance. *Br J Ophthalmol*. 1978 Apr;62(4):198-209.
56. Regan D, Neima D. Low-contrast letter charts as a test of visual function. *Ophthalmology*. 1983 Oct;90(10):1192-200.
57. Wolf E. Glare and age. *Arch Ophthalmol*. 1960 Oct;64:502-14.
58. Hess RF CL. Vision through an abnormal cornea: a pilot study of the relationship between visual loss from corneal distortion, corneal edema, keratoconus, and some allied corneal pathology. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 1979;18 (5):476-83.
59. Maeda N, Sato S, Watanabe H, Inoue Y, Fujikado T, Shimomura Y, et al. Prediction of letter contrast sensitivity using videokeratographic indices. *Am J Ophthalmol*. 2000 Jun;129(6):759-63.
60. Wei RH, Khor WB, Lim L, Tan DT. Contact lens characteristics and contrast sensitivity of patients with keratoconus. *Eye Contact Lens*. Sep;37(5):307-11.
61. Wilson SE, Lin DT, Klyce SD. Corneal topography of keratoconus. *Cornea*. 1991 Jan;10(1):2-8.
62. Ambrosio R, Jr., Klyce SD, Wilson SE. Corneal topographic and pachymetric screening of keratorefractive patients. *J Refract Surg*. 2003 Jan-Feb;19(1):24-9.
63. Alio JL, Shabayek MH. Corneal higher order aberrations: a method to grade keratoconus. *J Refract Surg*. 2006 Jun;22(6):539-45.

64. Gobbe M, Guillon M. Corneal wavefront aberration measurements to detect keratoconus patients. *Cont Lens Anterior Eye*. 2005 Jun;28(2):57-66.
65. Tomidokoro A, Oshika T, Amano S, Higaki S, Maeda N, Miyata K. Changes in anterior and posterior corneal curvatures in keratoconus. *Ophthalmology*. 2000 Jul;107(7):1328-32.
66. Pinero DP, Alio JL, Aleson A, Escaf Vergara M, Miranda M. Corneal volume, pachymetry, and correlation of anterior and posterior corneal shape in subclinical and different stages of clinical keratoconus. *J Cataract Refract Surg*. May;36(5):814-25.
67. Klyce SD. Computer-assisted corneal topography. High-resolution graphic presentation and analysis of keratoscopy. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 1984 Dec;25(12):1426-35.
68. Fam HB, Lim KL. Corneal elevation indices in normal and keratoconic eyes. *J Cataract Refract Surg*. 2006 Aug;32(8):1281-7.
69. Quisling S, Sjoberg S, Zimmerman B, Goins K, Sutphin J. Comparison of Pentacam and Orbscan IIz on posterior curvature topography measurements in keratoconus eyes. *Ophthalmology*. 2006 Sep;113(9):1629-32.
70. Belin MW, Khachikian SS. An introduction to understanding elevation-based topography: how elevation data are displayed - a review. *Clin Experiment Ophthalmol*. 2009 Jan;37(1):14-29.
71. Galilei G2. [cited; Available from: <http://www.ziemergroup.com/products/g2-main.html>]
72. Pinero DP, Alio JL, Aleson A, Escaf M, Miranda M. Pentacam posterior and anterior corneal aberrations in normal and keratoconic eyes. *Clin Exp Optom*. 2009 May;92(3):297-303.
73. Barbero S, Marcos S, Merayo-Llolves J, Moreno-Barriuso E. Validation of the estimation of corneal aberrations from videokeratography in keratoconus. *J Refract Surg*. 2002 May-Jun;18(3):263-70.
74. Smolek MK, Klyce SD. Current keratoconus detection methods compared with a neural network approach. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 1997 Oct;38(11):2290-9.
75. Maeda N, Klyce SD, Smolek MK, Thompson HW. Automated keratoconus screening with corneal topography analysis. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 1994 May;35(6):2749-57.

76. de Sanctis U, Loiacono C, Richiardi L, Turco D, Mutani B, Grignolo FM. Sensitivity and specificity of posterior corneal elevation measured by Pentacam in discriminating keratoconus/subclinical keratoconus. *Ophthalmology*. 2008 Sep;115(9):1534-9.
77. Oshika T, Tomidokoro A, Maruo K, Tokunaga T, Miyata N. Quantitative evaluation of irregular astigmatism by fourier series harmonic analysis of videokeratography data. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 1998 Apr;39(5):705-9.
78. Oshika T. [Quantitative assessment of quality of vision]. *Nihon Ganka Gakkai Zasshi*. 2004 Dec;108(12):770-807; discussion 8.
79. Pinero DP, Alio JL, Barraquer RI, Michael R, Jimenez R. Corneal biomechanics, refraction, and corneal aberrometry in keratoconus: an integrated study. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. Apr;51(4):1948-55.
80. Jinabhai A, O'Donnell C, Radhakrishnan H. A comparison between subjective refraction and aberrometry-derived refraction in keratoconus patients and control subjects. *Curr Eye Res*. Aug;35(8):703-14.
81. Kim H, Joo CK. Measure of keratoconus progression using Orbscan II. *J Refract Surg*. 2008 Jun;24(6):600-5.
82. Zadnik K, Barr JT, Edrington TB, Everett DF, Jameson M, McMahon TT, et al. Baseline findings in the Collaborative Longitudinal Evaluation of Keratoconus (CLEK) Study. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 1998 Dec;39(13):2537-46.
83. Salomao M ARJ. Corneal Tomographic study of Contralateral Normal Eyes of Patients with Very Asymmetric (Unilateral) Keratoconus. *American Society of Cataract and Refractive Surgery Meeting*. Chicago, 2008.
84. Mihaltz K, Kovacs I, Takacs A, Nagy ZZ. Evaluation of keratometric, pachymetric, and elevation parameters of keratoconic corneas with pentacam. *Cornea*. 2009 Oct;28(9):976-80.
85. Pflugfelder SC, Liu Z, Feuer W, Verm A. Corneal thickness indices discriminate between keratoconus and contact lens-induced corneal thinning. *Ophthalmology*. 2002 Dec;109(12):2336-41.
86. Lim L, Wei RH, Chan WK, Tan DT. Evaluation of keratoconus in Asians: role of Orbscan II and Tomey TMS-2 corneal topography. *Am J Ophthalmol*. 2007 Mar;143(3):390-400.

87. Ambrosio R, Jr., Alonso RS, Luz A, Coca Velarde LG. Corneal-thickness spatial profile and corneal-volume distribution: tomographic indices to detect keratoconus. *J Cataract Refract Surg.* 2006 Nov;32(11):1851-9.
88. Saad A, Gatinel D. Topographic and tomographic properties of forme fruste keratoconus corneas. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* Nov;51(11):5546-55.
89. Shah S, Naroo S, Hosking S, Gherghel D, Mantry S, Bannerjee S, et al. Nidek OPD-scan analysis of normal, keratoconic, and penetrating keratoplasty eyes. *J Refract Surg.* 2003 Mar-Apr;19(2 Suppl):S255-9.
90. Okamoto C, Okamoto F, Samejima T, Miyata K, Oshika T. Higher-order wavefront aberration and letter-contrast sensitivity in keratoconus. *Eye (Lond).* 2008 Dec;22(12):1488-92.
91. Bühren J, Kuhne C, Kohnen T. Defining subclinical keratoconus using corneal first-surface higher-order aberrations. *Am J Ophthalmol.* 2007 Mar;143(3):381-9.
92. Pantanelli S, MacRae S, Jeong TM, Yoon G. Characterizing the wave aberration in eyes with keratoconus or penetrating keratoplasty using a high-dynamic range wavefront sensor. *Ophthalmology.* 2007 Nov;114(11):2013-21.
93. Alio JL, Pinero DP, Aleson A, Teus MA, Barraquer RI, Murta J, et al. Keratoconus-integrated characterization considering anterior corneal aberrations, internal astigmatism, and corneal biomechanics. *J Cataract Refract Surg.* Mar;37(3):552-68.
94. Chen M, Yoon G. Posterior corneal aberrations and their compensation effects on anterior corneal aberrations in keratoconic eyes. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2008 Dec;49(12):5645-52.