

**ASTROFİZİK VE TEKNOLOJİK FOTOMETRİK**

**GÖRÜNTÜ İŞLEME SİSTEMİ**

**NURETTİN ŞENYER**

**DOKTORA TEZİ**

**ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**T.C.**  
**ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ASTROFİZİK VE TEKNOLOJİK FOTOMETRİK**  
**GÖRÜNTÜ İŞLEME SİSTEMİ**

**NURETTİN ŞENYER**

**DOKTORA TEZİ**  
**ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN**  
**Prof. Dr. Çingiz Efendiyev**

**SAMSUN – 2006**

T.C.  
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Bu çalışma jürimiz tarafından 15/12/2006 tarihinde yapılan sınav ile Elektrik–Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı’nda DOKTORA tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: Prof. Dr. Güven ÖNBİLGİN

Üye: Prof. Dr. Çingiz EFENDİYEV

Üye: Prof. Dr. Ahmet ERDÖNMEZ

Üye: Prof. Dr. Vasif V. NABİYEV

Üye: Yrd. Doç. Dr. Hülya GÖKALP

ONAY:

Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

...../...../2006

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## ÖZET

Dünya üzerindeki iklimin ve magnetosferinin yapısını şekillendiren güneşten kaynaklı manyetik etkinlikler, en kötü durumda insan sağlığına ve yaşamına zarar verebilmekte, hem yer hem de uzay çağdaş iletişim dizgeleri için de önemli bir bozucu etken olabilmektedir. Bu yüzden güneş üzerindeki manyetik etkinliğe neden olan oluşumların sürekli olarak izlenmesi, incelenmesi ve karakterize edilmesi, dizge tasarımı ya da etkili uyarı ve öngörü dizgelerinin geliştirilmesi için yaşamsal önemi vardır. Gözlemler uydular, yerüstü teleskopları ya da atmosferin üst katmanlarına salınan balonlar yardımıyla yapılabilmektedir. Tasarım, yapım, bakım-işletme giderlerinin çok yüksek oluşu ve diğer teknik olanaksızlıklar, uydu ve balonlu gözlemlerin sınırlı zaman aralığında, çözünürlükte ve sayıda yapılmasına neden olur. Bu sıkıntıların en az durumda olduğu yerüstü gözlemleri ise çekimler sırasında araya giren atmosferde meydana gelen devingenliğin etkisi altındadır.

Bu çalışmada senenin büyük bir bölümünde atmosferik etkinin çok düşük düzeyde olduğu ShAO gözlemevinde, AtSU-5 yatay güneş teleskobuyla alınmış üç serilik güneş fotosfer tabakası granülasyon ve leke oluşum görüntüleri üzerinde çalışılmıştır. Burada iki ayrı çalışmanın yürütülmesi gerekmiştir. Bunlar oluşumların çözümlenmesi ve yalnızca eldeki görüntü serilerinden atmosferik etkinin modellenmesidir. Yoğun atmosferik etkiye karşın, oluşumların çözümlenmesini sağlamak için ÖGYÇ (Özişler Granül Yolcuk Çıkarımcı) ve ÖLÇÇ (Özişler Leke Çevrit Çıkarımcı) algoritmaları geliştirilmiştir.

Küçük mercekler ağıyla oluşturulan atmosfer, iki etkinin birleşimi biçiminde modellenmiştir. Bunlar görüntüde konumsal ve ölçeksel bozukluklara neden olan optik bozulma davranışı (AOBD) ve görüntünün yapısından daha çok parlaklığında bozukluklara neden olan saydamlık dağılım (ASD) etkisidir. İlki ışının yolu boyunca sıcaklık farklılığından dolayı kırılma indisinin değişmesi kaynaklıdır, diğeri ise soğurma, yayma, saçılma, kırınım ve ayrılma özelliklerince biçimlendirilir.



Güneş yüzeyine ilişkin oluşumlar fotografik ya da sinematik kameralar yardımıyla, televizyon kameralarıyla elde edilebilenden çok daha yüksek hızda ve çözünürlükte gözlemlenebilmektedir. Ardışık gelen 2 – 3 *karelik* çekimdeki oluşumların değişmediği önbilgisinden ve ÖGYÇ çıktılarından yararlanarak, türbülans kaynaklı olarak ortaya çıkan granül yolcuk dağılımı homojenliğinin bozulması, sıklık düzlemi temelinde geliştirilen AOBPÇ (Atmosfer Optik Bozulma Parametre Çıkarımcı) algoritması yardımıyla sayısal değere dönüştürülebilmektedir. Bu algoritma ışığında, türbülansın etkisine göre görüntünün niteliğini değerlendiren AOBtGNÜ (AOB temelinde Görüntü Nitelik Üretici) geliştirilmiştir. Uzmanlarca gereksinim duyulan başvuru kare seçme sorununu özişler olarak çözebilmek için AOBtGNÜ temelinde AOBtBKS (AOB temelinde Başvuru Kare Seçici) algoritması geliştirilmiştir. AOBPÇ yardımıyla optik bozukluklar karakterize edilebilmiş olmasına karşın, AOB'nın neden olduğu yapısal bozuklukları onarmanın kolay bir sorun olmadığı görülmüştür. Bu yüzden çekimlerin, türbülansın en az etkili olduğu zaman anlarında yapılması kritiktir. Bu ise geleneksel olarak istatistikler temelindedir ve sürekli çekim gerektirir. AOBPÇ temelinde düşük çözünürlükte sürekli olarak atmosferi takip eden ve türbülans şiddeti uzmanca belirlenen eşik düzeyinin altına indiğinde yüksek çözünürlükte çekim yapmayı olanaklı kılan AOBtEUCAB (AOB temelinde En Uygun Çekim Anının Belirlenmesi) algoritması geliştirilmiştir.

Atmosferin saydamlık dağılım etkisini gidermek için, doğasına uygun olarak doğrusal olmayan ve sayıtımsal, boyutu gittikçe artan OF (Ortanca Filtre, Median Filter) uygulayımı temelinde ASD-Giderici algoritması gerçekleştirilmiştir. Gürültüyü gideriyorken kenarlara dokunmayan süzgeç, granül ve granül yolcukları içerisindeki parlaklık çevritlerini (contour) belirginleştirmiştir. Atmosfer ve OF'nin matematiksel alt yapısının eksikliği ASD-Çıkarımcıyla ilgili daha fazla çabayı gerektirmektedir.

Çalışmanın başından itibaren paralel olarak ilerleyen diğer dalda, çember biçimli oluşumların sayıtımı yapılmıştır. Örüntü tanımanın öznitelik çıkarımı alt bölümünde yer alan CHT (Circle Hough Transform, Çemberler için Hough Dönüşümü ya da gradCHT) merkezde yer aldığı, parametrelerin hassas bir şekilde ayarlanıp değişmezlendiği, önışleme ve sonışlemeyle sarmalanan algoritmalar geliştirilmiştir. Söz konusu oluşumlara, ADT (Antibiyotik Duyarlılık Testi) ve DND (Dondurma Nitelik

Değerlendirici)'yi içine alan çok geniş bir uygulama alanında karşılaşılmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Güneş Granülasyon ve Leke Çıkarımı, Atmosfer Optik Bozulma ve Saydamlık Dağılımı Çıkarıcı ve Giderici, Örüntü Tanıma, Teknolojik Granülasyon, CHT ve gradCHT

## ABSTRACT

Sun originated magnetic activities have serious effects on earth and space communication systems, and under some worst conditions, they can even be harmful for human life. For this reason, the actual sources on the sun surface behind these activities should be continuously monitored and investigated. It's also crucial to characterize these sources to improve the system design or to develop new alert systems. Observations are performed via satellite, earth telescopes or balloons which are dropped out at the upper layer of atmosphere. Due to the fact that design, construction, maintenance-operating cost can be extremely high, and due to some technical incapacibilities, observations via satellite and balloon have to be conducted at limited time interval, resolution and numbers. Earth observatories do not suffer these drawbacks, on the other hand, they are suffering from the negative effects of dynamic atmospheric conditions.

In this work, it was studied on three series of photographs of Solar Photosphere layer's granulation and sunspot formations. These images, which were taken by using an AtSU-5 horizontal Sun telescope, were obtained from the ShAO, an observatory having a location which is known to have less atmospheric effects. Using only these images, two distinct study were conducted: the analysis of formations and modelling the atmospheric effects. As the result of thesis, ÖGYÇ (Automatic Granule Lake Extractor) and ÖLÇÇ (Automatic Sunspot Contour Extractor) algorithms were developed.

The atmosphere, which can be considered of being a network of small lenses, was modeled as the joint effect of two separate effects: (a) the behavior of optical distortion causing positional and scaling distortions on the image, and (b) the transparency distribution effect which paves the way for brightness distortions. While the former is originating from the variances in refraction indice, which in turns is the direct result of temperature differences the light experiences on its path, the latter is

the cumulative result of absorption, scattering, refraction and dispersion properties of environment.

The formations related to the sun surface can be observed by using photographic or cinematic cameras which can provide images in much more higher resolutions and frame rates than that of the ones obtained with the traditional TV cameras. By exploiting the fact that no significant change occurs in sunspot formations between the sequential 2 – 3 frames, and also by using ÖGYÇ outputs, turbulence originated distortion of uniformity in granulation path distribution has been managed to obtain quantitatively through the AOBPC (Atmospheric Optic Aberration Parameter Extractor) algorithm, a frequency domain method which was developed in this work. Also, at the light of this algorithm, AOBtGNÜ (Image Quality Extractor based on Atmospheric Optic Aberration) was developed evaluating the feature of image depending on the turbulence effect. As a solution to the problem of choosing the reference frame automatically, a demand deduced by the experts in this field, AOBtBKS (Reference Picture Selector based on Atmospheric Optic Aberration) algorithm basing on the AOBtGNÜ was introduced. Despite the availability of characterization of optical distortions with the help of AOBPC, it was experienced that the impairment of AOB originated distortions is actually a non-trivial problem. Due to this inherent difficulty, it is critical to taking images when the turbulence is known to be at minimum, which mandates continuous exposure. As a remedy to the mentioned problem, AOBtEUCAB (Suit Taking Time Decider based on Atmospheric Optic Aberration) algorithm was introduced that constantly monitors the atmosphere in lower resolutions and enables the atmospheric images in higher resolutions.

To minimize the opaqueness distribution effect of atmosphere, a non-linear and statistical ASD-remover (Atmospheric Opaque Distribution-remover) algorithm basing on a median filter with successively increasing orders on each application was implemented. This filter doesn't touch the edges while reducing the noise and makes the granules and the brightness contours inside the granule paths more evident. The lack of mathematical foundation of atmosphere model and the median filter calls for a more through investigation of ASD-extractor.

In a parallel investigation conducted along with this study, a statistical analysis of circular formations has been performed. Under the topic of “Circle Hough Transform” (which could be found at the “feature extraction” subsection of “pattern recognition”) an algorithm, involving the precisely tuning and fixing the parameters with pre-post processing wrappers, was also developed. The mentioned circular formations are encountered over a fairly wide area including ADT (Antibiotic Sensitivity Test) and DND (Icecream Quality Assessment).

**Keywords:** Granulation and Sunspot Extraction, Atmosphere Optic Aberration and Opaque Distribution Extraction and Removing, Pattern recognition, Technological granulation, CHT ve gradCHT

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma süresince yakın alâkasını ve sabrını benden esirgemeyen tez danışmanım Prof. Dr. Çingiz Efendiyev'e teşekkür ediyorum.

Bir doktora tezinin tamamlanmasında gereksinim duyulan moral gücün oluşumunda büyük katkılar sağlayan ve bana daima yardımcı olan ve bir şekilde bu çalışmada emeği geçen başta Recai Oktaş, Kemal Bilgin ve Tolga Bahadır olmak üzere tüm değerli dostlarıma ve meslektaşlarıma minnettarlığımı sunuyorum.

# İÇİNDEKİLER

|                                                                   |           |
|-------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. GİRİŞ</b>                                                   | <b>1</b>  |
| 1.1 Granülasyon ve Leke Oluşumları . . . . .                      | 9         |
| 1.1.1 Güneşin Granülasyon ve Leke Oluşumlarının Önemi . . . . .   | 10        |
| 1.1.2 Granülasyon ve Leke Oluşumlarının Zamansal Ölçeği . . . . . | 13        |
| 1.2 Güneş Gözlemleri . . . . .                                    | 14        |
| 1.2.1 Genel Amaçlı Teleskoplar . . . . .                          | 14        |
| 1.2.2 Güneş Teleskopu . . . . .                                   | 17        |
| 1.3 Gökbilimsel Gözlem . . . . .                                  | 23        |
| 1.3.1 Giriş . . . . .                                             | 23        |
| 1.3.2 Atmosferik Görüş Kavramları . . . . .                       | 26        |
| 1.3.3 Atmosferik Görüş . . . . .                                  | 31        |
| 1.4 Öngörülen Çalışma . . . . .                                   | 33        |
| <b>2. YÖNTEM</b>                                                  | <b>34</b> |
| 2.1 Granülasyon ve Leke Öznelik Çıkarımı . . . . .                | 34        |
| 2.1.1 Sorun Tanımı ve Çözüm Yaklaşımı . . . . .                   | 34        |
| 2.1.2 Önışlemeler . . . . .                                       | 35        |
| 2.1.2.1 Eşkonumlama . . . . .                                     | 36        |
| 2.1.2.2 Aynılaştırma . . . . .                                    | 39        |

|         |                                                                                                                                                                               |    |
|---------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.1.2.3 | Öncam Leke Sorunu . . . . .                                                                                                                                                   | 41 |
| 2.1.3   | Oluşumların Özniteliğinin Çıkarımı . . . . .                                                                                                                                  | 42 |
| 2.1.3.1 | Amaç . . . . .                                                                                                                                                                | 42 |
| 2.1.3.2 | Öznitelik Çıkarımı . . . . .                                                                                                                                                  | 42 |
| 2.1.3.3 | Ardışıl Görüntülere Kısa Aralıklı ÇİGZ (Çok İşlevli Gama Zıtlayıcı) ve Renklendirme Uygulayarak Görüntülerde Oluşumların ve Atmosferik Etkinin Belirginleştirilmesi . . . . . | 43 |
| 2.1.3.4 | Buğulu Görüntüleri Kullanan GSD ve ÇİGZ Birleşimi Bir Yöntem . . . . .                                                                                                        | 48 |
| 2.1.3.5 | Ardışık Görüntü Türevi Yaklaşımıyla Oluşum Kenarlarının Belirginleştirilmesi . . . . .                                                                                        | 48 |
| 2.1.4   | ÖGYÇ (Özişler Granül Yolcuk Çıkarımcı) Algoritması . . . . .                                                                                                                  | 49 |
| 2.1.4.1 | Amaç . . . . .                                                                                                                                                                | 49 |
| 2.1.4.2 | Algoritmanın Temelleri . . . . .                                                                                                                                              | 49 |
| 2.1.4.3 | Algoritma Ayrıntıları . . . . .                                                                                                                                               | 53 |
| 2.1.5   | ÖLÇÇ (Özişler Leke Çevrit Çıkarımcı) Algoritması . . . . .                                                                                                                    | 58 |
| 2.1.5.1 | Amaç . . . . .                                                                                                                                                                | 58 |
| 2.1.5.2 | Algoritma Ayrıntıları . . . . .                                                                                                                                               | 58 |
| 2.1.6   | Başvuru Kare Sorunu ve Başvuru Kare Seçme Yaklaşımları . . . . .                                                                                                              | 61 |
| 2.2     | Atmosferik Etkinin Elde Edilmesi, Giderimi ve Modellenmesi . . . . .                                                                                                          | 63 |
| 2.2.1   | Giriş . . . . .                                                                                                                                                               | 63 |
| 2.2.1.1 | Kavramlar . . . . .                                                                                                                                                           | 67 |
| 2.2.1.2 | Atmosfer Ortamı . . . . .                                                                                                                                                     | 68 |
| 2.2.1.3 | Atmosferin Modellenmesi . . . . .                                                                                                                                             | 70 |



|         |                                                                                                                                             |     |
|---------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 2.2.2   | Atmosferin Optik Bozulma Davranışının (AOD) Elde Edilmesi, Onarılması ve Modellenmesi . . . . .                                             | 78  |
| 2.2.2.1 | Öncül Çalışmalar . . . . .                                                                                                                  | 79  |
| 2.2.2.2 | AOBPÇ (Atmosferik Optik Bozulma Parametre Çıkarımcı) Algoritması . . . . .                                                                  | 86  |
| 2.2.2.3 | AOBtGNÜ (AOB temelinde Görüntü Nitelik Üretici) ve AOBtBKS (AOB temelinde Başvuru Kare Seçici) Algoritması . . . . .                        | 96  |
| 2.2.2.4 | AOBPÇ Temelinde Düşünülen Diğer Algoritmalar . . . . .                                                                                      | 99  |
| 2.2.3   | ASD'nin (Atmosferin Saydamlık Dağılımının) Elde Edilmesi, Onarılması ve Modellenmesi . . . . .                                              | 103 |
| 2.2.3.1 | Öncül Çalışmalar: Fark Görüntüleri Yaklaşımı . . . . .                                                                                      | 103 |
| 2.2.3.2 | Öncül Çalışmalar: Histogram yöntemleri . . . . .                                                                                            | 104 |
| 2.2.3.3 | Test Ardışıklığındaki Gürültü Kaynakları . . . . .                                                                                          | 105 |
| 2.2.3.4 | ASD-Ç (Atmosferin Saydamlık Dağılımının Elde Edilmesi, ASD-Çıkarıcı) ve ASD-G (Etkisinin Giderilmesi, ASD-Giderici) Algoritmaları . . . . . | 108 |
| 2.3     | Teknolojik Granülasyon Oluşumları, Öznitelik Çıkarımı ve Sayıtsal İşlemler . . . . .                                                        | 130 |
| 2.3.1   | Giriş . . . . .                                                                                                                             | 130 |
| 2.3.2   | Örüntü Tanıma (ÖT) ve Öznitelik Çıkarım (ÖÇ) . . . . .                                                                                      | 131 |
| 2.3.3   | Hough Dönüşümü (HT) . . . . .                                                                                                               | 132 |
| 2.3.3.1 | Giriş . . . . .                                                                                                                             | 132 |
| 2.3.3.2 | Hough Dönüşümünün Çizgi Algılamada Kullanımı . . . . .                                                                                      | 135 |
| 2.3.3.3 | Sıkıntılar ve Çözüm Yöntemleri . . . . .                                                                                                    | 141 |
| 2.3.4   | Çemberler için HT (CHT) . . . . .                                                                                                           | 142 |
| 2.3.5   | gradCHT (Gradyan Temelinde CHT) Algoritması . . . . .                                                                                       | 145 |

|       |                                                                                                                |     |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.1   | Giriş . . . . .                                                                                                | 158 |
| 3.2   | Granülasyon ve Leke Öznitelik Çıkarımı . . . . .                                                               | 158 |
| 3.2.1 | ÇİGZ ve Renklendirme Uygulayarak Görüntülerde Oluşumların ve Atmosferik Etkinin Belirginleştirilmesi . . . . . | 158 |
| 3.2.2 | Buğulu Görüntüleri Kullanan GSD ve ÇİGZ Birleşimi Bir Yöntem . . . . .                                         | 161 |
| 3.2.3 | Ardışık Görüntü Türevi Yaklaşımıyla Oluşum Kenarlarının Belirginleştirilmesi . . . . .                         | 162 |
| 3.2.4 | ÖGYÇ Algoritması . . . . .                                                                                     | 163 |
| 3.2.5 | ÖLÇÇ Algoritması . . . . .                                                                                     | 166 |
| 3.3   | Atmosferik Etkinin Elde Edilmesi, Giderimi ve Modellenmesi . . . . .                                           | 168 |
| 3.3.1 | GSD Yaklaşımıyla Oluşum Bilgi Yoğunlaşmalarının ve Atmosferik Etkinin Belirlenmesi . . . . .                   | 168 |
| 3.3.2 | AOBPÇ Sonuçları . . . . .                                                                                      | 169 |
| 3.3.3 | AOBtBKS Sonuçları . . . . .                                                                                    | 179 |
| 3.3.4 | ASD-Giderici ve ASD-Çıkarımcı Sonuçları . . . . .                                                              | 180 |
| 3.4   | Teknolojik Granülasyon Oluşumları Öznitelik Çıkarımı Sonuçları . . . . .                                       | 185 |
| 3.4.1 | Giriş . . . . .                                                                                                | 185 |
| 3.4.2 | Tek Bir Çember İçeren Test Görüntüsü: gchtTestTekCember . . . . .                                              | 186 |
| 3.4.3 | Çok Sayıda Örtüşen Çember Test Görüntüsü: gchtTestCokluOrtusenCemberler . . . . .                              | 188 |
| 3.4.4 | Aynı Merkezli Çember Test Görüntüsü: gchtTestAyniMerkezliCemberler . . . . .                                   | 189 |
| 3.4.5 | Gürültülü gchtTestCokluOrtusenCemberler Test Görüntüsü . . . . .                                               | 193 |

|         |                                                                                |     |
|---------|--------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.4.6   | Gürültülü gcht Test Aynı Merkezli Cemberler Test Görüntüsü Sonuçları . . . . . | 195 |
| 3.4.7   | ADT (Antibiyotik-antimikrobik Duyarlılık-direnç Testi) Çözümlemesi . . . . .   | 197 |
| 3.4.7.1 | Sorun Tanımı ve Uygulanan Geleneksel Çözüm Yaklaşımı . . . . .                 | 197 |
| 3.4.7.2 | gradCHT Temelindeki Öneri . . . . .                                            | 198 |
| 3.4.7.3 | Sonuçlar . . . . .                                                             | 202 |
| 3.4.8   | DND (Dondurma Nitelik Değerlendirici) Çözümlemesi . . . . .                    | 207 |
| 3.4.8.1 | Sorun Tanımı ve Geleneksel Yaklaşım . . . . .                                  | 207 |
| 3.4.8.2 | gradCHT Temelinde Önerilen Yöntem . . . . .                                    | 207 |
| 3.4.8.3 | Sonuçlar . . . . .                                                             | 209 |

#### 4. SONUÇ ve ÖNERİLER 213

|         |                                                                      |     |
|---------|----------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.1     | Granülasyon ve Leke Öznitelik Çıkarımı . . . . .                     | 216 |
| 4.1.1   | Önişleme . . . . .                                                   | 216 |
| 4.1.2   | ÖGYÇ . . . . .                                                       | 216 |
| 4.1.3   | ÖLÇÇ . . . . .                                                       | 217 |
| 4.2     | Atmosferik Etkinin Elde Edilmesi, Giderimi ve Modellenmesi . . . . . | 217 |
| 4.2.1   | Genel . . . . .                                                      | 217 |
| 4.2.2   | AOBPÇ . . . . .                                                      | 217 |
| 4.2.2.1 | AOBtGNÜ . . . . .                                                    | 218 |
| 4.2.2.2 | AOB-Düzeltici, AOBtEUCAB ve AOBtSKOPT . . . . .                      | 218 |
| 4.2.3   | ASD-Giderici ve ASD-Çıkarımcı . . . . .                              | 219 |
| 4.2.3.1 | Genel . . . . .                                                      | 219 |
| 4.2.3.2 | ASD-Giderici . . . . .                                               | 219 |

|                          |                                                                                      |            |
|--------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 4.2.3.3                  | ASD-Çıkarımcı . . . . .                                                              | 219        |
| 4.3                      | Teknolojik Granülasyon Oluşumları Öznitelik Çıkarımı . . . . .                       | 220        |
| 4.3.1                    | Genel . . . . .                                                                      | 220        |
| 4.3.2                    | ADT . . . . .                                                                        | 220        |
| 4.3.3                    | DND . . . . .                                                                        | 221        |
| <b>KAYNAKLAR</b>         |                                                                                      | <b>238</b> |
| <b>EKLER</b>             |                                                                                      | <b>239</b> |
| <b>A. Sözlük</b>         |                                                                                      | <b>239</b> |
| <b>B. Kaynak Kodları</b> |                                                                                      | <b>240</b> |
| B.1                      | Granülasyon ve Leke Öznitelik Çıkarımı . . . . .                                     | 241        |
| B.1.1                    | ÇİGZ . . . . .                                                                       | 241        |
| B.1.2                    | ÖGYÇ . . . . .                                                                       | 243        |
| B.1.3                    | ÖLÇÇ . . . . .                                                                       | 245        |
| B.2                      | Atmosferik Etkinin Elde Edilmesi, Giderimi ve Modellenmesi . . . . .                 | 246        |
| B.2.1                    | AOBPÇ . . . . .                                                                      | 246        |
| B.2.2                    | AOBtGNÜ . . . . .                                                                    | 249        |
| B.2.3                    | AOBtBKS . . . . .                                                                    | 250        |
| B.2.4                    | ASD-Giderici . . . . .                                                               | 251        |
| B.3                      | Teknolojik Granülasyon Oluşumları, Öznitelik Çıkarımı ve Sayıtsal İşlemler . . . . . | 252        |
| B.3.1                    | ADT . . . . .                                                                        | 252        |
| B.3.2                    | DND . . . . .                                                                        | 257        |

# KISALTMALAR DİZİNİ

**ADT** Antibiyotik Duyarlılık Testi, sayfa 197

**AOBD** Atmosferin Optik Bozulma Davranışı, sayfa 64

**AOBPÇ** Atmosferik Optik Bozulma Parametre Çıkarımcı, sayfa 86

**AOBtBKS** AOB temelinde Başvuru Kare Seçici, sayfa 96

**AOBtEUCAB** AOB temelinde En Uygun Çekim Anının Belirlenmesi, sayfa 98

**AOBtGNÜ** AOB temelinde Görüntü Nitelik Üreteci, sayfa 96

**AOBtSKOPT** AOB temelinde Sonraki Karenin Optik Parametrelerinin Tahmini,  
sayfa 100

**AOs** Adaptive Optics, Uyarlanır Optik, sayfa 75

**ASD** Atmosferin Saydamlık Dağılımı, sayfa 64

**ASD-Giderici** Atmosfer Saydamlık Dağılımı - Giderici, sayfa 108

**BGS** Bant Geçiren Süzgeç, sayfa 54

**CHT** Çemberler için HT, sayfa 142

**ÇİGZ** Çok İşlevli Gama Zıtlayıcı, sayfa 43

**DND** Dondurma Nitelik Değerlendirici, sayfa 207

**FFT** Fast Fourier Transform, sayfa 90

**GNİ** Görüntü Nitelik İndisi, sayfa 97

**gradCHT** Gradyan temelinde CHT, sayfa 145

**GSD** Gri Seviye Dilimleme, sayfa 80

**HT** Hough Transform, sayfa 132

**OF** Ortanca Filtre, sayfa 108

**ÖÇ** Öznitelik Çıkarım, sayfa 131

**ÖGYÇ** Özişler Granül Yolcuk Çıkarımcı, sayfa 49

**ÖLÇÇ** Özişler Leke Çevrit Çıkarımcı, sayfa 58

**ÖT** Örüntü Tanıma, sayfa 131

**PSF** Point Spread Function, sayfa 76

**SC** Nokta imi eğrisi, sayfa 154

**ShAO** Shemakha Astrophysical Observatory, sayfa 34

**VF** Variance Filter, Değişinti Süzgeç, sayfa 60

# ŞEKİLLER DİZİNİ

|      |                                                                                                                                         |    |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.1  | Güneş gözlemleri çalışmasının kapsamı . . . . .                                                                                         | 5  |
| 1.2  | Güneş oluşumlarının çözümlemesi . . . . .                                                                                               | 7  |
| 1.3  | Güneş gözlemlerindeki atmosferik ortamın modellenmesi . . . . .                                                                         | 7  |
| 1.4  | Granülasyon yapısı, oluşumu ve farklı ölçeklerde ısı-yayınım olayları .                                                                 | 10 |
| 1.5  | Leke yapısı ve oluşumu . . . . .                                                                                                        | 11 |
| 1.6  | 1750-2000 arasında leke sayısındaki değişim . . . . .                                                                                   | 11 |
| 1.7  | 1645-1715 yılları arasında yaşanan Maunder minimum olayı . . . . .                                                                      | 13 |
| 1.8  | Güneşi gözlemede kullanılan coelostat ilkesi . . . . .                                                                                  | 17 |
| 1.9  | Vakum güneş teleskopunun optik yol çizeneği . . . . .                                                                                   | 19 |
| 1.10 | Yatay güneş teleskopunun optik şeması (ShAO) . . . . .                                                                                  | 20 |
| 1.11 | Yatay güneş teleskobuyla ilgili görüntüler (ShAO) . . . . .                                                                             | 21 |
| 1.12 | 10 m Keck I teleskopuyla elde edilen K-bandı 140 ms poz süreli gö-<br>rüntü, atmosferik görüşün ürettiği tipik benek örünüüsü . . . . . | 25 |
| 1.13 | Atmosferin karıştırıcı gösterilimi . . . . .                                                                                            | 29 |
| 1.14 | ShAO'daki ATsU-5 fotosferik teleskobuyla 42 ms poz süreli görüntüler                                                                    | 32 |
| 2.1  | Koordinat dönüşümünün biçimsel yorumu . . . . .                                                                                         | 37 |
| 2.2  | Afin dönüşüm türleri . . . . .                                                                                                          | 38 |
| 2.3  | İki görüntü bölütünde karşılıklı düğüm noktaları . . . . .                                                                              | 38 |

|      |                                                                                                                                                                                   |    |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.4  | 55310018 deneme görüntüsünün sıklık düzlemi . . . . .                                                                                                                             | 49 |
| 2.5  | 55310018 deneme görüntüsünün orta sol bölümüne ilişkin sıklık düzlemi                                                                                                             | 50 |
| 2.6  | Çevrit toplu sonuçlar . . . . .                                                                                                                                                   | 51 |
| 2.7  | 55310019 görüntüsünün orta-sol bölümüne ilişkin çevrit sıklık mas-<br>kesi, bu maskeyle elde edilen görüntü ve çevrit temelinde bant geçiren<br>süzgeç uygulayım sonucu . . . . . | 51 |
| 2.8  | ÖGYÇ (Özişler Granül Yolcuk Çıkarımcı) Algoritması . . . . .                                                                                                                      | 54 |
| 2.9  | BGS gösterilimi . . . . .                                                                                                                                                         | 54 |
| 2.10 | BGS ile elde edilen görüntü . . . . .                                                                                                                                             | 55 |
| 2.11 | BGS + ÇİGZ ile elde edilen görüntüler . . . . .                                                                                                                                   | 56 |
| 2.12 | BGS + ÇİGZ uygulanmış görüntünün çizgi belgisi ve Histogramı . . .                                                                                                                | 57 |
| 2.13 | Sonuç görüntüleri . . . . .                                                                                                                                                       | 57 |
| 2.14 | ÖLÇÇ (Özişler Leke Çevrit Çıkarımcı) Algoritması . . . . .                                                                                                                        | 58 |
| 2.15 | ÖLÇÇ giriş, ASD-Giderilmiş, Değişinti Süzgeçleme ve Log zıtlık yayma<br>sonucu . . . . .                                                                                          | 59 |
| 2.16 | Leke maskesi altındaki alan . . . . .                                                                                                                                             | 60 |
| 2.17 | Leke çevrit maskesi . . . . .                                                                                                                                                     | 61 |
| 2.18 | VLT Güney teleskopunun bulunduğu bölgede sıcaklık değişimi . . . .                                                                                                                | 69 |
| 2.19 | Türbülansın görüntü üzerinde oluşturduğu buğulanma . . . . .                                                                                                                      | 69 |
| 2.20 | Dalga öncephe bozulması . . . . .                                                                                                                                                 | 70 |
| 2.21 | AOs ilkesi . . . . .                                                                                                                                                              | 75 |
| 2.22 | GSD dönüşüm yapıları . . . . .                                                                                                                                                    | 80 |
| 2.23 | Türbülansın Kolmogorov Wiener tayfindan görüntülerin evresinin ona-<br>rılması . . . . .                                                                                          | 81 |
| 2.24 | Türbülansın Kolmogorov Wiener tayfindan görüntülerin evresinin ona-<br>rılması orta satır parlaklık değişimi . . . . .                                                            | 82 |



|      |                                                                                                                         |     |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 2.25 | Astigmatizma konumsal-sıklık düzlemi ilişkisi - 1 . . . . .                                                             | 85  |
| 2.26 | Astigmatizma konumsal-sıklık düzlemi ilişkisi - 2 . . . . .                                                             | 85  |
| 2.27 | Elips gösterilimi . . . . .                                                                                             | 88  |
| 2.28 | AOBPÇ (Atmosferik Optik Bozulma Parametre Çıkarımcı) Algoritması                                                        | 89  |
| 2.29 | 08Aug2003_4364.1391-1393.jpg buğusuz deneme görüntüsünün farklı alanlarında granül yolcuklarının sıklık tayfı . . . . . | 91  |
| 2.30 | AOBPÇ temelinde Görüntü Nitelik (indisi) Üreteci (GNÜ) algoritması öbek çizge gösterilimi . . . . .                     | 97  |
| 2.31 | AOBtBKS algoritması öbek çizge gösterilimi . . . . .                                                                    | 98  |
| 2.32 | AOB-Düzeltici algoritması öbek çizge gösterilimi . . . . .                                                              | 99  |
| 2.33 | AOBtEUCAB (AOB temelinde En Uygun Çekim Anının Belirlenmesi) algoritması öbek çizge gösterilimi . . . . .               | 100 |
| 2.34 | AOBtSKOPT (AOB temelinde Sonraki Karenin Optik Parametrelerinin Tahmini) algoritması öbek çizge gösterilimi . . . . .   | 101 |
| 2.35 | AOBP_KMÜ (AOBP Konumsal Model Üreteci) algoritması öbek çizge gösterilimi . . . . .                                     | 102 |
| 2.36 | AOBP_ZMU (AOBP Zamansal Model Üreteci) algoritması öbek çizge gösterilimi . . . . .                                     | 102 |
| 2.37 | Atmosferin toplamsal karakterli bozuculuğunun elde edilmesi ve giderilmesinde fark alma yöntemi . . . . .               | 104 |
| 2.38 | 55310001-25 görüntülerinden 21 üzerinden hesaplanan ortalama histogram . . . . .                                        | 105 |
| 2.39 | 55310019 deneme görüntüsünün ortalama histogram değerlerinden elde edilen histogram eşleme sonucu . . . . .             | 106 |
| 2.40 | Yerüstünden çekilen granülasyon görüntülerindeki gürültü yapıları . .                                                   | 107 |
| 2.41 | Görüntü serisindeki boş çekim deneme görüntüsü . . . . .                                                                | 107 |
| 2.42 | Ortanca süzgeç uygulayımı öbek gösterilimi . . . . .                                                                    | 113 |

|      |                                                                                                                                                                                                             |     |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 2.43 | Ortanca süzgeçleri için kullanılan komşuluk örüntüleri . . . . .                                                                                                                                            | 114 |
| 2.44 | Yön bağımlı komşuluk örüntüleri . . . . .                                                                                                                                                                   | 115 |
| 2.45 | Sürekli modelle süzgeç uygulayımıyla oluşan kaymaların değerlendirilmesinde kullanılan deneme görüntüleri <b>a)</b> soldaki doğrusal, <b>b)</b> sağdaki ise adım türünden kenar içermektedir. . . . .       | 116 |
| 2.46 | Kaymaları değerlendirmede kullanılan parlaklık basamakları . . . . .                                                                                                                                        | 118 |
| 2.47 | $3 \times 3$ ortalama ve ortanca süzgeç uygulanmasıyla elde edilen görüntüler ve orta satırlarına ilişkin parlaklık değişimi . . . . .                                                                      | 119 |
| 2.48 | $13 \times 13$ ortalama ve ortanca süzgeç uygulanmasıyla elde edilen görüntüler ve orta satırlarına ilişkin parlaklık değişimi . . . . .                                                                    | 120 |
| 2.49 | Az gürültülü (%2) görüntü ve $3 \times 3$ ortalama ve ortanca süzgeç uygulanmasıyla elde edilen görüntüler ve orta satırlarına ilişkin parlaklık değişimi . . . . .                                         | 121 |
| 2.50 | Çok gürültülü (%20) görüntü ve $3 \times 3$ ortalama ve ortanca süzgeç uygulanmasıyla elde edilen görüntüler ve orta satırlarına ilişkin parlaklık değişimi . . . . .                                       | 122 |
| 2.51 | Ortanca süzgeç boyutunun çıkış görüntüsü üzerindeki etkisi . . . . .                                                                                                                                        | 124 |
| 2.52 | ASD-Gidericinin uygulanması . . . . .                                                                                                                                                                       | 128 |
| 2.53 | ASD-Çıkarımcı algoritması . . . . .                                                                                                                                                                         | 129 |
| 2.54 | Doğrunun <i>eğim-kesişme</i> ve <i>normal</i> gösterilimi . . . . .                                                                                                                                         | 136 |
| 2.55 | Noktadan sinüsoide oylama gösterilimi . . . . .                                                                                                                                                             | 137 |
| 2.56 | Oylama ile elde edilen sinüsoidler kümesi . . . . .                                                                                                                                                         | 137 |
| 2.57 | Sayısallaştırmayla oluşan sinüsoid bandı . . . . .                                                                                                                                                          | 138 |
| 2.58 | Sayısallaştırılmaya ortaya çıkan sinüsoid bantında her bir $i_\theta$ değeri için $\rho_{alt-sinir} \leq \rho < \rho_{ust-sinir}$ arasındaki tüm hücrelere erişilerek oyları birer arttırılmalıdır. . . . . | 140 |
| 2.59 | Standart CHT kavramlar . . . . .                                                                                                                                                                            | 142 |

|      |                                                                                                                                                                                 |     |
|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 2.60 | gradCHT kavramlar . . . . .                                                                                                                                                     | 146 |
| 2.61 | gradCHT (Gradyan temelinde CHT) . . . . .                                                                                                                                       | 147 |
| 2.62 | Yarıçap oylama . . . . .                                                                                                                                                        | 151 |
| 2.63 | Ayrık görüntülerde merkez oylama . . . . .                                                                                                                                      | 152 |
| 2.64 | Yanılgılı merkez oylama . . . . .                                                                                                                                               | 154 |
| 2.65 | Nokta imi eğrisinin üretilmesi . . . . .                                                                                                                                        | 155 |
| 3.1  | 55310018.bmp görüntüsünün histogramı . . . . .                                                                                                                                  | 159 |
| 3.2  | ÇİGZ uygulayımı a) leke bölgesi çıkarılmış 55310018.bmp görüntüsü,<br>b) ÇİGZ uygulayım sonucu, c) ve d) orta bölümlerinden alıntı (256x256),<br>e) ÇİGZ geçiş işlevi . . . . . | 160 |
| 3.3  | Ardışık karelerde kısa aralıklı ÇİGZ uygulama ve renklendirme yöntemi                                                                                                           | 160 |
| 3.4  | GSD ve ÇİGZ yaklaşımıyla leke bölgesinin vurgulanması . . . . .                                                                                                                 | 161 |
| 3.5  | Ardışık resim türevi uygulayımıyla oluşumlara ilişkin kenarların be-<br>lirginleştirilmesi . . . . .                                                                            | 162 |
| 3.6  | Ardışık gelen karelerde ÖGYÇ sonuçları . . . . .                                                                                                                                | 164 |
| 3.7  | 55310042 buğulu ve SunGranul-DOT02my2003.jpg buğusuz deneme<br>görüntülerinin orta-orta bölümüne ilişkin ÖGYÇ sonuçları . . . . .                                               | 165 |
| 3.8  | ÖLÇÇ sonuçları . . . . .                                                                                                                                                        | 167 |
| 3.9  | 55310017, 55310018 ve 55310019'ye ilişkin 7 eşit dilimle ve %60 say-<br>damlık değeriyle elde edilen GLS'li görüntüler . . . . .                                                | 169 |
| 3.10 | 55310018 deneme görüntüsünün sol alt bölümünde ÖGYÇ önışlemesi<br>uygulanmaksızın AOBPÇ algoritmasının ara aşamalarında elde edilen<br>sonuçlar . . . . .                       | 170 |
| 3.11 | 55310019 deneme görüntüsünün sol alt bölümünde ÖGYÇ önışlemesi<br>uygulanmaksızın AOBPÇ algoritmasının ara aşamalarında elde edilen<br>sonuçlar . . . . .                       | 170 |

|      |                                                                                                                                                                              |     |
|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.12 | 55310019 deneme görüntüsünün sol alt bölümünde ASD-Gidericinin çalıştırılıp ÖGYÇ önişlemesi uygulanmaksızın AOBPÇ algoritmasının aşamalarında elde edilen sonuçlar . . . . . | 171 |
| 3.13 | 55310019 deneme görüntüsünün sol alt bölümünde ASD-Gidericinin çalıştırılıp ÖGYÇ önişlemesi uygulanmaksızın AOBPÇ algoritmasının aşamalarında elde edilen sonuçlar . . . . . | 171 |
| 3.14 | 55310018 deneme görüntüsünün sol alt bölümünde ÖGYÇ önişlemeli AOBPÇ algoritmasının ara aşamalarında elde edilen sonuçlar . . . . .                                          | 172 |
| 3.15 | 55310019 deneme görüntüsünün sol alt bölümünde ÖGYÇ önişlemeli AOBPÇ algoritmasının ara aşamalarında elde edilen sonuçlar . . . . .                                          | 172 |
| 3.16 | 55310020 deneme görüntüsünün sol alt bölümünde ÖGYÇ önişlemeli AOBPÇ algoritmasının ara aşamalarında elde edilen sonuçlar . . . . .                                          | 173 |
| 3.17 | 55310018 deneme görüntüsünün sol alt bölümünde ASD-Gidericiyle onarımın ardından ÖGYÇ önişlemeli AOBPÇ algoritmasının ara aşamalarında elde edilen sonuçlar . . . . .        | 174 |
| 3.18 | 55310019 deneme görüntüsünün sol alt bölümünde ASD-Gidericiyle onarımın ardından ÖGYÇ önişlemeli AOBPÇ algoritmasının ara aşamalarında elde edilen sonuçlar . . . . .        | 174 |
| 3.19 | 55310020 deneme görüntüsünün sol alt bölümünde ASD-Gidericiyle onarımın ardından ÖGYÇ önişlemeli AOBPÇ algoritmasının ara aşamalarında elde edilen sonuçlar . . . . .        | 175 |
| 3.20 | 55320061-65 arasındaki deneme görüntülerinin orta bölümünde ÖGYÇ önişlemeli AOBPÇ algoritmasının ara aşamalarında elde edilen sonuçlar                                       | 176 |
| 3.21 | Pürüzsüzleştirmenin algoritmanın çıktıları üzerindeki etkisinin incelenmesi . . . . .                                                                                        | 178 |
| 3.22 | 55310018 deneme görüntüsünün orta bölümünden $250 \times 250$ 'lik bir alanda ASD-Giderici sonuçları . . . . .                                                               | 181 |

|      |                                                                                                                |     |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.23 | 55310019 deneme görüntüsünün orta bölümünden $250 \times 250$ 'lik bir alanda ASD-Giderici sonuçları . . . . . | 182 |
| 3.24 | ASD-Çıkarımcı sonuçları: görüntülerin küçük bir alanlarına ( $150 \times 150$ ) ilişkin ASD'ları . . . . .     | 183 |
| 3.25 | ASD-Modelleyici düşüncesi . . . . .                                                                            | 184 |
| 3.26 | gradCHT uygulayım . . . . .                                                                                    | 186 |
| 3.27 | gradCHT Uygulama 1 görüntüler . . . . .                                                                        | 187 |
| 3.28 | gradCHT Uygulama 2 görüntüler . . . . .                                                                        | 190 |
| 3.29 | gradCHT Uygulama 3 görüntüler . . . . .                                                                        | 192 |
| 3.30 | Gürültü altında <i>gchtTest2</i> görüntüsünde gradCHT'nin başarıım sınavı . . . . .                            | 194 |
| 3.31 | Gürültü altında <i>gchtTest3</i> görüntüsünde gradCHT'nin başarıım sınavı . . . . .                            | 196 |
| 3.32 | Zon çap ölçüm yöntemi . . . . .                                                                                | 198 |
| 3.33 | Antibiyotik etiketleri . . . . .                                                                               | 201 |
| 3.34 | ADT deneme görüntüleri . . . . .                                                                               | 202 |
| 3.35 | ADT sonuçları . . . . .                                                                                        | 204 |
| 3.36 | Dondurma deneme görüntüsü . . . . .                                                                            | 209 |
| 3.37 | d25.jpg deneme görüntüsü için alınan sonuçlar . . . . .                                                        | 210 |
| 3.38 | Yanılgılı ya da bulunamayan çemberlere ilişkin özellikler . . . . .                                            | 211 |
| 3.39 | Küçük hava kabarcıklarının algılanmasında yanılgılı algılananlar ve bulunamayanlar . . . . .                   | 212 |

# ÇİZELGE DİZİNİ

|     |                                                                                                                                                                                |     |
|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 1.1 | Güneş fotosferindeki ısıl-yayınımın özgeğirleri . . . . .                                                                                                                      | 13  |
| 1.2 | Yerüstü Güneş Gözlemevleri . . . . .                                                                                                                                           | 21  |
| 2.1 | Serideki üç görüntüye ilişkin bant geçiren süzgeç parametreleri . . . .                                                                                                        | 53  |
| 2.2 | Serideki üç görüntüye ilişkin verilerden hesaplanan ortalama bant ge-<br>çiren süzgeç parametreleri . . . . .                                                                  | 53  |
| 2.3 | Elips uydurma eklentisi . . . . .                                                                                                                                              | 95  |
| 2.4 | Hareketli Ortanca Filtre uygulayımı . . . . .                                                                                                                                  | 112 |
| 2.5 | Sürekli modelde öngörülen kaymalar . . . . .                                                                                                                                   | 117 |
| 2.6 | Toplama dizisi indisleriyle parametreler arasındaki ilişkiler . . . . .                                                                                                        | 139 |
| 2.7 | Çizgileri algılamak için SHT (Standart Hough Transform . . . . .                                                                                                               | 140 |
| 3.1 | Test görüntülerinin sol-alt bölümleri ( $512 \times 512$ ) üzerinde ASD-G ve<br>ÖGYÇ seçenekli olarak AOBPÇ'nin çalıştırılmasıyla elde edilen elips<br>parametreleri . . . . . | 177 |
| 3.2 | Açısal yönde pürüzsüzleştirmenin AOBPÇ'ya etkisinin incelenmesi . .                                                                                                            | 179 |
| 3.3 | 55310018-20 görüntü ardışıklığına ilişkin Nitelik İndisi, Yarıçap oranı<br>ve dönme açısı değerleri tablosu . . . . .                                                          | 179 |
| 3.4 | Uygulama 1 sonuçları . . . . .                                                                                                                                                 | 188 |
| 3.5 | gradCHT Uygulama 2 sonuçları . . . . .                                                                                                                                         | 191 |

|      |                                                                                             |     |
|------|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.6  | gradCHT Uygulama 3 sonuçları . . . . .                                                      | 193 |
| 3.7  | Gürültü altında <i>gchtTest2</i> görüntüsünde gradCHT'nin başarımları . . . . .             | 195 |
| 3.8  | Gürültü altında <i>gchtTest3</i> görüntüsünde gradCHT'nin başarımları . . . . .             | 196 |
| 3.9  | Kirby-Bauer zon yarıçap yorumlama çizelgesi . . . . .                                       | 201 |
| 3.10 | ADT Test 7 sonişlenmenin ardından elde edilen zon çapları ve duyarlılık sonuçları . . . . . | 203 |
| 3.11 | ADT Test 7 sonişlenme sonucunda elde edilen etiketlerin koordinatları                       | 204 |
| 3.12 | ADT Test 5 sonişlenmenin ardından elde edilen zon çapları ve duyarlılık sonuçları . . . . . | 205 |
| 3.13 | ADT Test 5 sonişlenme sonucunda elde edilen etiketlerin koordinatları                       | 205 |
| 3.14 | ADT işlemlerinin aldığı toplam süreler . . . . .                                            | 206 |
| 3.15 | DND uygulaması, kullanıcıya sunulan hava kabarcıklar sayısı . . . . .                       | 211 |
| B.1  | ÇİGZ kaynak kodları . . . . .                                                               | 241 |
| B.2  | ÇİGZ: alt işlevler kaynak kodları . . . . .                                                 | 242 |
| B.3  | ÖGYÇ kaynak kodları . . . . .                                                               | 243 |
| B.4  | ÖGYÇ:BGS-ÇİGZ alt işlevi kaynak kodları . . . . .                                           | 244 |
| B.5  | ÖGYÇ:Bant Geçiren Filtre alt işlevi kaynak kodları . . . . .                                | 244 |
| B.6  | ÖLÇÇ kaynak kodları . . . . .                                                               | 245 |
| B.7  | AOBPÇ kaynak kodları . . . . .                                                              | 246 |
| B.8  | ...devam . . . . .                                                                          | 247 |
| B.9  | AOBPÇ:yerel işlevler kaynak kodları . . . . .                                               | 248 |
| B.10 | AOBtGNÜ kaynak kodları . . . . .                                                            | 249 |
| B.11 | AOBtBKS kaynak kodları . . . . .                                                            | 250 |

|                                                                  |     |
|------------------------------------------------------------------|-----|
| B.12 ASD-Giderici kaynak kodları . . . . .                       | 251 |
| B.13 ADT kaynak kodları . . . . .                                | 252 |
| B.14 ADT:sonuçları görüntüle alt işlevi kaynak kodları . . . . . | 253 |
| B.15 ...devam . . . . .                                          | 254 |
| B.16 ...devam . . . . .                                          | 255 |
| B.17 ...devam . . . . .                                          | 256 |
| B.18 DND kaynak kodları . . . . .                                | 257 |
| B.19 DND:sonuçları görüntüle kaynak kodları . . . . .            | 258 |
| B.20 ...devam . . . . .                                          | 259 |



# 1. GİRİŞ

Bu çalışmada, yerüstüne atmosferik etkiler yüzünden bozularak ulaşan güneş fotosfer yüzeyi oluşumlarının iyileştirilmesi, özniteliğinin çıkarılması ve bozucu etkinin modellenmesi üzerine yoğunlaşmıştır.

İnsanı, çağdaş iletişim dizgelerini, hava olaylarını etkileyen güneş etkinlik kaynaklarının (güneş yüzeyi oluşumlarının) sürekli olarak izlenme, incelenme ve karakterize edilme gereksinimi vardır. Bu, dizge tasarımı ya da etkili uyarı ve öngörü dizgelerinin geliştirilmesi için yaşamsal önemi vardır. Gök cisimlerinin incelendiği gökbilimin de gözlemler uydular yardımıyla, yerüstü teleskopları yardımıyla ya da atmosferin üst katmanlarına salınan balonlar (ve üzerine takılan teleskoplar) yardımıyla yapılmaktadır.

Uzaya fırlatılan uydular, haberleşme vb dışında özellikle gözlem amaçlı olarakta yaygın bir şekilde kullanılmaktadırlar. Bu uydulara takılan özel kamera ya da teleskoplar yardımıyla alınan görüntülere ilişkin veriler yerüstünde yerleşen merkezlere ulaştırılmaktadır. Bu görüntüler çok ayrıntılı olduklarından, yeryüzeyine bilgi kaybı olmaksızın iletilme zorunluluğundan ve iletişim giderlerinden ötürü, kayıpsız sıkıştırma teknikleriyle sıkıştırılsa dahi oldukça uzun süre alan işlemlerdir. Bu uyduların tasarım, yapım, fırlatma ve işletme giderleri oldukça yüksektir. Örneğin 2.4 m Hubble Uzay Teleskopu HST için yapım ve fırlatma için harcanan miktar 2 milyar \$'dır. Uyduların ve üzerindeki birimlerin yaşam süreleri kısıtlıdır. Fırlatılma ve yörüngesine yerleştirilme sırasında, ve yörüngesindeyken meteor çarpması, güneş sistemi parlamaları, kozmik ışımlar gibi çok çeşitli tehditlerle karşı karşıya kalırlar. Uydu teleskopuna yerleştirilecek donanımların tasarımında, özellikle boyut ve

ağırlık yönünden dikkatli olma zorunluluğu vardır. Çünkü kabaca bir uzay mekiğinin kilogram başına 20.000\$ harcanmaktadır. Bu yüzden teleskopun boyutları (çapı, mercekleri vs, ve böylece görüntü çözünürlüğü ve niteliği) düşük tutulmak zorundadır ve ayrıca daha sonra söz edilecek çeşitli görüntü iyileştirme donanımları (uyarlanır optik, dalga önyüzeyi algılayıcı ve düzelticisi vs) gibi birimler teleskopa takılamamaktadır. Son olarak uydu teleskopunun güncellenmesi ve bakımı olanaksız denecek kadar zor ve gideri yüksek bir süreçtir. Örneğin “Economic Impact of NOAO and Kitt Peak” başlıklı makalede verildiği biçimiyle NOAO (The National Optical Astronomy Observatory)’da ortalama olarak çalışanlar için maaş+olanaklar, 50.515\$ ve toplam Arizona-temelli projeler için ayrılan fon NOAO için 16  $m$ \$ ve NSO (National Solar Observatory) için 5.2  $m$ \$’dir.

Uydu ve yerüstü gözlemlerine seçenек, ara bir yaklaşım ise atmosferik buğulanmanın etkisini yitirdiği katmanın üstüne balonlar salmak ve bu balonlara yerleştirilen teleskoplar yardımıyla görüntüler almaktır. Balonlar için harcanacak para uydunun kine oranla çok daha düşük olacak, aynı zamanda yerüstü istasyonlarındakine oranla atmosferik türbülans olmadığından çok daha nitelikli görüntüler elde edilebilecektir. Fakat gönderilen balonlar üzerindeki donanımlarla birlikte kısa bir süreliğine ancak kullanılabilmekte, çevresel etkiler yüzünden bir süre sonra işlevsellik ömrü sona ermektedir. Öte yandan görüntülerin yerüstü istasyonuna ulaştırılmasında da önemli sıkıntılar olacaktır. Balon yerine maket uçaklar kullanılabilir, görevi bittiğinde tekrar yeryüzeyine dönmesi sağlanabilir. Yine de bu yaklaşımla yapılan gözlemler sınırlı sayıda yapılmak zorunda kalınmaktadır.

Teleskop boyutundaki kısıtlamaya karşın uydular yoluyla elde edilen oldukça nitelikli görüntüler için oldukça yüksek paralar harcanması, bu yaklaşım temelli gökbilim görüntülemesinin sınırlı sayıda yapılmasını zorunlu kılmaktadır. Buna seçenек olarak düşünülebilecek yerüstü gözleminde, yerüstünde yerleştirilen teleskoplar yardımıyla görüntüler alınır. Bu yaklaşım çok daha az gider gerektirecek ve uyduların bakım, onarım ve güncellemesinde karşılan sıkıntıları en azlayacaktır. Örneğin Gemini yerüstü 2 adet 8.1  $m$  teleskop için 184  $m$ \$ harcanmıştır, uydu temelli yöntemlerde yapılan milyar dolarlık harcamalar düşünülünce bu oldukça düşüktür.

Gök cisimlerinin görüntülenmesi sırasında, istasyonla cisim arasına giren atmosfer ciddi sıkıntılara neden olmaktadır. Çünkü atmosfer, durağan değildir ve ortamda farklı kaynaklardan gelen değişken karakterli gürültüler vardır. Atmosferde yer alan birçok bileşen sürekli bir değişkenlik içerisinde: bulutlar, rüzgar, nem, sıcaklık vs. Bu değişim atmosferik türbülans olarak adlandırılır. Bunlar içerisinde özellikle sıcaklığın değişimi, ışığın kırılma indisini değiştirmesi açısından çok daha büyük bir önemi vardır. Bu değişim küçük konumsal-bölgesel ve kısa zamansal değişimler de dahi ciddi oranda, atmosfere giren ışını ve dolayısıyla da görüntüyü etkisi altında bırakır. Atmosfere giren ışının bozulması, ışın ya da dalga önyüzeyi bozulması (wavefront perturbation) kavramıyla açıklanabilir.

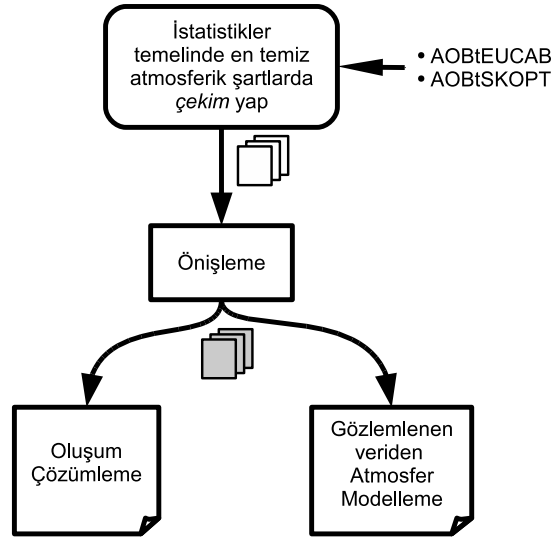
Atmosfere giren ışının ya da dalganın önyüzeyi, geçtiği konuma ve zamana bağlı olarak farklı bozulmaya uğrayarak yer üstündeki istasyona ulaşır. Dalga önyüzeyinin bozulması ise görüntüyü oluşturan elemanların (piksellerin) yanlışlı konumlarda ya da genlik değerlerinde alınmasına ve dolayısıyla da görüntünün buğulaşmasına neden olur. Buğulanma ise, atmosferin alçak geçiren süzgeç gibi davranmasının kaynağını oluşturur.

Atmosferin neden olduğu buğulanmayı giderebilmek için, o anki ışının yolunda karşılaştığı bozucunun ya da ortamın karakteristiğini bilmek gerekir. Özellikle ısı değişimlerinden dolayı ortamın sürekli devingen olması, tek bir modelle atmosferin karakterize edilememesi anlamına gelir. Bu noktada dizge kuramından hatırlanabilecek temel bir kuram devreye girer. Bir dizgenin geçiş işlevini belirleyebilmek için girişine birim vuruş verilir. Bir dizgenin geçiş işlevi biliniyorsa tersinir süreçler yardımıyla, dizgeden bozularak geçen im (belli bir yanlış payıyla) elde edilebilir. Bu sorun *Ters Problem* yaklaşımlarıyla çözülebilir. Söz konusu olan dizge atmosferdir. Atmosferin geçiş işlevini bulmak için, bir nokta-yoğunlaştırılmış ışık kaynağına gerek vardır. Yıldızlar doğadaki noktasal ışık kaynaklarıdır. Böylece izlenen gökcismine yakın bölgede bir yıldız varsa, ilk olarak yıldızın gözlemlenmesiyle atmosferin geçiş işlevi belirlenebilir, ardından asıl nesnenin gözlemlenmesine geçilir, elde edilen görüntüden atmosferik bozulmalar uzaklaştırılarak daha nitelikli görüntüler elde edilebilir.

Atmosferin istatistiki doğasının özenli incelenmesini yapan Tatarski tarafından, Kolmogorov'un geliştirmiş olduğu türbülans modelinin atmosferdeki türbülansı tanımlamada kullanılabileceğini gösterilmiştir. Tatarski evre yapı işlevi olarak bilinen model, atmosferik ısıl değişimlerinin ya da ışın kırılmasının atmosferik türbülansın ve böylece dalga önyüzeyi bozulmasını ve evresini Kolmogorov türbülans modeliyle açıklayabilmektedir. Atmosferin geçiş işlevine ilişkin model belli olduğuna göre, atmosferden geçerek yerüstünde oluşturulan görüntüden atmosferik etki çıkartılarak görüntüler iyileştirilebileceği düşünülmüştür. Bu modelin ne kadar başarılı ve tutarlı olduğuna bakıldığında, birçok sıkıntıyla karşı karşıya kalınmaktadır. Çünkü Kolmogorov modeli, dalga önyüzeyi evresinin beklenen değer ve değişinti ile belirlenen bir aralıkta değiştiğini söylemenin ötesine gidemez. Atmosferik ortamın istatistiğini tanımlamada yardımcı olabilmesine karşın, görüntülerde oluşan buğulanmaları gidermek için kurulacak dizgede dikkate alınması gerekenlerin ilk sırasına yerleşmenin ötesine gidemeyecektir. Böylelikle Kolmogorov modeli, gerçek atmosfer ortamında geçilmeden önce, geliştirilen algoritmaların başarımlarının gerçekleştirildiği hemen hemen tüm türbülans benzeştiricilerinde kullanılır fakat onarım için başka araçlara gereksinim vardır.

Yeryüzeyinden gözlem sırasında Kolmogorov modelinin tanımlama da ve belki de onarımda kullanımının uygun olduğunu düşünen araştırmacıların çoğunluğu yıldız gibi noktasal-yoğunlaşmış gök cisimlerinin görüntülenmesinde denemişlerdir. 1990'ların başından itibaren, görüş sorununu kısmi olarak çözümlemek üzere çoğu teleskoplar için AOS dizgeleri geliştirilmiştir. Fakat şimdiye kadar yapılmış ya da tasarlanmış dizgelerin hiçbirisi *tam olarak* atmosferik etkiyi uzaklaştıramamaktadır ve gözlemler genelde göreceli olarak parlak yıldızları çevreleyen gökyüzünün küçük bir alanıyla sınırlıdır. Dahası bu çalışmada kullanılan deneme görüntüleri güneş yüzeyi üzerinde yer alan leke ve granülasyon oluşumlarıdır ve bunlar noktasal-yoğunlaşmış bir yapıda değildir. Özellikle granülasyon görüntülerinde, alınan görüntü içerisinde çok sayıda (belki yüzlerce) granülasyon oluşumu sığmaktadır. Teleskopun görüş açısı (ki oldukça dar bir alandır) içerisinde atmosferik değişim aynı yapıda değildir. Böyle olunca, hem aynı kare içerisinde yer alan komşu hem de ardışıl karedeki aynı konumdaki granülasyona etkiyen türbülans aynı olmayacaktır. Yani hem konumsal

hem de zamansal türbülans etkisi görülecektir. Bir de buna granülasyon sürecinin sürekli değişkenlik göstermesi eklenir. Güneşte yer alan süreçler sürekli olarak yeni granülasyon oluşumlarına neden olur. Yıldızlara ilişkin görüntülerde ilgilenilen tek bir nesne vardır ve yapısı bellidir (yani merkezde en parlak gittikçe azalan bir parlaklık, hemen hemen geometrik bir şekil) ve ona göre görüntünün bütünü için tek bir model yeterli olabilir, türbülans etkisini granülasyon görüntülerinin bütünü için tek bir yapıyla modellemek hiçte uygun bir yapı olmayacaktır. Türbülans rastgeledir ve fizikçiler ve mühendisler arasında hala çözümlenememiş önemli sorunlar arasında yer alır. Böylelikle herhangi bir anda gözlem ya da çekim yapıp onu onarmaya çalışmak yerine, uygulamanın olanak vermesi durumunda, istatistikler temelinde en temiz hava koşullarını kestirip, türbülansın en az etkili olduğu zaman dilimlerinde çekimler alınması yeğlenir.



Şekil 1.1: Güneş gözlemleri çalışmasının kapsamı

Bu tez çalışmasında kullanılan seri görüntüler, Azerbaycan Bilimler Akademisi *Şamahı Gökbilimsel Gözlemevi*'nden (*ShAO*: Shemakha Astrophysical Observatory) temin edilmiştir. Güneşin fotosfer katmanına ilişkin görünür ışıktaki çekilmiş üç seri-lik görüntü serisi, bölgenin türbülans etkisinin en düşük olduğu bölgesinde kurulmuş olan gözlemevinde, türbülans istatistikleri ve gözlemler temelinde en temiz atmosferik koşullarda, ardışık olarak çekilmiştir. Bu çekimler fotoğrafik sinema kameraları yardımıyla yapılmıştır ve çekim hızı  $24 \text{ kare/saniye}$ 'dir. Bu çekimlerde atmosfer

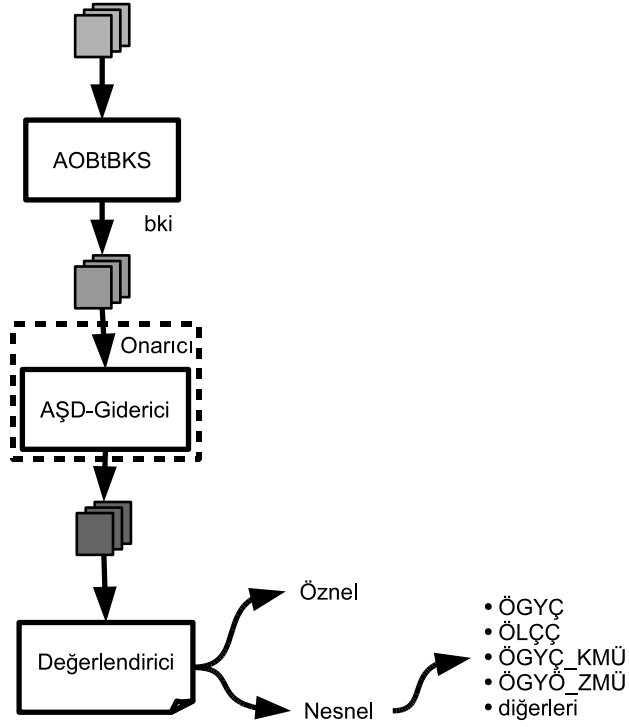
ferik etkiler en alt düzeydedir. Bu gözlemevi, yılın 220 – 250 gününde ve günün de %40'ında atmosferi temiz olarak nitelenebildiği yerde kurulmuştur. Bu gözlemevindeki gökbilimci uzman (Mehmet Kerimbeyov) ile yapılan görüşmeler ışığında durum değerlendirmesinin (sorun tanımının) ardından çalışmalara başlanılmıştır. Tezin yapılmasını güdüleyen çıkış noktası, türbülansın etkisiyle buğulanmış görüntülerden en iyisindeki oluşumlarla ilgili yorumlanması kolay bilgiler sağlamak, eğer olanaklıysa çekilmiş görüntülerden çekim sırasındaki atmosfer ortamı (ya da türbülans) ile ilgili bir model çıkartmak ve bu modeli sonra ki çekimlerde kullanmaktır.

Sorun çözümüne yönelik yapılan araştırmalar ve çalışmalar sonucunda ulaşılan iş akışı, Şekil 1.1'de verilen biçimi almıştır. İstatistikler temelinde atmosferin en temiz (türbülansın en düşük düzeyde) olduğu anlarda ardışık hızla bir seri görüntü alınmaktadır. İşlem ağacında, seri çekim görüntülerinin teleskopun dönmesinden ortamın aydınlanma şiddetindeki farklılıktan kaynaklı etkileri giderme amaçlı *önışlemenin* ardından ya güneş yüzeyi oluşumlarının çözümlenmesi (analizi) ya da çekim sırasındaki atmosferik ortamın görüntüler temelinde modelinin üretilmesine dallanılmaktadır.

Gözlemevinin yeri ve hava koşulları uygun olmasına karşın ardışık çekimlerde ve hatta aynı çekimin farklı bölgelerinde türbülans etkisi hızlı değişim göstermektedir. Amaç ardışık çekimlerde türbülans etkisinin en düşük düzeyde olduğu görüntüleri belirleyip, atmosferin buğulaştırıcı etkisini giderdikten sonra, oluşumların özneteliğinin (yolcuklarının ya da çevritlerinin) çıkarılmasını sağlamaktır. Güneş yüzeyindeki oluşumların çözümlenmesi, AOBtBKS (AOB temelinde Başvuru Kare Seçici) algoritması yardımıyla seri çekim içerisinde ardışık olarak yer alan 2-3 kareden türbülans etkisinin en düşük düzeyde olanının belirlenmesinin ardından, bu görüntüdeki atmosferin saydamlık etkisinin ASD-Giderici algoritması yardımıyla giderilmesi ve elde edilen sonuç görüntüleri üzerinde ÖGYÇ ya da ÖLÇÇ algoritmaları yardımıyla nesnel değerlendirilmesi aşamalarından oluşmaktadır (Şekil 1.2).

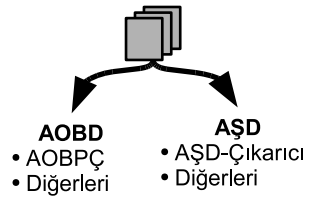
Sonlu sayıda küçük mercekler ağıyla modellenen atmosfer, AOBD (Atmosferin Optik Bozulma Davranışı) ve ASD'nın (Atmosferin Saydamlık Dağılımı) toplamın-

### Oluşum Çözümleme



Şekil 1.2: Güneş oluşumlarının çözülmesi

### Atmosfer Modelleme



Şekil 1.3: Güneş gözlemlerindeki atmosferik ortamın modellenmesi

dan oluşmaktadır (Şekil 1.3). AOBD görüntüde konumsal ve ölçeksel bozulmalara neden oluyorken, ASD parlaklık dağılımını bozar.

Bu çalışmada kurulan model, önceden çekilmiş birkaç serilik güneş granülasyonu görüntülerinin incelenmesi, ardışık karelerde ortaya çıkan türbülans etkisinin belirlenmesi, bu etkinin ciddi oranda bozulmuş görüntülerden türbülans etkisinin uzaklaştırılması temelindedir. Model ardışık nesne görüntülerini almakta, bunları inceleyerek içerisinde en az bozulmuş olanını görüntünün bütününe değil alt bölge-lerine bakarak belirlemektedir. Daha derin türbülans etkisinin olduğu ardışık gelen, belki de hiçbir işe yaramaz kullanılamayacak görüntüler, işe yarar duruma getirilebilecektir. Bu dizgenin hiçbir şekilde donanımsal gereksiniminin olmaması, gideri bilgisayara ve eğer varsa üzerinde yüklü olan yazılım ücretlerine kadar indirger. Yüksek gider gerektiren donanımsal cihazları kurmaya gücü olmayan profesyonel ya da amatör kullanıcılara bir olanak sağlayacağı, uydulardan çekilen yeryüzeyi görüntüleri içinse yararlı olacağı düşünülmektedir.

Güneş yüzeyi oluşumlarının özniteliğinin çıkarımının yapılması, konumsal ve zamansal karakterinin çıkartılması açısından uzmanlarca gereksinim duyulan araçlardandır. Bu gereksinimi karşılamak amacıyla yapılan ön araştırma, *teknolojik granülasyon* olarak adlandırılan oluşumların sayıtımında kullanılan yöntemere götürmüştür. Sayısal görüntü işlemede örüntü tanıma sorunlarının üstesinden gelmek için kullanılan algoritmalara ve özel olarak öznitelik çıkarım alt dalına yoğunlaşılmasını gerektirmiştir. Alternatifleri arasında dönmüş, ölçeklenmiş ve konum değiştirmiş örüntüleri eksik bilgiye ve bozulmaya karşın gürültü içerisinde çıkartabilmeyi başaran Hough dönüşümüyle (HT) ilgili derleme ve bilgi biriktirmenin ardından, güneş granülasyonu yapılarının çemberimsi olması HT'nin çemberler için özelleştirilmiş olan CHT'ye götürmüştür. Güneş granülasyonu üzerine CHT'nin uygulayımından olumlu sonuçlar alınamamıştır. Bunun en önemli nedeni CHT'nin örüntüye ilişkin doğru bir geometriksel modele gereksinim duymasıdır. Şimdiye kadar güneş granül-leri için, fraktallarla ifade edilme dışında (ki bundan benzeştirici tasarımında yararlanılmaktadır) geometrik sağlam bir modeli yoktur. Böyle bir modelin kurulabilmesi durumunda CHT yerine GHT'de kullanılabilir. CHT ile ilgili bilgi edinimi sırasında, teknolojik granülasyonların çözümlenmesi amacıyla geliştirilmiş algoritmalarda bazı

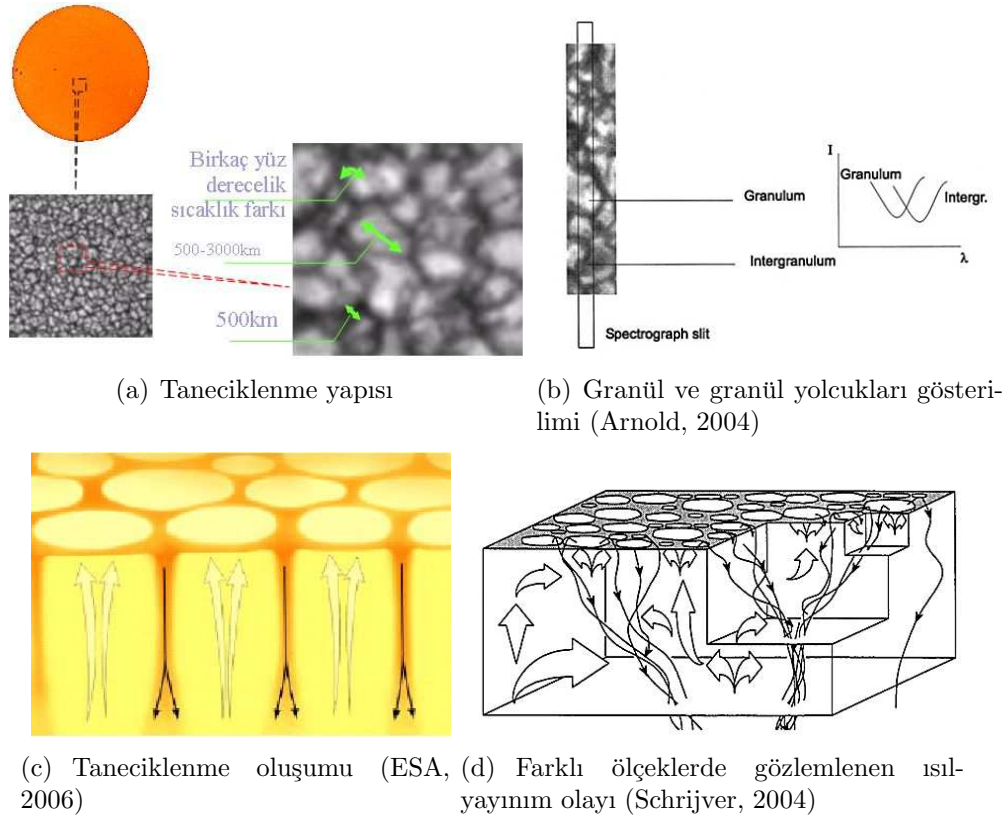


eksiklikler farkedilmiş ve düzeltilmiştir. CHT'nin teknolojik granüllerin çözümlenmesindeki ciddi potansiyeli ve kısa bir yerinde inceleme, iki tür soruna, yöntemin uygulanabileceğini görülmüştür. Bu uygulamalar ADT (Antibiyotik Duyarlılık Testi) ve DND (Dondurma Nitelik Değerlendirici)'dir. Her iki uygulamada da çemberimsi granül oluşumları baskındır ve şu anda cetvel ya da kumpas yardımıyla sayıtımı yapılmaktadır. Burada CHT temelinde sayıtım algoritmaları önerilmiş ve önerilen algoritmayla elde edilen sonuçlar verilmiştir. Sonuçlar, önerilen yöntemin kökleşik yöntemlerin yerine geçebileceğini göstermektedir.

## 1.1 Granülasyon ve Leke Oluşumları

Güneşin görünen yüzü aynı parlaklıkta değildir ve bu bir granülasyon (taneciklenme, granulation) düzeni oluşturur (Şekil 1.4.a). Ömürleri 10 *dakika* kadardır. Sürekli olarak devingendirler ve parlak olanları kaynayan su benzeri dışa doğru  $0.5 \text{ km/sn}$  hızla yükselirler. Parlaklık farklılığı, ısı-yayınım oluşumlarından kaynaklanır (Şekil 1.4.c). Farklı ölçeklerde ısı-yayınım olayı farklılık gösterir ve oldukça karmaşık bir yapısı vardır (Şekil 1.4.d). Granüller ve yolcuklar arasında bir kaç yüz derecelik sıcaklık farklılığı vardır. Ortalama granül çapı  $500 - 3000 \text{ km}$  ve ortalama yolcuk genişliği  $500 \text{ km}$  boyutlarındadır. Daha sıcak olan daha parlaktır (Şekil 1.4.b). Görüntüdeki parlak alanlar granül (granulation[1] ya da granulum[2]) ve koyu alanlar ise granüller arası yolcuk (granul lane[1] ya da intergranulum[2]) olarak adlandırılır. Yüksek çözünürlüklü magnetogramla gözlemlenen manyetik elemanlar (magnetic elements) ile granüller arasında sürekli bir etkileşim görülür[2].

Lekeler (sunspots) (Şekil 1.5.a: Trina Coleman, 2001) manyetik alan düzensizliklerinden ve plazma sıcaklığının çevreye göre düşmesinden meydana gelir (Şekil 1.5.b). Bir ay boyunca tipik olarak çiftler biçiminde yer alırlar (solar rotation) ve güneş havasına (solar weather) katkıda bulunurlar. Bazen çok sayıda bazen ise az sayıda güneş yüzeyinde leke görülür. Leke sayısının 11 yıllık bir periyodu olmasına karşın düzenli bir yapı yoktur (Şekil 1.6: [2]). Leke çevrimiyle bağlantılı olarak, güneşin manyetik kutuplarının yön değiştirmesi aynı zaman ölçeğinde gerçekleşir. Güneşin



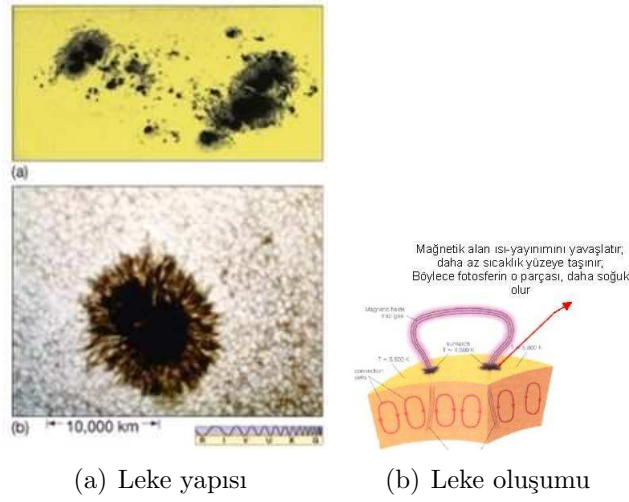
Şekil 1.4: Granülasyon yapısı, oluşumu ve farklı ölçeklerde ısı-yayınım olayları

manyetik kutuplarının yön değiştirmesi ise dünyanınkiyle etkileşime geçmekle etki altında bırakır.

İlerleyen alt bölümlerde güneş granülasyon ve leke oluşumlarının önemi üzerinde durulduktan sonra, granülasyon ve leke oluşumlarının zaman ölçeği çıkarılacaktır.

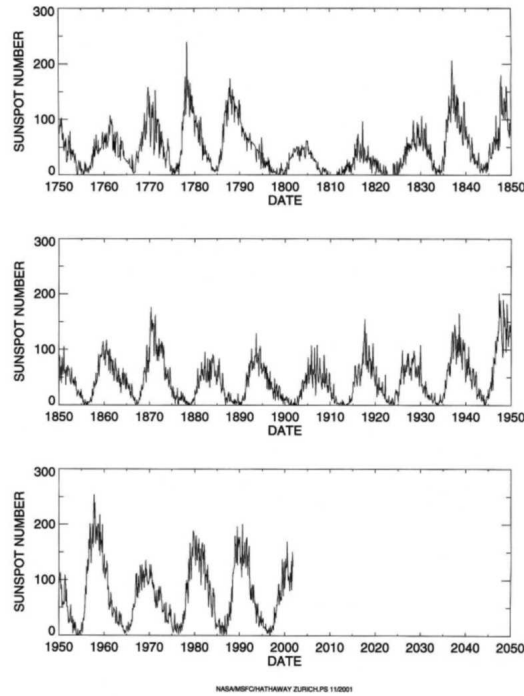
### 1.1.1 Güneşin Granülasyon ve Leke Oluşumlarının Önemi

Öncelikle dünya üzerindeki insanı, iletişim dizgelerini, hava olaylarını vs. etkileyen manyetik olaylar uzay hava olaylarından kaynaklıdır. Uzay hava olaylarında en önemli girdi ise, 11 yıllık manyetik etkinliği olan güneştir [2]. Şekil 1.6'daki grafikte dikey eksen, yatay eksen, yıllara denk düşen leke sayıları gösterilmektedir. Güneş olgusuyla dünya üzerindeki bozucu manyetik fırtına arasındaki ilişkinin varlığı gösterilmiştir. Dünya üzerindeki iklimin ve magnetosferinin yapısını şekillendiren güneşten kaynaklı manyetik etkinlikler, en kötü durumda insan sağlığına ve yaşamına



Şekil 1.5: Leke yapısı ve oluşumu

zarar verebilmekte, hem yer hem de uzay çağdaş iletişim dizgeleri için de önemli bir bozucu etken olabilmektedir [2]. Bu yüzden güneş üzerindeki manyetik etkinliğe neden olan oluşumların sürekli olarak izlenmesi, incelenmesi ve karakterize edilmesi, dizge tasarımı ya da etkili uyarı ve öngörü dizgelerinin geliştirilmesi için yaşamsal önemi vardır [2].



Şekil 1.6: 1750-2000 arasında leke sayısındaki değişim

Leke sayısı en düşük düzeyden başlayıp yaklaşık olarak 4 – 5 yıl içerisinde en yüksek düzeye çıkar, ardından yaklaşık olarak 5–6 yıl içerisinde tekrardan en düşük düzeye iner (Şekil 1.6). Leke sayısı en yüksek düzeydeyken güneşin etkinlik düzeyi en üst düzeydedir ve bu sırada güneş en parlak zamanlarını yaşamaktadır. Leke sayısı en düşük düzeydeyken ise sönüktür. Güneşin leke sayısına göre etkinliğini ölçmek için,

$$R_z = k \cdot (10g + f) \quad (1.1)$$

eşitliği kullanılır[2]. Burada  $k$  kişiye bağlı azaltım ölçeği,  $g$  leke grup sayısı ve  $f$  ayırık lekeler sayısıdır.

Güneş etkinliği, uzay aracının yüklenmesi (charging), uzay aracındaki insanlar ve büyük yükselteli uçuşlarda yeryüzeyi üzerindeki teknoloji üzerinde önemli rol oynar[1]. Lekelerin sayısının, dünya iklimi üzerinde ciddi bir etkisi vardır. Bunun en tipik ve ilgi toplayıcı örneği *Maunder minimum* olarak isimlendirilen ve 1645-1715 yılları arasında gerçekleşen leke sayısının en düşük düzeyde olması olayıdır (Şekil 1.7: Gerald Nort, TAMU, 2005). Bu zaman aralığında dünya küçük bir buzul çağı yaşamış. İngilteredeki Thames nehri donmuştur [3, 4, 5]. Maunder minimum olayının tam olarak nasıl gerçekleştiği henüz açıklanabilmiş değildir. Bu olayın periyodik karakterli ve yaklaşık olarak 2300 yıllık bir tekrar sıklığının olduğu düşünülmektedir [6]. Güneşin iklim üzerindeki etkisi üzerine ayrıntılı bilgi almak için ayrıca NASA'nın konuyla ilgili sayfasına<sup>1</sup>, Dr. Sten Odenwald'ın sitesine<sup>2</sup> ve Max-Planck-Enstitüsünden Natalie Krivova'nın sayfasına<sup>3</sup> bakılabilir. Özellikle güneşdeki olaylarla küresel ısınma arasında bir ilişki sürekli tartışma konusu olmuştur ve hâlihazırda önemli ve etkin çalışma alanları arasındadır. Sami K. Solanki (2002)'e göre şu an itibariyle güneşin küresel ısınmaya katkısı kısmi olarak yanıtlanabilmiştir ve bu alanda önemli ilerlemeler katedilmiş olmasına karşın henüz sıcaklıktaki düşüşe güneşle bağlantılı im bulunamamıştır (Solanki, 2002). Güneşle ilgili çok yoğun araştırmaların yapıldığını söyleyen Schrijver [1], Harvey'in 1989 yılında yayınladığı 38

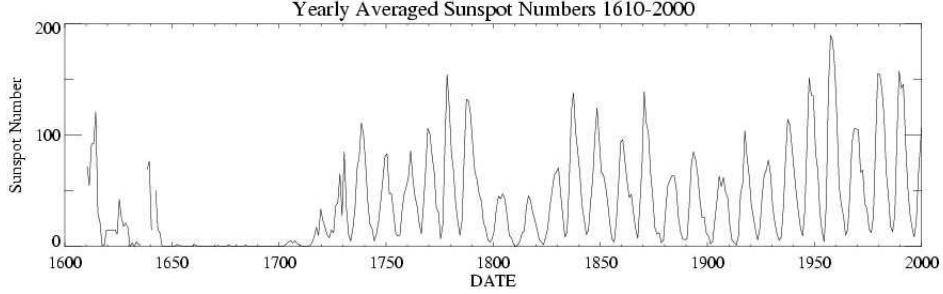
---

<sup>1</sup>[http://svs.gsfc.nasa.gov/stories/iceage\\_20011207/](http://svs.gsfc.nasa.gov/stories/iceage_20011207/)

<sup>2</sup><http://www.solarstorms.org>

<sup>3</sup><http://www.mps.mpg.de/projects/sun-climate>

sayfalık granülasyonla ilintili kaynakçayı [7] göstererek bu konunun önemine vurgu yapmıştır. Lekeler ve bunların kaynağı olduğu düşünülen granülasyon oluşumları üzerine *Astronomy & Astrophysics Dergisinde* yapılan tarama sadece 2001-2006 yılları arasında 210 adet yayının yapıldığını göstermektedir.



Şekil 1.7: 1645-1715 yılları arasında yaşanan Maunder minimum olayı

Görünür ışıktaki görünebilen en derin katman olan fotosferde birçok oluşum gözlemlenebilir: granülasyon, leke, faculae vs [1]. Ne bir karakteristiğe ne de ortalama ölçeği olan granülasyon oluşumları [8] zamanla birleşerek süper-granülasyonların oluşmasına ve süper granülasyonlar ise zaman içerisinde lekelerin oluşmasına neden olurlar [2]. Ayrıca bazı yayınlarda granülasyon oluşumlarıyla leke oluşumları arasında ilintinin var olduğu gösterilmiştir[9]. Güneşin fotosferinde meydana gelen üç tür ısı-yayınım oluşumuna ilişkin özdeşleri Çizelge 1.1’de [2] verilmiştir.

Çizelge 1.1: Güneş fotosferindeki ısı-yayınımın özdeşleri

| İsim              | Boyut Ölçeği<br>(km) | Zaman Ölçeği<br>(s) | Maks Yatay<br>Hız (m/s) |
|-------------------|----------------------|---------------------|-------------------------|
| Granülasyon       | 600-1,300            | $5 \times 10^2$     | 400-800                 |
| Meso-granülasyon  | 5,000-10,000         | $> 7 \times 10^3$   | 300-500                 |
| Süper-granülasyon | 15,000-30,000        | $1 - 4 \times 10^5$ | 200-400                 |

### 1.1.2 Granülasyon ve Leke Oluşumlarının Zamansal Ölçeği

Yayın taraması sonucunda ortalama granüler yaşam ömrü (lifetimes) ile ilgili çok çeşitli sonuçlara rastlamak olanaklıdır. Ortalama yaşam ömrü Title[10]’a göre  $\approx 5$  dakika, Macris[11]’e göre  $\approx 6 - 8$  dakika, Mehlretter[12]’e göre  $\approx 16$  dakika ve

[13]'e göre yaşam ömürleri 5 *dakika* ve doğmaları ve sönmeleri  $\approx 10 - 22$  *dakika* kadardır. Hirzberger yaptığı çalışmada [14] 18.9 *sn* zaman aralıklı 135 görüntü ( $\approx 42$  *dakika*) serisi ve diğer bir seriden de 102 görüntü ( $\approx 32$  *dakika*) kullanarak yaklaşık olarak 50.000 granül[15] üzerinden ortalama yaşam süresini  $\approx 6$  *dakika* olarak hesaplamıştır.

Şekil 1.4.a'da gösterilen granül boyutları  $\approx 500 - 3000$  *km* ve granüller arası yolluklar ise  $\approx 500$  *km*'dir. Kaynayan su benzeri devingen biçimindeki granülasyonların parlaklığındaki değişimin önceden belirlenen eşığının ortalama yer değiştirmesi  $\approx 2$  *km.s*<sup>-1</sup>'dir[16]. Bu iki bilgi ışığında, saniye ölçeğinde bakıldığında değişimin %0.2 olduğu ve gözardı edilebileceği görülür. Dakika ölçeğinde bakıldığında ise parlaklıktaki değişim  $\approx$  %12 gibi oldukça yüksek olduğu görülür. Atmosferdeki türbülans etkisini (*seeing* etkisini) en aza indirebilmek için, pozlama süresi 1/10 *sn*'den kısa seçilmelidir [1, 2]. Böylelikle saniyenin 1/10'nunda yapılan ardışık çekimlerde granülasyondaki değişimin gözardı edilebilir düzeyde olduğu rahatlıkla söylenebilir. Eldeki görüntü serileri 24 *kare/sn* çekim hızıyla çekilmiştir. Böylelikle *seeing* etkisi en düşük düzeydedir ve granülasyon oluşumlarının aynı seri çekim içerisinde ardışık gelen 2-3 karede hiç değişmediği varsayılabilir.

## 1.2 Güneş Gözlemleri

Teleskoplarla ilgili genel bilginin ardından, güneş gözlemlerinde kullanılan teleskoplara özel durumlar anlatılıp, çalışma sırasında kullanılan görüntülerin alındığı gözlemevi ve teleskopla ilgili kısaca bilgi verilerek bölüm tamamlanacaktır.

### 1.2.1 Genel Amaçlı Teleskoplar

Teleskop, gözün toplayabildiğinden daha fazla ya da az ışık toplayarak (teleskop *ışık toplama* özelliği) ve ayırt edilemeyen detayları büyütürken gökbilimcilerin çıplak gözle göremedikleri nesneleri görebilmeyi olanaklı kılar (teleskop *çözümleme gücü* özelliği)[17].

## Toplama Gücü

Gözün bir nesneyi görebilmesi için, nesneden gelen fotonlar (ışık) retina üzerine çarpmalıdır. Nesnenin ne kadar parlak görüldüğü göze saniyede giren foton sayısına bağlıdır ve bu sayı gözün boyutuyla kısıtlanır. Gökbilimciler, teleskopla fotonları toplayarak ve daha sonrasında fotonları göze huni gibi yoğunlaştırıp vererek bu sınırın üstesinden gelirler. Teleskopun toplama alanı ne kadar büyükse, onun toplayacağı foton sayısı o kadar fazla olur. Böylelikle daha küçük toplama alanlı teleskopta görülemeyen puslu nesneleri görmek olanaklı olur. Teleskoplar ışığı ya mercek ya da aynayla toplarlar. Toplanan ışığın miktarı mercek ya da ayna alanına bağlıdır: daha büyük toplayıcı alanlı daha fazla foton alır. Böylelikle daha parlak görüntü oluşturabilir. Işık toplandıktan sonra, görüntüyü biçimlendirmek ya da algılayıcı üzerinde yoğunlaştırmak için odaklamak gerekir. Eğer odaklama *mercek* yardımıyla yapılıyorsa *Kırınım-temelli Teleskop* (refracting telescope ya da refractor), aynayla sağlanıyorsa *Yansıtma-temelli Teleskop* (reflecting telescope ya da reflector) olarak adlandırılır. Lenslerle ilgili çeşitli sıkıntılardan (pahalı, üretimi ve saklanması zor vs) ötürü sıklıkla yansıtmalı teleskoplar kullanılır.

## Çözümleme Gücü ve Açısal Çözünürlük

**Çözücülük:** Teleskopun birbirine çok yakın iki ayrı nesneyi ne kadar iyi ayırt edebildiğinin ölçüsüdür ve çözme gücü olarak da adlandırılır.

Çözümleme gücü, ışığın dalga doğasıyla kısıtlanmaktadır. Örneğin çok küçük açıyla birbirinden ayrılabilen iki yıldızın görüntüde ayrı olarak görüntülenebilmesi, onların ışık dalgalarının birbirine karışmamasını gerektirir. Fakat böylesi bir karışım, dalgalar bir açıklıktan geçtiğinde her zaman olur. Çünkü her bir dalga açıklıktan geçtikçe, daha dar ikincil dalgalar üretilir. Bu olgu kırınım (diffraction) olarak adlandırılır. Kırınım teleskopla ayrıntı görülmesini ciddi oranda etkiler. Gerçekte, kırınım kuramı,  $\alpha$  açısı (arc saniye olarak,  $1 \text{ arcsaniye} = 1/3600 \text{ derece}$ ) kadar birbirinden ayrı iki ışık kaynağı,  $\lambda$  dalga boyunda,  $D$  yarıçapında olan bir teleskopla gözleendiğinde,  $D > 2.5 \times 10^5 \lambda / \alpha$  olmadıkça ayrı kaynaklar olarak görülemeyeceğini gösterir. Eğer  $D$  santimetreyle,  $\lambda$  nanometreyle ve  $\alpha$  da arcsaniyeyle açıklanırsa, bu

durumda  $D > 0.02 \times \lambda/\alpha$  olur. Örneğin  $0.1 \text{ arcsaniye}$  aralıklı iki yıldızı görünür ışıktaki ( $\lambda = 500 \text{ nanometre}$ ) çözümleyebilmek için, gerek duyulan teleskop yarıçapı  $100 \text{ santimetre}$ 'den daha büyük olur. İki kaynak birbirine yaklaştıkça onları çözümleyebilecek teleskop yarıçapı büyür: gökbilimcilerin büyük teleskoplara gereksinim duymalarının bir nedeni de budur.

Teleskopun çözünürlüğünün değerlendirilmesi nesnel bir süreçtir. Bu amaçla Rayleigh, Dawes ve Sparrow ölçütleri kullanılır. En yaygın kullanımı olan Rayleigh çözünürlük sınırıdır ve kırınım temellidir. Optik dizgelerde kırınım ile kısıtlanan çözünürlükte, ideal kırınım örüntüsünde gücün çoğunluğu merkez en büyüktedir ve dairesel açıklıkta,

$$\alpha = \frac{1.22\lambda}{D} \quad (1.2)$$

biçimindedir, buradaki  $\alpha$  radyan olarak çözünürlük,  $\lambda$  dalga boyu ve  $D$  mercek boyudur. Görünür ışık için, gözün en duyarlı olduğu dalga boyu- $\lambda = 550 \text{ nanometre}$ de Eşitlik 1.2 aşağıdaki biçime dönüşür,

$$\alpha = \frac{0.1384}{D} \quad (1.3)$$

$0.25 \text{ metre}$  ( $10 \text{ inç}$ ) ve  $0.61 \text{ metre}$  ( $24 \text{ inç}$ ) teleskoplar için çözünürlük değerleri sırasıyla  $\alpha = 0.54 \text{ arc} - \text{saniye}$  ve  $\alpha = 0.24 \text{ arc} - \text{saniye}$ 'dir. İstenilen çözünürlük değeri için gerekli teleskop boyutu ise,

$$D = \frac{0.1384}{\alpha} \quad (1.4)$$

eşitliği ile hesaplanabilir.

Teleskoplar ağı kullanarak çok daha yüksek çözünürlükleri elde etmek istendiğinde girişim ölçer olarak anılan yöntem kullanılır. *Girişim ölçer* (interferometer) yönteminde, birbirinden uzağa yerleştirilen teleskoplar yardımıyla ve uygun işlem sürecinin ardından çok daha yüksek çözünürlüklü dizgeler tasarlanabilir. Örneğin aynalar (ya da teleskoplar) arası uzaklık  $100 \text{ metre}$  ise, girişim ölçer  $100 \text{ metre}$



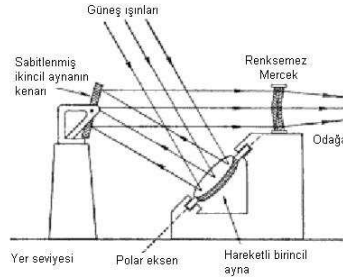
yarıçaplı teleskopla aynı çözünürlüğü olacak. Hatta ağ teleskop yapısı kullanılarak (NRAO/AUI) 5000 km gözlem başarılabilir. Bu ise  $\theta \approx 0''.01$  açısal çözünürlüğüne karşılık gelir.

### 1.2.2 Güneş Teleskopu

Burada ilk olarak güneş teleskoplarına özel sıkıntılar ve çözüm yöntemlerinden söz edilecektir. Ardından güneş teleskoplarında kullanılan coelostat ilkesi üzerinde durulacak. En son olarak da bu çalışmada kullanılan görüntülerin çekildiği yatay güneş teleskobuyla ilgili ayrıntılar verilecektir.

Güneşin görünür ışıktaki profesyonel gözlemlerinin geleneksel teleskoplarla yapılması olanaklı değildir. Böylesine fazla güneş ışımasını büyük yansıtıcıların alması, optik elemanların ısınması gibi ciddi bir sorunu ortaya çıkaracaktır. Öte yandan, yansıtıcıların çoğunluğu yeterli oranda büyük güneş görüntülerini biçimlendirmekten uzaktır.

Güneş teleskoplarının asıl gereksinimi, büyük odak uzaklığıdır. Böylelikle manevra yeteneğiyle ilgili sıkıntı da yaşamamak için *coelostat* olarak isimlendirilen donanımlar kullanılır. Coelostat, uzaydaki yönü değişmez olan bir güneş ışığı hüzmesi üretir. Coelostat fikri yeni değildir. İlk kez Hevelius'un zamanında (Johannes Hevelius, 17. yüzyıl) önerildi. Daha sonra, 1830'dan yaklaşık olarak 1900'lara kadar, Hale'yi (George Ellery Hale) de içeren birçok çalışan tarafından şu anki düzeyine getirildi.



Şekil 1.8: Güneşi gözlemede kullanılan coelostat ilkesi

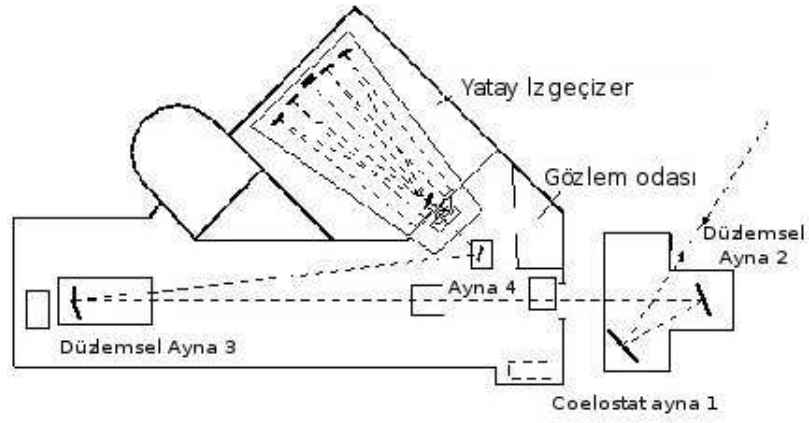
## Coelostat İlkesi

Modern coelostat, merkezleri boylam düzleminde uzanan optik olarak düz iki ayna içerir. Şekil 1.8’de gösterildiği gibi, bir ayna diğerinin üzerine yerleştirilir. Alttaki ayna, solar eksene tutturulur ve devingendir. Üstteki ayna ise değişmezdir. Güneşten gelen ışınlar, alttaki ayna üzerine düşürülür ve üstteki aynaya yansıtılır. Işınlar paralel yatay bir hüzmeye çevrilir. Daha sonra bu hüzmeye, devingensiz merceğe doğru gider. Böylelikle odak düzleminde güneşin görüntüsü oluşturulur. Güneş görüntüsünün boyutu, merceğin odak uzaklığına bağlıdır. Alttaki aynanın devingen olması, güneşin otomatik olarak izlenmesinden ileri gelir. Her iki aynanın merkezlerinin boylam düzleminde uzanması, güneş görüntüsünün dönmesini engeller. Gündüz gözlem yapıldığından sıcaklık etkisini en aza indirmek için, ortam sıcaklık dağılımı izotrop olmalıdır. Bu amaçla, teleskop kubbe içerisine değil dışarısına yerleştirilir.

Yatay güneş teleskobuyla ilgili bir zorluk, optik yol boyunca hava türbülansının sonuç güneş görüntüsünün niteliğini bozma eğiliminde olmasıdır. Bu yüzden başlıca kurulumların çoğu havadaki türbülansın etkisini en aza indirmek için dikey olarak yapılır. Büyük güneş teleskoplarından Kitt Tepesindeki McMath Teleskopunda (Arizona), 33 metre yüksekliğindeki kulenin tepesinde 2 metre ayna, güneş ışığını 140 metre aşağıya köşegen boyunca tünel içerisinde yansıtır. Tünelin altına yakın bir yerde 1.5 metrelik görüntü biçimlendirici ayna yerleştirilmiştir. Bu ayna, ışığı tekrardan 90 yukarıya doğru bir tünel içerisinde yansıtır. Uç kısımda yerleştirilen 1.2 metrelik bir ayna ise yerin 7.5 metre altındaki gözlem odasına güneşin görüntüsünü yansıtır. Şekil 1.9’da böyle bir güneş teleskopuna ilişkin optik yol çizeneği verilmiştir.

Gözlem odasına gelen görüntünün pozlanması amacıyla fotografik ya da fotoelektrik yöntemler kullanılır. Bu yöntemler yardımıyla granüllerin ve granülasyon alanlarının araştırılmasında teleskoplarda ayrıca *Cassegrain odağı* kullanılır. Böylelikle bu teleskoplar Cassegrain Teleskopları (Laurent Cassegrain(1629-1693)) adlandırılır. Son zamanlarda, bu amaçla televizyon tekniği de kullanılmıştır. Normal ve yüksek hızlı fotografik yöntem, granülasyon alanlarının gerçek yapısını ortaya çıkarabilir[18].





Şekil 1.10: Yatay güneş teleskopunun optik şeması (ShAO)

### Yatay Güneş Teleskopu-ATsU-5 (1963)

Bu teleskop, güneş tayf araştırmaları ve güneşin fotografik incelemelerinde kullanılır. Kolestatunun (coelostat), birincil ve ikincil aynalarının yarıçapı  $440\text{ mm}$ , Newton ayna yarıçapı  $200\text{ mm}$ , Newton odak uzaklığı  $17500\text{ mm}$  ve *Cassegran* dizgesinde eşdeğer odak uzaklığı  $60540\text{ mm}$ 'dir. Tayfsal ve manyetik gözlemler için Newton odağı kullanılır. Bir kameralı otomatik hizaya getirmeli spektrografi ASP-20, güneş parlamalarının spektrogramlarını elde etmede, güneş lekelerinin manyetik alanlarının görsel gözlenmesinde, güneş tacı uzantılarının ve spiküllerinin gelişimi ve devingenleri üzerine yapılan çalışmalarda ve güneş tayf satırlarındaki ince yapılarda kullanılır. Bir kırınım ızgaralı ve  $9000\text{ mm}$  eşdeğer odak uzaklığına ve güneş tayfının görüntü parçasında erimi olan 9 aynalı 8 kameralı izgeçizer vardır. Güneş tayfının herhangi bir diliminin kaydına izin verecek şekilde kameralar tayf boyunca yerleştirilir[19].

ATsU-5 yatay güneş teleskopunun optik şeması Şekil 1.10'da verilmiştir. Coelostat ayna üzerine düşen güneş ışınları düz bir ayna yardımıyla asıl aynaya oradan da gözlem odasındaki yatay tayfgörüntüleyiciye (spectrography) yönlendirilmektedir.

Şekil 1.11.a'da teleskopun coelostat ve düz aynaları gösterilmektedir. Güneşin eğimindeki sezonsal değişiklikleri arasında uyum sağlamak amacıyla aynaların gözlemler sırasında devingen olması gerekeceğinden[20] birer ray üzerine yerleştirilmiştir, Şekil 1.11.b'de ışığın karanlık odada devinimi ve Şekil 1.11.c'de verilen gözlemindeki laboratuvarlardan birine ilişkin görünüş Şekil 1.11.d'de verilmiştir.



(a) Coelostat ve düz ayna



(b) İç bölümde düz aynayla asıl ayna arasında ışığın devinimi



(c) Gözlemevi



(d) Laboratuvardan görünüm

Şekil 1.11: Yatay güneş teleskobuyla ilgili görüntüler (ShAO)

## Dünya Genelindeki Güneş Teleskopları

Yerüstü istasyonlarından optik yolla güneşin gözlemlendiği gözlemevlerinin bir listesi[20] Çizelge 1.2’de verilmiştir. Üzerinde çalışılan görüntülerin çekildiği AtSU-5 teleskopunun 44 *cm*’lik birincil aynası vardır [19]. Türkiye’de Kandilli’de yer alan CCD ile donatılmış teleskoplar ise 10 – 15 *cm*’lidir[19]. Hem optik hem de radyo gözlemlerle ilgili ayrıntılı bilgi almak için [20]’ye bakılabilir.

Çizelge 1.2: Yerüstü Güneş Gözlemevleri

| No                         | İsim        | Teleskop Parametreleri               | Yürütücü: Konum                                                        |
|----------------------------|-------------|--------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| 1                          | THEMIS      | 90 <i>cm</i>                         | Fransa ve İtalya: del Teide-İspanya                                    |
| 2                          | Kiepenheuer | 70 <i>cm</i> – , 45 – & 40 <i>cm</i> | Kiepenheuer Güneş Fiziği Enstitüsü(Almanya):<br>Tenerife adası-İspanya |
| 3                          | DOT         | 45 <i>cm</i>                         | Almanya: Roque de los Muchachos(La Palma, İspanya)                     |
| Devamı bir sonraki sayfada |             |                                      |                                                                        |

Çizelge 1.2 – bir önceki sayfadan devam

| No                         | İsim      | Teleskop Parametreleri        | Yürütücü: Konum                                                |
|----------------------------|-----------|-------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| 4                          | Meudon    | 60 <i>cm</i>                  | Fransa: Meudon, Paris, Fransa                                  |
| 5                          | NSST      | 97 <i>cm</i>                  | İsveç: La Palma-İspanya                                        |
| 6                          | AIWU      | 53 <i>cm</i>                  | Polanya: Wroclau Üniversitesi Gökbilimi Enstitüsü              |
| 7                          | UBAI      | 9 <i>cm</i>                   | Özbekistan: Ulug Bey Gökbilimleri Enstitüsü, Parkent & Taşkent |
| 8                          | ESO       | 60 <i>cm</i>                  | Almanya: Einsteinurm Güneş Gözlemevi-Potsdam                   |
| 9                          | KAO       | -                             | Ukrayna: Kharkov Gökbilimsel Gözlemevi                         |
| 10                         | OO        | 23 <i>cm</i>                  | Çek Cumhuriyeti: Ondrejov Gözlemevi                            |
| 11                         | BSO       | 76 <i>cm</i>                  | Rusya: Baikal Güneş Gözlemevi                                  |
| 12                         | KI        | 15 <i>cm</i>                  | Tenerife: Keipenheuer Enstitüsü                                |
| 13                         | DO        | 13 <i>cm</i> ve 15 <i>cm</i>  | Macaristan: Debrecen Gözlemevi                                 |
| 14                         | KSO       | 11 <i>cm</i> ve 10 <i>cm</i>  | Avusturya: Kanzelhöhe Güneş Gözlemevi                          |
| 15                         | IRS       | 45 <i>cm</i>                  | Locarno: Ricerche Güneş Enstitüsü                              |
| 16                         | AAO       | 53 <i>cm</i> ve 44 <i>cm</i>  | Georgia: Tbilisi                                               |
| 17                         | AIWU      | 53 <i>cm</i>                  | Polonya: Wroclaw Üniversitesi Gökbilimleri Enstitüsü           |
| 18                         | SSO       | 18 <i>cm</i>                  | Rusya: Sayan Güneş Gözlemevi-Izmiran                           |
| 19                         | AO        | -                             | Kazakistan: Alma-Ata Gözlemevi - Alma Ata                      |
| 20                         | POS       | 53–, 30–, 20 – & 10 <i>cm</i> | Rusya: Pulkovo Gözlemevi-Kislovodsk                            |
| 21                         | KAO       |                               | Ukrayna: Kharkov Gökbilimsel Gözlemevi                         |
| 22                         | KO        | 15 – & 10 <i>cm</i>           | Türkiye: Kandilli Gözlemevi                                    |
| 23                         | Bucuresti | 8 – & 13 <i>cm</i>            | Romanya: Bucuresti                                             |
| 24                         | NAO       | 20 <i>cm</i>                  | Rozhen: Ulusal Gökbilimsel Gözlemevi                           |
| 25                         | Lvov      |                               | Ukrayna: Lvov                                                  |
| 26                         | SLO       | 50–, 20 – & 15 <i>cm</i>      | Slovakya: Stara Lesna Gözlemevi-Tatranska Lomnica              |
| 27                         | LSO       | 20 <i>cm</i>                  | Slovakya: Lomnický Stit Gözlemevi                              |
| 28                         | HO        |                               | Hırvatistan: Hvar Gözlemevi                                    |
| 29                         | CAO       | 15 <i>cm</i>                  | İtalya: Catania Gökbilimsel Gözlemevi                          |
| 30                         | HPO       |                               | Fransa: Haute Provence Gözlemevi                               |
| 31                         | RO        | 12 – & 6 <i>cm</i>            | Belçika: Royal Gözlemevi                                       |
| Devamı bir sonraki sayfada |           |                               |                                                                |

Çizelge 1.2 – bir önceki sayfadan devam

| No | İsim | Teleskop Parametreleri           | Yürütücü: Konum                                                |
|----|------|----------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| 32 | PMO  | 50 <i>cm</i>                     | Fransa: Pic du Midi Gözlemevi                                  |
| 33 | BO   |                                  | Fransa: Bordeaux Gözlemevi                                     |
| 34 | TO   | 9 <i>cm</i>                      | Özbekistan: Taşkent Gözlemevi                                  |
| 35 | CAO  | 90 – &45 <i>cm</i>               | Ukrayna: Crimean Gökbilimsel Gözlemevi-Nauchny                 |
| 36 | CAO  |                                  | İtalya: Capodimonte Gökbilimsel Gözlemevi-Naples               |
| 37 | RAO  |                                  | İtalya: Roma Gökbilimsel Gözlemevi-Monte Porzio                |
| 38 | EO   |                                  | İspanya: Ebre Gözlemevi-Roquetas                               |
| 39 | CUAO |                                  | Portekiz: Coimbra Üniversitesi Gökbilimsel Gözlemevi           |
| 40 | CSO  | 12 <i>cm</i>                     | Avusturalya: Culgoora Güneş Gözlemevi                          |
| 41 | HSTC | 15 <i>cm</i>                     | Japonya: Hiraiso Güneş Karasal Araştırma Merkezi               |
| 42 | NSO  | 25 – &10 <i>cm</i>               | Japonya: Norikura Güneş Gözlemevi                              |
| 43 | NAOJ | 20 – &15 <i>cm</i>               | Japonya: Ulusal Gökbilimsel Gözlemevi-Mitaka                   |
| 44 | OAQ  | 65 <i>cm</i>                     | Japonya: Okayama Gökbilimsel Gözlemevi                         |
| 45 | HO   | 60 <i>cm</i>                     | Japonya: Hida Gözlemevi                                        |
| 46 | YAO  | 26 <i>cm</i>                     | Kumning: Yunnan Gökbilimsel Gözlemevi                          |
| 47 | HSO  | 60–, 35–, 10–, 14 – &8 <i>cm</i> | Çin:Huairou Güneş Gözlem Merkezi,Beijing Gökbilimsel Gözlemevi |
| 48 | BOAO | 20 – &15 <i>cm</i>               | Güney Kore: Bohyunsan Optik Gökbilimsel Gözlemevi              |
| 49 | USO  | 25 – &15 <i>cm</i>               | Hindistan: Udaipur Güneş Gözlemevi                             |
| 50 | KO   | 60 – &35 <i>cm</i>               | Hindistan: Kodaikanal Gözlemevi                                |
| 51 | SO   | 15 <i>cm</i>                     | Hindistan: State Gözlemevi-Nainital                            |

## 1.3 Gökbilimsel Gözlem

### 1.3.1 Giriş

Gökbilimsel gözlemevleri (astronomical observatory) gezegen, astreoid, yıldız, nebula ve galaksi gibi gökbilimsel nesnelerin gözlenmesi amacıyla kurulan bina ya da binalar

topluluğudur. Çoğu durumda, göğe ilişkin nesnelerin boyutlarını ve parlaklıklarını daha kolay üzerinde çalışılabilir ve anlaşılabilir biçime getirebilen özel teleskoplar kullanılır. Gökbilimsel gözlemler asıl olarak iki sınıfa ayrılır: yerüstü gözlemleri ve uzay yollu gözlemler.

Yerüstü gözlemleri, elektromanyetik tayfın radyo ve görünür ışık bölümünde gözlemlerin yapılmasında kullanılır ve yer üstünde kurulur. Hemen hemen tüm yerüstü teleskopları, nazik yapıdaki gereçlerin korunması amacıyla bir kubbe içerisine yerleştirilir. Çoğu çağdaş yerüstü gözlemevleri, ışık kirliliği etkisinden korunma amacıyla, nüfusun yoğun olduğu merkez bölgesinden uzağa yerleştirilir. Modern gözlemevleri için ideal olarak görülen yerleşke, günün büyük bir bölümünde atmosferik koşulların temiz olduğu, kuru havalı ve büyük yükseltili yerlerdir. Büyük yükseltilerde, dünyanın atmosferi daha incedir, böylelikle atmosferik türbülans etkisi en düşük düzeydedir ve daha iyi *gökbilimsel görüş* koşulları oluşur.

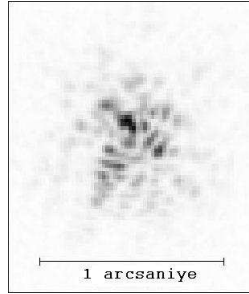
Uzay yollu gözlemler için kullanılan teleskoplar, dünyanın çevresinde dönen orbitlerde uzay araçlarına yerleştirilir. Uzay yollu gözlemler, dünya atmosferini geçemeyen ve böylelikle de yerüstü teleskoplarıyla gözlemenin olanaksız olduğu elektromanyetik tayfın dalga boylarında gökbilimsel nesneleri gözlemede kullanılabilir. Dünya atmosferi, morötesi yayınlarını, X-ray ve gama ışımlarını geçirmez ve kızılötesini de kısmi olarak geçirmez. Bu yüzden elektromanyetik tayfın bu bölümünde gözlemler, gezegenimizin atmosferinin dışında (üstünde) yerleşen teleskoplarla en iyi yapılabilir[21]. Uzay yollu teleskopların diğer bir üstünlüğü, dünya atmosferinin üstünde yerleştiklerinden, onlarla elde edilen görüntüler, yerüstü gözlemlerinde etkili olan atmosferik türbülans içermemektedir[22]. Sonuç olarak, *Hubble Uzay Teleskopu* gibi uzay teleskoplarının açısal çözünürlüğü, benzer açıklıklı yerüstü gözlemevininkinden çok daha iyidir. Fakat, tüm bu üstünlüklerin bir bedeli vardır. Uzay teleskopları, yerüstü teleskoplarına olanlara oranla kurulum ve bakım giderleri oldukça yüksektir. Konumlarından ötürü, uzay teleskoplarının sürdürülebilirliği de oldukça zordur.

Uzay yollu gözlemlerdeki giderin yüksekliği kısa süreli araştırmalar (gözlemler) da kullanılmak üzere balon yollu gözlem fikrini doğurmuştur. Atmosferik etkinin en az olduğu yeterli yüksekliğe salınan balonlara takılan uygun gözlem cihazları yardımıyla



çekimlerin yapılması ve sonuçların yerüstüne gönderilmesi temelindeki bu yöntemin, denetlenebilirlik, gider, kötü hava koşulları gibi kendine özgü sıkıntıları olacağından yaygın olarak kullanılmazlar.

Sürekli gözlem gerektiren durumlarda, gider, teknik olanaksızlıklar vs. den ötürü uzay ve balon yollu gözlemler sınırlı zaman aralığında, sayıda ve çözünürlükte yapılabilmektedir. Daha düşük giderli çözüm sunan yerüstü gözlemevlerinde gökbilimciler, Galileo'nun 1609'da ilk basit aynalı teleskobu (reflecting telescope) belirttiğinden ve Jovian dizgesini çözdüğünden beri, her zaman daha yüksek çözünürlüklü donanımlara gerek duymışlardır. Birinci kuşak teleskoplar, dev boyutlu merceklerin büyük rol üstlendiği doğrulukla sınırlıydı. James Gregory ve Isaac Newton'un aynalı teleskopu geliştirmesi, gökbilimcilere hızla daha yüksek çözünürlük olanağı sağlamıştır. 19. yüzyılda Thomas Young'ın çalışmasıyla gökbilimciler teleskoplarının çözünürlüğünün kullandıkları aynanın sonlu yarıçapıyla sınırlandığını farketmişlerdir. Bu sınır, ışığın dalga özelliğiyle belirlenir ve daha yüksek çözünürlük elde edebilmek için büyük, doğru bir şekilde desenlenmiş aynaların (well figured mirrors) gerekli olduğu anlamına gelmekteydi. Daha büyük yarıçaplı doğru desenlenmiş teleskoplar kurulmuş, fakat çözünürlükteki iyileşme umulduğu kadar büyük olmamıştır. Elde edilen çözünürlük atmosferik koşullarla değişkenlik göstermiş ve çok geçmeden, dünya atmosferinin teleskopla elde edilen görüntü niteliğini düşürdüğü farkedilmiştir.



Şekil 1.12: 10 m Keck I teleskopuyla elde edilen K-bandı 140 ms poz süreli görüntü, atmosferik görüşün ürettiği tipik benek örünüdür.

### 1.3.2 Atmosferik Görüş Kavramları

Gözlemevlerindeki gökbilimsel görüş koşullarının üç temel tanımı vardır: görüş diskinin FWHM'si,  $r_0$  ve  $t_0$ , ve  $C_N^2$  belgisi.

#### Görüş Diskinin FWHM'si

Gökbilimsel görüş koşulları, bir yerleşkede bir zaman diliminde, teleskopla izlenen nesnenin dünya atmosferi tarafından nasıl bozulacağını tanımlar. En genel görüş (seeing) ölçütü, görüş diski yarıçapı (teknik olarak FULL WIDTH HALF MINIMUM-FWHM)'dır. Bu yarıçap, uzun fotografik pozlama sırasında optik teleskopla başarılabilecek eniyi (olası) açısal çözünürlük için bir başvuruudur. Görüş diskinin boyutu, gözlem anındaki ortam koşullarınca belirlenir. Eniyi koşullar  $\approx 0.4 \text{ arcsec}$  görüş diski yarıçapını verir ki bu başarıyı, *Mauna Kea* ya da *La Palma* gibi küçük adalar üzerindeki büyük yükseltide yerleştirilmiş gözlem evlerinde elde edilebilir.

Atmosfer olmasaydı, küçük bir yıldızın teleskoptaki görünüşü, kırınım (diffraction) belirlenen bir boyutu olacaktı ve teleskopun yarıçapıyla ters orantılı olacaktı. Fakat ışık dünyanın atmosferine girdiğinde, farklı sıcaklık katmanları ve farklı rüzgar hızları, görüntüdeki bozulmaların kaynağı olan ışık dalgası bozulmalarına neden olur. Atmosfer etkisi, burgaç biçiminde devinen dönel hava hücreleri olarak modellenenirler[23]. Çoğu gözlemünde türbülans yalnızca yarıçap ölçeği- $r_0$ 'den daha büyük ölçeklerde önemlidir.

Bozulma (distortion) yüksek oranda değişimi vardır (tipik olarak  $100 \text{ kez/sn}$ ). Saniyelik ve hatta dakika süren pozlamalı tipik gökbilimsel yıldız görüntülemesinde, farklı bozulmalar zamanda ortalamasal bir etki oluşturur ki, bu PSF ya da *görüş diski* olarak adlandırılır. Görüş diskinin yarıçapı, teknik karşılığı yarı en yüksek parlaklık düzeyindeki tam genişlik - FWHM, gökbilimsel görüş koşulları için genel bir ölçü birimidir. Görüş, konumdan-konuma, günden-günde ve hatta dakikalar ölçeğinde değişiklik gösterir. Hatta evre salınımlarının zamansal ölçeği milisaniyeler mertebesinde değişiklik gösterir. Gökbilimciler, “iyi” gün diye tanımladıkları, aslında düşük ortalama görüş disk yarıçaplı koşullardır.

Görüş diskinin FWHM'si arcsaniyeyle ölçülür ve kısaca (") ile sembolize edilir.  $1.0''$  görüş, ortalama gökbilimsel yerleşim için iyi olarak varsayılır. En iyi gözlem koşullarında  $0.4''$  görüşün sağlandığı olur.

### Konumsal ve Zamansal Ölçek ( $r_0$ ve $t_0$ )

Gözlemevindeki gökbilimsel görüş koşulları, en iyi  $r_0$  ve  $t_0$  ile tanımlanabilir.  $r_0$  ve  $t_0$ , gökbilimsel görüntüleme için dalga boyuyla değişir. Daha büyük teleskop kullanılan daha büyük dalga boylarında biraz daha iyi (yüksek) çözünürlüklü görüntüleme olanaklıdır.  $r_0$ , genellikle *Fried* (David L. Fried, [24]) parametresi olarak bilinir.  $r_0$ -konumsal ölçeğinin tipik değeri  $20 - 40\text{ cm}$  iken  $t_0$ -zaman ölçeğinin tipik değeri  $\approx 100\text{ kez/sn}$ 'dir. Bu parametreler uyarlanır optik düzeneklerinin yapımında belirleyici rol üstlenirler. Uyarlanır optik dizgesinde gereksinim duyulan devindiriciler (actuator) arası boşluk  $r_0$  ile, atmosferik etkiyi giderme ya da düzeltme hızı ise  $t_0$  ile belirlenir[25].

$r_0$ 'dan daha küçük yarıçaplı teleskoplarda yani kırınım ile kısıtlandığı durumda, temel kırınım kuramında[26], atmosferik dalgalanmanın varlığı altında teleskopun çözücülüğü,

$$\text{teleskopun çözücülüğü} = 1.22(\lambda/D) |_{D < r_0} \quad (1.5)$$

ile verilir. Burada  $\lambda$  dalga boyu iken  $D$  teleskopun yarıçapıdır. Bu eşitlik, farklı dalga boylarında Fried parametresinden küçük seçilen teleskop yarıçapına bağlı olarak teleskopun çözme gücünün ne olacağını söyler[27].

Fried parametresinden- $r_0$  daha büyük yarıçaplı teleskoplarda ise,

$$\text{teleskopun çözücülüğü} = 1.22(\lambda/r_0) |_{D > r_0} \quad (1.6)$$

bağıntısıyla verilir. Başka bir sözle söylene  $r_0$ , türbülansın önem kazanmaya başladığı uzunluk ölçeğine denk gelir. Sayısal hesaplamalar, atmosferik PSF'nin FWHM'si ( $\beta$  ya da görüş) ile  $r_0$  arasında bir ilişkinin,

$$\beta = 0.98\lambda/r_0. \quad (1.7)$$

biçiminde olduğunu göstermiştir[25]. Eşitlik 1.7’de verilmiş olan ilişki, Bölüm 1.3.2’de FWHM ne kadar küçük olursa görüşün o kadar iyi olacağı bilgisini doğrulamaktadır.  $r_0$ ’ın büyümesiyle görüş iyileşmekte ve Eşitlik 1.5’e göre de teleskopun çözücülüğü artmaktadır.

$t_0$  ise türbülanstaki değişimin önemli olmaya başladığı zaman ölçeğidir, atmosferin zaman değişmezi olarak anılır ve

$$t_0 = 0.31 \frac{r_0}{V} \quad (1.8)$$

bağıntısıyla tanımlanır[25, 28]. Burada  $\bar{V}$ , yükselti üzerinden hesaplanan ortalama rüzgar hızıdır.  $t_0$  ya da daha kısa pozlamayla alınan gökbilimsel nesnelerin görüntüleri, kısa-pozlamalı görüntüler olarak adlandırılır ve bu görüntülerde atmosferik bozulmalar değişmez ya da donmuş varsayılabilir[25]. Daha uzun pozlu görüntülerde ise, bozulmalar toplanarak ortalamasal bir etkiye neden olurlar. Böylelikle uzun-pozlamalı görüntüleme olarak adlandırılırlar.

### **Türbülans Şiddeti Belgisi ( $C_N^2$ Profili)**

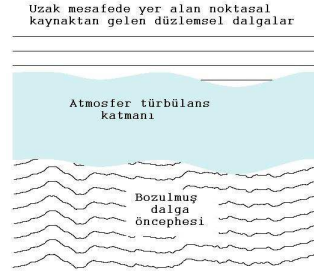
Gözlemelerinden gözlemlerde gökbilimsel görüşün çok daha doğru tanımı,  $C_N^2$  belgisi (profili) olarak adlandırılan, yüksekliğin işlevi olarak türbülans şiddeti belgisi üretilerek verilir.  $C_N^2$  bilgileri, genelde özel bir teleskopta gereksinim duyulacak  $AOs$  türüne karar verirken ya da yeni bir gözlemevinin kurulacağı yerin ne kadar gözleme uygun olduğunun belirlenmesinde kullanılır. Tipik olarak, eşzamanlı biçimde  $C_N^2$  belgisini ölçmek için birçok teknik kullanılabilir ve daha sonra sonuçları karşılaştırılabilir. En yaygın kullanılanlar: SCIDAR, LOLAS, SLODAR, RADAR HARITALAMA (Isıl Ölçerle Ölçüm)’dür.  $C_N^2$  belgisini tanımlamak amacıyla matematiksel işlevlerde vardır. Bunların bir kısmı ölçülen veriye deneysel yolla eşleştirme yapmayı diğer bir kısmı ise elemanlar kuramı kullanmayı dener[29].

## Dalga Öncephe Bozulması

Optik yayının kuramında, ışığın  $\psi$  alanında bir salınım yaptığı varsayılarak, dalga boyuna bağlı olmayan düzlem için,  $k$ -dalga vektörüyle bir nokta kaynağından gelen dalgalar,

$$\psi_0(\mathbf{r}, t) = A_u e^{i(\phi_u + 2\pi\nu t + \mathbf{k} \cdot \mathbf{r})} \quad (1.9)$$

biçiminde belirtilir. Burada  $A_u$ , ışığın genliği,  $\phi_u$  evre kayması,  $\nu$  ( $\nu = c \cdot |k|/2\pi$ ) ışığın sıklığı ve  $\psi_0(\mathbf{r}, t)$   $\mathbf{r}$ -konumu ve  $t$ -zaman anındaki karmaşık alan değeri gösterir (gerçek kısmı elektrik, sanal kısmı ise manyetik alanıdır).



Şekil 1.13: Atmosferin karıştırıcı gösterilimi

Dünyanın atmosferinden geçen dalga önyüzeyi, atmosfer içerisinde kırılma indisindeki değişimle karışır. Şekil 1.13 [27], teleskopa girmeden önce dünya atmosferindeki türülans katmanının düzlemsel dalga önyüzeyini nasıl karıştırdığı gösterilmiştir. Karışan dalga önyüzeyi- $\psi_p$  ile özgün düzlemsel dalga önyüzeyi- $\psi_0$  arasında aşağıdaki benzer bir ilişki vardır,

$$\psi_p(\mathbf{r}) = (\chi_a(\mathbf{r}) e^{i\phi_a(\mathbf{r})}) \psi_0(\mathbf{r}) \quad (1.10)$$

burada  $\chi_a(\mathbf{r})$ , dalga önyüzeyinin genliğindeki oransal değişim ve  $\phi_a(\mathbf{r})$  atmosferin neden olduğu dalga önyüzeyi evresindeki değişimdir.

Atmosferin neden olduğu dalga öncephe bozulmasının doğal tanımı, Tatarski[30]'nin geliştirmiş olduğu Kolmogorov modelidir. Bu model Rus matematikçi Andrei Kolmogorov'un türbülans çalışmaları temelindedir. Bu model, çeşitli deneysel ölçümlerle

(Buscher 1995, Nighingale ve Buscher 1991, O’Byrne 1988, Colavita 1987) desteklenmiştir ve gökbilimsel benzeştiricilerde sıklıkla kullanılmıştır. Model, dalga önyüzeyindeki bozulmanın atmosferin kırılma indisindeki değişimlerden kaynaklandığını kabul eder. Bu kırılma indisi değişimleri, doğrudan  $\phi_a(\mathbf{r})$  ile tanımlanan evre salınımlarına neden olur fakat ikinci dereceden etki olarak genlik salınımları ortaya çıkar. Optik ve kızıl ötesi dalga boylarında dünya atmosferinin varsayılabilir tüm modelleri için, anlık görüntüleme başarımında, evre salınımları- $\phi_a(\mathbf{r})$  baskındır.  $\chi_a(\mathbf{r})$  ile tanımlanan genlik salınımlarının, büyük teleskop odağında görünen görüntünün **yapısında** gözardı edilebilir bir etkisi vardır.

Tatarski’nin modelindeki evre salınımlarının (bozulmalarının) gauss biçimli rasal dağılımlı olduğu varsayılır ve açıklık düzleminde  $\rho$  ile ayrılmış dalga önyüzeyinin iki parçası arasında evrede beklenen değişim,

$$D_{\phi_a}(\rho) = \langle |\phi_a(\mathbf{r}) - \phi_a(\mathbf{r} + \rho)|^2 \rangle_{\mathbf{r}} \quad (1.11)$$

ile verilir. Burada  $\langle \dots \rangle$  simgeleri topluluk ortalaması anlamına gelir. Kırılma indisindeki değişimin istatistiği,

$$D_n(\rho) = \langle |n(\mathbf{r}) - n(\mathbf{r} + \rho)|^2 \rangle_{\mathbf{r}} = C_N^2 \times \rho^{5/3}$$

biçimindedir. Buradan Tatarski[30]’nin evre yapı işlevini verebiliriz,

$$D_{\phi_a}(\rho) = 6.88 \cdot \left( \frac{|\rho|}{r_0} \right)^{5/3} \quad (1.12)$$

burada türbülansın konumsal ölçeği- $r_0$ , evre salınımlarının gücünü temsil eder ki, atmosferik evre bozulmasının görüntü çözünürlüğünü ciddi oranda kısıtlamaya başladığı dairesel teleskop açıklık yarıçapına denk düşer.  $I$  bandı (900 nm dalga boyu) gözlemleri için tipik  $r_0$  değeri, 20 – 40 cm’dir. Fried [24] ve Noll [31], açıklık yarıçapının  $r_0$ ’a yaklaştığında, açıklık üzerindeki ortalama dalga ön cephe evre değişintisinin- $\sigma^2$  birime yaklaştığını göstermiştir,

$$\sigma^2 = 1.0299 \cdot \left( \frac{d}{r_0} \right)^{5/3} \quad (1.13)$$

Eşitlik 1.13, gökbilimsel gözlemlerde atmosferik koşulları tanımlamak için kullanılan bir parametredir. Buradaki  $d$  açıklık teleskopun yarıçapını gösterir ki, açıklık arttıkça dalga önyüzeyindeki evre değişiminin artacağı bu ise görüntüde daha fazla boğulanmanın oluşacağı anlamına gelir.  $C_N^2$  belgisinin ölçülmesiyle  $r_0$  belirlenebilir,

$$r_0 = \left( 16.7 \cdot \lambda^{-2} \cdot (\cos \gamma)^{-1} \int_0^\infty dh \cdot C_N^2(h) \right)^{5/3} \quad (1.14)$$

burada  $\lambda$  dalga boyunu ve  $\gamma$  gökbilimsel kaynağın (nesnenin) zenith açısız uzaklığı temsil ediyorken, türbülans şiddeti- $C_N^2(h)$ , ise teleskopun üzerindeki  $h$ -yüksekliğinin işlevidir. Yol uzunluğunun renksemez (achromatic) olması gerçeğinden yararlanılırsa sonuçta ortaya çıkacak Fried parametresi- $r_0 \propto \lambda^{6/5}$  alınabilir.

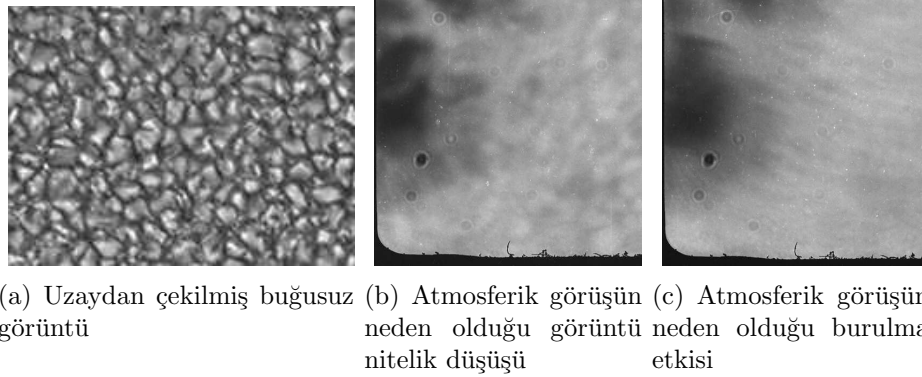
### 1.3.3 Atmosferik Görüş

**Gökbilimsel görüş (Astronomical seeing):** Dünyanın atmosferindeki türbülans devingenliğinden ötürü gökbilimsel nesnelerin boğulanmasını ve pırıltılanmasını (twinkling) tanımlamak için türetilmiş bir kavramdır.

Atmosferin boğulaştırıcı etkisi (atmosferik “görüş (seeing)”) gökbilimcilerin optiksel çözünürlük olanağını kısıtlar. Görüntü niteliğindeki bu düşüş (degradation), teleskoptan daha yukarılardaki konumun işlevi olarak havanın kırılma indisindeki dalgalanmadan kaynaklanır. Böylelikle yıldıza (özellikle nokta-biçimliye) ilişkin görüntü, oynayan “benek (speckle)” örüntüsüne dönüşür. Böyle örüntülü, kısa poz süreli örnek bir görüntü Şekil 1.12’de [27] gösterilmiştir. Güneş üzerindeki granülasyon oluşumları gibi çok daha karmaşık nesnelere ilişkin görüntülerde bu etki, her bir piksele ilişkin benek örüntülerinin üst üste toplanmasıyla çok daha karmaşık görüntülerin oluşmasına neden olur. Atmosferin neden olduğu en düşük dereceli boğulanma ya da atmosferik görüş etkisi Şekil 1.14.b’de gösterilmiştir. Karşılaştırma amaçlı olarak güneş oluşumlarının uzaydan ya da balon yollu olarak gözlenmesiyle elde edilen

buğusuz oluşum görüntüsü Şekil 1.14.a’da verilmiştir.

Görüş, yeryüzeyinden gökbilimi için en önemli sorunlardan biridir. Büyük teleskoplar kuramsal olarak milisaniye çözünürlüklü olmalarına karşın, gerçek görüntüler, gözlem sırasında kesinlikle ortalama görüş diskinden daha büyük olamayacaktır. Böylece gizil ve pratik çözünürlük arasındaki oran  $\approx 100 : 1$ ’dir. Daha iyi atmosferik görüş koşullarını elde etmek için, teleskoplar, üzerindeki havanın özellikle durağan olduğu büyük yükseltiye yerleşkelere kurulurlar. En iyi gözlem yerinde bile, atmosferik görüş koşulları genellikle, görünür dalga boyunda, geleneksel gökbilimsel görüntülemeyle başarılan  $\approx 0.5 \text{ arc} - \text{saniye}$  ( $0.5 \text{ as}$ ) çözünürlükle kısıtlıdır.



Şekil 1.14: ShAO’daki ATsU-5 fotosferik teleskobuyla 42 ms poz süreli görüntüler

Atmosferik görüşün etkileri, görünür ve kızılötesine yakın bantlarda niteliksel olarak benzer sonuçlar üretir. Büyük teleskoplarda, uzun pozlamalı görüntü çözünürlüğü, genelde daha uzun dalga boylarında biraz daha iyidir ve oynayan benek örüntüsünün zaman ölçeği ( $t_0$ ) önemli oranda daha düşüktür. Antoine Labeyrie tarafından 1970 yılında atmosferik görüş yoluyla elde edilen kısa poz süreli görüntülerle ilgili çalışmalar[32], gökbilimsel nesnenin yüksek çözünürlüklü yapıları hakkında bilginin, atmosferin karıştırıcı (perturbing) etkisine karşın, bu kısa süreli pozlardan elde edilebileceğini göstermiştir. Bu yaklaşım temelinde çok sayıda görüntüleme tekniği geliştirilmiştir, bunların çoğunda teleskop odağına hızlı kare aktarımlı CCD kameralar ya da hızlı pozlamalı analog temelli kameralar yerleştirilir. Çalışma sırasında, ikinci yöntemle  $\sim 24 \text{ kare/sn}$  hızıyla çekilmiş, kısa poz süreli (poz süresi  $< t_0$ , atmosferik zaman değişmezi- $t_0$ : Eşitlik 1.8) atmosferik görüşün minimum düzeyde olduğu görüntü serileri kullanılmıştır. Bu görüntülerde benek örüntüsünden daha çok



burulma (turbulence) etkilidir. Çalışılan görüntülerin atmosferik gözlem koşulları burulma etkisinin beneklenme etkisine baskın geldiği bir yapıdadır (Şekil 1.14.c).

## 1.4 Öngörülen Çalışma

Türbülansın etkisiyle buğulanmış görüntülerdeki oluşum özneliliğinin ortaya çıkarılması ve araya giren atmosferin yalnızca oluşum görüntülerinden modellenmesidir. Çember biçimli oluşumları içeren teknolojik granülasyon görüntülerinde uzmanlarca gereksinim duyulan yarıçap sayıtımını yalnızca görüntü ve en az kullanıcı müdahalesi ile yapabilen bir yazılım geliştirilmesidir.

İkinci bölümde geliştirilen algoritmalar ve bunlar geliştirilinceye kadar yapılanlar (algoritmalar, denemeler vs) öncül çalışmalar başlığı altında verilecektir. Üçüncü bölümde öncül çalışma sonuçları, algoritmalar geliştirilinceye kadar yapılan denemeler, algoritma temelini oluşturan çalışmalarda ve algoritmaların son durumları ile elde edilen sonuçlar ve tartışmalar verilecektir. Son bölümde yapılan çalışmanın her bir bölümünde elde edilen sonuçlar ve gelecekte bu alanda çalışacaklara öneriler özet olarak verilecektir. Ayrıca teze ek olarak İngilizce–Türkçe terimler sözlüğü ve algoritmaların Matlab gerçeklemeleri (kaynak kodları) verilecektir.

## 2. YÖNTEM

### 2.1 Granülasyon ve Leke Öznitelik Çıkarımı

#### 2.1.1 Sorun Tanımı ve Çözüm Yaklaşımı

##### Sorun Tanımı

Görünür ışıkta görülebilen en derin katman olan fotosferdeki oluşumlardan granüllerin zamanla birleşerek oluşturduğu süper-granülasyonlar, yaygın olan düşünceye göre zaman içerisinde lekelerin oluşmasına neden olurlar. Lekelerin sayısı, dünya iklimi üzerinde ciddi bir etkisi vardır. Bu yüzden güneş yüzeyi oluşumları üzerine çok sayıda çalışma yapılmıştır. Güneşten kaynaklı manyetik etkinliklere neden olan bu oluşumların sürekli olarak izlenmesi, incelenmesi ve karakterize edilmesi, dizge tasarımı ya da etkili uyarı ve öngörü dizgelerinin geliştirilmesi için yaşamsal önemi vardır[2]. Maliyet, teknik imkânsızlıklar vs. den ötürü uzay ve balon yollu gözlemler sınırlı zaman aralığında, sayıda ve çözünürlükte yapılabilir. Daha düşük giderli çözüm sunan yerüstü gözlemevlerinden gözlemler ise atmosferde meydana gelen türbülans (burgaç) devingenliğinin etkisi altındadır.

Çalışma sırasında kullanılan seri görüntüler, Azerbaycan Bilimler Akademisi *Şamahi Gökbilimsel Gözlemevi*'nden (*ShAO*: Shemakha Astrophysical Observatory) temin edilmiştir. Güneşin fotosfer katmanına ilişkin görünür ışıkta çekilmiş üç seri-lik görüntü serisi, bölgenin türbülans etkisinin en düşük olduğu bölgesinde kurulmuş olan gözlemevinde, türbülans istatistikleri ve gözlemler temelinde en temiz atmosferik koşullarda, ardışık olarak çekilmiştir. Bu çekimler fotografik sinema kameraları

yardımıyla yapılmıştır ve çekim hızı  $24 \text{ kare/saniye}$ 'dir. Bu çekimlerde atmosferik etkiler en alt düzeydedir. Bu gözlemevindeki gökbilimci uzman (Mehmet Kerimbeyov) ile yapılan görüşmeler ışığında durum değerlendirmesinin (sorun tanımının) ardından çalışmalara başlanılmıştır. Buna göre çözümü istenen sorun şöyledir; türbülansın etkisiyle buğulanmış görüntülerden en iyisindeki oluşumlarla ilgili yorumlanması kolay bilgiler sağlamak, ardından atmosfer (ya da türbülans) ile ilgili bir model çıkartmak ve bu modeli ileri ki çekimlerde kullanmak.

## Çözüm Yaklaşımı

Üzerinde çalışılan seri görüntülerin incelenmesiyle bazı önışlemelerin gerektiği görülmüştür. Görüntülerdeki öz niteliğin çıkarımı için konumsal düzlemde çalışan yöntemlerin yetersiz oluşu sıklık düzlemi temelinde araştırmaların yoğunlaşılmasını güdülemiştir. Sonuç olarak görüntünün dışında girdi gerektirmeyen sıklık düzlemi temelli özişler granül yolcuk ve leke çevrit çıkarımcı algoritmaları geliştirilmiştir.

### 2.1.2 Önışlemeler

Görüntü alındıktan sonra, ilk olarak iki işlem sınıfından oluşan önışleme adımları gerçekleştirilir: nokta temelli işlemler ve geometrik işlemler. Bu iki tür işlem, bir pikselin “ne” ve “nerede”sini biçimler[33].

Nokta işlemleri, her bir pikseli yalnızca onun gri değerine ve belki piksel konumuna bağlı olarak değiştirir. Genel olarak böyle bir işlem,

$$I'_{mn} = \mathcal{T}(I_{mn}) \quad (2.1)$$

biçiminde tanımlanır.  $\mathcal{T}$  işlevindeki indisler, nokta işleminin piksel konumuna olası bağıllığını gösterir.

Öte yandan, geometrik işlemler yalnızca pikselin konumunu değiştirir.  $\mathbf{k}$  konumunda yerleşmiş olan bir piksel, yeni koordinatına- $\mathbf{k}'$ taşınır. İki koordinat arasındaki ilişki, geometrik haritalama işleviyle verilir,

$$\mathbf{k}' = \mathcal{M}(\mathbf{k}). \quad (2.2)$$

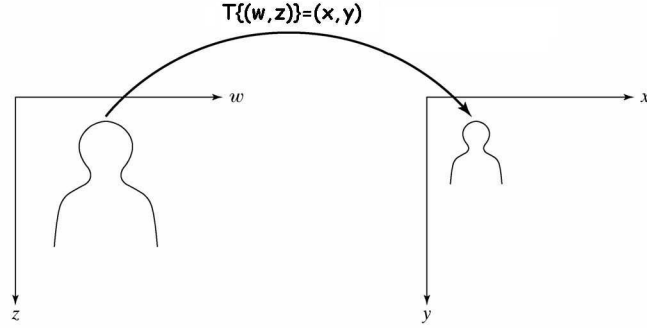
Nokta ve geometrik işlemler, bir birini tamamlayan işlemlerdir. Görüntüleme algılayıcısının doğrusal ve homojen olmayan radyometrik tepkesi ya da görüntüleme dizgesinin geometrik bozulmaları gibi temel görüntü biçimlendirme süreci buruşumlarını onarmada yararlı olabilir. Nokta işlemlerini, görüntü aydınlatmasını düzeltme ve eniyileştirmede, az ve aşırıyı algılamada, homojen olmayan aydınlatmayı düzeltmede ya da radyometrik ayarlamayı yerine getirirken kullanılabilir.

Üzerinde çalışılan görüntülerin önincelemesi, hem nokta tabanlı hem de geometrik önışleme gerek duyduklarını göstermiştir. Bu bölümde yer alan alt başlıklarda gerek duyulan önışleme, sorun tanımı ve çözüm yaklaşımı sunulmaktadır. Gerekli önışlemelerden ilki (eşkonumlama) geometrik işlemken diğerleri nokta tabanlı işlemlerdir.

#### 2.1.2.1 Eşkonumlama

**Sorun tanımı** Serideki her bir görüntünün ya da alt bölümlerinin farklı oranda geometrik bozulmaya uğraması, görüntüler arasında ya da görüntü içerisinde herhangi bir ölçüm ya da karşılaştırma yapmak gerektiğinde sıkıntılara yol açar[34]. Serideki görüntüler çekilirken, coelostat'ın güneşi takip ederken yapmış olduğu küçük manevradan ya da ortamdaki güçlü rüzgar gibi etkilerden kaynaklı olarak ya da teleskoptaki küçük konum değiştirme ve eksen çevresinde dönmeler, ardışık gelen görüntüleri inceleme sırasında sıkıntılara neden olur.

**Çözüm yaklaşımı** Bir çok görüntü işleme uygulamasında karşılaşılan, çözüm yöntemi genelde oldukça karmaşık ve uygun matematiksel ifadenin bulunmasının olanaklı olmadığı geometrik uzaysal dönüştürme sorunudur[35]. Dahası dönüştürme parametreleri sıklıkla görüntünün kendisinden elde edilmek zorunda kalınır. Bu amaçla genelde ızgaralı düğümlerden oluşan ya da denetim noktalarını içeren deneme görüntüleri kullanılır.



Şekil 2.1: Koordinat dönüşümünün biçimsel yorumu

$(w, z)$  koordinat sistemi üzerinde tanımlı olan  $f$  görüntüsü geometrik bozulmaya uğrayarak  $(x, y)$  koordinat sistemi üzerinde tanımlanan  $g$  görüntüsünü ürettiğini varsayalım. Koordinatların bu dönüşümü,

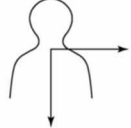
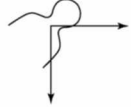
$$(x, y) = \mathcal{T} \{(w, z)\} \quad (2.3)$$

biçiminde açıklanabilir. Eşitlik 2.3'nin biçimsel yorumu Şekil 2.1'de verilmiştir. Uzaysal dönüşümlerin en sıklıkla kullanılan biçimi *afin dönüşümüdür* (affine transform, [36]). Afın dönüşümü, matris formunda aşağıdaki gibi yazılabilir,

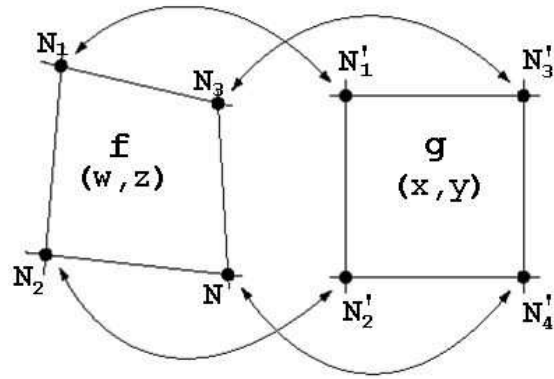
$$\begin{bmatrix} x & y & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w & z & 1 \end{bmatrix} \mathcal{T} = \begin{bmatrix} w & z & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} t_{11} & t_{12} & 0 \\ t_{21} & t_{22} & 0 \\ t_{31} & t_{32} & 1 \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

Bu dönüşüm,  $\mathcal{T}$ 'nin elemanları için seçilen değerlere bağlı olarak, noktalar kümesini ölçekleyebilir (scale), döndürebilir (rotate), kaydırabilir (translate) ya da kaykılabilir (shear). Şekil 2.2'de, farklı dönüşümleri yerine getirmek için eleman değerlerinin nasıl seçileceği gösterilmiştir[37].

Çalışılan görüntüleri eş koordine etmek için, sırasıyla kaydırma, ölçekleme ve döndürme afin dönüşümleri kullanılır. Her bir afin dönüşümünün parametreleri Şekil 2.3'de verilen düğüm noktalarından hesaplanabilir[38].

| Tür       | Afin Matrisi, T                                                                                          | Koordinat Eşitlikleri                                           | Çizim                                                                               |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Ölçekleme | $\begin{bmatrix} s_x & 0 & 0 \\ 0 & s_y & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$                                  | $x = s_x w$ $y = s_y z$                                         |  |
| Dönme     | $\begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 \\ -\sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$ | $x = w\cos\theta - z\sin\theta$ $y = w\sin\theta + z\cos\theta$ |  |
| Kayma     | $\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ \delta_x & \delta_y & 1 \end{bmatrix}$                        | $x = w + \delta_x$ $y = z + \delta_y$                           |  |

Şekil 2.2: Afin dönüşüm türleri



Şekil 2.3: İki görüntü bölütünde karşılıklı düğüm noktaları

Bu düğüm noktaları, genelde üzerinde önceden belirlenmiş örüntü temelinde ölçüm noktalarını içeren deneme görüntüleri üzerinden belirlenir[35, 38]. Bu çalışmada böyle bir olanak olmadığından, görüntüde var olan başka bir yapaylıktan yararlanılmıştır. Bunlar, bölüm 2.1.2.3’de kaynağı ve giderimiyle ilgili ayrımının verileceği ön cam lekeleridir Görüntünün yatayda her iki yanından belirgin birer leke bölgesinde bir yanlgı eşığıyle lekeler konumlandırılmıştır. Böylelikle düğüm noktaları belirlenmiştir,

$N_{sol}^{org} = N_1$  ya da  $N_2$ ,  $N_{sag}^{org} = N_3$  ya da  $N_4$ ,  $N_{sol}^{ref} = N'_1$  ya da  $N'_2$  ve  $N_{sag}^{ref} = N'_3$  ya da  $N'_4$  olmak üzere  $\{N_{sol}^{ref}, N_{sol}^{org}\}$  ya da  $\{N_{sag}^{ref}, N_{sag}^{org}\}$  yardımıyla kayma miktarı (yani  $\delta_x$  ve  $\delta_y$ ) hesaplanır,

$$(\delta_x, \delta_y) = \left[ N_{sol}^{ref} - N_{sol}^{org} \right] \quad (2.5)$$

Afin kayma dönüşümü yardımıyla görüntü kaydırılır. Eşitlik 2.6 yardımıyla gerekli ölçek miktarı hesaplanır,

$$(S_x, S_y) = \frac{N_{sag}^{ref} - N_{sol}^{ref}}{N_{sag}^{org} - N_{sol}^{org}} \quad (2.6)$$

Afin ölçekleme dönüşümü yardımıyla gerekli ölçekleme sağlanır. Yeni görüntüdeki aynı düğüm çiftleri yardımıyla dönme açısı- $\theta$  Eşitlik 2.7 yardımıyla hesaplanır ve afin dönme dönüştürücüsü kullanılarak onarım gerçekleştirilir.

$$\theta = atan \left( \frac{N_{sag}^{ref} \cdot y - N_{sol}^{ref} \cdot y}{N_{sag}^{ref} \cdot x - N_{sol}^{ref} \cdot x} \right) - atan \left( \frac{N_{sag}^{org} \cdot y - N_{sol}^{org} \cdot y}{N_{sag}^{org} \cdot x - N_{sol}^{org} \cdot x} \right) \quad (2.7)$$

### 2.1.2.2 Aynılaştırma

**Sorun Tanımı** Ardışık görüntülerin alınması sırasında ya ortam parlaklığındaki değişimden ötürü ya da film elemanının davranışındaki düzensizliklerinden ötürü aynı alana ilişkin görüntülerin farklı parlaklık dağılımlı olmaları ve böylelikle tutarsızlaşmalarına neden olur. Bu yüzden görüntüleri karşılaştırma ya da bölütleme öncesinde *tutarlı* bir biçime getirmek gerekti.

**Çözüm Yaklaşımı** Aynılaştırma (ya da tutarlılaştırma) olarak adlandırılan çözüm yaklaşımı, sorunun doğası gereği zıtlık iyileştirme, zıtlık yayma, histogram eşleştirme ya da histogram eşitlemeden birini içerebilirdi. Her bir olası seçeneğin ardından yapılan seçim verilecektir.

Zayıf aydınlatma koşullarından ötürü, sıklıkla yetersiz pozlu görüntülerle karşılaşılır. Bu durumda, görüntüler aşırı koyudur ve düşük kontrastlıdır. Bu görüntülerin histogramları, beklendiği üzere düşük gri düzey bölgesinde dar bir bantta yerleşir. Bu dar alana sıkışmış gri düzey dilimlerini tüm erime yaymakla görüntünün görünüşünü önemli oranda iyileştirebilir. *Zıtlık İyileştirme (Contrast Enhancement)* olarak adlandırılan bu işlem, yalnızca görüntünün görünüşünü iyileştirdiği fakat bu sırada niteliğinde herhangi bir değişikliğe neden olmadığı bilinmesi önemlidir[33]. Bunun özel biçimi görüntünün tamamının değil de belli bir gri düzey aralığının zıtlık iyileştirilmesine gereksinim duyulmasıdır. Bu durumda *Zıtlık Yayma (Contrast Stretching)* olarak adlandırılan yöntem kullanılır[38]. Bazen insan görme sisteminin ya da kullanılan görüntüleme donanımının ötesine düşen belirsiz parlaklık farklılığını çözümlmek gerekebilir. Bu belirsiz farklılığı gözlemleyebilmek için, küçük gri ölçek gösterge ekranında daha geniş bir gri düzey eriminde gösterilir[35, 33]. Görüntünün tek başına ve görsel olarak iyileştirilmesi bu iki yöntemle başarılabilmesine karşın, buradaki sorun seri içerisindeki ardışık tüm görüntülerin aynılaştırılması ve tutarlı olmasını gerektiğinden bu iki yöntem yetersiz kalmıştır.

Seri içerisinde seçilen bir görüntünün histogramına ya da belirli bir işlev biçimine, diğer bir görüntülerininkini dönüştürmek amacıyla *Histogram Eşleştirme (Histogram Matching)* yöntemi kullanılabilir. Bu yöntem örneğin, farklı ışıklandırma koşullarında sayısallaştırılmış aynı sahneye ilişkin iki görüntüyü karşılaştırmadan önce önışleyici olarak kullanılabilir[35]. İşlenen görüntünün belirli bir histogram şeklinde olması istendiğinde de bu yöntem kullanılır[38]. Eğer istenen özel olarak tüm görüntülerin histogramlarının aynı-benzer olması ise (sorununda olduğu gibi) o zaman histogram eşitleme kullanılır. Tanım olarak *Histogram Eşitleme (Histogram Equalization-Linearization)*, verilen bir giriş görüntüsünü her bir gri düzeyinde aynı sayıda piksel olacak şekilde (düz histogram) bir çıkış görüntüsüne dönüştürecek nokta işlecidir[35, 39]. Bu, görüntüleri karşılaştırma ya da bölütleme öncesinde *tu-*



*tarlı* bir biçime getirmek için yararlı olabilir. Örneğin çekilen sahne ya da filmde kaynaklı etkilerden dolayı, aynı sahnenin karanlık, parlak, düşük zıtlıklı ve yüksek zıtlıklı durumları varsa ve bunları karşılaştırmak isteniyorsa histogram eşitlemeye başvurulabilir. Gri düzey eşitleme sürecinin net sonucu, daha yüksek zıtlıklı olma eğilimli, arttırılmış devingen erimli bir görüntüdür[37]. Sorunun doğası da tam olarak bu şekildedir. Seri içerisindeki görüntülerde zıtlık farklılık göstermekte ve histogramlarında yoğunlaşma dar bir alanda gerçekleşmektedir. Böylelikle seri içerisindeki görüntüleri aynılaştırma amacıyla Histogram Eşitleme kullanılmıştır.

### **2.1.2.3 Öncam Leke Sorunu**

Seri görüntülerin alt-sağ bölümünde çaprazlamasına uzanan lekeler içermektedir. Bu lekeler, optik dizgenin tam olarak bilinemeyen bir yerindeki kirden kaynaklı olabilir[34]. Ayrıca görüntü genelinde halkalı (ringing ya da oscilation ya da ripple) örüntü[34] baskındır. Bu örüntü yayın taraması Newton halkası, saçak (fringe)[40], fresnel [41] örüntüleri ya da Fraunhofer etkisi[42] olarak da geçmektedir. Bu lekeler teleskop öncamındaki geometrik bozukluklardan kaynaklı, ya da filmin malzemesinden, banyosundan kaynaklı olabilir[26]. Bu lekelerin iki parçası vardır: gauss biçimli-düşük sıklıklı ve kırınım örüntüsü-yüksek sıklıklı. Bu lekeler, dairesel halkalar biçiminde ve saydamdır. Gözlemlenen saçak örüntüleri, görüntüden görüntüye şiddetli bir şekilde değişme göstermemektedir[40].

Bu örüntüyü görüntüden uzaklaştırmak için gelecekte tekrar bu çalışmaya dönüldüğünde ESO (Avrupa Güney Gözlemevi)'nin MIDAS projesinden de benzeriyle karşılaşılan saçak örüntüsünü giderme yaklaşımı kullanılabilir. Buradaki saçak onarım yöntemi, normal olarak boş uzayın görüntüsünün alınıp, ardından normal gözlemlenen görüntüden, aynılaştırılmış fringe görüntüsünün çıkarılması temelindedir[43]. Böyle bir boş uzay çekimi olmadığından bu yöntemi kullanarak lekeleri gidermek olanaklı olamamıştır.

## 2.1.3 Oluşumların Özniteliğinin Çıkarımı

### 2.1.3.1 Amaç

Bölüm 1.1.1’de sürekli olarak izlenmesinin, incelenmesinin ve karakterize edilmesinin önemi verilen granülasyon ve leke oluşumlarına ilişkin öznel olarak yorumlanması kolay görüntüler ve nesnel veriler üretmek. Başka bir deyişle görüntülerdeki özniteliği (feature) öznel ya da nesnel olarak öne çıkartmaktır.

### 2.1.3.2 Öznitelik Çıkarımı

Seçilen uygun görüntü işleme aracı, görüntüdeki ilgilenilen özniteliğin (feature) ortaya çıkarılmasına yardımcı olabilir. Öznitelik (feature) ise nesnenin bazı önemli özelliklerini niteleyen bir ya da daha fazla ölçünün bir işlevidir[35]. Bu süreç bir anlamda süzgeçlemedir[33]. Çünkü görüntüden ilgilenilen öznitelik çıkarılırken diğer fazlalıklar bastırılır. Böylesi bir işlem sonucu yine görüntü olabileceği (öznitelik görüntüsü, feature image) gibi vektör (öznitelik vektörü, feature vector) biçiminde de olabilir. İlki insan görme sisteminde yorumlanmasında anlamlıyken ikincisi ilkinin ek bir işlemin uygulanmasının ardından elde edilebilir ve makine görü uygulamalarında kullanılabilir[33]. Diğer nesnelerden ve arkaplandan ilgilenilen nesneleri ayırt edebilmek için uygun süzgeç uygulanır. Böylece bir ya da daha fazla görüntüden bir ya da daha fazla öznitelik görüntüsü çıkarılabilir (öznitelik çıkarımı, feature extraction). Öznitelik çıkarımı (feature extraction), görüntü tanıma sürecinde nesnenin ölçülerinin hesaplandığı adımdır[35]. Bu amaçla kullanılabilecek temel araçlar *ortalama alma*, *kenar algılama*, *basit komşuluk ayrıştırması* ve *karmaşık görüntü tanıma* olabilir[33]. Öznitelik çıkarımı sorunu, a) özniteliklerin nasıl organize edileceği ve gösterileceği, b) çıkarılacak özniteliğin ne olduğu ve c) nesneden seçilen özniteliğin nasıl ölçüleceği ile ilgilenir[44]. Öznitelik olarak ilgilenilen nesneye ilişkin a) parlaklık (+renk), b) konum (mutlak ya da göreceli), c) boyut ve d) şekil olabilir[34].

Çalışmadaki görüntülerde öznitelik, granülasyonlar, granülasyonlar arası yolcular ve leke çevritleridir. Öznitelik çıkarım sürecinde, bu nesnelerin parlaklık ve şekil öznitelikleri hesaba katılmıştır. Öznitelik çıkarıcı çıkışı, yorumlayıcı olarak insan ol-

masından ötürü öznitelik görüntüsüdür.

Yolcukları görsel olarak vurgulamak ya da yorumlanması kolay bir biçime çevirmek amacıyla doğrusal olmayan geçiş karakteristikli Çok İşlevli Gama Zıtlayıcı (ÇİGZ) uygulama, siyah beyaz tonlu görüntüleri Renklendirme ve görüntüleri parlaklıklarına göre dilimlere ayırma (Gri Düzey Dilimleme (GSD ya da GDD)) uygulanmıştır. Görüntülerin görsel olarak değerlendirilmesinde de kullanılabilecek fakat asıl olarak bilgisayarlarla özişler olarak oluşumların değerlendirilmesinde kullanılacak nesnel öznitelik çıkarıcılar geliştirilmiştir. Geliştirilen nesnel öznitelik algoritmaları Özişler Granül Yolcuk Çıkarımcı (ÖGYÇ) ve Özişler Leke Çevrit Çıkarımcı (ÖLÇÇ) olarak isimlendirilmiştir.

Uygulamalar, konumsal düzlem ve sıklık düzlemi temelli olmak üzere ikiye sınıfa bölünebilir. ÇİGZ ve GSD yaklaşımları konumsal düzlem temelindeyken, ÖGYÇ sıklık düzlemi temelindedir. Konumsal düzlemdeki çalışmalar granüller arası yolcukların ortaya çıkarılması ya da belirginleştirilmesi açısından kısmi başarılı olmuşken sıklık düzlemi temelli yaklaşım çok daha yüksek başarımlar sunmuştur. Konumsal düzlemin başarımlarını arttırmak için yerelliğe yönelinebilmesine karşın doğal sıkıntılarından dolayı uygulamada bulunulmamıştır.

### **2.1.3.3 Ardışıl Görüntülere Kısa Aralıklı ÇİGZ (Çok İşlevli Gama Zıtlayıcı) ve Renklendirme Uygulayarak Görüntülerde Oluşumların ve Atmosferik Etkinin Belirginleştirilmesi**

**Çok İşlevli Gama Zıtlayıcı (ÇİGZ)** Çok işlevli gama ve gama düzeltme kavramları aslında televizyon tekniğinde ışık-elektrik ve elektrik-ışık çeviricilerine ilişkin özeğrileri ifade etmede kullanılır[41]. Işık-elektrik çeviricilerinde gama değeri  $\gamma = 0.45$  ve elektrik-ışık çeviricilerinin ise  $\gamma = 2.8$ 'dir (*Rec. 709*'a ve SMPTE 240M (Society of Motion Picture and Television Engineers, Hareketli Görüntü ve Televizyon Mühendisleri Birliği) standardınca tanımlanmış değerlerdir). Bu özeğrilerdeki doğrusal olmayış ışıktan-ışığa karakteristiğinin doğrusal olmamasına (yani  $\gamma \neq 1.0$ ) ve dolayısıyla da renklerin ve özellikle de beyaz rengin bozulmasına (beyazın balans bozulmasına) neden olur[41]. Bu amaçla verici tarafta düzelticiler yer

alır ki bunlara gama düzeltici (GD, gamma corrector) denilir[41, 45]. Özet olarak dizgede  $\gamma^*$  bozucusu vardır, bu  $1/\gamma^*$  ile onarılmaktadır.

Buradaki çalışmada olduğu gibi görüntülerin tümünün değil de belli alanlarının daha yüksek zıtlıklı olması isteniyorsa, bu durumda tek bir gama yeterli olamayacağından çok sayıda gama bölgesi yönteme başvurulur. Çok sayıda gama bölgesi ÇİG ise, GD’de olduğu gibi *bozulmuşu* düzeltmeyi amaçlamaktadır. Bu yönüyle uygulamaları karakterize etmemektedir. Çünkü bizde bozulma ve onu onarmak söz konusu değil aksine bozarak istenen özneteliğin ortaya çıkartmak istenmektedir. Bu yüzden görüntünün istenen bir parlaklık diliminin zıtlıklığını arttırmak için çok bölgesi ve her bölgesinde farklı gama değerli doğrusal olmayan yönteme, ÇİG Zıtlayıcı (ÇİGZ) isimlendirmesi uygun görülmüştür. ÇİGZ’nın her bir  $j$  parlaklık düzeyi için ürettiği çıkış düzeyi Eşitlik 2.8 yardımıyla hesaplanabilir,

$$GI(j) = A_i + B_i \times (j - C_i)^{\gamma_i}, \quad i = 1 \dots n, \quad j = L_{min} \dots L_{maks} \quad (2.8)$$

burada  $n$  bölge sayısını,  $[L_{min}, L_{maks}]$  giriş parlaklık düzey aralığını,  $A_i$   $i$ . işlevin değişmez bileşenini,  $B_i$  kazanç değerini,  $C_i$  kaymasını ve  $\gamma_i$  gama değerini temsil etmektedir. İşlev bölgelerini ifade etmek için,

$$\text{işlev}_i = \left\{ \begin{array}{c} \text{alt\_sınır} \\ \text{üst\_sınır} \\ \gamma \end{array} \right\}, \quad i = 1 \dots n \quad (2.9)$$

biçiminde bir veri yapısı oluşturulmuştur. Sonuçta her bir işlev alt sınır, üst sınır ve bu bölgedeki  $\gamma$  değeriyle tanımlanır. Eşitlik 2.8’deki  $A_i$  katsayıları,

$$A_i = \left\{ \begin{array}{ll} 0 & i = 1 \\ GI(\text{işlev}_{i-1}.\text{üst\_sınır}) & i > 1 \\ A_{\text{özel}} & \text{özel durum} \end{array} \right\} \quad (2.10)$$

biçiminde tanımlanır. Böylelikle ilk işlev bölgesinde 0 başlangıç değerine ve sonrakı işlev bölgelerinde ise bir önceki işlev bölgesinin üst sınırı için hesaplanan çıkış

değerinden devam edilerek süreklilik sağlanır.  $A_i$  tanımı, işlev değerinin sıfır olması gibi özel durumları değerlendirebilmek için üçüncü bir durum eklenerek genişletilmiştir.  $B_i$  katsayıları,

$$B_i = \left\{ \begin{array}{ll} 1.0 & \text{öntanımlı} \\ K_i & L_{\gamma-maks} \quad \text{ayarlama} \\ B_{\text{özel}} & \text{özel durum} \end{array} \right\} \quad (2.11)$$

biçiminde tanımlanır. Burada  $B_i$  kazanç değeri öntanımlı olarak 1.0 değerindedir. Ancak giriş  $[L_{min}, L_{maks}]$  parlaklık aralığındayken, gerçek çıkış değeri,  $GI(j)$  - çıkış değerinin üst sınırı  $L_{\gamma-maks} > L_{maks}$  olabilmektedir. Uygun  $K_i$  kazanç değeri seçilerek çıkış üst sınırının  $L_{maks}$  olması sağlanabilir.  $B_i$  tanımı, işlev (gama) değerinin sıfır olması gibi özel durumları değerlendirebilmek için üçüncü bir durum eklenerek genişletilmiştir.  $C_i$  katsayıları ise,

$$C_i = \left\{ \begin{array}{ll} GI(\text{işlev}_i.\text{alt\_sınır}) & \text{öntanımlı} \\ C_{\text{özel}} & \text{özel durum} \end{array} \right\} \quad (2.12)$$

biçimde belirtilir.  $C_i$  kayma değeri öntanımlı olarak söz konusu bölgenin alt sınırındır.  $C_i$  tanımı, işlev bölgesinde alt sınırına göre değil belirlenen  $C_{\text{özel}}$  değerine göre hesap yapmayı olanaklı kılacak biçimde genişletilmiştir. Tek işlevli olarak kullanmak gerektiğinde  $\{n = 1, A_i = 0.0, B_i = 1.0, C_i = 0.0\}$  seçilmesi yeterli olacaktır.

ÇİĞZ tekniği, granülasyon görüntülerinde olduğu gibi özellikle ideal pozlama süresini ayarlamamanın olanaklı olmadığı durumlarda da kullanılabilir. Örneğin Frosio vd yaptıkları çalışmada [46] kafatası dokusunun radyografi ile izlerken böyle bir sorunla karşılaşmışlardır. Pozlama süresi, nesnenin iki farklı yapı içermesinden ötürü farklı etkiler doğurmaktadır[46]. Kafatası radyografisinde pozlama süresinin herhangi bir değeri hem yumuşak hem de kemikli dokunun aynı görüntüde açık-seçik görülmesine olanak vermektedir. İki dokunun yutma katsayılarındaki büyük farklılıktan ötürü her bir hasta için ideal pozlama parametrelerini kurmak oldukça güçtür. Kemik dokusunun yetersiz ve yumuşak dokunun aşırı pozlanması ise görüntüde iki dokuya ilişkin parlaklık düzeylerinin benzer değerde alınmasına neden olur. Görüntüde bir-

birine girmiş bir yapı olduğundan tek bir gama değeri her bir dokunun açık seçik görülmesine olanak vermemekte. Örneğin görüntüye  $\gamma = 0.25$  değeri uygulandığında kemik doku açık seçik görülmesine karşın yumuşak doku daha da koyulaşarak zeminle kaynaşmakta ve böylelikle yorumlanması güç bir hal almaktadır. Bu sorunun üstesinden gelmek üzere histogram temelli[47] bir karma model[48] kümeleme algoritması kullanılmıştır. Bu algoritma yardımıyla kemik dokusunun gri düzey değeri ya da eşiği belirlenmiş ve görüntüdeki parlaklık basamakları  $I(x, y) \leq Eşik_{kemik\ doku}$  iken  $\gamma_{yumuşak\ doku}$  (örneğin = 2.2) gama değeriyle ve  $I(x, y) > Eşik_{kemik\ doku}$  iken  $\gamma_{kemik\ doku}$  (örneğin = 0.25) gama değeriyle işlenmiştir. ÇİGZ gözlüğüyle bakıldığında  $n = 2$ 'dir, bölgeler

$\langle alt\_sınır = 0, üst\_sınır = Eşik_{kemik\ doku}, \gamma_1 = 2.2 \rangle$  ve  
 $\langle alt\_sınır = Eşik_{kemik\ doku}, üst\_sınır = L_{maks}, \gamma_2 = 0.25 \rangle$   
biçimini alır.

Bu çalışmada görüntülerin histogramlarının incelenmesi temelinde işlev dilimleri ve gama değerleri belirlenerek ÇİGZ uygulanmıştır. Bu uygulayım ile katman belirginleştirme işlemi yolculuk öznitelik bilgisinin ayırt edilebilirliğini arttırarak, takip edilmesini kolaylaştırmıştır.

**Renklendirme** Gözün parlaklıktaki ince farklılıkları ayırt edebilme yeteneği kısıtlı olduğundan, tek renkli (gri tonlu) ya da siyah-beyaz görüntüler sıklıkla renklendirilirler. Bu süreç gerçek olmayan ya da sözde renklendirme olarak adlandırılır[34]. *Sözde renkli*, tek renkli görüntüden renkli görüntüyü üretmeden söz ederken kullanılan bir kavramdır[35]. Aynı zamanda *sahte renklendirme* (false color) olarak da adlandırılır. Bu işlem basit bir şekilde, taramalı tabloda (look-up table, LUT) saklanabilen bazı kurallar yardımıyla her bir gri düzeyin bir renge atanması şeklinde gerçekleştirilebilir. Sözde renklendirmenin çekiciliği, tek renge (siyah-beyaz) oranla renkli alanlara gözün daha yüksek ayırcılık olmasından gelir[33, 34, 35, 44]. Göz yalnızca 20-30 gri düzeyi ayırt edebilmesine karşın, yüzlerce farklı rengi ayırt edebilir. Ayrıca, orta gri parlaklık düzeyi yerine “koyu kırmızımsı mavi rengin” kullanılması ilgilenilen özel bir özneliliğin tanımlanmasında yardımcı olabilir. Bilimsel görüntüleme hız,

yoğunluk, sıcaklık gibi özelliklerin yüzey yükseltilerinin kodlanmasında da sıklıkla kullanılır[34].

Parlaklık değerleri yerine renklerin kullanımı, görüntüdeki küçük yerel değişimleri göstermeyi ve görmeyi, ve genel olarak aynı parlaklık değerlerini özdeşleştirmeyi olanaklı kılar[34]. Öte yandan sözde renklerin kullanımı, görüntünün gerçek içeriğini sakladığından tehlikelidir. Renklendirme, görüntünün ayrıntılarına odaklanmaya zorlar ve bütünsel bilgiyi (gestalt information) yitirmeye neden olur.

Sözde renklendirme haritalama, renklerin rastgele olarak belirlenmesinden daha çok bazı örüntülerin kullanılmasıyla çok daha hoşnut edici sonuçlar üretebilir[35]. Sözde renklendirme için çeşitli LUT'lar kullanılır. En basit olanı *parlaklık dilimlemesidir*. Bu yöntemde seçilen bir parlaklık düzeyinin altındakiler bir renkle üstündekiler başka bir renkle kodlanırlar. Özellikle bu yöntem, görüntünün karakteristiği temelinde dilimlerin ve rengin seçilmesiyle çok daha anlamlı ve işe yarar görüntülerin alınmasında rol oynar[38]. Daha geniş sözde renk erimine erişebilmek için daha genel dönüştürme yaklaşımları kullanılır. Bu yöntemler, düzgünlük temelindedir ve doğrusal olmayan işlevlerdir ve bu yöntemlerden daha fazla esneklik sağlamaları beklenir[38]. Bu yöntemlere bir örnek griden sözde renklere geçerken sinüsoidleri kullanmaktır. Bu yaklaşımda renkler,

$$\begin{aligned} f_R &= |(L-1) \cdot \sin(\ell + \theta_R)| \\ f_G &= |(L-1) \cdot \sin(\ell + \theta_G)| \\ f_B &= |(L-1) \cdot \sin(\ell + \theta_B)| \end{aligned} \tag{2.13}$$

eşitliği yardımıyla hesaplanır. Burada  $L$ , gri düzey sayısı (8 *bit* görüntüde 256),  $\ell$  gri düzey değeri ve  $(\theta_R, \theta_G, \theta_B)$  her bir renge ilişkin evre değerleridir. Bu evre değerlerinin görüntü içeriğine uygun olarak ayarlanmasıyla görüntüdeki belli özneliklerin ortaya çıkarılması ya da yorumlanması kolay duruma getirilebilir. Sıklıkla kullanılan sözde renk tabloları listesine sıcaklık ölçeğini ve tayf ya da gökkuşağını da ekleyebiliriz[34].

#### 2.1.3.4 Buğulu Görüntüleri Kullanan GSD ve ÇİGZ Birleşimi Bir Yöntem

Ardışık çekimler arasında geçen sürenin çok kısa olması ve bu süre içerisinde granülasyon ve leke oluşumlarının değişmeden kaldığı varsayımından (bakınız Bölüm 1.1.2) da yararlanarak, türbülansın çok etkili olduğu görüntüleri hiç kullanmamak yerine türbülansın daha az etkili olduğu görüntülerle birleştirmekle en azından görsel açıdan daha iyi sonuçların alınacağı düşünülmektedir. Bu amaçla öncelikle görüntüde türbülansın etkili olduğu katmanın belirlenmesinin ardından iyileştirmesi işlemine geçilir.

#### 2.1.3.5 Ardışık Görüntü Türevi Yaklaşımıyla Oluşum Kenarlarının Belirginleştirilmesi

Görüntü içerisindeki kenarları algılamada birinci ve ikinci türevlere sıklıkla başvurulur[49, 50, 51]. Birinci dereceden türev yaklaşımları her bir kenar için iki tepe üretirken, ikinci dereceden türev yalnızca bir tepe üretir. Fakat ikinci dereceden türevi önemli bir eksikliği gürültüye duyarlı olmasıdır. Serideki ardışık 2-3 görüntüde oluşumların değişmeden kaldığı kabul edebilir (Bölüm 1.1.2). Ardışık çekimlerde atmosferin (türbülansın) etkisiyle oluşumlara ilişkin kenarlar gizlenmektedir. Kenar algılama yöntemini ardışık görüntüler üzerinden çalıştırmakla (Eşitlik 2.14) oluşumlara ilişkin kenarlar ortaya çıkarılabilir.

$$G_{\text{sonuç}}(x, y) = -1 \times G_{\text{önceki}}(x, y) + 2 \times G_{\text{şimdiki}}(x, y) - 1 \times G_{\text{sonraki}}(x, y) \quad (2.14)$$

Seçilen görüntülerden daha az buğulu görüntüye, kenarları içeren bu görüntü eklenerek görsel açıdan kenarları belirginleştirilmiş görüntü elde edilebilir.



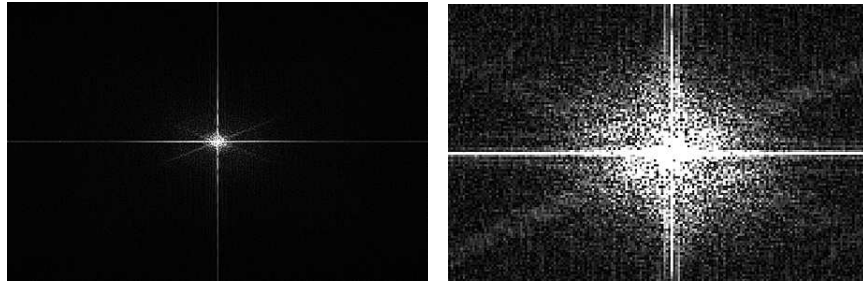
## 2.1.4 ÖGYÇ (Özişler Granül Yolcuk Çıkarımcı) Algoritması

### 2.1.4.1 Amaç

Yeryüzeyinden çekilen, atmosferik türbülans yüzünden buğulanmış güneş granülasyonuna ilişkin görüntülerdeki granülasyonlar arası yolcukların görsel olarak iyileştirilmesi ve daha sonrasında, ardışık çekimlere ilişkin karelerde yolcukların ve granülasyon oluşumlarının incelenmesidir.

### 2.1.4.2 Algoritmanın Temelleri

Öncül çalışmalar başlığı altında verilen konumsal düzlem temelli uygulamalar, kısmi olarak iyi sonuçlar üretmiş olması, sıklık düzlemi temelinde araştırmalara yoğunlaşmaya güdülemiştir. Granül yolcuklarını içeren sıklık düzlemindeki örüntüyü belirlemek için çeşitli araştırmalar yapılmıştır.



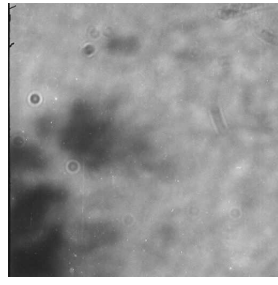
(a) Sıklık düzlemi Log genlik

(b) Orta bölüm büyütülmüş

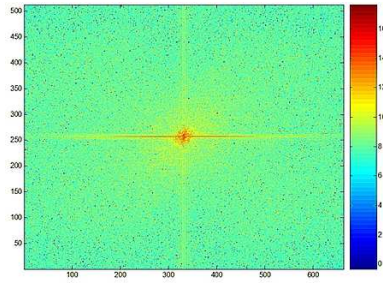
Şekil 2.4: 55310018 deneme görüntüsünün sıklık düzlemi

Öncelikle granül yolcuklarının belirgin olduğu bir deneme görüntüsünün (örneğin 55310018) sıklık düzlemi hesaplanıp çizdirilmiştir. Şekil 2.4.a'da log-ölçeklenmiş sıklık düzlemi verilmiştir. Alçak sıklık bölgesinin büyütülerek gösterildiği Şekil 2.4.b'dende görüldüğü ve beklenildiği üzere, bilgi yoğunlaşması alçak sıklık bölgesindedir. Ancak granül yolcuklarına ilişkinliği belirten belirgin bir örüntü yoktur.

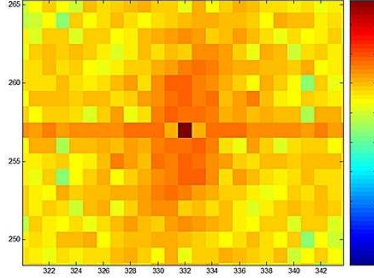
Görüntü alt alanlarına bölünüp aynı işlem tekrarlanınca log-sıklık genlik çevritlerinde yolcuklarını gösterdiği düşünülen belirgin bir örüntü ortaya çıkmıştır. 55310018



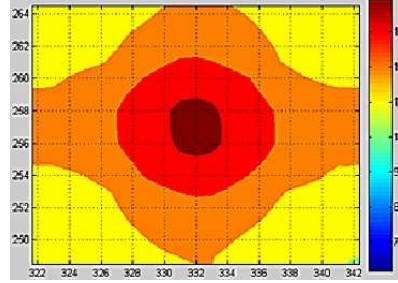
(a) Orta sol bölüm



(b) Sıklık düzlemi Log genlik



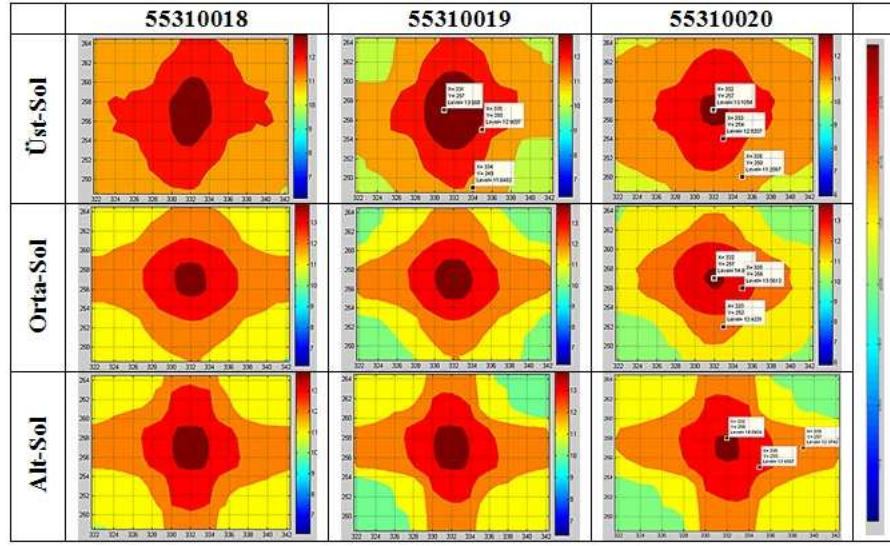
(c) Orta bölüm büyütülmüş



(d) Genlik çevritleri

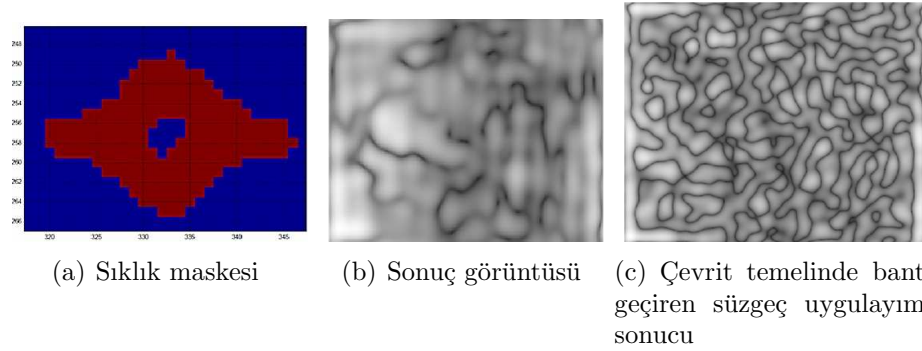
Şekil 2.5: 55310018 deneme görüntüsünün orta sol bölümüne ilişkin sıklık düzlemi deneme görüntüsünün orta-sol bölümünden küçük bir alan ( $512 \times 512$ ) Şekil 2.5.a'da, bu görüntünün log-sıklık düzlemi Şekil 2.5.b'de, yaklaşık olarak 25 kat büyütülerek elde edilen alçak sıklık bölgesi Şekil 2.5.c'de verilmiştir. Dikkatle bakılması durumunda iç içe genlik çevritleri (contour) farkedilebilmektedir. Bunu daha da belirginleştirmek amacıyla genlik çevrit çizimi yaptırıldığında Şekil 2.5.d'de görüntü elde edilmiştir ki, bu görüntüde artık düzenli bir yapı ortaya çıkmıştır. Başka görüntüler ve farklı bölgeleri üzerinde yapılan benzer uygulamalar benzer sonuçlar üretmiştir.

Şekil 2.6'da 55310018, 55310019 ve 55310020 tewt görüntülerinin üst-sol, orta-sol ve alt-sol bölgelerinde elde edilen log-genlik alçak sıklık bölgesi genlik çevrit çizimleri verilmiştir. Ayrıca bazı şekiller üzerine söz konusu çevritin genlik değeri de imlenmiştir. Görüldüğü üzere belirgin bir örüntü vardır. Bu örüntüdeki en iç çevrit, alçak sıklık bölgesine düştüğünden ortalama parlaklık ve görüntü boyunca yavaş değişimli bileşeniyle (bu bileşen Bölüm 2.2.3'de ayrıntılandırılacak ASD'yi de içermektedir) ilgili bilgiyi taşımaktadır. Sonraki çevritler ise görüntüdeki daha hızlı değişimlere denk düşmektedir. Granül yolcuklarının görüntüde kabaca bir periyodikliği vardır ve görüntünün bütününe oranla çok hızlı da değişmemektedir. Görüntüdeki granüllerin



Şekil 2.6: Çevrit toplu sonuçlar

değişim hızı kabaca içteki çevritten sonra gelen ilk iki çevritin oluşturduğu bölgeye düşmektedir. Bunu denemek için ilk ve üçüncü çevritler arasındaki bölgeden maske üretilmiş, yalnızca bu maske altındaki sıklık değerlerinden yararlanarak ters fourier dönüşümü alınarak görüntü elde edilmiş ve giriş (hâm) görüntüsündeki yolcuklarla çakışmalara bakılmıştır. 55310019 görüntüsünün orta-sol bölümüne ilişkin maske Şekil 2.7.a'da ve yalnızca bu maske altındaki sıklık bileşenlerinden oluşturulan görüntü Şekil 2.7.b'de verilmiştir (sunum için zıtlığının arttırılması gerekmiştir).



Şekil 2.7: 55310019 görüntüsünün orta-sol bölümüne ilişkin çevrit sıklık maskesi, bu maskeyle elde edilen görüntü ve çevrit temelinde bant geçiren süzgeç uygulayım sonucu

Şekil 2.7.b'de verilen görüntüde granül yolcuklarının bir kısmı çok net bir şekilde görülebilmekte, geriye kalanlar bulanık bir yapıdadır. Yolcukların bulanık çıkmasının

iki nedeni olabilir: maskeyi ikil yapıda kurgulamak ya da maske sınırlarının doğru seçilmemesi. Yapılan araştırmalar asıl sebebin maskenin ikil oluşturulmasından kaynaklı olduğunu göstermiştir. Sınırlardaki geçişi yumuşatmak için gauss biçimli yapılar kullanılabilir. Denemeler Butterworth temelli BGS uygulayımının olumlu sonuçlar verdiğini göstermiştir. BGS'nin parametreleri maskenin üretildiği çevritlere uydurulan çemberlere ilişkin yarıçaplardan ( $r_{iç}$ ,  $r_{dış}$ ) hesaplanmıştır. Eşitlik 2.15 BGS'nin merkez sıklığının ( $f_0$ ) hesaplanmasında, Eşitlik 2.16 ise bant genişliğinin ( $BG$ ) hesaplanmasında kullanılmaktadır.

$$f_0 = \frac{r_{dış} + r_{iç}}{2} \quad (2.15)$$

$$BG = r_{dış} - r_{iç} \quad (2.16)$$

Burada  $f_0$  ve  $BG$  değerleri, çift yanlı normalize edilmiş sıklık gösteriliminde (0.0)–(0.5) arasında değerler alabilmektedir. Bundan sonraki metin içerisinde yüzdesel gösterimde kullanılacaktır. Bu gösterilim, (–0.5)–(+0.5) aralığının (–50)–(+50) arasına genişletilmesi ve dahası (0.0) – (100.0) aralığına kaydırılması biçiminde yorumlanmalıdır. Böylelikle söz konusu değerler normalizedir.

Şekil 2.5.d görüntüsünde  $f_0 = 0.019$  ve  $BG = 0.025$  hesaplanmıştır. Bu parametrelili BGS Şekil 2.5.a'ya uygulandığında Şekil 2.7.c'deki görüntü elde edilmiştir (görsellik için zıtlık ayarlanmasına gidilmiştir).

Test ardışıklığındaki üç görüntünün (55310018, 19 ve 20) 9 farklı bölgesinde (üst-sol:orta:sağ, orta-sol:orta:sağ ve alt-sol:orta:sağ) yapılan hesaplamalarla elde edilen değerler Çizelge 2.1'de ve sonuçlar Çizelge 2.2'de verilmiştir. Tablodaki her bir hücrede sol sütunda iç ve dış yarıçap ve sağ sütunda bu değerlerden hesaplanan bant geçiren süzgeç değerleri yüzdesel olarak verilmiştir. – gösterilimi merkez çevriti çevreleyen çevritlerin çember uydurmaya uygun olmamasından ötürü hesaplama dışı tutulduğunu gösterir. Böylelikle bant geçiren süzgeç parametreleri  $f_0 = \%2$  ve  $BG = \%2$  olarak belirlenmiştir. Daha sonra gösterileceği üzere farklı bant geçiren

Çizelge 2.1: Serideki üç görüntüye ilişkin bant geçiren süzgeç parametreleri

| <b>55310018</b> | Sol    |        | Orta   |        | Sağ    |        |
|-----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Üst             | 0.0062 | 0.0187 | 0.0173 | 0.0349 | 0.0137 | 0.0418 |
|                 | 0.0311 | 0.0249 | 0.0526 | 0.0353 | 0.0699 | 0.0562 |
| Orta            | 0.0067 | 0.0186 | -      | -      | 0.0144 | 0.0240 |
|                 | 0.0305 | 0.0238 | -      | -      | 0.0336 | 0.0192 |
| Alt             | 0.0067 | 0.0179 | 0.0022 | 0.0166 | -      | -      |
|                 | 0.0291 | 0.0224 | 0.0310 | 0.0288 | -      | -      |
| <b>55310019</b> | Sol    |        | Orta   |        | Sağ    |        |
| Üst             | 0.0060 | 0.0150 | -      | -      | 0.0041 | 0.0168 |
|                 | 0.0241 | 0.0180 | -      | -      | 0.0295 | 0.0254 |
| Orta            | 0.0067 | 0.0157 | -      | -      | -      | -      |
|                 | 0.0248 | 0.0182 | -      | -      | -      | -      |
| Alt             | 0.0066 | 0.0156 | 0.0038 | 0.0157 | -      | -      |
|                 | 0.0246 | 0.0180 | 0.0276 | 0.0238 | -      | -      |
| <b>55310020</b> | Sol    |        | Orta   |        | Sağ    |        |
| Üst             | 0.0056 | 0.0161 | 0.0022 | 0.0129 | 0.0044 | 0.0118 |
|                 | 0.0266 | 0.0209 | 0.0236 | 0.0214 | 0.0192 | 0.0147 |
| Orta            | 0.0067 | 0.0170 | 0.0089 | 0.0295 | -      | -      |
|                 | 0.0274 | 0.0207 | 0.0501 | 0.0412 | -      | -      |
| Alt             | 0.0067 | 0.0162 | 0.0042 | 0.0134 | -      | -      |
|                 | 0.0258 | 0.0191 | 0.0226 | 0.0185 | -      | -      |

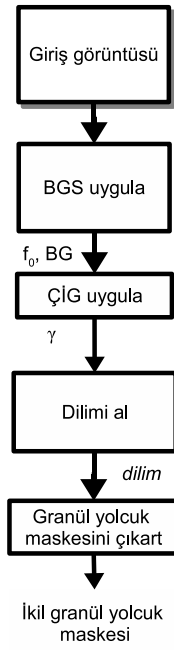
süzgeç parametreleriyle granülasyon oluşumlarının farklı çözünürlüklerine erişmek olanaklıdır (Şekil 2.11). Ayrıca bulunan bant geçiren süzgeç parametreleri görüntüdeki *granül/görüntü* oranına da bağlıdır. Bu oran küçüldükçe orta sıklık değerini büyültmek gerekir.

Çizelge 2.2: Serideki üç görüntüye ilişkin verilerden hesaplanan ortalama bant geçiren süzgeç parametreleri

|                          |
|--------------------------|
| $f_0 = 0.019 \pm 0.0078$ |
| $BG = 0.024 \pm 0.0099$  |

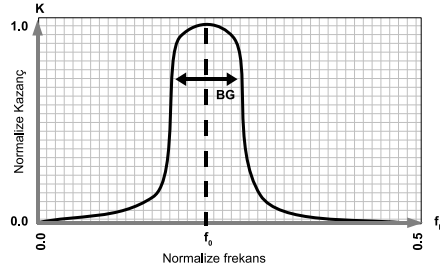
#### 2.1.4.3 Algoritma Ayrıntıları

Bölüm 2.1.4.1’de verilen amacı gerçekleştirmek üzere bir önceki bölümde granül yolcuklarını üretmek için aşama aşama geliştirilen algoritma, bu bölümde ayrıntılandırılacaktır. Algoritmaya ilişkin akış çizgesi Şekil 2.8’de verilmiştir.

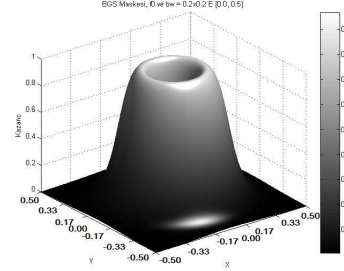


Şekil 2.8: ÖGYÇ (Özişler Granül Yolcuk Çıkarımcı) Algoritması

**Bant Geçiren Süzgeç (BGS) Uygulama** Granül yolcuklarının görüntüden çıkarımı için görüntüye, orta sıklık ve bant genişliği değeri ayarlanabilen bant geçiren süzgeç (BGS) uygulanmıştır.



(a) 2D gösterilim



(b) 3D gösterilimi ( $f_0=0.2$  ve  $BG=0.2$ )

Şekil 2.9: BGS gösterilimi

BGS'ye ilişkin gösterilim Şekil 2.9.a'da verilmiştir. Bu gösterilimde verilen  $f_0$ , merkez sıklığını ve  $BG$  kazancın  $1/\sqrt{2}$ 'ye düştüğü bant genişliğini göstermektedir. Bu gösterilimdeki yatay ve dikey eksenler normalize edilmiştir. Böylelikle sıklık eksenini  $[0.0, 0.5]$  değerindedir,  $f_0$  ve  $BG$  parametreleri de normalize değerlerle belirtilir.

BGS, alçak geçiren Butterworth süzgeç (AGS) temelinde gerçekleştirildi. AGS'nin aktarım işlevi,

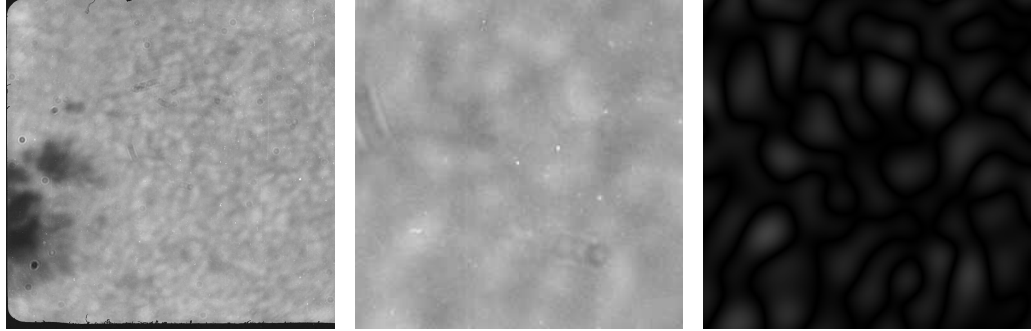
$$|H(\omega)|^2 = \frac{1}{1 + \left(\frac{\omega}{\omega_c}\right)^{2n}} \quad (2.17)$$

biçimindedir. Burada  $\omega_c$ -kesim sıklığı ve  $n$ -dereceyi gösterir. AGS'den BGS'yi elde etmek için,

$$YGS(w) = AGS(f_{son}, n) - AGS(f_{basl}, n) \quad (2.18)$$

dönüşümü kullanılır. Burada  $f_{son} = f_0 + BG/2$  ve  $f_{ilk} = f_0 - BG/2$ 'dir. Görüntü üzerinde bu eşitliğin 2D uyarlaması kullanır.  $f_0 = \%20$  ve  $BG = \%20$  için BGS'nin 3D çizimi Şekil 2.9.b'de verilmiştir.

Şekil 2.10.a'da verilen 55310018.BMP (8 bit, 1024x1024) deneme görüntüsünün orta bölümünden küçük bir alan ( $256 \times 256$ ), Şekil 2.10.b'de ve  $f_0 = \%2$  ve  $BG = \%2$  seçilmesiyle uygulanan BGS sonucu Şekil 2.10.c'de verilmiştir.

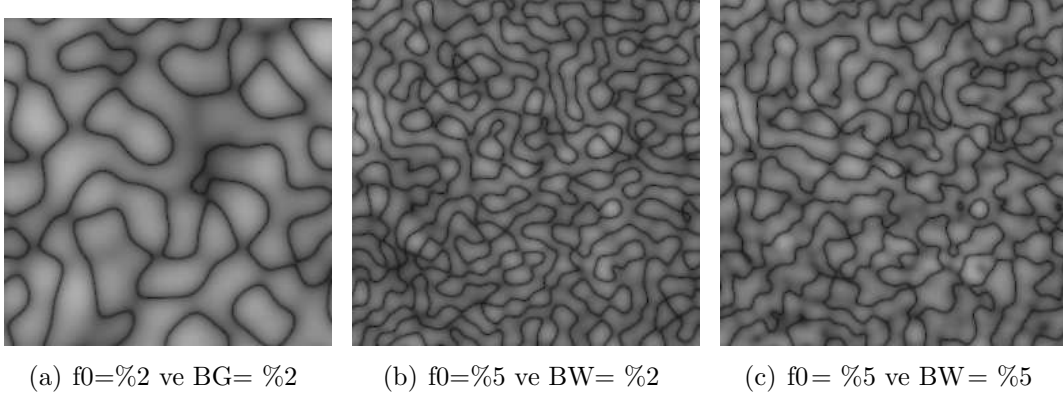


(a) 55310018.BMP deneme görüntüsü (b) asıl deneme görüntüsünün orta bölgesinden 256x256'lık bölüm (c) BGS ile elde edilen görüntü

Şekil 2.10: BGS ile elde edilen görüntü

**Çok İşlevli Gama (ÇİGZ) Uygulama** Şekil 2.10.c'deki görüntünün zıtlığı çok düşüktü, sonraki aşamalar için ayarlanması gerekti. Bu adım algoritmanın ÇİGZ aşamasıyla yerine getirilmektedir (ÇİGZ ile ilgili ayrıntılı bilgi için Bölüm 2.1.3.3'e bakılabilir). Uygulamada işlev sayısının 1 ve gama değerinin  $\gamma = 0.25$  seçilmesinin uygun ve yeterli olacağı görülmüştür. Farklı BGS parametrelerinin etkisini gözlemlemek için Şekil 2.11 eklenmiştir. Çizelge 2.1'deki sonuçlar kullanılarak ( $f_0 = \%2$  ve

$BG = \%2$ ) elde edilen görüntü Şekil 2.11.a'da, daha büyük merkez sıklıkla ilişkili ( $f_0 = \%5$ ) Şekil 2.11.b'de ve daha büyük  $BG$ 'liye ( $f_0 = \%5$  ve  $BG = \%5$ ) görüntü Şekil 2.11.c'de verilmiştir. Her bir BGS parametresiyle görüntünün farklı granül derinliği ortaya çıkarılabilmektedir. Ancak Çizelge 2.1'de verilen ve görsel olarak da onaylanan değerler algoritmadaki BGS'nin parametresi olarak alınmıştır.

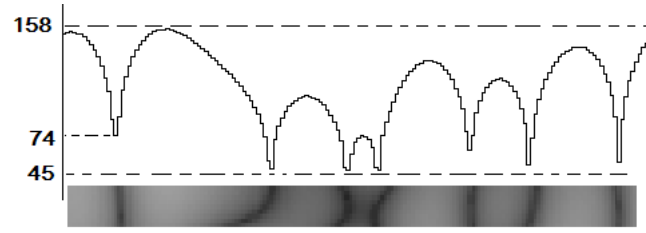


Şekil 2.11: BGS + ÇİGZ ile elde edilen görüntüler

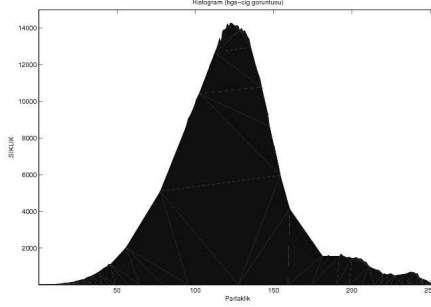
**Eşik Uygulayarak Sınırları İçeren Dilimi Alma** Sıra BGS ve ÇİGZ uygulayarak elde edilen görüntüdeki (Şekil 2.11.a) granüller arası yolcukları çıkarmak amacıyla, elde edilen görüntünün çizgi belgisine ve histogramına bakılmıştır. Şekil 2.12.a'da, görüntüdeki bir kaç yolcuk içeren küçük bir alan ve bu alana ilişkin çizgi belgisi (parlaklık değişimi) verilmiştir. Şekil 2.12.b'de ise görüntünün bütününden elde edilen histogram verilmiştir. Histogram yalnız başına yolcuk parlaklık aralığı ile ilgili bilgi sağlayamamaktayken, çizgi belgisi görüntüdeki yolcukların parlaklıklarının  $\approx [45, 75]$  arasında değişimli olduğunu göstermektedir. Vurgulamak gerekirse konumsal düzlemde çalışmayla ancak kısmi olarak çıkarılabilen granül yolcukları BGS+ÇİGZ uygulayımıyla dar bir banda sıkıştırılabilmektedir. Görüntüdeki  $parlaklik \in [0, 75]$  parlaklık değer aralığındaki dilim alındığında Şekil 2.13.a'daki görüntü elde edilmiştir.

**İkil Yolcuk Maskesinin Elde Edilmesi** Dilimlemeyle elde edilen görüntü (Şekil 2.13.a), ilk olarak zıtlığını arttırmak amacıyla histogram eşitlenmiştir. Yolcukların kalınlaştırılması amacıyla *min* süzgeç (ya da inceltmesi için *max* süzgeç) seçeneği





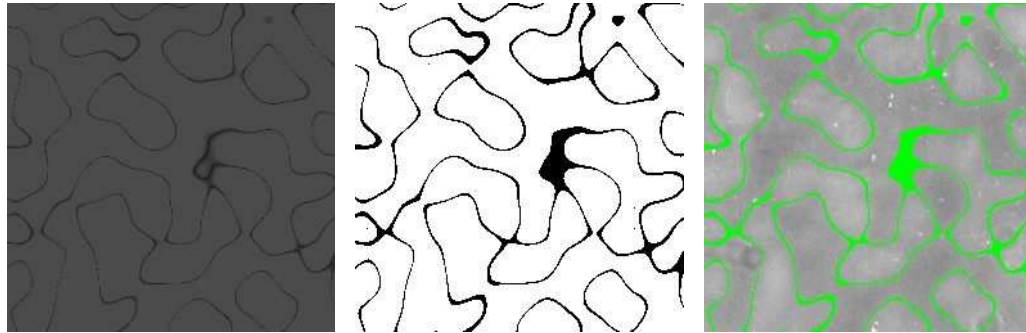
(a) Çizgi belgisi (alttaki görüntü bölümü, üstteki bu bölümdeki bir satırın belgisi)



(b) Histogram

Şekil 2.12: BGS + ÇİGZ uygulanmış görüntünün çizgi belgisi ve Histogramı

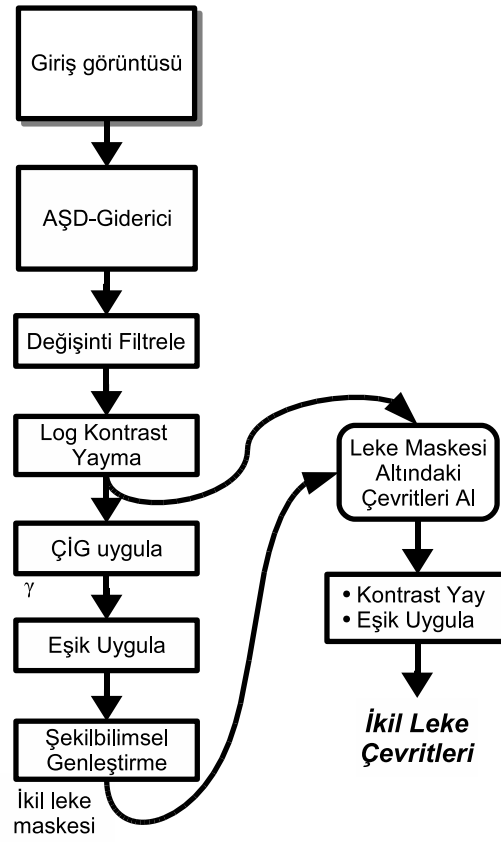
eklenmiştir. Daha sonra basit eşik uygulanmıştır. Görüntü üzerine bindirmeyi olanaklı kılmak için görüntü ters çevrilmiştir. Bu son işlemin ardından elde edilen ikil yolcuk maskesi Şekil 2.13.b’de verilmiştir.



(a) 55310018’e ilişkin parlaklık dilimi (b) 55310018’e ilişkin ikil yolcuk maskesi (c) 55310018’e ilişkin ikil yolcuk maskesinin asıl görüntü üzerine bindirilmesi

Şekil 2.13: Sonuç görüntüleri

**İkil Yolcuk Maskesinin Asıl Görüntü Üzerine Bindirilmesi** İkil yolcuk maskesi (Şekil 2.13.b), asıl görüntü (Şekil 2.10.a ya da küçük alanı Şekil 2.10.b) üzerine renklendirilerek bindirildiğinde Şekil 2.13.c’deki görüntü elde edilir.



Şekil 2.14: ÖLÇÇ (Özişler Leke Çevrit Çıkarımcı) Algoritması

## 2.1.5 ÖLÇÇ (Özişler Leke Çevrit Çıkarımcı) Algoritması

### 2.1.5.1 Amaç

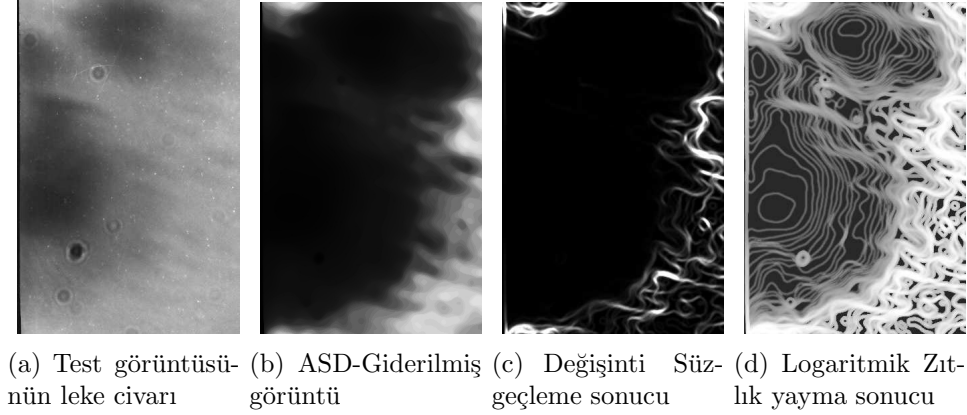
Atmosferik etkiyle buğulanmış özellikle granül oluşumlarının daha iyi gözlemlenebilmesi için zıtlığı ona göre ayarlanmış görüntülerde leke içerisindeki sıcaklık farklılığından kaynaklı, paraklık çevritlerinin (kontürlerinin) belirginleştirilmesi ve ardışık çekimlerdeki gelişiminin ve değişiminin incelenmesidir.

### 2.1.5.2 Algoritma Ayrıntıları

Bir önceki bölümde verilen amacı gerçekleştirmek üzere önerilen yönteme ilişkin algoritma Şekil 2.14'de öbek çizge gösterimiyle verilmiştir.

**Önişleme** Giriş görüntüsünün leke bölgesi seçilmiştir. Daha sonra Bölüm 2.2.3'de ayrıntılandırılacak Atmosfer Saydamlık Dağılımı Giderici (ASD-Giderici) algorit-

ması yardımıyla görüntüdeki atmosferik saydamlıktan kaynaklı etki çıkarılmış ve aynı zamanda henüz görülemese de leke çevritlerinin de ortaya çıkması sağlanmıştır. ASD-Giderici ise ardışık olarak Ortanca Süzgecin uygulanması temelindedir. Ham giriş görüntüsü Şekil 2.15.a'da ve ASD-Giderici çıkışındaki görüntü Şekil 2.15.b'de verilmiştir.



Şekil 2.15: ÖLÇÇ giriş, ASD-Giderilmiş, Değişinti Süzgeçleme ve Log zıtlık yayma sonucu

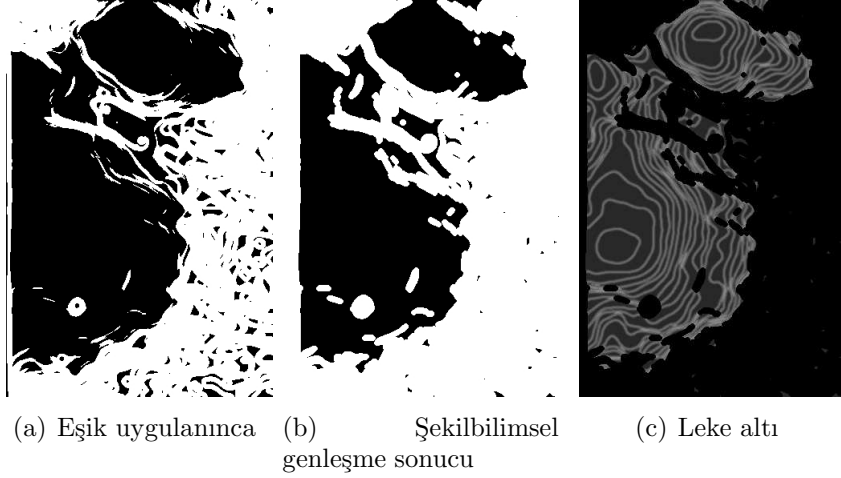
**Değişinti Filtre Uygulama** Çevrit (contour), kenar (edge) ve özyapı (texture) algılamada kullanılan VF (Değişinti Filtre, Variance Filter), değişimli alanlarda pürüzsüz olanlara oranla daha büyük genlikli düzey üretir[34]. Yüksek zıtlıklı ve yüksek özyapılı alanlarda değişinti değeri daha yüksekken, tekdüze ya da düşük zıtlıklı alanlar düşük değişinti değerleri üretirler. Bu özelliğiyle SAR (Synthetic Aperture Radar) görüntü işleme uygulamalarında sıklıkla başvurulur. Bu süzgeç yapısı kenarlar ya da özyapılar algılanmak ve vurgulanmak istendiğinde seçilir. Algoritmadaki görevi ise sıcaklıktan kaynaklı, önışlemeyle şekillendirilmiş leke içerisindeki parlaklık çevritlerinin algılanmasıdır.  $7 \times 7$  boyutlu VF uygulayım sonucu Şekil 2.15.c'de verilmiştir. Görüntü içerisindeki değişinti değerleri geniş bir aralıkta ve üstel bir şekilde dağıldığından gözle ayırt edilememektedir. Görüntü Eşitlik 2.19'de verilen logaritmik yayma işleminden geçirilerek yolcukların göz tarafından algılanması sağlanmıştır (Şekil 2.15.d).

Logaritmik yayma işlemine ilişkin geçiş işlevi,

$$s(\cdot) = a \times \ln(r(\cdot) + b) + c \quad (2.19)$$

biçimindedir. Burada  $r(\cdot) \hat{=} r(x, y)$  giriş görüntüsü,  $s(\cdot) \hat{=} s(x, y)$  çıkış görüntüsüdür ve bu eşitlikte uygulayım sırasında  $a = \frac{255}{\log(1+\max(r(\cdot)))}$ ,  $b = 1 - \min(r(\cdot))$  ve  $c = 0$  seçilmiştir.

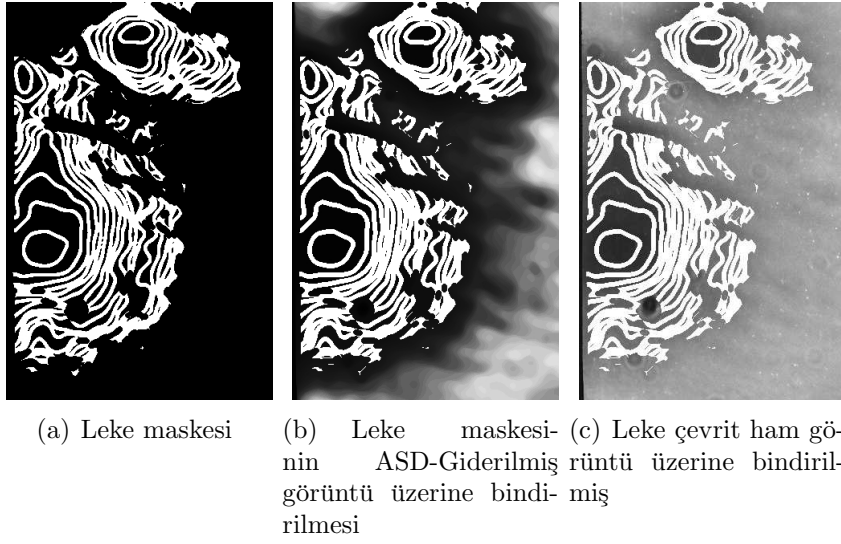
Son olarak gerek duyulması durumunda yolcu bölgesindeki zıtlığı arttırmak amacıyla ÇİGZ uygulanabilir.



Şekil 2.16: Leke maskesi altındaki alan

**Leke Maskesinin Üretilmesi** Şekil 2.15.d görüntüsüne histogramı temelinde eşik uygulanarak leke bölgesinin alınması olanaklıdır. Böyle yapıldığında elde edilen görüntü Şekil 2.16.a'da verilmiştir. Leke bölgesi civarındaki küçük boyutlu granül kaynaklı alanları yok etmek için Şekilbilimsel Genleşme (morphological dilation) uygulanabilir.  $7 \times 7$  boyutlu genleşme uygulandığında elde edilen leke bölgesi maskesine ilişkin görüntü Şekil 2.16.b'de verilmiştir. Bu maske altındaki Şekil 2.15.d görüntüsünden çevritler Şekil 2.16.c'de verilmiştir.

Son işlemenin ardından ikil leke çevrit maskesi elde edilmiştir (Şekil 2.17.a). Burada uygulanan sonişleme aşaması eşitlemeyi ve ikil görüntü üretmek için eşik uygulamayı içermektedir. Elde edilen bu leke çevrit maskesi ya ham görüntü (Şekil 2.15.a) üzerine bindirilebilir (Şekil 2.17.c) ya da önışlenmiş görüntü (Şekil 2.15.b) üzerine bindirilebilir (Şekil 2.17.b).



Şekil 2.17: Leke çevrit maskesi

### 2.1.6 Başvuru Kare Sorunu ve Başvuru Kare Seçme Yaklaşımları

Atmosferik türbülansın kaynaklı olarak bozulmanın derecesi konumsal ve zamansal farklılık göstermektedir. Böylelikle atmosferik görüş açısından en iyi koşullar takip edilip bu zaman diliminde çekim yapılsa dahi hala atmosferik etki ciddi derecedir. Fakat konumsal ve zamansal farklılık gösteriyor olması bir üstünlüktür. Bölüm 1.1.2’de verildiği üzere eldeki çekimlerin en azından ardışık 2-3 tanesinde oluşumların değişmeden kaldığı varsayılabilir. Böylelikle bu karelerden atmosferik etkinin en az olduğu karenin belirlenmesiyle oluşum incelenmesinde daha sağlıklı sonuçların alınmasına yardımcı olunabilir. Bu seçim ise öznel ya da nesnel tabanlı yapılabilir. Seçilen kare *referans (başvuru) kare* olarak adlandırılır.

Öznel yaklaşımda gözlemci 2-3 resme bakıp oluşumların en fazla belirgin olduğu ya da buğulanmanın en düşük düzeyde olduğu kareyi belirleyip, referans kare olarak imler. Bu yaklaşım kişisel gösterir ve otomatize dizge tasarımı için uygun değildir. Bölüm 2.1.3.3’de ve Bölüm 2.2.2.1’de verilen yaklaşımlar öznel olarak referans değerlendirilmesinde kullanılabilirler.

Nesnel tabanlı yaklaşım ise sıklık düzlemi üzerinde kurulabilir. Bunun için görüntüden rastgele bir satır seçilip, en büyük genliğin belli bir yüzdesinin altına düştüğü

bant genişliğine bakılabilir ya da görüntünün bütünü üzerinden alınan Fourier dönüşümünün genlik tayfında en büyük genliğin belli bir yüzdesinin altına düştüğü çember yarıçapına (yani bant genişliğine) bakılabilir. Atmosferik etki alçak geçiren davranış gösterdiğinden[38] sıklık tayfı (bandı) en geniş olanda en az atmosferik etki vardır ve o böylelikle referans kare olarak seçilebilir. Daha sonra Bölüm 2.2.2.3’de ayrıntılandırılacak, ÖGYÇ temelindeki AOBtBKS algoritması yardımıyla nesnel olarak referans kare seçme işlemi gerçekleştirilmiştir.

## 2.2 Atmosferik Etkinin Elde Edilmesi, Giderimi ve Modellenmesi

### 2.2.1 Giriş

Uzay teleskoplarının gideri yüksektir, bu yüzden gökbilimsel görüntülemelerde görüntü onarım algoritmaları ve/ya uyarlanırlar optik önemli bir çalışma alanı olmuştur. Yerüstü gözlem sonuçlarının iyileştirilmesi için son yıllarda önemli ilerleme başarılmıştır [52]. Türbülans rastgele olan bir süreçtir, fiziksel orijinin anlayabilmeye adanmış çok sayıda çalışma yapılmış ve önemli aşamalar katedilmiş olmasına karşın, türbülansın sağlam-iyi kurulmuş modeli henüz yoktur ve bu olgunun asıl yönlerinin çoğunluğu hâla açık değildir [53]. Bu yüzden hâla fizikçiler ve mühendisler arasında çözümlenememiş önemli sorunlar arasındaki yerini korumaktadır. Atmosferik türbülans, alınan imin hem genliğinde hem de evresinde dalgalanmalara neden olur. Bu ise optik ve kızılötesi sensörlerde uzun aralık olması durumunda çözünürlüğü ciddi oranda kısıtlayan doğal bir olgudur. Türbülans Yüksek Çözünürlüklü Gökbilimi için gerçek kısıtlayıcı etkidir[54]. Atmosferik türbülans, yoğun bir şekilde çalışılmıştır ve türbülansın neden olduğu görüntü bozulmasını ve genlik (saydamlık) dalgalanmalarını tanımlamak için çeşitli kuramsal modeller önerilmiştir ([55]'de [7-13] makaleler). Atmosferik türbülans rüzgar hızı, sıcaklık, yükseklik, güneş yoğunluğu gibi birbirine bağlantılı karmaşık bir etkenler kümesi tarafından şekillendirilir. Atmosferik türbülans için modeller var olmasına karşın sıcaklık, rüzgar hızı, nem ve güneş parlaklığı gibi atmosferik koşulları tanımlayan parametrelerin açık bir işlevidir ve bunların açık seçik tanımlanmasını zorunlu kılar. Böylelikle uygulanması olanaksızlık derecesinde zordur [56].

Sınır katmanlarında, atmosfer yüzey etkisi daha kuvvetli hissedilir. Gece ve gündüz oldukça farklıdır: gündüz sınır katmanları kalındır (1km'ye kadar çıkar) ve oldukça türbülanttır. Gece sınır katmanları birkaç yüz metreye kadar inceler, kararlı olarak çok katlıdır. Birkaç yerçekimi dalgaları görülebilir. Rüzgar fazlaysa, türbülant artabilir. Böylelikle gece gözlemleriyle karşılaştırıldığında güneşle ilgili gözlemler (yani gündüz gözlemleri), çok farklıdır. Gece görüş dizgeleri için kullanılan kla-

vuz yıldızları (doğal ya da lazer) güneş gözlemlerinde kullanışsızdır. Lazer klavuzlu yıldızlar, ya güneş diskinin parlak arkaplanında parlak bir lazer lekesi oluşturacak oranda oldukça parlak lazerler ya da oldukça özel dar bantlı süzgeçler kullanılmasını gerektireceğinden onarım için kullanışlı bir çözüm değildir. Bu yaklaşımın karmaşıklığı ve gideri, güneş gökbilimindeki olası kullanım alanlarını oldukça sönük korona gözlemiyle sınırlamaktadır. Örneğin 4m ATST (Advanced Technology Solar Telescope). Gün boyu zamanla değişen daha kötü görüş, güneş gökbilimcilerin yaygın olarak görünür ışıktaki gözlem yapıları ve güneşe ilişkin granülasyon oluşumlarının düşük zıtlıklı, genişletilmiş, zamanla değişen nesneleri gözlemleri sorunun karmaşıklığının nedenidir. Çünkü güneş genişletilmiş bir nesnedir, güneş gözlem dizgeleri, gözenek, leke ya da leke ve granülasyon altyapıları gibi hedeflere kilitlenirler. Özellikle güneşe ilişkin granülasyon, yaklaşık olarak 1 *dakika* zaman ölçeğiyle değişen düşük zıtlıklı örüntü olmasından izlenmesi zor bir yapıdır. Doğrudan güneş ışığıyla yerin ısınmasıyla, yere yakın türbülans katmanı gün boyunca çok daha güçlüdür ve tipik Fried parametreleri, mükemmel görüş koşullarında ve yerüstünden 40 – 50 m tipik teleskop yüksekliğinde 500 nm dalga boyunda 10 cm derecesindedir. Sacramento Tepesindeki Dunn Güneş Teleskopunun giriş açıklığı, yere yakın teleskopun büyük kırıcılığının üstesinden gelmek için 40 m yüksekliğe yerleştirilmiştir. Buna karşın, Fried parametresi kısa zaman ölçeğinde (saniyelerle) önemli oranda değişir ve sıklıkla bir kaç santimetre değerlerine düşer. Fried parametresi- $r_0$  teleskop açıklığını, teleskop açıklığı ise optik çözünürlüğü etkiler.

Yerüstünden güneş yüzeyinin gözlenmesinde araya giren atmosferi, geleneksel yöntemlerle tanımlamanın olanaklı olamayışı nedeniyle, yalnızca eldeki görüntüler serisinden ve izlenen nesneye ilişkin önbilgiler ışığında modellenmiştir. İzlenen nesneye ilişkin önbilgi ve veriler temelinde önerilen atmosfer modeli, optik bozulmaları ve şeffaflığı ayrı ayrı ele almaktadır. İlki AOB (Atmosferin Optik Bozulma Davranışı), ikincisi ise ASD (Atmosferin Saydamlık Dağılımı) olarak adlandırılmıştır. Model bu iki parçanın toplamından oluşmaktadır. AOB görüntüde konumsal ve ölçeksel bozulmalara neden oluyorken, ASD parlaklık dağılımını bozar.

AOB’ı karakterize etme ve onarma amaçlı olarak ardışıl görüntülere kısa aralıklı Çok İşlevli Gama Zıtlayıcı (ÇİGZ) yardımıyla türbülansın ortaya çıkarılması



uygulayımı, Kolmogorov türbülans modeli temelli uygulamalar, Zernike Polinom yaklaşımını kullanarak dalga önyüzeyinin üretilmesi ve görüntünün onarılması uygulayımı ve astigmatik onarım uygulamaları yapılmış ve kısmi olarak başarılı sonuçlar alınmıştır. Ancak Bölüm 2.1.4.3'de ayrıntılandırılan ÖGYÇ algoritması yardımıyla üretilen yolcuklar üzerinden sıklık düzlemi incelemesi yapılmış. Granüllerdeki homojensizliğin neden olduğu sıklık düzlemindeki elips biçimli dağılımın türbülansın optik davranışını karakterize ettiği görüldükten sonra, işleri otomatize etmek amacıyla AOBPÇ (AOB Parametre Çıkarımcı) algoritması geliştirilmiştir (Şekil 2.28). Bu algoritma türbülansın yoğun olduğunun görsel olarak belirlendiği görüntülerin granül yolcukları için *elips* biçimli sıklık düzlemi üretmekteyken, türbülans şiddetinin düşük olduğu ya da uzaydan çekilme görüntülere ilişkin granül yolcukları için *çember* biçimli sıklık düzlemi üretmektedir. Uzak çekimlerinin sıklık düzlemindeki dağılımın bu şekilde olması, AOBPÇ algoritmasına temel olan granül yolcukları homojendir tezini doğrulamıştır. Bölüm 1.1.2'de gösterildiği üzere ardışık gelen 2 – 3 karelik çekimde granülasyonun değişmediği varsayılabilir, fakat ardışık gelen bu karelerin ÖGYÇ çıktılarında hem de bu çıktıları kullanan AOBPÇ'daki elips parametrelerinde değişim gözlenmektedir. Bu değişim granül değişimlerinden kaynaklı olmadığına göre, araya giren atmosfer özel olarak türbülans kaynaklıdır. Görsel olarak da onaylanmaktadır ki türbülans ne kadar şiddetliyse AOBPÇ çıktısındaki elips çemberden o kadar uzaklaşmaktadır. AOBPÇ algoritmasıyla elde edilen türbülans bozulma parametrelerinin, tersinir işlemler uygulanarak onarım sürecinde kullanılması için AOB-Düzeltilici algoritması geliştirilmiştir. Fakat uygulamalar olumlu sonuçlar üretememiştir. AOBPÇ temelinde görüntünün niteliğini değerlendirebilmek için AOBtGNÜ (AOB temelinde Görüntü Nitelik Üreteci) algoritması geliştirilmiştir (Şekil 2.30). Bölüm 1.1.2'de verilen oluşum zaman ölçeği varsayımının sonucu olarak ardışık çekimlerden 2-3 karede granülasyon oluşumların değişmediği kabul edilebilmektedir fakat bu görüntülerin çekilmesi sırasında türbülans değişik etkinlik derecesinde olmasından ötürü görüntüleri farklı oranda bozulmakta ve granül yolcuklarının homojenliği bozulmaktadır. Granül yolcuklarının çözümlenmesinde kritik olan en temiz çekim karesini (başvuru karesini) özişler olarak belirlemek üzere AOBtGNÜ algoritması temelinde AOBtBKS (AOB temelinde Başvuru Kare Seçici)

algoritması geliştirilmiştir (Şekil 2.31). Bu algoritmayla ardışık çekimler üzerinde yapılan uygulamalar uzmanların başvurduğu görsel değerlendirme sonuçlarıyla paralellik göstermektedir. AOBPÇ temelinde başka algoritmalar da geliştirilmiştir. Bunlar AOBtEUCAB (AOB temelinde En Uygun Çekim Anının Belirlenmesi) Algoritması, AOBtSKOPT (AOB temelinde Sonraki Karenin Optik Parametrelerinin Tahmini) Düşüncesi, AOB\_KMÜ (AOB Konumsal Model Üretici) ve \_ZMÜ (Zamansal Model Üretici) Düşüncesidir.

ASD'nın çıkarılması ve etkisinin giderilmesi amacıyla Fark Görüntüleri Yaklaşımı ve Histogram yöntemleri geliştirilip, uygulanmıştır. Fakat bu yöntemlerin hiçbirisi doğrusal olmayan türbülansın davranışını yine doğrusal olmayan yolla onarmaya ve ardından modellemeye çalışan ASD-Çıkarıcı (Şekil 2.53) ve ASD-Giderici (Şekil 2.52) algoritması kadar iyi sonuç üretememiştir. ASD-Giderici algoritması artan boyutlu Ortanca Filtre (OF) temelindedir. OF ile ilgili yayınlardan alıntılarının ardından, matematiksel alt yapısı ve olası yapaylık kaynakları sorgulanmıştır. Test görüntüleri üzerinde yapılan denemeler ve matematiksel çıkarımlar OF'nin yapaylıkların gözardı edilebilir düzeyde olduğunu göstermiştir. Böylelikle algoritma görsel olarak görüntünün iyileştirmenin yanı sıra doğruluk bakımından güvenilirdir. OF'nin matematiksel alt yapısının eksik olması, ASD-Gidericiyle saydamlık yan etkisinin görüntüden çıkarımında başarılı olunmasına karşın ASD-Çıkarımcı algoritmasındaki *çıkarımcının* nasıl gerçekleşeceği sorusunun henüz yanıtlanamamasına neden olmuştur. Bu konuda devam niteliğinde bir çalışmayla çok sayıda ham ve ASD-Gidericiyle elde edilen onarılmış görüntülerin onarılmasıyla, olası modellerden (toplamsal, çarpımsal, katlamasal gibi) en uygununun belirlenmesinin olanaklı olacağı düşünülmektedir.

Kökleşik yöntemlerle ilgili ayrıntıya girmeden öncelikle temel oluşturan bazı kavramları kısaca vermek uygun olacaktır. Ardından atmosfer ortamı ve buğulaştırıcı yönü üzerinde durulacaktır. Atmosferi modellemek için şimdiye kadar geliştirilmiş kalsik, fakat bir o kadar karmaşık yaklaşımlar özet olarak verilecektir. Önerilen modelin gelenekseller arasındaki yerini betimleyip, modelin her bir parçasının geliştirilmesine kadar yapılanlar öncül çalışmalar başlığı altında verilecek ve geliştirilen algoritma verilerek bölüm sonlandırılacaktır.

### 2.2.1.1 Kavramlar

Kökleşik yöntemlerin temelini oluşturan bazı kavramlar bu bölümde özet olarak sunulacaktır.

**Dalga Öncephesi:** Optik ya da fizikte, aynı evreli noktaların konumunu ya da yüzeyi ifade etmede kullanılan bir tanımdır (wavefront).

**Gözbebeği İşlevi:** Odak üzerindeki koordinatlara bağlı olarak, küresel kabuğun dalga önyüzeyinin genliğini ve evresini tanımlar.

Bir nokta kaynağından çıkan ışının, ortam tarafından neden olunan dalga öncephe bozuculuğu- $WF$  biliniyorsa, göz bebeği işlevi- $P$  aşağıdaki eşitlikle hesaplanabilir,

$$P(x, y) = A(x, y) \times e^{-j2\pi nWF(x,y)} \quad (2.20)$$

burada  $A(x, y)$  değişmez (örneğin 1.0) alınabilecek genlik ölçөгidir,  $n$  merceğın kırılma indisidir ve değişmezdir. Göz bebeğі işlevinden optik aktarım işlevine (OTF, Optik Transfer Function) geçerken,

$$\begin{aligned} OTF(f_x, f_y) &= P(x, y) \otimes P^*(-x, -y) \\ &= \text{Özilinti}(P(x, y)) \\ &= \mathcal{F}^{-1} |\mathcal{F}(P(x, y))|^2 \end{aligned} \quad (2.21)$$

bağıntısı kullanılabilir.  $OTF$ , genlik aktarım- $MTF$  ve evre aktarım işlevleri- $PTF$  cinsinden de yazılabilir,

$$OTF(f_x, f_y) = MTF(f_x, f_y) \angle PTF(f_x, f_y) \quad (2.22)$$

$OTF$  elde edildikten sonra birim vuruş tepkisini- $T$  elde etmek ters Fourier dönüşümü almaya bakar,

$$T(x, y) = \mathcal{F}^{-1} \{OTF(f_x, f_y)\} \quad (2.23)$$

$T$  birim vuruş tepkeli ortamdan geçtikten sonra  $I$  görüntüsü ortam çıkışında,  $R$  görüntüsünü oluşturur,

$$R(x, y) = I(x, y) \otimes T(x, y) \quad (2.24)$$

Böylelikle Hartmann-Shack temelinde çalışan dalga öncephe algılayıcıları yardımıyla  $WF$  ölçülür. Eşitlik 2.20 kullanılarak göz bebeği işlevi- $P$  hesaplanır. Bu işlev üzerinde özilinti hesabı yapılarak optik aktarım işlevi- $OTF$  hesaplanır. Ters Fourier dönüşümü yardımıyla birim vuruş tepkisi- $T$  ya da PSF hesaplanabilir [57].

### 2.2.1.2 Atmosfer Ortamı

Atmosferde türbülans olarak adlanan bir devingenlik vardır. Türbülans ise nem, rutubet farklılıklarından, rüzgar devingenliğinden, hidrodinamik kararsızlıklardan ve ısı farklılıklardan kaynaklıdır. Fakat bunlar arasında bölgesel sıcaklık farklılığı, ışığın kırılma indisi üzerindeki etkisinden ötürü ayrı bir önemi vardır. Kırılma indeksindeki değişkenlik, atmosfere giren ışık hüzmelerinin (dalgasının) hedefine ulaşmaya kadar ve her bir geçişinde ayrı kırılmaya ve zayıflamaya uğramaları anlamına gelir. Havanın kırılma indisi (refractive index)[28],

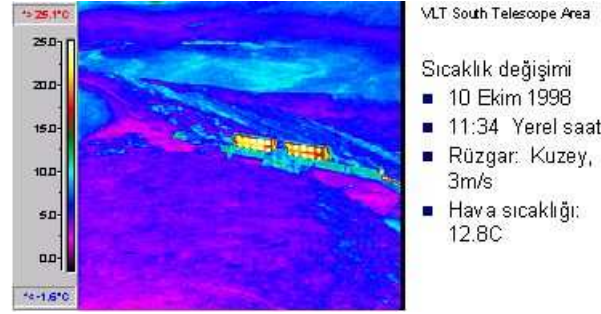
$$N = 77.6 \times (1 + 7.52 \times 10^{-3} \times \lambda^{-2}) \times (P/T) \quad (2.25)$$

bağıntısıyla tanımlanır, burada  $\lambda$  dalga boyunu,  $P$  ortam basıncını,  $T$  ortam sıcaklığını temsil eder. Kırılma indisinin dalga boyuna çok zayıf bir bağ ile bağlı olduğuna dikkat edilmelidir. Kırılma indisindeki dalgalanmalar[28],

$$\delta N = -77.6 \times (P/T^2) \delta T \quad (2.26)$$

biçiminde yazılır ve burada ki  $\delta T$  ortamdaki sıcaklık dalgalanmalarını gösterir, ayrıca sesaltından çok daha düşük hızlarda basınç değişmez varsayılır. Görüntü üzerinde en fazla etkili olan ışının kırılma indisindeki değişim yani sıcaklık değişimleridir. Sıcaklık ise hem konumsal hem de zamansal değişiklik göstermektedir. Atmosferde

$\delta\ell$  kadarlık bir yer değiştirme sıcaklıkta  $\delta T$  kadarlık bir değişime ve dolayısıyla da Eşitlik 2.26 ile verilen miktarda ( $\delta N$ ) ışının kırılma indisinde değişime neden olur. Bu ise elde edilen görüntünün buğulanmasıyla sonuçlanır.



şekil 2.18: VLT Güney teleskopunun bulunduğu bölgede sıcaklık değişimi

Sıcaklığın dar bir alanda değişmesini göstermek amacıyla şekil 2.18’de (Marc Sarazin, ESO, 2000) VLT güney teleskopunun bulunduğu bölgede sıcaklık değişim gösterilmiştir. Bu görüntünün solunda verilen sıcaklık ölçeği  $0^{\circ}\text{C} - 25^{\circ}\text{C}$  aralığındadır. Sıcaklığın bu kadar dar bir alanda bu oranda farklılık göstermesi, kırılma indisinin bölge içerisinde geniş bir değer aralığında olacağı anlamına gelir. Böylelikle türbölansın derecesi büyük olur ve görüntü o derece buğulu olur. Türbölans ne kadar şiddetliyse buğulanma o oranda fazla olur (şekil 2.19: David H. Tofsted, 2005).

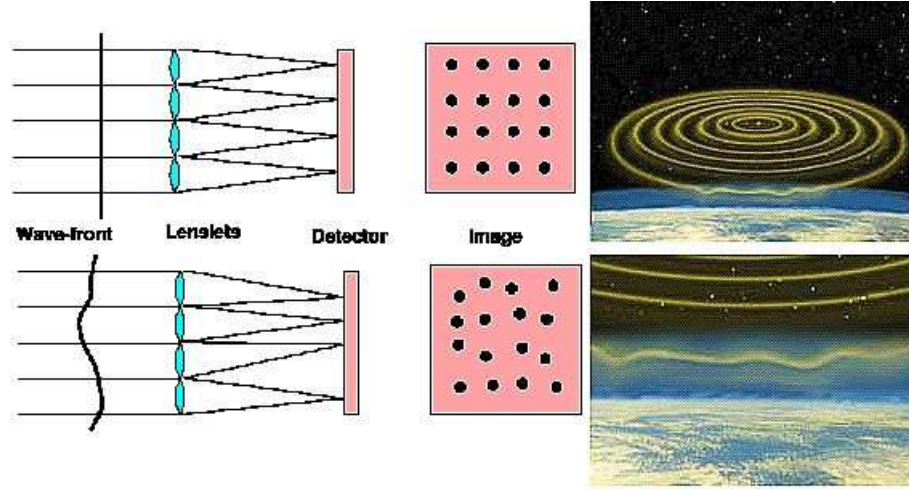


şekil 2.19: Türbölansın görüntü üzerinde oluşturduğu buğulanma

Atmosfere giren ışının farklı kırılma indisleriyle karşılaşması teknik olarak dalga önyüzeyi bozulmasıyla belirtilir.

**Dalga öncphe bozulması:** Atmosfere giren düzlemsel ışık hüzmelerinin, atmosferik etkiyle aynı-evreli olma özelliğini yitirmesidir.

Kırılma indeksi farklılıkları ortama giren birbirine paralel her bir ışımın farklı kırılmalarla yerüstündeki gözlemine ulaşmalarına neden olur, dolayısıyla görüntü elemanları yanlış konumlarda alınır (Şekil 2.20: David Carter, 2005). Bu şekilde eşit aralıklı hüzmeye dağılımının (ki buna ilişkin dalga önyüzeyi düzlemseldir) atmosferik sıcaklık farklılığından kaynaklı kırılma indisindeki değişimin etkisiyle eşit aralıklı dağılım bozulmakta (dalga öncephe bozulması) böylelikle farklı evrelerle gelerek, buğulu bir görüntünün oluşmasına neden olur.



Şekil 2.20: Dalga öncephe bozulması

### 2.2.1.3 Atmosferin Modellenmesi

**Giriş** Atmosfer hem konumsal hem de zamansal olarak sürekli değişen bir yapıdadır. Bu değişim içerisinde özellikle çok küçük konumsal yer değiştirmede dâhi sıcaklıkta değişime, o ise kırılma indisinde ciddi dalgalanmalara neden olur. Bu atmosferik türbülans olarak adlanır. Atmosferik türbülans ise görüntü elemanlarının (piksellerin) yanlış konumlarda alınmasına neden olacağından buğulanmayla sonuçlanır. Buğulanmanın önüne geçmek ancak pozlama anında ki, atmosferik türbülansın özel olarak yeryüzeyine giren düzlemsel dalganın yer üstüne ne oranda bozularak ulaştığının bilinmesini gerektirir. Atmosfere giren düzlemsel dalganın farklı kırınımın ardından şekil bozukluğuna uğraması dalga öncephe bozulması olarak adlandırılır.

Dalga önyüzeyi ise uzaydaki noktasal bir kaynağın varlığı altında ancak ölçülebilir. Doğadaki noktasal kaynaklar ise yıldızlardır. Dalga öncephe bozulması ölçüldükten sonrası, bilinen temel bozulma türlerine ayrıştırılıp, yamulgan aynalar yardımıyla onarılmasıdır. Ancak vurgulamak gerekir ki, bu yaklaşımla türbülans etkisinin onarımı-giderimi dalga öncephe bozulmasının ölçülmesine dolayısıyla da noktasal kaynağın varlığına bağlıdır. Noktasal kaynaklar (yıldızlar) ise bilindiği üzere ancak gece ortamında görülmesi olanaklı olmaktadır. Öyleyse dalga önyüzeyinin ölçülmesi gece gözlemlerinde olanaklı olabilir, eğer asıl gözlemlenen nesneye yakın yeterince parlak noktasal bir yıldız varsa. Çalışılan görüntüler güneşin yüzeyine ilişkin oluşumlardır, dolayısıyla noktasal kaynağın olanaklı olmadığı gündüz gözlemleridir. Uygun dalga boylu lazerler yardımıyla yapay yıldız (LGS) üretmek olanaklı olsa da görüntüler üzerinde benek biçimli yapaylık oluşturma gibi kendine özgü sıkıntıları vardır. Böylelikle bu çalışmada dalga önyüzeyinin ölçülememesinden ötürü, dolaylı olarak eldeki görüntülerden bu verinin üretilmesi ve atmosferin modellenmesi için yöntem önerilmiştir. Bu yöntemde atmosferik etki küçük mercekler ağıyla modellenmekte, bu modeldeki her bir mercek zamansal- ve konumsal-farklılığı olan bir optik davranış göstermektedir. Her bir merceğin optik davranışı saydamlık ve optik bozulmaların (aberrations) bir toplamı olarak ifade edilmektedir. Atmosferin saydamlık farklılığı yerüstünden çekilen görüntünün parlaklık dağılımını bozuyorken, optik bozulmalar konumsal ve ölçeksel bozukluklara neden olurlar.

Kökleşik yöntemlerin kısaca ayrıntılandırılmasının ardından çalışmanın bunlar arasındaki yerinden ve farkından kısaca söz edilecektir. Daha fazla ayrıntı geliştirilen algoritmaların ayrıntılandırıldığı bölümlerde bulunabilir.

**Dalga Öncephe Ölçümü** Atmosferik etkinin modellendiği ağ yapısında yer alan her bir merceğin optik davranışını parametrik olarak ifade etmek, atmosferin sürekli ve rastgele olarak değişim göstermesinden ve optik dizgelerin karmaşıklığından ötürü olanaklı değildir [58]. Ancak nümerik olarak ifade edilebilir. Bunun için merceğin birim vuruş tepkisi elde edilmelidir. İzlenen gök cisimine yakın bir yıldız olması durumunda, atmosferin birim vuruş tepkisini elde etmek nispeten basittir. Bunun için ilk olarak teleskop parlak yıldız odaklanır, ortamın (atmosferin) birim vuruş

tepkesi elde edilir. Ardından teleskop asıl nesneye tekrar odaklanarak gözlem yapılır. Asıl nesneye ilişkin görüntü pozlanması sırasında atmosferik etki yıldız ya da noktasal kaynaktan elde edilen atmosferik bozulma onarımı gerçekleştirilir. Bu yöntem özellikle yakınında parlak bir yıldızın olduğu gözlem durumunda iyi sonuçlar vermektedir. İzlenen nesneye yakın yeterince parlak bir yıldız olmaması durumunda ise, lazer yardımıyla yapay yıldız etkisi oluşturularak ortamın bozucu etkisi belirlenebilir. Bu yöntemle lazer klavuzlu yıldız (LGS, Laser Guide Star) denilir. Kullanılan lazerin dalga boyu, atmosferin (özel olarak türbülansın) etkisini yitirdiği sodyum katmanından (bu katman dünya yüzeyinden  $\approx 90\text{ km}$  yukarıda ve  $\approx 10\text{ km}$  kalınlığındadır) dönecek şekilde ayarlanır. Örneğin ESO tarafından 2004 yılında Şili’de kurulan LGS dizgesinde seçilen dalga boyu  $589\text{ nm}$ ’dir. Bu şekilde yapay bir yıldız oluşturulur. Bu yöntemde lazer hüzmesi uzaya doğru gönderilir, üst katmandan geriye yansıyan ışının dalga önyüzeyine bakılarak o anki ortamın karakteri belirlenebilir ve asıl nesnenin gözleminde bozucu olarak devreye giren atmosferik etki giderilebilir. O anki geçiş işlevinden dalga önyüzeyi *dalga öncephe algılayıcıları* ya da *Shack-Hartman algılayıcıları* yardımıyla ölçülür.

**Zernike Polinomlarına Ayırıştırma** Ölçülen dalga önyüzeyini AOs ile onarmak için öncelikle bilinen temel optik bozulma türleri cinsinden ifade etmek, her bir bozulma modunun katkısını hesaplamak gerekmektedir. Bu amaçla Seidel toplamları yaklaşımı ve Zernike Polinomlarına ayırıştırma en yaygın kullanımı olanlardır. Yüksek mertebeden bileşenlere ayırtırmada yetersiz kalışı zaman içerisinde Seidel’in yerini Zernike’nin almasına neden olmuştur. Seçilen Zernike polinomları, ölçülmüş dalga önyüzeyine eğri-uydurmaya tabi tutulur. Bilindiği üzere eğri-uydurma süreci, polinom katsayılarının hâmi veriyi eniyi temsil edecek biçimde seçilmesiyle sonuçlanır[59]. Burada özel olarak teleskopun gözbebeğine düşen dalga önyüzeyindeki bozulmanın, bilinen temel kırılma modları (tilt, refocus, astigmatism, coma) cinsinden ifade edilmesini sağlamak gerekmektedir. Düşük dereceli Zernike Polinomları bilinen temel kırılma modlarına (astigmatizma, coma gibi) denk düşer [31, 58, 59]. Her bir Zernike, sınırlı sayıda şekiller ailesini tanımlayabilir. Ancak çok sayıda Zernike bir araya getirilerek ve oran katsayıları kullanılarak karmaşık şekil-



lerin ifade edilmesi olanaklı hâle gelir[59]. Optik dizgenin göz bebeğine gelen dalga önyüzeyindeki sapmalar [31], Zernike polinomları cinsinden belirtilir,

$$WF(r, \theta) = \sum_{i=1}^{\infty} a_i \times Z_i(r, \theta) \quad (2.27)$$

burada  $r$  optik dizgenin göz bebeği (odağı) üzerindeki normalize edilmiş radyal koordinat,  $\theta$  açısal koordinat,  $a_i$  atmosferik türbülansla ilişkili katsayılar ve  $Z_i(r, \theta)$  Zernike temel işlevleridir. Böylelikle Fourier ayrıştırmasındaki herhangi bir imin sonsuz sayıda sinüse ayrıştırılması ya da sinüsle ifade edilmesi ilkesine benzer olarak, dalga öncüphe bozulması ya da bunu oluşturan bozucuların optik karakteristiği sonsuz sayıda Zernike temel işlevi cinsinden ifade edilebilir.

Eşitlik 2.27’de verilen  $a_i$  katsayıları ortogonallık ilişkisinden yararlanılarak aşağıdaki biçimde hesaplanabilir,

$$a_i = \int_{\theta=0}^{2\pi} \int_{r=0}^1 WF(r, \theta) Z_i(r, \theta) dr d\theta \quad (2.28)$$

$Z_i(\cdot) \hat{=} Z_{mn}$  olmak üzere Zernike temel işlevleri,

$$Z_{mn} = Z_m^n = \begin{cases} \sqrt{2n+2} R_m^n(r) \begin{cases} \cos(m\theta) & \text{çift} \\ \sin(m\theta) & \text{tek} \end{cases} & m \neq 0 \\ \sqrt{n+1} R_m^0(r) & m = 0 \end{cases} \quad (2.29)$$

biçiminde tanımlanır, burada  $m$  ve  $n$  indisleri polinomun tanımladığı şeklin karmaşıklığını temsil eder,  $R_m^n(r)$  katsayıları ise aşağıdaki eşitlikle hesaplanırlar,

$$R_m^n(r) = \sum_{j=0}^{(n-m)/2} \frac{(-1)^j (n-j)! r^{n-2j}}{j! [(n+m)/2 - j]! [(n-m)/2 - j]!} \quad (2.30)$$

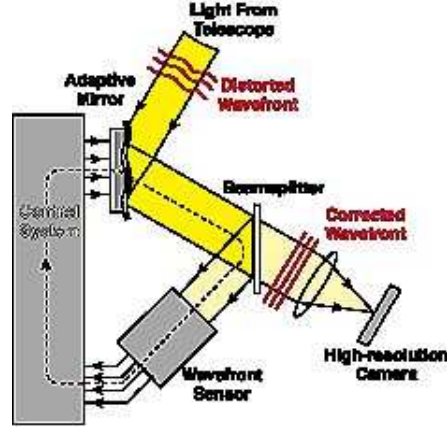
Burada  $m$  açısal indisi,  $n$  ise radyal indisi gösterir ve bunlar arasında her ikisinin tamsayı olması,  $m - n = \text{çift}$  ve  $m \leq n$  kısıtlaması vardır. Zernike ayrıştırmasına seçenek olabilecek modellerde geliştirilmiştir: Tatarski (1961), Kuo & Corrsin (1972), Mandelbrot (1974), Siggia (1978) gibi. Zernike polinom ayrıştırması optik dışında

da uygulama alanı bulmuştur [60, 61, 62].

**Kolmogorov Türbülans Modeli** Eşitlik 2.27’de verilen  $a_i$  katsayıları, atmosferik türbülans tarafından belirlenir. Atmosferik türbülans ise, fiziksel olarak Kolmogorov kuramıyla tanımlanabilir ([55]’de [7-10] makaleler). Bu modelde büyük girdap (eddy) enerjisi, akışkanlık tarafından dağıtılncaya kadar azalan boyutlu girdaplar kaybedilmeksizin yeniden dağıtılır. Türbülans girdaplarının boyutu normalde bir kaç milimetreyle (iç ölçek olarak adlandırılır ve  $\ell_0$  ile gösterilir) bir kaç metre (dış ölçek olarak adlandırılır ve  $L_0$  olarak sembolize edilir) arasında değişiklik gösterir [55]. Atmosferin neden olduğu dalga öncphe salınımlarının doğal bir tanımı Tatarski [30] tarafından, Rus matematikçi Andrei Kolmogorov’ın türbülans çalışmaları (1941.a,b) temelinde geliştirilmiş olan Komogorov modelidir. Bu model çeşitli deneysel ölçümlerle (örneğin Buscher et al. (1995); Nightingale & Buscher (1991); OByrne (1988); Colavita et al.(1987)) desteklenmiştir ve gökbilimsel görüntülemelerde *benzeştiricilerinde* yaygın olarak kullanılır. Model, dalga önyüzeyi bozulmasının atmosferin kırılma indisindeki değişimden kaynaklı olduğunu varsayar. Kırılma indisi değişimleri, doğrudan evre salınımlarına ve ikinci dereceden etki olarakta genlik değişimlerine neden olur. Dünya atmosferinin optik ve kızıl ötesi dalga boylarındaki tüm makul modellerinde, anlık görüntüleme başarımında evre salınımları baskındır [27]. Genlik salınımlarının görüntünün yapısı üzerinde gözardı edilebilir bir etkisi vardır.

Zernike polinomlarına ayrıştırılan atmosferin o anki geçiş işlevi, doğal ya da yapay yıldız yardımıyla belirlenebildikten sonrası ya görüntünün elde edilmesinin ardından ters problem (ters problem) yaklaşımıyla etkinin giderilmesi ya da optik yolla görüntünün pozlanması sırasında onarımı sağlanabilir. Optik yolla görüntünün onarılması için, atmosfer model ağındaki merceklerin tersi etkili merceklerin oluşturulması gerekir. Bu amaçla, birim kaynağa ilişkin atmosferin etkisiyle bozulan dalga önyüzeyi bilgisinden yararlanır. Dalga önyüzeyi, dalga öncphe algılayıcıları (sensörler) yardımıyla algılanır ve Zernike polinomlarına ayrıştırılır. Kapalı çevrim geri besleme yapılarak bozulan öncphe yeterince onarılncaya kadar yamulgan aynalar ayarlanır. Onarım tatmin edici düzeye ulaştığında ise, yüksek çözünürlüklü kamera yardımıyla

görüntü alınır. Dizgenin tamamı Uyarlanıır Optik Dizgesi (AOs, Adaptive Optics) olarak adlandırılır. Basitleştirilmiş öbek çizge Şekil 2.21’de verilmiştir. AOs dizgesi- nin uyarlanıır olma zorunluluğu vardır çünkü atmosferik koşullar hem konumsal hem de zamansal değişkenlik gösterir.



Şekil 2.21: AOs ilkesi

**Dalga Öncephesinin Onarılması** Ters porblem yaklaşımı temelinde onarımda, dalga önyüzeyinden- $WF$  Eşitlik 2.20 kullanılarak gözbebeği işlevine, Eşitlik 2.21 kullanılarakta OTF’ye geçiş yapılabilir. Atmosferik OTF- $T_a$ , atmosferik evre bozulmalarının istatistiğiyle yani sözde evre yapı işleviyle- $D_{\phi_a}(\mathbf{f})$  ilişkilidir[25],

$$T_a(\mathbf{f}) = \exp[-0.5D_{\phi_a}(\lambda\mathbf{f})] \quad (2.31)$$

burada  $\lambda$  dalga boyu ve  $\mathbf{f}$  sıklık düzlemi koordinatları vektörüdür. Sözde evre yapı işlevi- $D_{\phi_a}(\mathbf{f})$  ise Tatarski tarafından tanımlanmıştır (Eşitlik 1.12) ve yalnızca türbülans konumsal ölçeğine- $r_0$  bağlıdır. Türbülans konumsal ölçeği ise yüksekliğe bağlı türbülans şiddetinin- $C_N^2(h)$  ölçülmesiyle elde edilebilir. Türbülans şiddeti ise sürekli değişkenlik göstermektedir. Gözlemler sırasında anlık ölçümlerin yapılması ya da daha önceden yapılmış ölçümler temelinde sağlam bir modelin kurulmasını gerektirir ki oldukça güç bir sorundur.

## Yalnızca Yerüstü Çekimlerinden Yararlanarak Atmoferin Modellenmesi

Buraya kadar özet olarak verilen dizgeler ve yaklaşımlar genel olarak gece gözlemlerini kapsamaktadır. Takip edilen adımlar öncelikle doğal ya da yapay yıldız ve dalga öncüphe sensörleri yardımıyla atmosferik ortamın optik davranışını ya da birim vuruş işlevini (PSF, Point Spread Function) elde etmeyi ve ardından ters problem (Ters Problem) yaklaşımıyla elde edilen PSF'nin eldeki buğulu görüntünün sıklık düzleminden çıkarılmasıyla onarımı - buğu gidermeyi kapsamaktadır.

Çalışılan sorunda, doğal ya da yapay yıldız yok. Dolayısıyla birim vuruş tepkesi ya da dalga önyüzeyi bilgisi de yok. Eldeki buğulu görüntüler serisinden PSF'yi elde edebilir miyiz? Bir model ışığında PSF'yi kabul edip, eldeki görüntüleri onarabilir miyiz? Donanımsal olarak olanak yok, olsa da görüntüler buğulu olarak üretilmiş durumda. Yıldızımsı nokta biçimli görüntülerden çok daha karmaşık ve değişken granülasyon örüntüleri incelenmektedir. Ayrıca yıldızımsı görüntüler geceleyin görüntülenirken güneş incelemeleri gündüzleyin yapılmaktadır. Atmosferin ise gece ve gündüz karakteri değişkenlik göstermektedir. Elde yalnızca atmosferik türbülansın etkisiyle az ya da çok buğulu görüntüler var. Bunlardan yararlanarak *OTF* ya da *PSF* hesaplanabilse, ters problem (Ters problem) yaklaşımıyla giriş görüntüsü-*I*'yı elde edebilir. *OTF*'den *PSF*'ye geçebilirse Zernike ayrıştırması yapabilir. Fakat bu *ters özilinti* hesaplamasını gerektirir ki, böyle bir dönüşüm olanaklı değildir. Dolayısıyla bu yolla optik aktarım işlevinden dalga önyüzeyi bilgisine ulaşmak olanaklı değil. Çalışma sırasında dolaylı bir yol takip ederek optik davranış modellenmiştir.

Bu çalışmada kullanılan görünür ışıktaki görünebilen en derin katman olan fotosferdeki oluşumlardan granülleri [1] içeren görüntü serileri, türbülans istatistikleri ve gözlemler temelinde en temiz atmosferik koşullarda, ardışık olarak ShAO (Shamakh Astrophysical Observatory) gözlemevinde çekilmiştir. Bu çekimler fotografik sinema kameraları yardımıyla yapılmıştır ve çekim hızı  $24 \text{ kare/saniye}$ 'dir. Bu gözlemevi bölgenin türbülans olaylarının en az etkili olduğu yerinde kurulmuş ve türbülans istatistiklerine göre en temiz hava koşullarında çekilmiş [19] olmasına karşın, ardışık görüntülerde ve hatta görüntünün farklı bölgelerinde türbülans etkisi görüntüyü çok derinden ve farklı oranda etkilemekte ve yorumlamayı oldukça güçleştirmektedir.

Bu çalışmada atmosferik etki, küçük mercekler ağıyla modellenmiştir. Bu modeldeki her bir mercek, zamansal- ve konumsal-farklılığı olan bir optik davranış gösterir. Tatarski'e göre "... dalga öncüphe bozulması (yani türbülans) atmosferin *kırılma indisindeki* değişimden kaynaklanır" [30]. Max'e göre "Türbülans, nem, rüzgar ve ısı farklılığından kaynaklıdır. Bunlar arasında bölgesel *sıcaklık farklılığı*, ışığın kırılma indisini üzerindeki etkisinden ötürü ayrı bir önemi vardır" [28]. Radford'a göre "Sıcaklık ya da rüzgar hızıyla saydamlık arasında güçlü bir ilinti *yoktur*." [63]. Tatarski ve Max'dan alınan bilgiler birleştirildiğinde türbülansın asıl kaynağı sıcaklıktır (ya da sıcaklık değişimidir). Radford ise şeffaflığın sıcaklıkla ilintisinin olmadığını söylüyor. O zaman optik bozulma davranışında saydamlık ve optik bozulma (aberration) gibi iki bağımsız süreçten söz edilebilir. Bağımsız olduklarına göre toplam etkiden söz ederken her bir etkinin toplamı olarak ifade etmek olanaklıdır. Böylelikle saydamlık ve optik bozulmaların bir toplamı olarak model kuruldu ve bu çalışmayla her bir etki ayrı ayrı değerlendirildi. Gözlemler atmosferin saydamlık farklılığının görüntünün parlaklık dağılımını bozduğunu, optik bozulmaların ise konumsal ve ölçeksel bozukluklara neden olduğunu göstermiştir.

Atmosfer, her biri bağımsız devinen, ölçeği kilometrelerden ( $L_0$ ) milimetrelere ( $\ell_0$ ) kadar değişen türbülansa neden olan hücrelerden oluşmaktadır. Her bir hücrede meydana gelen türbülansı karakterize etmek için, hücreleri küçük merceklerle ifade etmek gerekecek. Ölçeğin farklılık göstermesinin ve türbülansın birçok nedeni vardır. Bunlar arasında en önemlisi sıcaklık değişimi ya da dalgalanmasıdır. Sıcaklık değişimi Eşitlik 2.25 ve Eşitlik 2.26'de verildiği üzere atmosferde konumsal ve zamansal olarak ortaya çıkan sıcaklıktaki dalgalanma, ışığın kırma indisinin değişimine neden olur. Böylelikle ışığın kırılma indisinde meydana gelen dalgalanma ise, görüntüyü oluşturan *görüntü elemanlarının* (pixel) yanlış konumlarda alınmasına ve böylelikle de görüntünün bozulmasına neden olur. Atmosferi oluşturan mercekler ağındaki her bir elemanda meydana gelen türbülans etkisi hem zamansal hem de konumsal değişiklik gösterir. Bu ise onların optik davranışlarını öngörmeyi güçleştirir. Özellikle yıldızimsı noktasal gökbilimsel nesneleri izlerken, ki gözlemler geceleyin yapılır ve atmosferin türbülans etkisi en düşük düzeydedir, kullanılan tekniklerin gündüz ve güneş gözlemlerine uygulanabilirliği denendikten sonra, Bö-

lüm 2.1.4.3’de verilen algoritmanın çıktısını ve güneş yüzeyi oluşumlarının istatistiki doğasını kullanan AOBPÇ (Atmosferik Optik Bozulma Parametre Çıkarımcı) algoritması geliştirilmiştir. Bu algoritma yardımıyla türbülansın görüntünün çekilme anındaki konumsal değişimini çıkartmak olanaklı olmuştur. Kaydedilmiş görüntüler üzerinde yapılan onarım çalışmaları başarısız olmuştur. Optik onarıma gerek vardır ya da en doğrusu atmosferin en temiz olduğu (türbülans etkisinin en düşük olduğu) anı belirleyip o anda çekim yapmaktır. AOBPÇ algoritması temelinde atmosferik koşulların temizliğini ya da türbülans şiddetini veren bir algoritma geliştirilmiştir. Bu algoritma temelinde düşük çözünürlükte güneş yüzeyinin sürekli takip edilmesi ve bu algoritmanın çıktısının belli bir eşiği geçtiği anlarda yüksek çözünürlükte görüntülerin alınması sağlanabilir. Böylelikle onarımla uğraşmadan yüksek nitelikte görüntüler çekilebilir.

Yerüstü gözlemleri sırasında karşılaşılan ve çekilen görüntünün niteliğini düşüren, soğurma, yayma, saçılma, kırınım ve ayrılma özelliklerinin biçimlendirdiği [64, 65] atmosferin saydamlık dağılımından kaynaklı parlaklıktaki (genliğindeki) bozulmayı gidermektir. Kahn’a göre “görüntüden saydamlık dağılımının giderilmesinin çok zor bir sorundur” [66]. Bu çalışmada böylesi bir sorunun üstesinden gelmek amacıyla sayıtsallık ve doğrusal olmama doğasının [67] yanı sıra kenarlara dokunmadan darbe biçimli yapıları giderme [35] ve yoğun bir şekilde bozulmuş görüntülerdeki parlaklık çevritlerini (contours) çıkarmadaki [68] başarısı da dikkate alınarak ardışık uygulamalar sırasında boyutu artan *Ortanca Filtre (AOF)* temelinde bir algoritma geliştirilmiştir (*ASD-Giderici ya da -Onarıcı (ASD-G)*). Bu algoritmayla elde edilen sonuçlar verilmiştir. Ham ve onarılmış görüntüyü girdi kabul eden *Atmosfer Saydamlık Dağılımı Çıkarımı (ASD-Ç)* için bir algoritma önerilmiş ve bu algoritmayla elde edilen sonuçlar verilmiştir.

## **2.2.2 Atmosferin Optik Bozulma Davranışının (AOD) Elde Edilmesi, Onarılması ve Modellenmesi**

AOBPÇ algoritması yardımıyla tek bir görüntüden atmosferin optik bozulmasının (türbülansın) karakterize edilebilmesi başarılabilmektedir. Bu algoritma geliştirilinceye

kadar konumsal ve sıklık düzleminde çalışan, optik kuramdan temel alan yöntemler atmosferin optik bozulmasını yer üstünden çekilen görüntü ya da görüntülerden öngörü edilebilirliği açısından sınanmıştır. ÇİGZ uygulayımı atmosferin optik bozulmasını görsel olarak belirginleştirilmesini sağlamış, bundan başka bazıları kısmi olarak başarılı sonuçlar üretmiş olsa da hiçbiri AOBPÇ'e kadar, özellikle atmosferin optik bozulmasının nesnel değerlendirilmesi açısından başarılı olamamıştır. AOBPÇ'e kadar yapılan çalışmalar *Öncül Çalışmalar* başlığı altında verildikten sonra asıl algoritmaya ve alınan sonuçlara geçilecektir.

#### 2.2.2.1 Öncül Çalışmalar

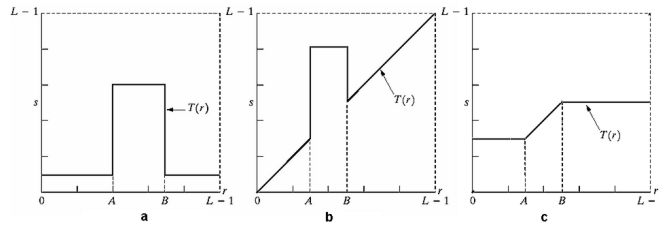
**ÇİGZ Uygulayımıyla Türbülansın Ortaya Çıkarılması** Bölüm 2.1.3.3'de söz edilen ÇİGZ (Ardışıl Görüntülere Kısa Aralıklı Çok İşlevli Gama Zıtlayıcı) uygulamın sonuçları tekrar yorumlandığında, türbülansın optik davranışının görsel olarak değerlendirilmesinde kolaylıklar sağladığı görülmektedir. Şekil 3.3'de verilen ÇİGZ uygulanmış görüntülerde hem leke hem de granül yolcuklarının ardışık gelen karelerdeki değişimi görsel olarak çok daha kolay yorumlanabilir bir biçime getirilmiştir. Oluşumların zamanla değişimi görsel olarak değerlendirilebilmektedir. Bölüm 1.1.2'de ispatlandığı üzere ardışık gelen birkaç çekimlik görüntüde (örneğin beş karede) granülasyon oluşumunun değişmediği varsayılabilir. Şekil 3.3'de verilen granülasyon oluşumları zamanla değiştiğine göre, buna neden görüntüyü oluşturan ışık hüzmelerinin içerisinde geçmiş oldukları atmosferdir. Atmosferin özellikle optik bozuculuğu diğer sözle türbülans etkisi bu görüntü ardışıklığında daha temiz olarak görülebilmektedir. Böylelikle burada uygulanan yöntemler, *granülasyon öz-nitelik* açısından ya da *atmosfer optik bozulmasının belirginleştirilmesi* açısından bakılmasına göre yorumlanma farklılığını vardır. Atmosferin optik bozulmasının belirginleştirilmesi açısından bakıldığında yöntemin, öznel olarak değerlendirilebilecek ardışık karelerde ve kare içerisindeki türbülansla ilgili görsel bilgi sağladığı söylenebilir. Bu görsel bilgi ham görüntüde de var olmasına karşın göz tarafından ayırt edilememektedir.

**GSD (Gri Düzey Dilimleme) Yaklaşımıyla Oluşum Bilgi Yoğunlaşmalarının ve Atmosferik Etkinin Belirlenmesi** Görüntü içerisindeki belli gri düzey aralığını vurgulamak gerektiğinde, basitliğinden işlem yükünün hafifliğinden ötürü[69] sıklıkla *gri düzey dilimlemeye* (GSD: gray-level slicing) başvurulur[70]. GSD'yi yapmanın çeşitli yolları vardır fakat bunlardan ikisi çok daha sıklıkla kullanılır. Binary (ikil) görüntü üreten GSD dönüşüm işlevi Eşitlik 2.32'de ve grafiksel gösterilimide Şekil 2.22.a'da verilmiştir. Bu yapıda  $[A, B]$  aralığındaki parlaklık değerlerini vurgulamak için, bu aralığa düşen parlaklık basamakları açık tonda (örneğin 127 gri düzeyle) dışına düşen parlaklık basamakları ise koyu tonda (örneğin 0 gri düzeyle) gösterilir[38].

$$s = T(r) = \begin{cases} \text{koyu ton,} & 0 < r < A \\ \text{açık ton,} & A \leq r \leq B \\ \text{koyu ton,} & B < r < 255 \end{cases} \quad (2.32)$$

Vurgulanacak parlaklık aralığı dışındaki basamakları (arkaplanı) korumak istendiğinde Eşitlik 2.33 ile tanımlanan ve Şekil 2.22.b'de grafiksel olarak gösterilen GSD yapısı kullanılır[38].

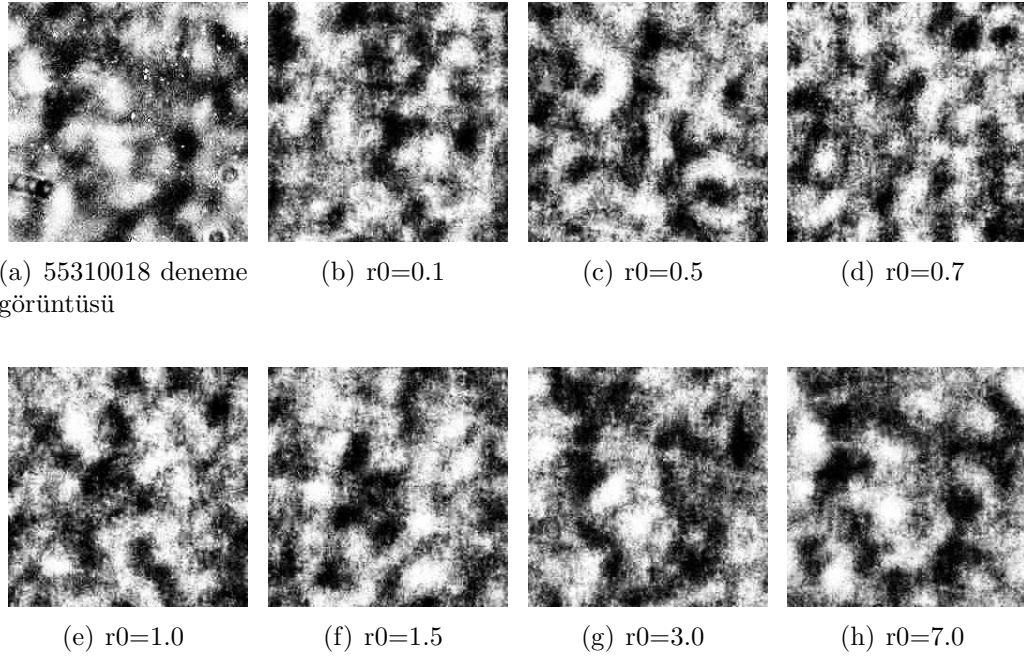
$$s = T(r) = \begin{cases} r, & 0 < r < A \\ \text{açık ton,} & A \leq r \leq B \\ r, & B < r < 255 \end{cases} \quad (2.33)$$



Şekil 2.22: GSD dönüşüm yapıları

Bu çalışmada istenilen ya da ilgilenilen parlaklık aralığındaki değişimi vurgulamak ya da aynen göstermek diğerlerini arkaplana itmek için Eşitlik 2.34 ile tanımlanan Şekil 2.22.c'de grafiksel olarak gösterilen GSD yapısı kullanılmıştır. Bu eşitlik





Şekil 2.23: Türbülansın Kolmogorov Wiener tayfindan görüntülerin evresinin onarılması

zıtlık yaymaya benzemektedir. Fakat dilim aralığı dışında doğrusalsızlık göstermesi iki yöntem arasındaki farkı ortaya koyar[70]. Bu yaklaşım ilgilenilen nesnenin diğerlerinden yalıtılmasını olanaklı kılar[71].

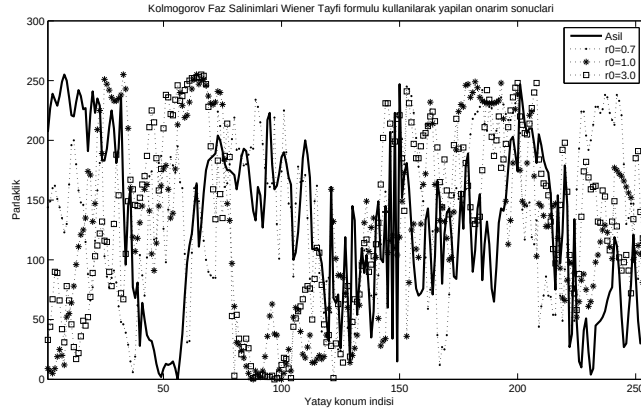
$$s = T(r) = \begin{cases} A, & 0 < r < A \\ r, & A \leq r \leq B \\ B, & B < r < 255 \end{cases} \quad (2.34)$$

**Kolmogorov Türbülans Modeli Temelli Uygulamalar** Bölüm 1.3.2’de ayrıntılandırılan Kolmogorov türbülans modeli temelinde Tatarski[30]’nin Eşitlik 2.31 ile verilen evre yapı işlevinden atmosferin evre salınımlarının Wiener tayfı[72] hesaplanabilir[73],

$$\Phi(k) = 0.023 \cdot r_0^{-5/3} \cdot |k|^{-11/3} \quad (2.35)$$

burada  $k$  sıklığı temsil ederken,  $r_0$  Eşitlik 1.14 ile tanımlanan Fried parametresidir [24] ve  $C_N^2$  türbülans şiddeti belgisine bağlı olarak hesaplanır.

Atmosfer Eşitlik 2.35 ile bozulan görüntüleri, *ters problem* [74] yaklaşımıyla evre onarma uygulanmıştır.  $r_0$  parametresi bilinmediğinden farklı değerler için görüntü üzerindeki etkisi Şekil 2.23.a-i’de verilmiştir. Burada karşılaştırabilmeyi olanaklı kılmak için sonuç görüntüleri terslenmiş ve tüm görüntülerin zıtlık yayılması gerekmiştir. Şekil 2.24’de ise asıl ve üç farklı  $r_0$  değeri için onarımla elde edilen görüntülerin orta satırlarına ilişkin konumla parlaklığın değişimi grafiği verilmiştir. Sonuç görüntülerinden ve parlaklık değişim grafiğinden görüldüğü üzere söz konusu türbülans modeli güneş yüzeyine ilişkin görüntüler üzerinde gürültüleri (Şekil 2.40.b-c, Bölüm 2.2.3.3) uzaklaştırabilmesine karşın daha fazla buğulanmayla sonuçlandığından başarılı olamamıştır.



Şekil 2.24: Türbülansın Kolmogorov Wiener tayfindan görüntülerin evresinin onarılması orta satır parlaklık değişimi

Atmosferik türbülansı karakterize etmek için sıklıkla kullanılan diğer bir model, atmosferik genlik bozulmaları modeli[38] de kullanılmıştır,

$$H(u, v) = e^{-k(u^2+v^2)^{5/6}} \quad (2.36)$$

buradaki  $u, v$  sıklıkları göstermektedir. Önceki model gibi bu da başarılı, olumlu sonuç üretememiştir. Sonuçlardaki başarısızlığın kaynağı olarak, bu modellerin nokta biçimli nesnelerin (örneğin yıldızlar) görüntülenmesinde kullanılması görülmektedir.

**Zernike Polinom Modellemeyi Kullanarak Dalga Öncephesini Üretip, Görüntüyü Onarma** Optik dizgelerde meydana gelen bozulmaları temel bozulma

türleri (koma, astigmatizma vb) cinsinden ifade etmek için bilinen en yaygın teknik Zernike polinom ayrıştırmasıdır. Bu yöntemle optik dizgedeki bozulma karakterize edileceği gibi bozucunun ifadesi belli olduktan sonra sadece o bileşen ya da toplamı için onarım gerçekleştirilebilir. Bizde optik bozulma dalga öncüphe evresindeki salınımla ifade ediliyor. Daha önce Eşitlik 2.27 ile verildiği üzere dalga öncüphe sapması Zernike polinomları cinsinden ayrıştırılabilir. Dalga öncüphe bozulmasından Eşitlik 2.20 yardımıyla gözbebeği işlevine, ardından Eşitlik 2.21 yardımıyla özilinti hesabı sonucunda OTF'ye ve ters Fourier dönüşümü uygulanarak PSF'ye (Eşitlik 2.23) geçilebilir.

Dalga öncüphe sapması ise *wavefront sensor* ya da Shack-Hartmann algılayıcıları donanımsal olarak, LGS ya da NGS kullanılarak ölçülmektedir. Elde bu olanaklar olmadığından dalga önyüzeyi de yoktur. Bu yüzden ZP ayrıştırmanın başarımını denetlemek için Eşitlik 2.27'deki  $N$  zernike polinom derecesi 20 seçilerek ve  $a_i$  katsayılarını *kaba kuvvet* [75] arama mantığındaki gibi değiştirilmesiyle görsel ya da nesnel olarak eniyi sonuç alınıncaya kadar eniyi zernike polinom kombinasyonu belirlendi. Uygulayimler sırasında a) büyük görüntü, küçük dilimlere (pencerelere) bölündü, b) bu dilimler örtüşecek ve ayrık olacak biçimde seçildi, c) işlem öncesinde görüntüye üst-örneklem uygulama seçeneği eklendi ve d) Zernike polinomlarınca tanımlanan eşitlik öncelikle evre kaydırmada daha sonra konum kaydırmada kullanılmıştır.

İlk paragrafta verilen sırada eşitliklerin ardışık olarak çalıştırılmasıyla atmosferin bozucu geçiş işlevi ya da PSF'si elde edildi. Bir önceki bölümdeki gibi ters problem yaklaşımıyla onarım yapılmaya çalışıldı fakat yine olumlu sonuçlar alınamamıştır. Burada Zernike polinom derecesi işlem süresinin uzunluğundan ötürü düşük tutulmak zorunda kalmıştır. Keller'in makalesinde [76] verilen Şekil 3'de onarım için 50'den fazla Zernike polinomu kullanılmıştır. Kaba kuvvet yaklaşımından dolayı işlem süresi oldukça uzayacağından denenememiştir. İleri de güçlü bilgisayarlar ağıının kurulabilmesi ve ona uygun bir şekilde yazılımın güncellenmesiyle çok sayıda Zernike polinomundan dalga öncüphe bozulmasının oluşturulmasıyla daha başarılı sonuçların alınacağı ümit edilmektedir.

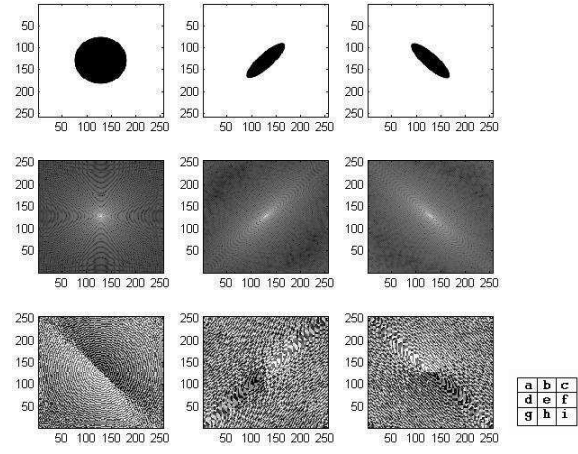
**Astigmatik Onarım** Hem Kolmogorov modeli hem de Zernike ayrıştırmasıyla başarısızlık yaşanmıştır. Atmosferdeki etkinin türbülans ağırlıklı olmasından dolayı, özellikle bu biçimli bozulmayı astigmatik davranışın üretiyor[77] olması astigmatizmayı tek başına bozulma derecesini belirleme ve onarmaya yönelinmesine neden olmuştur.

Türbülansı karakterize eden ortamın sıcaklık değişimi veya başka nedenden ötürü kırılma indisinin değişimi ve yeterince küçük merceklerden oluşan (atmosfer mercek modeli) atmosferin merceklerinin geçiş işlevinin (OTF) değişmesidir. Bu değişimi ya da OTF sini modelleme de ilk olarak en yoğun etkinin astigmatizmadan geldiği varsayımıyla astigmatizma modelleme ve iyileştirme yöntemleriyle yoğunlaşmıştır.

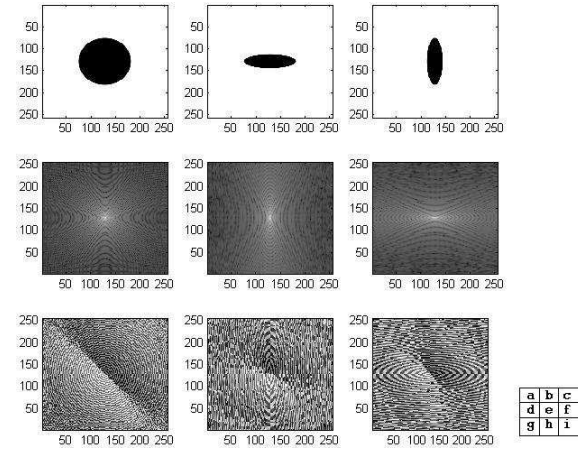
Astigmatik davranışın konumsal - sıklık düzlemi ilişkisini belirleyebilmek amacıyla çember deneme görüntüsü kullanılmıştır. Çember deneme görüntüsü Şekil 2.25.a'da verilmiştir.  $\{s_u = 0.3, s_v = 1.0\}$  ölçekleme değeri ve  $\theta = \pi/6$  döndürme açısı değeri uygulanarak elde edilen elips Şekil 2.25.b'de ve açısı değeri  $\theta = -\pi/6$  olarak değiştirildiğinde elde edilen elips Şekil 2.25.c'de verilmiştir. Her bir görüntünün sıklık düzlemi kendi sütununda verilmiştir. Çembere ilişkin sıklık düzlemi her yerde eşit dağılımlılık göstermektedir. Şekil 2.25.d-f'de log-genlik ve Şekil 2.25.g-i'de açının değişimi verilmiştir. Beklendiği üzere daralmanın olduğu yöndeki sıklık dağılımı genişleyecek. Sıklık düzlemi log-genlik gösterilimlerinden görüleceği üzere elipsin uzun eksenini boyunca değişim yokken kısa eksenindeki daralma ortaya elips biçimli bir yapı çıkartmıştır. Tam belirgin olmasa da evre da benzer bir davranış gözlenmektedir.

Açısı değerinin  $\theta = \pi/2$  ve  $\theta = 0$  olması durumunda döndürme önceki ölçeklenme parametreleriyle elde edilen elips görüntüleri Şekil 2.26.b-c'de verilmiştir. Her bir görüntüye ilişkin sıklık düzlemi log-genlik ve evre değişimleri ise ilgili sütunlarda verilmiştir. Öncekiyle benzer sonuçlar alınmıştır. Böylelikle konumsal düzlemde ölçekleyip-döndürme sıklık düzleminde ters ölçekleme-dönmeye denk düşerek paralellik göstermektedir.

Görüntüyü üstörnekleyip, yani daha büyük pikseller oluşturup, açıklığın biçimine göre şekil bozulmasına uğratıp, sonuç görüntüsünü eski boyutlarına getirmek



Şekil 2.25: Astigmatizma konumsal-sıklık düzlemi ilişkisi - 1



Şekil 2.26: Astigmatizma konumsal-sıklık düzlemi ilişkisi - 2

(altörneklem). Uygulayimler sırasında a) eliptik şeffaf bir açıklık oluşturuldu ve bu açıklığın dikey ve yatay yarıçap oranı ve saydamlık değişimi ayarlanabilir kılındı, uç durum olarak elipsin içerisi tam şeffaf dışarısı tam geçirmez olmasına izin verildi, b) görüntü açıklık çapı kadar dikeyde ve yatayda üstörneklendi, c) açıklık üstörneklelenmiş görüntü üzerinde örtüşen dilimler üzerinde soldan-sağa ve yukarıdan-aşağıya hareket ettirildi, d) bunun yanında örtüşmeyen - ayrıık açıklık hareketleri de kullanılmıştır.

Örtüşmelerden dolayı aynı konumdan birden fazla geçiş olabilmektedir. Bu durumda iki yol izlenildi: 1) en son değer ve 2) yeni değerin daha büyük oranda katkıda bulunduğu toplamsalı (süperpozisyon). İlk seçenek iyi sonuçlar vermeyeceğini önceden kestirebiliyorduk, tecrübeyle doğruluğu ispatlanmıştır. İkinci seçenekte ise  $\text{sonuç} = K_y * \text{yeni} + K_e * \text{eski}$  kazanç değerlerinin seçimi sorununı oluşturuyor. Bu amaçla uygulamalarda, %60-%40 gibi sert ve %55-%45 gibi yumuşak değerler kullanılmıştır.

Uygulayimlerimden elde edilen bulgu ise sadece astigmatik bozulmayla türbülansın karakterize edilebileceğidir. Yukarıda ayrıntılandırılan açıklık modeli yapay basit görüntüler üzerinde yapılan uygulamalarda başarılı olsa da, görüntü karmaşıktıkça başarıım düşmüş ve gerçek görüntülerde olumlu sonuçlar alınamamıştır. Fakat konumsal düzlemde burulma (türbülansın), yön ve miktarına bağlı olarak sıklık düzleminde ölçekleme-dönme olarak ortaya çıkacağını göstermiştir. Özellikle çalışılan görüntünün sıklık düzlemi yönbağımsız yani çembersel bekleniyorken, elips biçimli olarak ortaya çıkıyorsa bunun konumsal düzlemde görüntünün ölçekleme-dönme ikilisiyle bozulmasından kaynaklı olmasının beklenmesi gerektiğini göstermiştir. Sonraki bölümde ayrıntısı verilecek AOBPÇ algoritması bu temel ilke üzerinde kurulmuştur.

#### **2.2.2.2 AOBPÇ (Atmosferik Optik Bozulma Parametre Çıkarımcı) Algoritması**

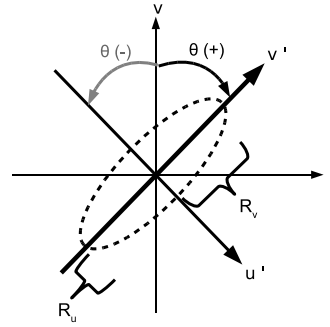
**Giriş** Burada amaç yerüstünden çekilen görüntüden atmosferin neden olduğu türbülans etkisini karakterize etmektir. Atmosferik bozucu astigmatik ağırlıklıdır[77]

ve görüntüde burulma (türbülans) olarak ortaya çıkmaktadır. Baba ve arkadaşları [78] makalelerinde, *defocus* farklılığı bilinen iki görüntüyü kullanarak özişler olarak astigmatizma parametrelerini belirleyip, onarmışlardır. Önerilen yöntemde ise hem tek kare üzerinden çalışılmakta hem de ek bir ortamla ilgili ön bilgi (örneğin defokus farklılığı) gerektirmemektedir. Ayrıca o makalede izlenen nesneye ilişkin bir model de gerekirken AOBPÇ algoritmasında böyle bir gereksinim yoktur. Suganuma [79] çalışmasında odaklanmış elektron hüzmesinin üç boyutlu yapısının kuramsal çözümlemesi temelinde astigmatizmanın özişler onarımı üzerine bir yöntem önermiştir Burada önerilen yöntem AOBPÇ algoritmasından, optik hüzme incelemesi temelli olmasından temelde farklılık gösterir. Bu inceleme ya da çözümleme de oldukça karmaşık bir yapıdadır ve donanımsal olarak gerçekleştirilmiştir ve incelenen numunenin yapısına bağlılık gösterir ve işlem süresi numune yapısına bağlı olarak 15 – 20 *saniye* gibi çok uzun bir süre alır.

Granüllerin yatay ve dikey yönde boyut dağılımı homojenlik göstermektedir ([1, 2] ve Şekil 2.29). Türbülans bu homojenliği bozmaktadır (Şekil 3.15). Bölüm 2.1.4.3’de verilen ÖGYÇ algoritmasıyla önişlenmiş görüntüdeki yolcukların burulma biçimiyle görsel paralellik göstermesi, nesnel değerlendiriciyi granül yolcukları üzerinden geliştirilmesinin nedenini oluşturmaktadır. Defocus farkı bilinen iki görüntüden sıklık düzlemi temelinde astigmatizma parametrelerinin çıkarıldığı [78] makalesinden esinlenilerek, tek görüntü üzerinden granül yolcuklarının sıklık düzlemi incelemesi temelinde burulma parametre çıkarımcısı (AOBPÇ: Atmosferik Optik Bozulma Parametre Çıkarımcı) geliştirilmiştir. Lotz’a göre “türbülans doğrusal olmayan bir süreçtir ve doğrusal olmayan uygulamayı gerektirir”[80]. Geliştirilen AOBPÇ algoritması doğrusal olmayan bir süreç olmasıyla Lotz’un vurguladığı gereksinimi sağlamaktadır.

**Algoritma Ayrıntıları** Türbülans optik haritasının çıkarımı için geliştirilen algoritmanın öbek çizgesi Şekil 2.28’de verilmiştir. Algoritmada gösterilmemiş olsa da atmosferin saydamlık dağılım farklılığından kaynaklı olumsuz etkiyi gidermek için Bölüm 2.2.3’de ayrıntılandırılacak *ASD-G* (Atmosfer Saydamlık Dağılımı - Giderici) algoritması yardımıyla önişlenerek onarım yapılabilir. Granülasyon görüntülerde tür-

bölans etkisi görsel olarak farkedilebilmesine karşın ne konumsal düzleminde ne de sıklık düzleminde çalışan yöntemlerle bunun karakterize edilmesi olanaklı olamamıştır (Şekil 3.11). ÖGYÇ algoritmasıyla elde edilen granül yolcuklarının (*gy\_img*) burulma biçimini vurgulu bir şekilde ortaya çıkarması (Şekil 2.13.c,f,i) türbölans karakterize etmeyi kolaylaştırmıştır. Granül yolcuklarındaki burulmayı, türbölans parametresi olarak sayısal değere dönüştürmek için konumsal düzlemde çalışarak gradyan hesabı yapabildik, işlem sonucunda elde edilen ortalama gradyan yönelim açısı ve genliği türbölansla ilgili bilgiyi sağlayacaktı. Ya da sıklık düzlemine geçilebilir, sıklık düzlemindeki dağılımın homojenlikten farkanmasına bakılarak türbölans parametreleri belirlenebilirdi. Görüntüler gürültülü olduklarından ve gradyan hesaplamalarının gürültüye fazla duyarlılık göstermesi [33, 34, 81, 82] sıklık düzleminin seçilmesine neden olmuştur. Granül görüntüsünün sıklık düzleminin, logaritmik sıklık düzlemi çiziminden zemin gürültüsünü çıkarttıktan sonra pürüzsüzleştirip, eşik uygulandığında elde edilen ikil (binary) görüntüde görüntünün çekimi sırasındaki türbölansla ilintili elips biçimli bir dağılım elde edilmiştir. Elips parametre bulucu yardımıyla türbölans (ya da daha doğru ifadeyle astigmatik bozucu) parametreleri üretilmiştir.



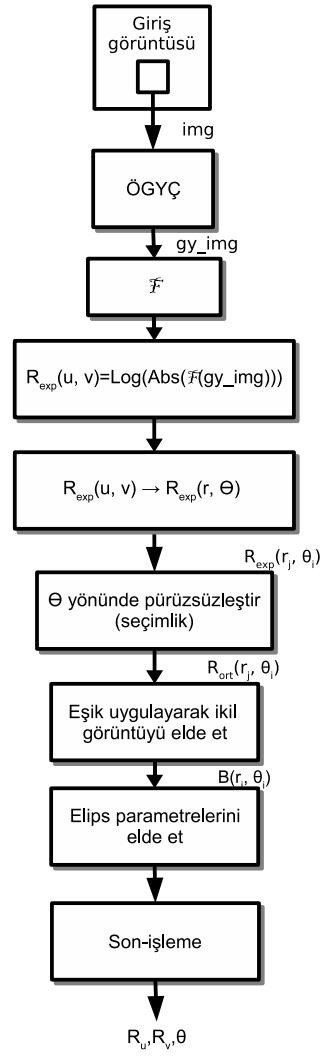
Şekil 2.27: Elips gösterilimi

Uydurulan elips yarıçap oranından elde edilen astigmatizma derecesi,

$$astigmatizma\_derecesi = k_1 \times \frac{R_v}{R_u} \quad (2.37)$$

burada  $k_1$  bir değişmez,  $R_u$  ve  $R_v$  elips yarıçaplarıdır. Elips yönelim açısından ( $\theta$ ) astigmatizma yönelimi,





Şekil 2.28: AOBPÇ (Atmosferik Optik Bozulma Parametre Çıkarımcı) Algoritması

$$astigmatizma\_yonelimi = k_2 \times \theta \quad (2.38)$$

elde edilir. Buradaki  $k_2$  bir değişmezdir. Kullanılan elips isimlendirmesi (ya da gösterilimi) Şekil 2.27’de verilmiştir.

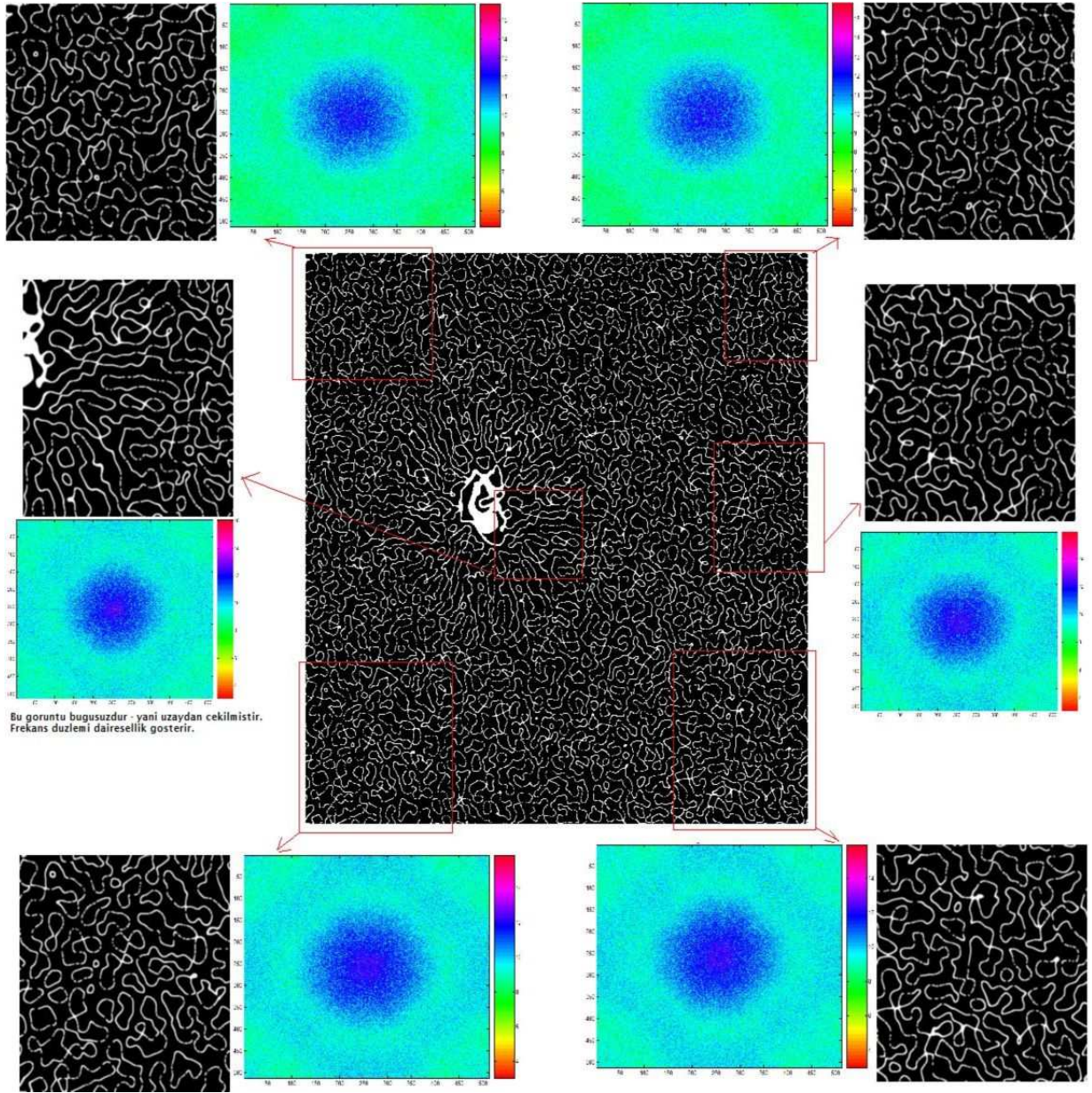
**Buğusuz Görüntülerde Granül Yolcuklarının Dağılımındaki Homojenliğin Araştırılması** AOBPÇ algoritmasına temel olan güneş yüzeyine ilişkin granüller yatay ve dikey yönde homojen dağılımlıdır bilgisini doğrulamak üzere buğusuz uzaydan çekilme görüntülerin farklı alanlarına ilişkin yolcukların sıklık düzlemleri incelenmiştir. Homojen dağılımlı yolcukların sıklık düzleminde dairesel dağılım gös-

termesi beklenir. Örnek olarak 08Aug2003\_4364.1391-1393.jpg deneme görüntüsü kullanılmıştır. Şekil 2.29'deki görüntünün farklı bölgelerinde elde edilen yolcuk sıklık düzlemleri verilmiştir. Görüldüğü üzere farklı bölgelerde yolcuk sıklık düzlemleri dairesellik göstermektedir. Uzaydan çekilen diğer görüntüler (örneğin 02641.tiff, AR425\_09Aug2003\_4364.296-298.strt.jpg, gband\_02Jun2003\_AR373.2539.MFBD.jpg ve SunGranul-DOT02my2003.jpg) üzerinde işlem tekrarlandığında benzer sonuçlar gözlenmiştir. Yer üstünden çekilen az buğulu (türbülansın az etkili olduğu) görüntülerde de paralel sonuçlar alınmıştır (Şekil 3.14).

**Yolcukların Sıklık Düzleminin Elde Edilmesi** Buğulu görüntülere ilişkin yolcuklarda homojen olmayan bir dağılım görsel olarak değerlendirilebilmekte, sıklık düzleminde ise dairesel olmayan daha çok elips biçimli bir yapı göstermektedir. Elipsin yarıçaplar oranı, türbülans şiddetiyle elipsin dönme açısı ise türbülansın yönelimiyle ilinti olduğu görsel olarak değerlendirildikten sonra, sıklık düzlemindeki dağılımdan türbülans şiddetini çıkartacak işlemlere gereksinim duyulmuştur. Öncelikle sıklık düzlemine geçilmesi gerekmiştir. Görüntü ayırık olduğundan Ayırık Fourier dönüşümü ([35], Eşitlik 106) kullanıldı,

$$\begin{aligned} F(u, v) &= \mathcal{F}\{f(x, y)\} \\ &= \frac{1}{\sqrt{W \cdot H}} \sum_{y=0}^{H-1} \sum_{x=0}^{W-1} f(x, y) \cdot e^{-j \cdot 2\pi \left(u \frac{x}{W} + v \frac{y}{H}\right)} \end{aligned} \quad (2.39)$$

burada  $\{H, W\}$  görüntünün sırasıyla yüksekliği ve genişliğidir,  $\{x, y\}$  görüntü üzerindeki koordinatlar iken  $\{u, v\}$  sıklık bileşenleridir. Girdi görüntüsü gerçel-tamsayı olmasına karşın, çıktı sıklık düzlemi karmaşık yapıdadır. Fourier dönüşümü  $N = H = W$  olmak üzere,  $N^2$  çarpma ve toplama içermesinden gerektirmesinden ötürü boyutun karesiyle orantılı karmaşıklık derecesi söz konusudur. Bunun anlamı ise eğer  $1024 \times 1024$  boyutlarında bir görüntünün sıklık tayfı hesaplanması durumunda  $1024^2 \approx 10^6$  işlem yapılması anlamına gelir. Fourier dönüşümünün karmaşıklığını gidermek ve böylelikle hesap yükünü hafifletmek için çeşitli algoritmalar geliştirilmiştir[83, 84]. Bu algoritmalar *Hızlı Fourier Dönüşümü (FFT, Fast Fourier Transform)* olarak adlandırılır[85]. FFT'de karmaşıklık derecesi ise kabaca boyutla orantılıdır. Bu



Şekil 2.29: 08Aug2003\_4364.1391-1393.jpg buğusuz deneme görüntüsünün farklı alanlarında granül yolcuklarının sıklık tayfı

algoritmalar, hızlı hesaplamayı başarmak için boyut değerinin ikinin kuvveti olmasını gerektirir yani  $N = 2^n$ , burada  $n$  tamsayıdır. Görüntü boyutunun bu koşulu sağlamaması durumunda, boyut koşulunu sağlayacak şekilde sıfırla doldurma (*zero padding*) yapılması gerekir. Bu işlemle ilgili ayrıntı almak için Gonzalez'in kitabındaki [38] ilgili bölüme (Bölüm 4.6.3) bakılabilir.

Sıklık dönüşüm görüntüsünde merkezde yer alan değer en düşük sıklığı dışarıya doğru gidildikçe artan sıklıklar temsil edilmektedir. Ham ve granül yolcuk görüntüleri alçak sıklık bölgesinde büyük ve yüksek sıklık bölgesinde de aşırı küçük genlik değerli olduğundan, gösterge biriminde bu değişimlerin tamamını görebilmek olanaklı olmamaktadır. Bu amaçla fourier çözümlenmesinin gösterilimlerinde sıklıkla logaritmik zıtlık yaymaya başvurulur. Böylelikle granül yolcuklarının sıklık düzlemi genliğinin logaritması alındı,

$$R_{exp}(u, v) = K \times \text{Log}(1 + |\mathcal{F}(gy\_img)|) \quad (2.40)$$

burada  $K$ , görüntüleme biriminin üst erimi aşılmayacak biçimde seçilen değişmezdir ve  $|\cdot|$  karmaşık sıklık düzleminin genlik bileşenidir. Logaritma alımında sıfırın logaritmasının tanımsız olmasından ve böylesi durumların olabilmek ihtimalinin yüksek olmasından ötürü genliğe bir eklenmiştir.

**Fourier Dönüşümünün Ölçekleme ve Dönme Özellikleri** Granülasyon oluşumları normal olarak homojen dağılımlı olduğundan sıklık düzlemi çember biçimlidir. Granülasyon dağılımının homojenliği bozuldukça sıklık düzlemi elips biçimini almaya başlar. Sıklık düzleminde oluşan ölçekleme ve dönme olayları konumsal düzlemdeki yine ölçekleme ve dönmeyle açıklanır. Fourier dönüşümünün özelliklerinden ölçekleme ve dönme ayrıntıları aşağıda verilmiştir.

$f(x, y)$  görüntüsünün fourier dönüşümü  $F(u, v)$  olsun (Eşitlik 2.39). Eğer görüntünün eksenleri konumsal olarak  $\{a, b\}$  ile ölçeklenirse, sıklık düzlemi  $\{1/a, 1/b\}$  ile ölçeklenir,

$$f(ax, by) \Rightarrow \mathcal{F} \Rightarrow \frac{1}{|ab|} F\left(\frac{u}{a}, \frac{v}{b}\right) \quad (2.41)$$

bu fourier dönüşümü *ölçekleme (scaling) özelliği* olarak adlandırılır[35].

Eğer görüntünün eksenleri  $\theta$  kadar dönerse,

$$\begin{aligned} \{x, y\} &\Rightarrow \{x', y'\} \\ x' &= x \cdot \cos\theta + y \cdot \sin\theta \\ y' &= -x \cdot \sin\theta + y \cdot \cos\theta \end{aligned} \quad (2.42)$$

sıklık düzlemi de aynı oranda döner,

$$\begin{aligned} \{u, v\} &\Rightarrow \{u', v'\} \\ u' &= u \cdot \cos\theta + v \cdot \sin\theta \\ v' &= -u \cdot \sin\theta + v \cdot \cos\theta \end{aligned} \quad (2.43)$$

böylelikle,

$$f(x', y') \Rightarrow F(u', v') \quad (2.44)$$

biçimini alır ki, bu, fourier dönüşümü *dönme (rotation) özelliği* olarak adlanır[35].

Fourier dönüşümünün diğer özellikleriyle ilgili ayrıntı edinmek için Castleman'ın kitabında [35] sayfa 193-201'e ve Gonzalez'in kitabındaki [38] sayfa 210'daki özet tabloya bakılabilir.

**Açısal Yönde Pürüzsüzleştirme** Görüntüdeki gürültüden kaynaklı olabilecek oluşumları gidermek için süzgeçleme seçeneği eklenmiştir. Sonuçta çıkarımı yapılacak olan elips parametresi olmasından ötürü, süzgecin polar düzlemde ve açısal yönde olmasının daha uygun olacağı düşünülmektedir. Algoritmanın geliştirilmesine esin kaynağı olan [78]'da algoritmalarına eklemeleri bu seçeneği eklenmesinin nedenini oluşturur. Polar düzlemde süzgeçlemeyi olanaklı kılabilmek için kartezyenden polar düzleme geçilmiş,

$$R_{exp}(u, v) \rightarrow R_{exp}(r, \theta) \quad (2.45)$$

daha sonra seçimlik olarak açısıl yönde süzgeçleme gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla kullanıcıdan alınan süzgeç boyutu- $m$  yardımıyla süzgeçleme gerçekleştirilmiştir,

$$R_{ave}(r, \theta_i) = \frac{1}{M} \sum_{k=i-m}^{i+m} R_{exp}(r, \theta_k) \quad (2.46)$$

burada  $M = 2 \times m$  olmak üzere süzgeç komşuluk boyutudur. Böylelikle  $i$ . elemanın  $\theta_{i-m} < \theta_i < \theta_{i+m}$ 'den oluşan komşuluğunda ortalama hesaplanır ve  $i$ . elemanın değeri güncellenir.  $|\theta_{\pm m}|$  genişliği, örneğin  $9^\circ$  seçilebilir. Pürüzsüzleştirici için seçenек bir yaklaşım Ortanca süzgeci (Median Filter) kullanmak olabilir,

$$R_{ort}(r_j, \theta_i) = ORTANCA \left( \bigcap_{komsuluk \in [i-m, i+m]} R_{exp}(r_j, \theta_i) \right) \quad (2.47)$$

**İkil Görüntünün Elde Edilmesi** Pürüzsüzleştirilmiş sıklık düzlemi görüntüsüne elips uydurmak için gereken son adım ikil (binary) biçime dönüştürmek için,

$$B(r_j, \theta_i) = \begin{cases} 1, & R_{ave}(r_j, \theta_i) > Eşik \\ 0, & \text{diğer} \end{cases} \quad (2.48)$$

eşitliği kullanılır. Böylelikle  $Eşik$  değerinden büyük olanlar 1 ile imlenirken, küçük olanlar 0 ile imlenir. Eşik değeri yüzdesel olarak belirtilir. Örneğin uygulamaların sırasında  $Eşik = \%50$  seçildi. Yani en büyük genliğin  $\%50$ 'sine indiği noktadan ötesi zemini oluşturur. Bu değer sezgisel yolla seçilmiştir. OTSU global eşik bulucu[86] gibi otomatize eşik bulucular kullanılabilir.

**Elips Parametre Çıkarımcı** Eldeki dağınık veriden (scattered data) elips parametrelerini elde etmek için Fitzgibbon ve arkadaşlarının önerdiği doğrudan en küçük kareler elips uydurma yöntemi [87] kullanılmıştır. Bu makalede önerilen yönteme ilişkin işlevin tanımı aşağıdaki biçimdedir,

```
function a = fitellipse(X,Y);
```

buradaki  $X$  ve  $Y$  önplan noktalarının yani  $B(r_j, \theta_i)$  ikil görüntüdeki 1-düzeyli noktaların koordinatlarıdır. Dönüş değişkeni  $a$  ise,

```
a = [Cu, Cv, Ru, Rv, theta_radians];
```

biçimindedir.  $[C_u, C_v]$  elips merkezi,  $[R_u, R_v]$  elips yarıçapları ve  $theta\_radians$  ise elips yönelim açısıdır (radyan olarak). Verilerde özel olarak merkez sıfırda olduğundan  $[C_u, C_v]$  fazlalık bilgidir.

Bu işlevde farkedilen bir eksikliği ya da yanlışlığı gidermek için koda eklenen satırlar Çizelge 2.3 verilmiştir. Böylelikle elips için tek bir gösterim biçimi sağlanmıştır. Elipsin daha uzun yarıçaplı olanı  $v$  eksenini olarak ayarlanmıştır. Buna göre de açı güncellendi.

Çizelge 2.3: Elips uydurma eklentisi

```
001 ...
173 ...
174 if Ru > Rv,
175     thetarad = thetarad + deg2rad(90);
176     tmp = Ru;
177     Ru = Rv;
178     Rv = tmp;
179     a = [uCentre, vCentre, Ru, Rv, ...
180         thetarad];
181 end;
```

**Son İşleme** Elips uydurma işlemi gürültüye duyarlı bir süreçtir. Bu algoritmanın girdisi olan granül yolcuk görüntüsü sıklık tayfı ise yoğun bir zemin gürültüsü vardır. Ayrıca ne kadar da olsa buğusuz olarak nitelendirilen (yani referans) karede türbülans etkisi sıfır değildir. Böylelikle çemberden daha çok elips biçimi ve dolayısıyla yarıçap oranının 1.0'den büyük ve açı değerinin de sıfırdan farklı olması doğal bir durumdur. Burada buğusuz kare için elde edilen elips yarıçapları farkının belirlenen eşik değerinden küçük olmasına göre AOBPÇ algoritmasının elips olarak değil de

çember olarak sonuç üretmesi için bir çıkış (son işleme) katı eklenmiştir. Böylelikle algoritma çıkışına ilişkin ifade,

$$\text{algoritma\_çıkışı} = \begin{cases} \text{cember}, & \frac{|R_x - R_y|}{R_x + R_y} < ESIK \\ \text{elips}, & \text{diğer} \end{cases} \quad (2.49)$$

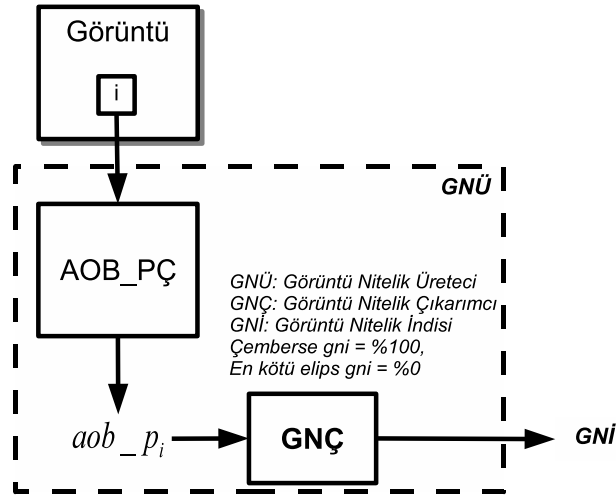
Eşik değeri olarak uygulamalarda %15 değeri seçildi.

### 2.2.2.3 AOBtGNÜ (AOB temelinde Görüntü Nitelik Üreteci) ve AOBtBKS (AOB temelinde Başvuru Kare Seçici) Algoritması

**Giriş** Bölüm 1.1.2’de ayrıntıları verildiği üzere granülasyon oluşumlarının saniye ölçeğinde hemen hemen değişmemektedir ve hatta  $24 \text{ kare/sn}$  ile çekilen ardışık  $2 - 3 \text{ kare}$ ’de granülasyon oluşumlarının değişmeden kaldığı varsayılabilir. Atmosferin en temiz anlarında çekilmiş olan görüntüler hâla türbülansın etkisi altındadır. Türbülans hızlı değişkenlik göstermektedir, aynı granülasyon oluşumuna ilişkin ardışık  $2 - 3$  çekimde türbülans etkisi aynı olmamaktadır. Granülasyon oluşumlarını incelerken bu ardışıklıktan türbülansın en az etkili olduğu karenin belirlenmesi yaşamsal önemi vardır. Görüntülerin temin edildiği gözlemevindeki uzmanlar seçme işlemini ya görsel olarak ya da herhangi bir satıra ilişkin belginin sıklık düzlemindeki çiziminden bant doluluğuna bakarak karar vermektedirler. Bu genel bir yaklaşımdır da bakınız [2] sayfa 28. Her iki yöntemin doğal sıkıntıları vardır. Görsel olan kişisellik gösterir ve işlerin otomatize edilmesini engeller. Tek bir satırın belgisi ya da *işlenmemiş* görüntünün sıklık tayfı, daha önce Bölüm 2.2.2.2’de verildiği üzere, türbülans bilgisini yeterince ortaya çıkartamamakta ve bazen yanılgılara da neden olmaktadır.

**AOBtGNÜ ve AOBtBKS Algoritması** Öncelikle granül yolcukları üzerinde işlem yapan AOBPÇ algoritması temelinde bir Görüntü Nitelik Üreteci (GNÜ) algoritması geliştirilmiştir. Buna ilişkin öbek çizge gösterilimi Şekil 2.30’da verilmiştir. Görüntü kullanıcının belirlediği alt alanları bölünmektedir. Örneğin 8 eşit parçaya bölünmektedir. Seçimlik olarak bu alanlar örtüşen seçilebilir. AOBPÇ yardımıyla gö-





Şekil 2.30: AOBPÇ temelinde Görüntü Nitelik (indisi) Üreteci (GNÜ) algoritması öbek çizge gösterilimi

rüntünün alt alanlarından atmosfer optik bozulmaları ( $aob_{p_i}$ ) çıkarılmıştır. Görüntü Nitelik Çıkarıcı (GNÇ) yardımıyla bu parametrelerin yorumlanmasıyla Görüntü Nitelik İndisi (GNİ) üretilmektedir.  $ni$  değeri, yarıçaplar oranından (RI) ve dönme açısından (TI) hesaplanan ara indis değerleri üzerinden hesaplanmaktadır,

$$\begin{aligned}
 ni_i &= \frac{RI+TI}{2} \cdot 100\% \\
 RI &= 1.0 - \frac{|R_{u_i} - R_{v_i}|}{(R_{u_i} + R_{v_i})} \\
 TI &= 1.0 - \frac{|\theta_i - 45^\circ|}{45^\circ}
 \end{aligned} \tag{2.50}$$

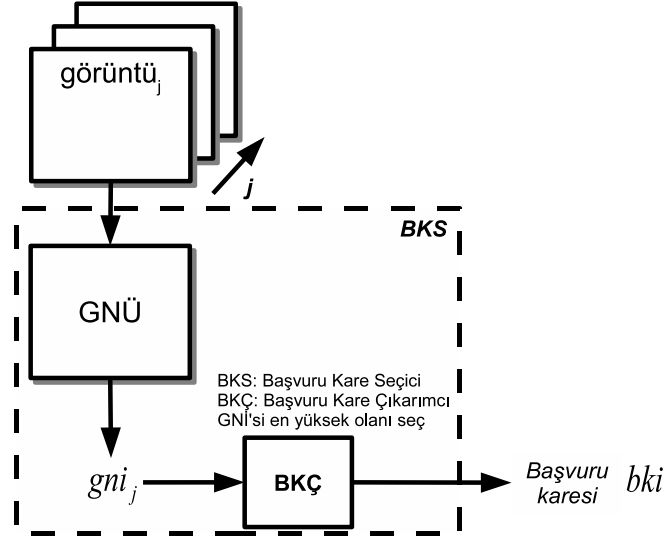
burada  $R_{u_i}$  ve  $R_{v_i}$   $i$ . görüntü alt alanından elde edilen atmosfer optik bozulmasının elips yarıçapları,  $\theta_i$  elips dönme açısıdır (derece olarak). Elipsin daire şeklini alması durumunda  $RI = 1.0$  (yani en yüksek nitelik durumu) ve benzer biçimde Açının  $\theta_i = 45^\circ$  olması, görüntüdeki yolcukların homojen dağılımlı olduğunu göstereceğinden,  $TI = 1.0$  olacak (yani en yüksek nitelik durumu).

Görüntünün bütünsel olarak  $gni$  değeri ise türbülansın doğrusal olmama ve istatistiki doğası da dikkate alınarak, Ortanca Filtre (OF) temelinde gerçekleştirilmiştir,

$$gni = ORTANCA[ni_i] \tag{2.51}$$

burada  $ni_i$ , Eşitlik 2.50 yardımıyla hesaplanan  $i$ . görüntü alt bölümünün  $ni$  de-

ğeridir. *ORTANCA* ise girdi verilerinin büyükten küçüğe sıraya sokulup, ortadaki değerin çıkış (*gni*) olarak atanmasını sağlar. Ortanca değeri almayla ilgili ayrıntılı bilgi Bölüm 2.2.3’de bulunabilir. GNÜ temelinde oluşturulan başvuruya kare seçiciye ilişkin öbek çizge gösterilimi Şekil 2.31’de verilmiştir.



Şekil 2.31: AOBtBKS algoritması öbek çizge gösterilimi

Bu algoritmada ardı ardına hızla çekilmiş  $N$  sayıda (örneğin 3 adet) granül görüntüsünün her biri için GNÜ algoritması yardımıyla görüntü nitelik indisi ( $gni_j$ ) hesaplanır.

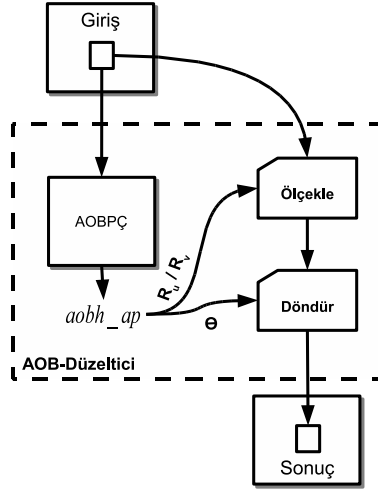
Hesaplanan  $gni_j$  değerleri Başvuru Kare Çıkarımcı (BKÇ) yardımıyla yorumlanıp, serideki hangi görüntünün başvuru karesi olabileceğine karar verir. BKÇ ise basit olarak en büyüğün alınmasıdır,

$$bki = MAXS(gni_j) \quad (2.52)$$

burada  $gni_j$ , Eşitlik 2.51 yardımıyla hesaplanan  $j$ . görüntüye ilişkin  $gni$  değeridir. Görüntü ardışıklığına ilişkin  $gni$  değerlerinden en büyük değerli olan başvuru kare indisi ( $bki$ ).

#### 2.2.2.4 AOBPÇ Temelinde Düşünülen Diğer Algoritmalar

**AOB-Düzeltilici Algoritması** AOB\_PÇ'nin ürettiği elips parametrelerine uygun olarak Ölçekleme ve Döndürme işlemi yapılması düşünülmektedir. Uygulamada sıklık düzleminde elipsi daireye dönüştürme yapılabilir.

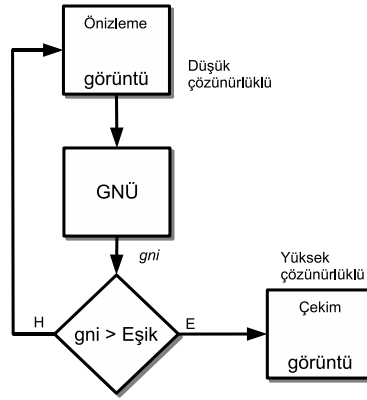


Şekil 2.32: AOB-Düzeltilici algoritması öbek çizge gösterilimi

#### AOBtEUCAB (AOB temelinde En Uygun Çekim Anının Belirlenmesi)

**Algoritması** Şekil 2.28 ile atmosferde meydana gelen optik bozulmalar (astigmatizma) karakterize edilebildi. Bu algoritmanın çıktılarını kullanan AOB-Düzeltilici (Şekil 2.32) yardımıyla optik bozulmaları onarma üzerine çalışılmış olsa da başarımının yüksek olduğu söylenemez. Onarım işlemi başka sorunları beraberinde getirmiştir. Atmosferin değişkenlik göstermesi, sürekli aynı oranda türbülansın etkili olmadığı anlamına gelmektedir. Zaman zaman atmosfer kısa süreliğine de olsa durgunlaşmakta ardından tekrar devinmektedir. Görüntülerin temin edildiği gözlemindeki gözlemciler, türbülans istatistikleri temelinde atmosferin temiz olduğu günün en temiz olacağı umulan saatinde sürekli olarak seri çekimler almaktadır. Daha sonra bunlar içerisinde başvuru karelerini seçmektedirler. Bu işlemin özişler olarak yapılmasını sağlaması açısından AOBtBKS algoritması (Şekil 2.31) geliştirilmiş ve olumlu sonuçlar alınmıştır. Çekim anında görüntünün yeterince niteliğinin yüksek olmamasına bakarak çekilmesinin uygun olup-olmadığına karar veren bir algoritma

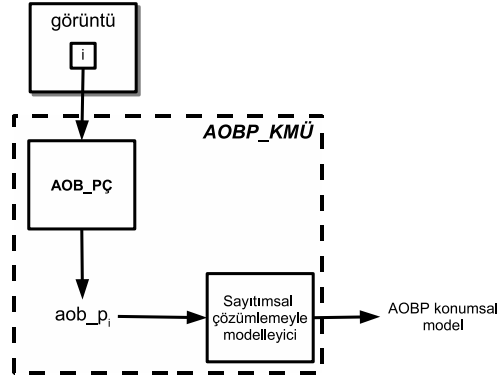
gereksiz çekimlerin önüne geçebileceği gibi türbülans istatistiklerinin yanılmasından kaynaklı çekim zamanlama yanlışlarını da bir ölçüye kadar giderebilecektir. Bu amaçla AOBtGNÜ (Şekil 2.30) temelinde AOBtEUCAB (AOB temelinde En Uygun Çekim Anının Belirlenmesi) düşünsel algoritma geliştirilmiştir. Bu düşünceye ilişkin öbek çizge gösterilimi Şekil 2.33’da verilmiştir. Böylelikle granülasyon oluşumları sürekli olarak düşük çözünürlükte gözlemlenmekte, gözlemlenen görüntünün türbülansın etkinliği açısından niteliğine bakılmakta (*gni*), niteliği uzmanca belirlenen bir eşik değerini (örneğin  $Eşik=75\%$ ) geçtiğinde yüksek çözünürlüklü kameraya bir im gönderilerek çekimin yapılması sağlanabilmektedir.



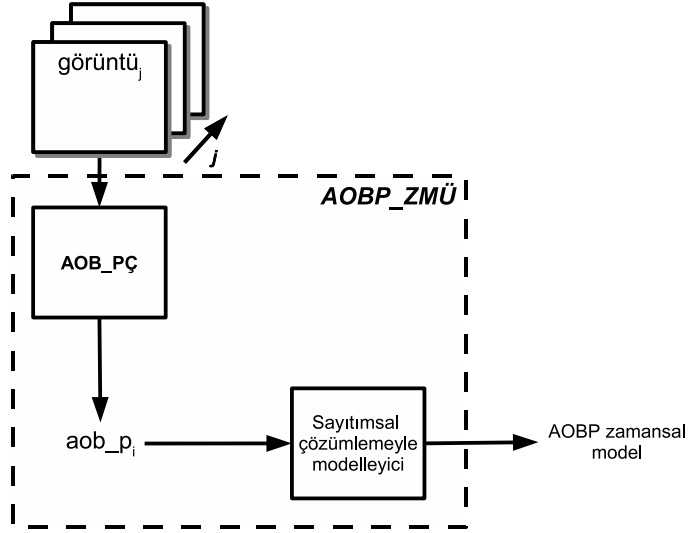
Şekil 2.33: AOBtEUCAB (AOB temelinde En Uygun Çekim Anının Belirlenmesi) algoritması öbek çizge gösterilimi

**AOBtSKOPT (AOB temelinde Sonraki Karenin Optik Parametrelerinin Tahmini) Düşüncesi** AOB-Düzeltici (Şekil 2.32) düşüncesi görüntünün alınmasının ardından onarımın işleminin düşük başarılı olduğunu göstermiştir. Görüntü alınmadan önce AOs dizgelerinde olduğu gibi NGS ya da LGS yardımıyla o anki atmosferin optik bozucusunun parametreleri öğrenilebilse, uygun erimli yamulgan aynalar yardımıyla gerçekleştirilecek onarım çok daha başarılı olacaktır. NGS ya da LGS gibi bir olanak olmadığından eldeki görüntüler serisinden sonraki çekim öncesinde, çekim anına ilişkin atmosferin optik bozulmasının öngörülebileceği düşünülmektedir. Çekilmiş görüntülere ilişkin atmosferik optik bozulma dereceleri AOBPÇ (Şekil 2.28) yardımıyla hesaplanabilir, geçmiş veriler kümesinden gelecek veriyi öngörme yöntemleri (Kalman gibi) yardımıyla çekilecek görüntünün çekim anındaki





Şekil 2.35: AOBP\_KMÜ (AOBP Konumsal Model Üreteci) algoritması öbek çizge gösterilimi



Şekil 2.36: AOBP\_ZMU (AOBP Zamansal Model Üreteci) algoritması öbek çizge gösterilimi

### 2.2.3 ASD'nin (Atmosferin Saydamlık Dağılımının) Elde Edilmesi, Onarılması ve Modellenmesi

Atmosferin şeffaflığını çözümlemede karşılaşılan karmaşıklığın iki nedeni vardır. Bunlardan ilki aktarım işlevinin karmaşıklık doğası, özel durumlar dışında çözümlenemez olması ve ikincisi hesaplamanın yapıldığı anda atmosferin genelde tam olarak bilinemeyen öğelerinin varlığıdır[88]. Böylelikle matematiksel modelleme olanaksızlık derecesinde zordur. Bir ya da iki parametrelili deneysel gözlemler temelinde yöntemler ve çok parametrelili analitik (çözümsele) yöntemler vardır[88].

#### 2.2.3.1 Öncül Çalışmalar: Fark Görüntüleri Yaklaşımı

Bölüm 1.1.2'de ardışık gelen 2-3 çekimde granülasyonun değişmez kabul edilebileceği gösterilmişti. Ancak ardışık gelen görüntülere bakıldığında (örneğin 55310018, 55310019 ve 55310020) görülmekteki türbülans ve atmosferin neden olduğu buğulanma kimisinde az kimisinde de çok etkilidir. Atmosferin neden olduğu görüntü bozuculuğunun toplamsal bileşenini elde etmek ve etkisini gidermek için Şekil 2.37'de verilen yöntem geliştirilmiştir. Şekil 2.37.a'da atmosferik etkinin düşük olduğu, granülasyon oluşumlarının belirginliğinin yüksek olduğu *buğusuz* olarak adlandırılan görüntü (55310018) verilmiştir. Şekil 2.37.b-c de ise *buğulu* olarak adlandırılan ardışık iki görüntü (55310019 ve 55310020) verilmiştir. Atmosferik etki Eşitlik 2.53'de verilmiştir,

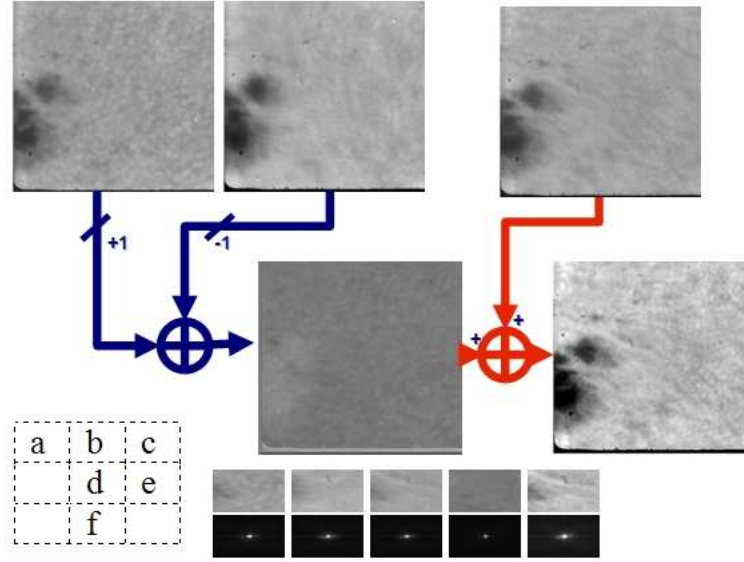
$$\text{buğulu} = \text{buğusuz} + \text{atmosferin\_bozucu\_etkisi} \quad (2.53)$$

Böylelikle basit bir şekilde buğulu görüntüden buğusuz görüntünün çıkarılmasıyla atmosferin (toplamsal) bozucu etkisi (AtBE) elde edilecektir,

$$\text{atmosferin\_bozucu\_etkisi} = \text{buğulu} - \text{buğusuz} \quad (2.54)$$

Şekil 2.37.d'de negatif AtBE verilmiştir. Bu negatif görüntü sonraki buğulu görüntüye eklenerek buğusuz uyarlaması elde edilmiştir (Şekil 2.37.e). Şekil 2.37.f'de

görüntülerin küçük leke civarında bir alanın büyütülmüşü ve bu alanına ilişkin sıklık düzlemi genlik gösterilimi verilmiştir. Sonuç görüntüsünden ve sıklık düzlemi karşılaştırmasından görüleceği üzere buğulu görüntüden göreceli olarak daha az buğulu görüntü elde edilebilmiştir. Bu yapılabildiğine göre Eşitlik 2.53 ile elde edilen görüntünün, atmosferin bozuculuğunu tanımlayan bir karakterde olduğu söylenebilir.



Şekil 2.37: Atmosferin toplamsal karakterli bozuculuğunun elde edilmesi ve giderilmesinde fark alma yöntemi

### 2.2.3.2 Öncül Çalışmalar: Histogram yöntemleri

Çekim sırasında parlaklık dağılımındaki bozukluklardan kaynaklı bozulmaları onarmak ya da tek biçimli histogram üretmek için histogram eşlemeye (histogram matching) sıklıkla başvurulur. Görüntünün histogramını üretmek için ise *imhist* işlevi kullanılır,

$$hist_i = imhist(img_i) \quad (2.55)$$

burada  $img_i$   $i$ . giriş görüntüsü için hesaplanan histogram değeri  $hist_i$ 'dir. Uygulayıcılar sırasında görüntü ardışıklığından belli sayıda görüntünün histogram ortalamaları alındı,

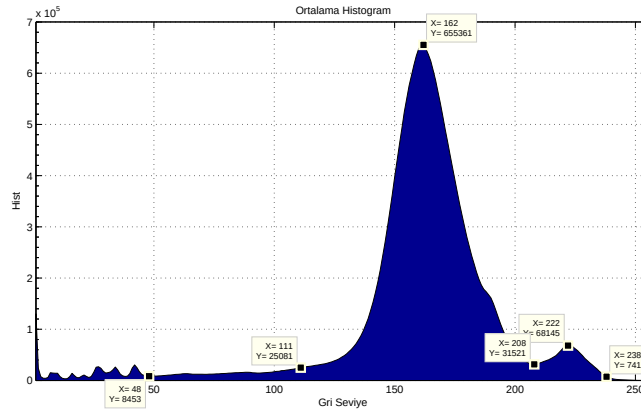


$$hist_{ort} = ORTALAMA(hist_i) \quad (2.56)$$

buradan hesaplanan ortalama histogram değeri -  $hist_{ort}$ , bu ardışıklık içerisindeki görüntülerin histogramlarını eşitlemede kullanıldı,

$$e\_img_i = histeq(img_i, hist_{ort}) \quad (2.57)$$

burada  $i$ . görüntünün ( $img_i$ ) histogram eşitleme sonucu  $e\_img_i$  olarak üretilmektedir.



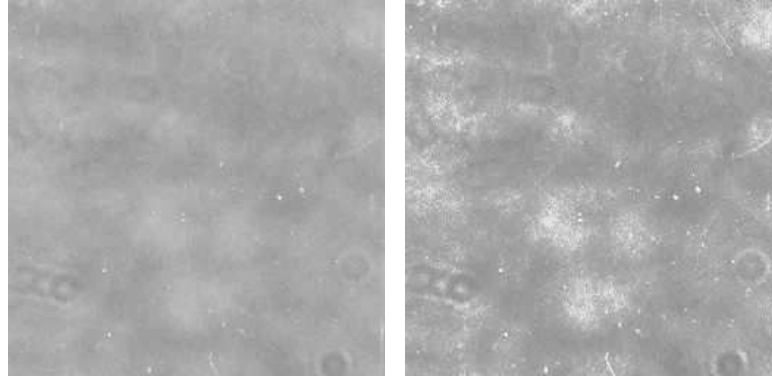
Şekil 2.38: 55310001-25 görüntülerinden 21 üzerinden hesaplanan ortalama histogram

55310001-25 aralığındaki görüntülerin histogram ortalamaları hesaplandığında elde edilen histogram Şekil 2.38’de verilmiştir.

Bu histogram üzerinden 55310019 görüntüsüne histogram eşleme uygulandığında elde edilen sonuçlar Şekil 2.39’de verilmiştir. Uygulamalar sonucunda, özellikle granülün parlak bölgelerinde iyileşmenin olduğu görülmüştür. Bütünsel olarak bakıldığında ise elde edilen sonuçlar tatmin edici düzeyde değildir.

### 2.2.3.3 Test Ardışıklığındaki Gürültü Kaynakları

Yerüstünden çekilen görüntülerdeki gürültü yapılarının genel olarak Gauss ya da Poisson dağılımlı olduğu söylene[89] de, granülasyon ve leke oluşumlarını içeren



(a) Asıl deneme görüntüsünden küçük bir alan (256x256) (b) Ortalama histogram değerlerinden histogram eşleme sonucu

Şekil 2.39: 55310019 deneme görüntüsünün ortalama histogram değerlerinden elde edilen histogram eşleme sonucu

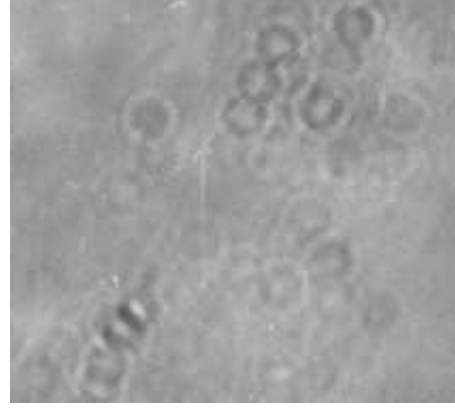
deneme görüntüleri arkaplan gürültüsü (Şekil 2.40.a), öncam leke gürültüsü (Şekil 2.40.b) ve birim vuruşsal gürültü yapıları (Şekil 2.40.c) ağırlıklıdır. Arkaplan gürültüsünden kırpma yoluyla kurtulmak olanaklıdır. Öncam leke yapılarının Bölüm 2.1.2.3’de ayrıntılandırıldığı üzere çeşitli kaynakları olabilmektedir. Onarım için gerekli bilgi çekimlerde mevcut olmadığından onarılamamıştır (ayrıntı için Bölüm 2.1.2.3’e bakınız).

Görüntü ardışıklığı içerisinde teleskop önü kapatılmış boş çekimler de vardır. Örneğin 55320030.bmp boş çekim deneme görüntüsü, bu görüntünün orta alanından küçük bir bölüm ( $213 \times 186$ ) zıtlığı büyütülerek Şekil 2.41’de verilmiştir. Bu görüntü Şekil 2.40’da verilen tüm gürültü yapılarını net olarak göstermektedir. Buradaki gürültünün tek bir nedeni yoktur. Bu görüntüde görülen gürültü, merceğiyle, aynasıyla teleskoptan ve film elemanı, çekimi, banyosuyla kameradan (görüntü yakalayıcıdan) kaynaklanmaktadır.

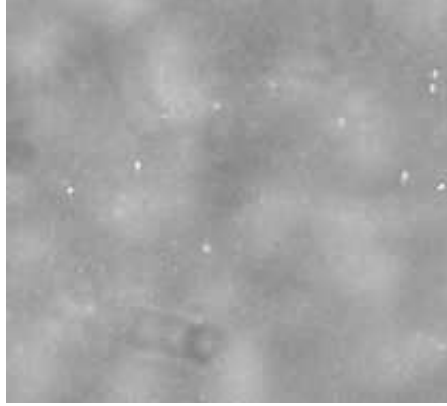
Şekil 2.41’deki görüntüde baskın olan birim vuruşsal gürültü yapısıdır. Birim vuruşsal gürültü yapıları ise yayınlarda farklı isimlendirmelerle anılmaktadır. Bunlardan en yaygın olanları: birim vuruşsal (impulsive, darbe biçimli), tuz&biber, benek (speckle). Yayınlarda ayrıca birim vuruşsal tarzdaki gürültü yapıları için çeşitli kaynakların varlığına im edilmektedir. Bunlardan bir kısmı,



(a) Arka plan gürültüleri

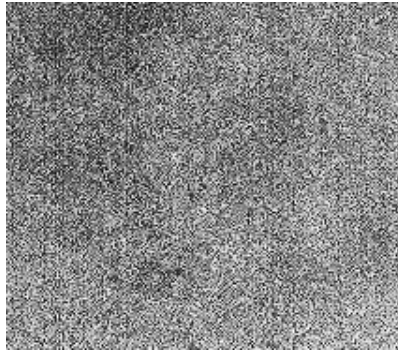


(b) Öncam lekeleri



(c) Birim vuruşsal gürültü kaynakları

Şekil 2.40: Yerüstünden çekilen granülasyon görüntülerindeki gürültü yapıları



Şekil 2.41: Görüntü serisindeki boş çekim deneme görüntüsü

- Manyetiksel olarak etkin olan bölgelerden kaynaklı olabilir [90, 1, 91, 92]. Livingston (1971) ve Harvey (1977) internetwork güneş yüzeyi manyetik yapısının tuz & biber biçimli olduğunu farketmişlerdir. *Flux Density* olarak adlandırılan güneş yüzeyindeki oluşum tuz & biber örüntüsü sergiler,
- Örneğin ADSL hattındaki birim vuruşsal gürültü kaynakları, ışık ya da diğer cihazların açılıp - kapanması, doğa olayları, cross-talk girişimi olabilmektedir[67],
- CMOS kameralarda ÖLÜ transistörlerden kaynaklı olabilir. Bu transistörler ya hiç çıkış üretmezler ( $0V$ ) ya da en büyük çıkış değerini üretirler ( $+V_{cc}V$ ).
- Teleskopun yüzeyindeki yerel olarak, yüksek eğimli noktalardan hiçbir ışık geri dönmez bunun sonucunda im alınamaz ( $0V$ )[34].
- Görüntünün iletim dizgesindeki kod çözme kaynaklı olabilir ya da görüntünün döndürülmesi sırasında da ortaya çıkabilir[68].

Birim vuruşsal tarzdaki rastgele gürültü yapılarını uzaklaştırmak, gürültülü görüntüyü onarmak için çeşitli yöntemler önerilmiş olmasına karşın, bunlar arasında doğrusal-olmayan ve aynı zamanda analitik olarak ifade edilemeyen bir süzgeç olan ortanca süzgeç (median filter) en yaygın kullanımı olandır[38, 93]. Ortanca süzgecin en önemli üstünlüğü, bu türden gürültü yapılarını giderebiliyorken, aynı zamanda görüntüdeki sınırların bozulmamasını da sağlayabilmesidir[68].

#### 2.2.3.4 ASD-Ç (Atmosferin Saydamlık Dağılımının Elde Edilmesi, ASD-Çıkarıcı) ve ASD-G (Etkisinin Giderilmesi, ASD-Giderici) Algoritmaları

**Giriş** Bu bölümde yerüstü gözlemleri sırasında karşılaşılan, soğurma, yayma, saçılma, kırınım ve ayrılma özelliklerinin biçimlendirdiği [64, 94] atmosferin saydamlık dağılımından kaynaklı parlaklıktaki (genliğindeki) bozulmayı gidermektir. Bu amaçla sayımsallık ve doğrusal olmama doğasının [67] yanı sıra kenarlara dokunmadan darbe biçimli yapıları giderme [35] ve yoğun bir şekilde bozulmuş görüntülerdeki parlaklık çevritlerini (contours) çıkarmadaki [68] başarısı da dikkate alınarak

ardışık uygulamalar sırasında boyutu artan *Ortanca Filtre (AOF)* temelinde bir algoritma oluşturulmuştur (*ASD-Giderici ya da -Onarıcı (ASD-G)*). Bu algoritmayla elde edilen öncül sonuçlar verilmiştir. Ham ve onarılmış görüntüyü girdi kabul eden *Atmosfer Saydamlık Dağılımı Çıkarımı (ASD-Ç)* için bir algoritma önerilmiş ve bu algoritmayla elde edilen sonuçlar verilmiştir. Algoritmaya temel olan OF ile ilgili ayrıntılı bilgi sağlandıktan sonra algoritma ayrıntılarına geçilecek ve elde edilen sonuçlar verilecektir.

**Ortanca Filtre (OF)** Gözlemlenen imin (özel olarak görüntünün) arzu edilen bileşenini, ayırarak ya da zayıflatarak gürültü, girişim ya da aynı imin diğer bileşenlerinden çıkarılması istendiğinde, im işlemenin en temel biçimi olan süzgeçlemeye başvurulur [67]. Haberleşme gibi birçok uygulamada, alınan imden gürültüyü ya da girişimi uzaklaştırma arzu edilir. Algılayıcının amaçlarından birisi, alınan imde kanalın neden olduğu bozulmayı süzgeçlemeyle gidermektir. Diğer bir uygulama alanı sayısal resim işlemeyle, ilgilenilen belli görüntü özelliklerinin iyileştirilmesi ya da çıkarımını yapmaktır. Gerçekte süzgeçleme ekonomiyi, mühendisliği ve biyolojiyi içine alan çok geniş bir alanda karşılaşılan bir sorundur. Süzgeçleme ise doğrusal olup-olmamasına göre iki sınıfa ayrılır.

Kolay tasarımı ve çoğu durumdaki mükemmel başarımı doğrusal süzgeçleri im işlemede birincil araç yapmıştır. Bu, özellikle, istenen imin tayfının girişiminkinden önemli oranda farklılaşabildiği tayf ayrılması için geçerlidir. Fakat çoğu durumda keskin kenarlı imler üzerinde ve böylelikle geniş tayflı işlem yapmak gerekir. Ne yazık ki, doğrusal yatıştırıcı süzgeçler im kenarlarını (contour ya da edge) da yumuşatır. Yeni çıkan çoklu ortam ve iletişim uygulamalarının çok daha karmaşık olmaları, ileri düzeyli (solistike) im işleme algoritmalarının kullanımını gerekli kılar [67]. Ayrıca doğrusal süzgeçlerin sayısal gerçeklemesi hantal ve yavaş olabilmektedir [95]. Doğrusal süzgeçler tam olarak darbe tarzındaki gürültüyü gideremez ve kötü başarımlar sunar [33].

Doğrusal olmayan im işleme (özel olarak süzgeçleme) gücünü, Gauss biçimli olmayan rastgele süreçlerden alır. Gauss biçimli olmayan gürültülere ise kablosuz iletişimden, görüntülemeye, su bilimine, yerbilimine, ekonomiye kadar çok geniş bir

alandan rastlanabilmektedir. Gauss biçimli olmayan im etkilerine odaklanmadaki muhtemelen en basit yaklaşım, veri içerisinde var olması muhtemel aykırı değerleri algılamak, sezgisel olarak gidermek ve daha sonrasında geleneksel im işleme algoritmalarını kullanmaktır. Fakat bu yaklaşımın birçok sıkıntısı olacaktır. Öncelikle aykırı değerlerin algılanması, özellikle bunların birbirlerine sarmalandıklarında basit değildir. İkincisi bu yöntemlerin etkinliği, enuygunluk düzeyinde değildir ve sezgisel temelli olmalarından ötürü uygunluğunun ölçülmesi de genel olarak zordur. Gauss biçimli olmayan rassal süreçler ve işlenmesi üzerine daha ayrıntılı bilgi edinmek için Gonzalo'nun kitabından [67] yararlanılabilir.

Doğrusal olmayan yaklaşımlar, belli tür görüntü işleme sorunlarını doğrusal süzgeçlerden daha iyi çözebilirler. Ortanca Filtreler (OF, Median Filter), doğrusal olmayan süzgeç sınıfında en sıklıkla kullanılandır [35, 93]. Birçok uygulamada, kenarlara dokunmadan darbe biçimli yapıları giderme özelliğinden ötürü *OF* yukarıda anlatılan sorunların üstesinden gelmek için kullanılır [35, 34]. Ayrıca ortanca süzgeçlerin sayısal olarak gerçekleştirilmesi kolaydır ve özellikle dilimleme ve paralel işlemenin kullanılmasıyla [96], göreceli olarak daha hızlı yürütülebilmesine olanak tanır [97, 98, 99]. Bu yüzden *OF*, darbe biçimli gürültü giderilmesinin öncelikli hedef olduğu konuşma işleme [100, 101, 102] sorununu, kenarların kritik olduğu durumlardaki [103] ya da bazı görüntü işleme adımlarının ardından oluşan yapaylıkları giderme (örneğin JPEG sıkıştırmanın ardından oluşan öbeklenme gürültüsünün gideriminde, burada doğrusal olmayan süzgeç gürültü ve yapaylıkların kuvvetlendirmeden, doğrusal keskinleştirici kadar im kenarlarında iyileştirme sağlar [104, 105]) görüntü sorununu içine alan çok geniş bir sayısal im işleme alanında ve CAT tarama donanımlarında [106] (burada üreticiler sonuç görünümündeki yapaylıkları gidermede ortanca süzgecin kullanılabileceğine inanıyorlar) gittikçe artan kullanımı vardır.

Hareketli *OF*, ilk olarak Tukey [107] tarafından zaman serilerinin doğrusal olmayan bir yolla düzeltilmesi için önerilmiştir. İm işlemedeki yaygınlığını ise Gallagher ve Wise'in [108] birlikte yazdıkları makaleden alır. Hareketli *OF*'yi tanımlamak için,  $\{X(\cdot)\}$ 'i ayrık zaman ardışıklığı olarak alalım.  $\{X(\cdot)\}$  ardışıklığının üzerinden her geçişinde  $n$  zaman anında, tek sayılı ardışık örnekler kümesinden oluşan  $X(n)$  gözlem vektörünü kapsar. Gözlem penceresinin merkezi  $n$ 'de yerleştirildiğinde,

$$\mathbf{X}(n) = [X(n - N_L), \dots, X(n), \dots, X(n + N_R)]^T \quad (2.58)$$

burada yer alan  $N_L$  ve  $N_R$ , negatif olmayan erimi gösteren tamsayılardır ve  $N = N_L + N_R + 1$ , pencere boyutudur. Çoğu durumda pencere,  $X(n)$  çevresinde bakışımıdır ve  $N_1 = N_L = N_R$  seçilir.  $OF \{X(.)\}$ -giriş ardışıklığı üzerinde işletildiğinde,  $n$  zaman indisiiyle tanımlanan  $\{Y\}$  çıkış ardışıklığını üretir,

$$\begin{aligned} Y(n) &= ORTANCA[X(n - N_1), \dots, X(n), \dots, X(n + N_1)] \\ &= ORTANCA[X_1(n), \dots, X_N(n)] \end{aligned} \quad (2.59)$$

buradaki  $X_i(n) = X(n - N_1 - 1 + i)$ ,  $i = 1, 2, \dots, N$ . Gözlem penceresi içerisinde yer alan örnekler, sıraya sokulur ve ortanca (ya da ortadaki) değer çıkış olarak alınır. Gözlem penceresindeki örneklerin sıralı hâlini  $X_{(1)}, X_{(2)}, \dots, X_{(N)}$  olarak isimlendirilirse,  $OF$ 'nin çıkışı,

$$Y(n) = \begin{cases} X_{(\frac{N+1}{2})} & N - \text{tekse} \\ \frac{X_{(\frac{N}{2})} + X_{(\frac{N}{2}+1)}}{2} & \text{diger} \end{cases}$$

olur.

Sonlu  $\{X(.)\}$  örnekleri,  $X(1), X(2), \dots, X(L)$  biçiminde indekslenebilir, buradaki  $L$  dizi ya da seri uzunluğunu gösterir. Bu serinin başında ve sonunda süzgeç uygulanması durumunda, bakışımıcılık özelliğinden ötürü, pencere merkezi bu uç koordinatta yer alacak ve bir tarafı boş kalacak. Oluşan uç etkisi, genel olarak  $\{X(.)\}$ 'in uçlarında  $N_L$  adet öne ve  $N_R$  adet sona eklenerek çözülür. Eklenen örnekler, keyfi olarak belirlenebilmesine karşın, tipik olarak başa eklenenler ilk örneğin değerinde sona eklenenler de son örneğin değerinde seçilirler [67]. Hareketli Median Filtreye ilişkin algoritma Çizelge 2.4 verilmiştir.

Görüntü üzerinde  $OF$  uygulayımında iki boyutlu uyarlaması kullanılır. İki boyutlu  $OF$  durumunda gözlem penceresi (ya da komşuluk örüntüsüyle tanımlanan görüntü elemanı değerleri), Eşitlik 2.58'in 2D uyarlamasına dönüşür,

Çizelge 2.4: Hareketli Ortanca Filtre uygulayımı

1.  $X_1(n), \dots, X_N(n)$  değerlerini sıralayarak  $X_{(1)}, \dots, X_{(N)}$ 'i elde et ve
2. Eğer boyut tekse çıkışı  $Y(n) = X_{(\frac{N+1}{2})}$ , çiftse  $Y(n) = \frac{X_{(\frac{N}{2})} + X_{(\frac{N}{2}+1)}}{2}$  olarak belirle.

$$\mathbf{X}(i, j) = \begin{bmatrix} X(i - N_1, j - N_1) & \dots & X(i - N_1, j) & \dots & X(i - N_1, j + N_1) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ X(i, j - N_1) & \dots & X(i, j) & \dots & X(i, j + N_1) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ X(i + N_1, j - N_1) & \dots & X(i + N_1, j) & \dots & X(i + N_1, j + N_1) \end{bmatrix} \quad (2.60)$$

$OF$ ,  $\{X(\cdot)\}$ -giriş ardışıklığı üzerinde işletildiğinde,  $[i, j]$  konumsal indisleriyle tanımlanan  $\{Y\}$  çıkış ardışıklığını üretir,

$$\begin{aligned} Y(i, j) &= ORTANCA[X(i - N_1, j - N_1), \dots, X(i - N_1, j), \dots, X(i - N_1, j + N_1), \dots, \\ &\quad X(i, j - N_1), \dots, X(i, j), \dots, X(i, j + N_1), \dots, \\ &\quad X(i + N_1, j - N_1), \dots, X(i + N_1, j), \dots, X(i + N_1, j + N_1)] \\ &= ORTANCA[X_1(i, j), \dots, X_M(i, j)] \end{aligned} \quad (2.61)$$

buradaki  $M = N \times N$ ,  $X_k \hat{=} X_k(i, j) = X(i - N_1 - 1 + m, j - N_1 - 1 + n)$ ,  $k = 1, 2, \dots, M$ ,  $m = \lceil k/N \rceil$ ,  $n = (k \bmod N)$  ve  $\lceil x \rceil$  gösterilimi,  $x$ 'den daha büyük olan en yakın tamsayıyı ifade etmede kullanılır. Gözlem penceresi içerisinde yer alan örnekler, sıraya sokulur ve ortanca (ya da ortadaki) değer çıkış olarak alınır. Gözlem penceresindeki örneklerin sıralı hâlini  $X_{(1)}, X_{(2)}, \dots, X_{(M)}$  olarak isimlendirilirse,  $OF$ 'nin çıkışı,

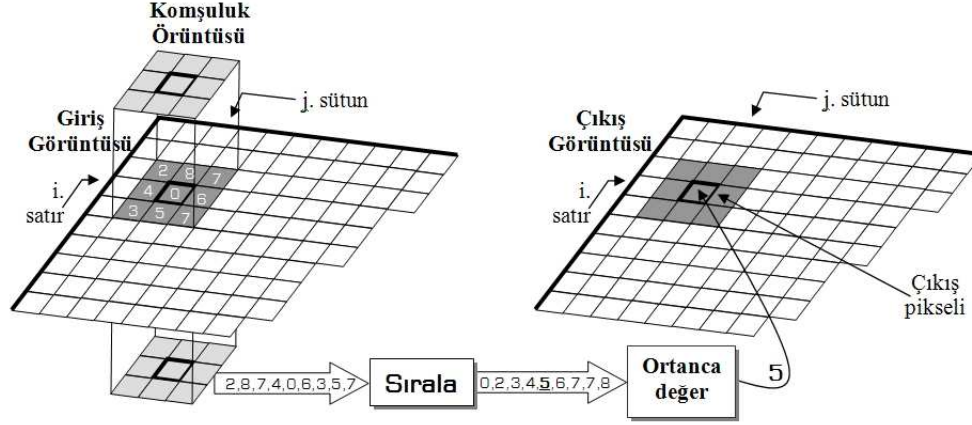
$$Y(i, j) = \begin{cases} X_{(\frac{M+1}{2})} & M - \text{tekse} \\ \frac{X_{(\frac{M}{2})} + X_{(\frac{M}{2}+1)}}{2} & \text{diğer} \end{cases}$$

olur. Son olarak girdi görüntüsü, süzgeç boyutu ve çıktı görüntüsü arasındaki ilişkiyi ifade etmek için aşağıdaki gösterilimi verebiliriz,



$$\mathbf{Y}^\ell(\bullet) \triangleq \text{ORTANCA}(\mathbf{X}^\ell(\bullet), N^\ell) \quad (2.62)$$

Böylelikle  $\ell$ . adımda  $\mathbf{X}^\ell(\bullet)$  girdisi üzerinden  $N^\ell$  boyutlu *OF* uygulandığında  $\mathbf{Y}^\ell(\bullet)$  çıktısı elde edilir.



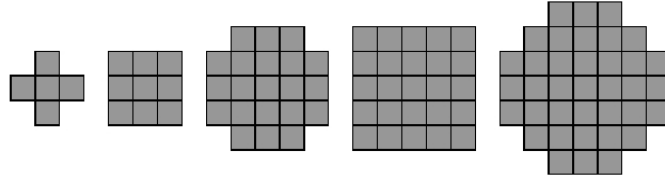
Şekil 2.42: Ortanca süzgeç uygulayımı öbek gösterilimi

Şekil 2.42’de 2D ortalca süzgecinin görüntü üzerine uygulanmasına ilişkin öbek çizge verilmiştir.  $[i, j]$  konumsal indislili giriş görüntü elemanının,  $3 \times 3$  gözlem penceresi (komşuluk örüntüsü) ile tanımlanan komşu görüntü elemanları, tek boyutlu bir seriye dönüştürüldükten sonra  $([2, 8, 7, 4, 0, 6, 3, 5, 7])$  küçükten büyüğe doğru sıraya sokulur  $([0, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 7, 8])$  ve ortalca değer (5) çıkış görüntüsünün  $[i, j]$  görüntü elemanı olarak atanır. Görüntü üzerindeki tüm elemanlar için benzer işlemler tekrarlanır.  $N \times N$  ortalca süzgeçle,  $N^2/2$ ’den daha küçük alanlı, komşularına oranla daha koyu ya da parlak, yalıtılmış kümeli pikseller giderilebilir. Hatırda tutmak gereken en önemli husus, ortalca süzgecin her bir geçişinin görüntüde buğulaşmaya neden olduğudur ve bu yüzden geçiş sayısının olanaklı olduğunca küçük seçilmesi gerekir.

**OF Komşuluk Örüntüleri** Komşuluk örüntüsünün tanımı, ortalca süzgecin en kritik bölümünü oluşturur. Çünkü gürültü içerisinde imin doğru öngörülmesi için büyük gözlem pencere boyutuna (popülasyon) gerek duyulur, fakat pencere boyutu arttıkça maliyetli sıralama işleminden ötürü üstel olarak işlem süresi artar ( $N \times N$

boyutlu bir pencere için süzgeç hesabı,  $N^2$  ile orantılı işlem süresi gerektirir). Ayrıca örüntünün ya da gürültünün yönbağımlılığı da örüntüyü şekillendirir. Böylelikle komşuluk örüntüsünü şekillendirme de komşuluk içerisindeki eleman sayısı ve yerleşiminin, gürültü giderimi ile hesaplama süresi arasındaki ilişkisi etkilidir. Yani örüntünün konuma bağlılık göstermesinin sıkıntı oluşturabileceği bilgisi ve gürültünün yön bağımlılık göstermesi bilgisi.

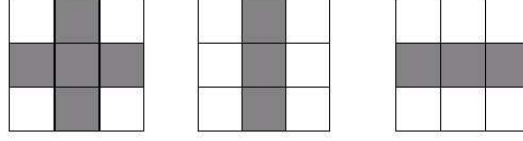
Sıraya sokma sürecinde gereksinim duyulan yüksek hesaplama gücü kare dışı, farklı örüntü biçimlerinin kullanılmasını güdülemisiyle [68], yayınlarda çeşitli örüntü biçimlerine rastlamak olanaklıdır. Bunlardan birisi seyrek komşuluk örüntüleridir [35, Şekil 11-34]. Ortanca süzgecin örüntüsü ne kadar dolu olursa o kadar iyi gürültü uzaklaştırma yeteneği vardır. Başka bir bakış açısıyla bu yaklaşım, sorunun yoğun gürültülü ve buna uygun büyük pencere boyutu gerektirmesi durumunda, seyreltilmiş büyük pencere süzgeç kullanılabileme olanağı sunar.



Şekil 2.43: Ortanca süzgeçleri için kullanılan komşuluk örüntüleri

Karesel en sade örüntü biçimidir. Fakat bu biçim, konumsal yönbağımlılık gösterir. Bu sıkıntının üstesinden gelebilmek için sekizgensel (çember biçimli) örüntüler geliştirilmiştir[34]. Karesel ve sekiz kenarlı komşuluk örüntüleri Şekil 2.43’de verilmiştir. Şekil 2.42’deki örnek veriler ve Şekil 2.43’de en solda verilen örüntü için, komşulukta yer alan elemanların değerleri  $[8, 4, 0, 6, 5]$  ve sıraya sokulduktan sonra  $[0, 4, 5, 6, 8]$  olacak. Bu durumda çıkış eleman değeri, ortanca değer 5 olacak. Vurgulamak gerekir ki hesaplama uygunluğu açısından karesel yapılar, yönelim etkisinin en az edilmesi açısından da sekizgensel (çember biçimli) yapılar yeğlenir.

Gürültünün yön bağımlılık göstermesi, buna uygun örüntülerin geliştirilmesini ve kullanılmasını tetiklemiştir (Şekil 2.44). Örneğin gürültünün sadece dikey dağılım



Şekil 2.44: Yön bağımlı komşuluk örüntüleri

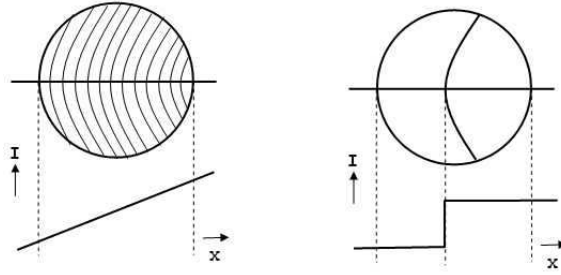
göstermesi durumunda komşuluğun yatayla kısıtlanması daha iyi sonuçlar verecektir (bkz. [34, Şekil 31 ve 32]). Şekil 2.42'deki veriler ve yatay komşuluk için komşulukta yer alan elemanların değerleri  $[4, 0, 6]$ , sıralandıktan sonra  $[0, 4, 6]$  biçiminde olacak. Böylelikle çıkış eleman değeri, ortanca değer olan 4 olacak. Kenneth ve Gonzalo kitaplarında komşuluk örüntüleri için kapsamlı bir derleme çalışması yapmışlardır ([109], sayfa 451).

Ayrıca örüntü yapıları, ortanca süzgeç tabanlı eğim (gradyan) hesaplayıcılarında da kullanılmaktadır. Uyarlanır komşuluk kullanmak da olanaklıdır (uyarlanır ortanca süzgeç [110]). Bir diğer seçenek merkezden uzaklıklarına göre ağırlıklandırmaktır (ağırlıklandırılmalı ortanca süzgeç [111]). Süzgecin daha hızlı çalışmasını sağlamak için çeşitli çalışmalar da yapılmıştır [99, 112].

**OF Yapaylıkları, Doğruluğu ve Sağlamlığı Üzerine** Yapılan çalışma görüntüler üzerinde, yapılan işlemlerden kaynaklı yapaylıklara çok duyarlıdır. Literatürde ortanca süzgeçlerin kenarlara dokunmadan gürültü uzaklaştırdığı [33, 34, 35, 38, 67, 68] söylenmesine karşın Davies'in yayınladığı makalelerinde [113, 114, 115, 116] kenarların kaymasıyla belli tip görüntü bozulmalarının oluştuğunu söylemektedir. Bu kısımda öncelikle Davies'in makalesinde elde edilen bulgular kullanılarak, süzgeçlenmiş görüntü üzerinde gözlemlenecek kayma yanılgılarının büyüklüğü değerlendirilecek. Ardından Nixon'un [68] öngörü yanılgılarına bakışı verilecek.

Ortanca süzgeçler görüntüleri buğulaştırmamasına karşın, kenarların kaymasıyla oluşan belli tip görüntü bozulmalarına neden olurlar [113]. Bakışlımı parlaklık belgili gürültüsüz düz kenarları kaydırmamasına karşın, özellikle eğilmiş kenarlar ortanca süzgeçlerle kaydırılır. Eğrilmiş kenarlar için kaymalar önemli olabilir ve diğer süzgeçlerin benzer kaymaları verip vermediklerini araştırmak gereklidir. İyi anlaşıldıkça

kaymaları ve süzgeçlenmiş görüntüdeki ölçüm yanılgılarını modelleme olanağı doğacaktır. Daha önce yapılmış olan çalışmalar hem ortanca hem de mod süzgeçlerin eğrilmiş parlaklık çevritler için benzer kaymayı verdiğini göstermiştir[114, 115]. Ek olarak, bu makalelerde deneysel gözlemlenmiş kaymayla niteliksel olarak uyumlu sürekli (continuum) modeller üretilmiş ve sürekli model, uygun ayrık modelin kısıtlanmış bir durumu olarak yararlı olacağı umulmamasına karşın, sürekli modelden daha çok ortanca süzgecin ayrık piksel kafeslerinde çalıştığı gerçeğini hesaba katan sağlam bir modelin oluşturulması gerektiği söylenmiştir.



Şekil 2.45: Sürekli modelle süzgeç uygulayımıyla oluşan kaymaların değerlendirilmesinde kullanılan deneme görüntüleri **a)** soldaki doğrusal, **b)** sağdaki ise adım türünden kenar içermektedir.

Davies [116] makalesinde, süzgeç uygulanmasıyla oluşacak kaymaları değerlendirmek (hesaplama ve deneysel ölçümler) için Şekil 2.45’de verilen deneme görüntülerini kullanmıştır. Bu görüntüler üzerinde süzgeç uygulanmasıyla sürekli model yardımıyla elde edilen kaymalar Tablo 2.5’de [116] verilmiştir. Bu tabloda yer alan  $\kappa = 1/b$  gösterilimi çevritin eğriselliğini,  $b$  çevritin üzerinde yer aldığı çemberin yarıçapı ve  $a$  ise dairesel komşuluk yarıçapını temsil etmek için kullanılmıştır. Eğer eğrisellik yoksa yani  $\kappa = 0$  ise, bu durumda kayma olmayacaktır. Öte yandan bu tablodan türetilecek diğer önemli bulgu, süzgeç boyutunun karesiyle orantılı bir kaymanın oluşacağıdır.

Model ayrıklaştırıldığında, Şekil 2.45.a’daki deneme görüntüsü üzerinde,  $3 \times 3$  komşuluk ile eğriselliğin düşük olduğu durumlar için oluşacak kayma miktarı,

$$Kayma \approx 0.61 \times \kappa^2 \quad (2.63)$$

Çizelge 2.5: Sürekli modelde öngörülen kaymalar

| Kenar türü | Filtre                          |                         |                         |
|------------|---------------------------------|-------------------------|-------------------------|
|            | Ortalama                        | Ortanca                 | Mod                     |
| Adım       | $\frac{1}{6}\kappa a^2$         | $\frac{1}{6}\kappa a^2$ | $\frac{1}{6}\kappa a^2$ |
| Ara durum  | $\approx \frac{1}{7}\kappa a^2$ | $\frac{1}{6}\kappa a^2$ | $\frac{1}{2}\kappa a^2$ |
| Doğrusal   | $\frac{1}{8}\kappa a^2$         | $\frac{1}{6}\kappa a^2$ | $\frac{1}{2}\kappa a^2$ |

biçimini alır. Bu eşitlikte kaymanın, sürekli modeldekinin aksine, eğrisellikle ilişkisi kareseldir.  $\kappa$ 'nın değerinin büyümesiyle sürekli modeldeki gibi doğrusal bir ilişki ortaya çıkar.

Eşitlik 2.63'den yararlanarak,  $3 \times 3$  ( $a = 3$ ) ortanca süzgeç uygulayımı sırasında, 1 *birim*'lik bir kaymanın oluşması durumundaki eğriselliği ve bu eğriselliği doğuran çember yarıçapı hesaplanırsa,

$$Kayma = 1.0 = 0.61 \times \kappa^2$$

olacağından,

$$\kappa = \sqrt{\frac{1.0}{0.61}} = 1.28$$

ve bu eğriselliğin kaynağı çemberin yarıçapı,

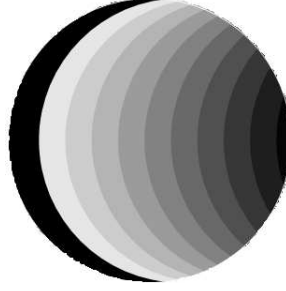
$$b = 1/\kappa = 1/1.28 = 0.78$$

olur. Daha büyük kaymalar ise,

$$b < 0.78 \text{ birim}$$

yarıçaplı çemberlere ilişkin eğriselliklerce üretileceğinden ve 1 *birim*'den daha küçük yarıçaplı çemberlerden doğacak eğrisellik, sayısallaştırılmış-ayrıklaştırılmış görüntüde herhangi bir kaymaya neden olmayacağından gözardı edilebilirdir. Daha büyük  $b$  değerleri içinse kayma birden küçük olacağından gözardı edilir.  $3 \times 3$  ortanca süzgeç uygulayımı sonucundan hiçbir konumsal yanlgının oluşmayacağı söylenebilir.

Ancak komşuluk örüntü yarıçapı -  $a$  arttıkça kayma ile eğrisellik ve örüntü yarıçapı doğrusal bir ilişki göstereceğinden, büyük komşuluk yarıçapları için kaymalar önem kazanmaya başlayacaktır.



Şekil 2.46: Kaymaları değerlendirmede kullanılan parlaklık basamakları

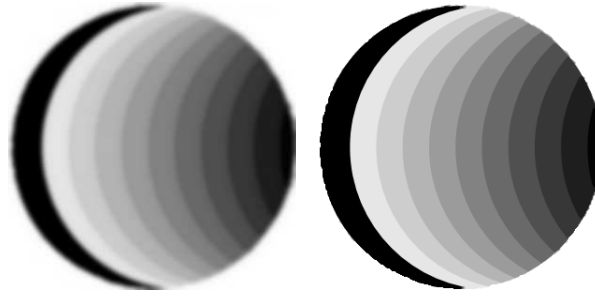
Ortanca süzgeçle oluşan yapaylıkları değerlendirmek amacıyla Şekil 2.45.a'dakine benzer kademeli parlaklık geçişi deneme görüntüsü kullanıldı (Şekil 2.46).

Gürültüsüz görüntüler üzerinde ortalama ve ortanca süzgeç uygulanmasıyla elde edilen görüntüler (Şekil 2.47,2.48) incelendiğinde, ortanca süzgecin hiçbir şekilde ne kayma ne de zıtlık farklılığı göstermediği rahatlıkla görülebilir. Fakat aynı şeyi ortalama alıcı süzgeç için söylenemez.

Görüntü üzeri gürültü eklendikçe konumsal ve zıtlık yanlışları artmaktadır. Ancak yine de daha iyi sonuç ortanca süzgeçle alınmaktadır (Şekil 2.49, 2.50).

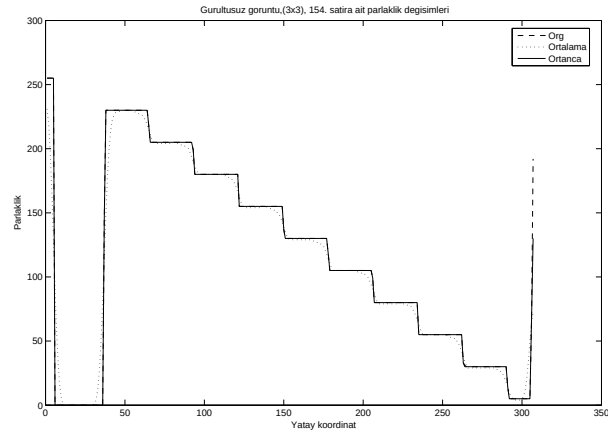
Nixon [68], ortanca süzgecin yeğlenme nedenini sayıtsal olarak yaklaşılarak, aşağıda verildiği biçimde gösterir. İlk olarak ortalama alma (averaging) sürecinin gerçekte sayıtsal bir süreç olduğunu, çünkü yerel komşuluğun ortalamasını öngörmeye çalışmaktadır, söyler ve buradan süreçteki sayıtsal yanlışının, doğal olarak yüksek olduğunu,

$$hata = \frac{Ortalama}{\sqrt{N}}$$



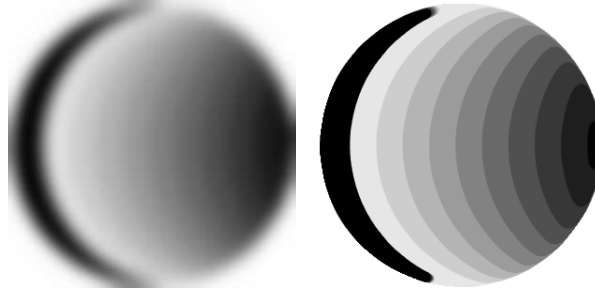
(a) Ortalama

(b) Ortanca



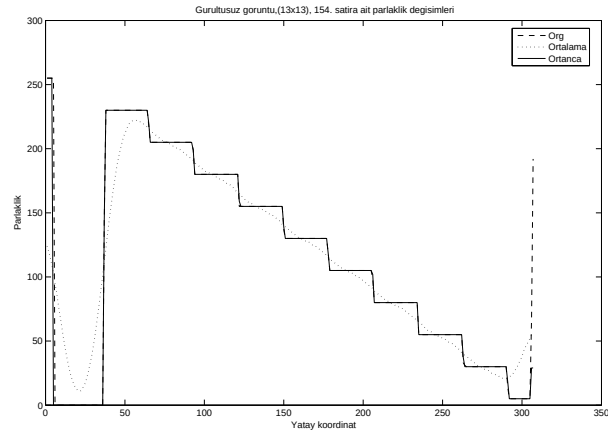
(c) Tam ortadaki satıra ilişkin parlaklık değişimi

Şekil 2.47:  $3 \times 3$  ortalama ve ortanca süzgeç uygulanmasıyla elde edilen görüntüler ve orta satırlarına ilişkin parlaklık değişimi



(a) Ortalama

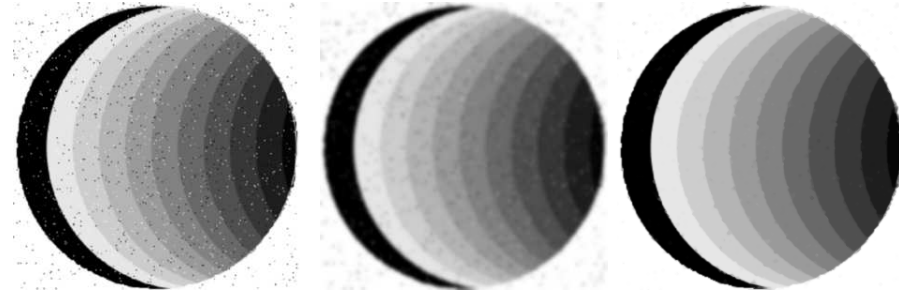
(b) Ortanca



(c) Tam ortadaki satıra ilişkin parlaklık değişimi

Şekil 2.48:  $13 \times 13$  ortalama ve ortanca süzgeç uygulanmasıyla elde edilen görüntüler ve orta satırlarına ilişkin parlaklık değişimi

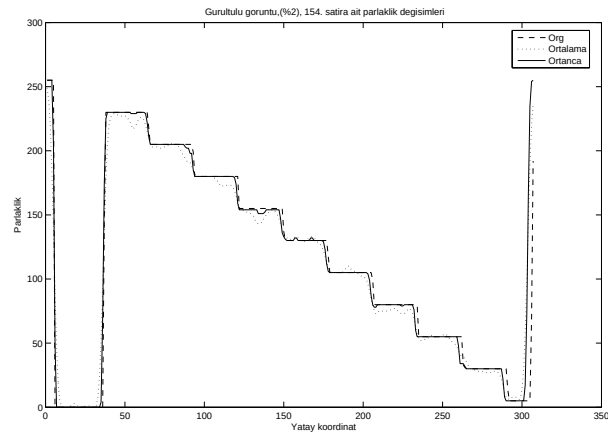




(a) Az gürültülü görüntü

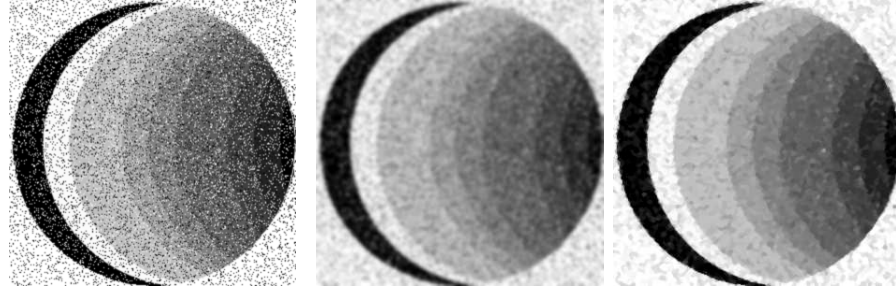
(b) Ortalama

(c) Ortanca



(d) Tam ortadaki satıra ilişkin parlaklık değişimi

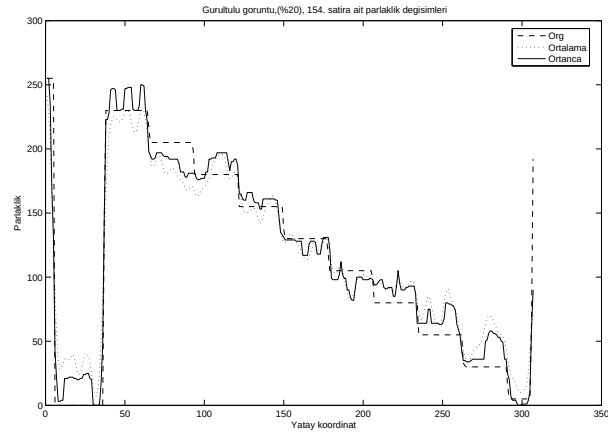
Şekil 2.49: Az gürültülü (%2) görüntü ve  $3 \times 3$  ortalama ve ortanca süzgeç uygulanmasıyla elde edilen görüntüler ve orta satırlarına ilişkin parlaklık değişimi



(a) Çok gürültülü görüntü

(b) Ortalama

(c) Ortanca



(d) Tam ortadaki satıra ilişkin parlaklık değişimi

Şekil 2.50: Çok gürültülü (%20) görüntü ve  $3 \times 3$  ortalama ve ortanca süzgeç uygulanmasıyla elde edilen görüntüler ve orta satırlarına ilişkin parlaklık değişimi

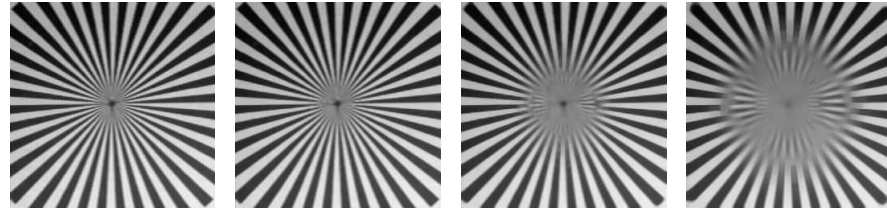
gösterir. Buradaki  $N$ , pencere boyutunu ve *Ortalama*, bu pencere içerisindeki aritmetik ortalamayı temsil eder. Oluşan öngörü yanılması,  $N$  ile ters orantılıdır. Ortalama, toplamsal (additive) Gauss biçimli gürültüyle bozulan im için eniyi öngörücüdür. Görüntülerdeki nicemleme, örnekleme, iletim ve işleme gürültü kaynaklarına Gauss biçimle yaklaşım yapılabilir. Fakat gerçekte tam olarak Gauss değildir. Bu yüzden daha fazla sayıtsal işleme gereksinim duyulur. Bunlardan en önemlileri ortanca ve mod (moda değer, mode) süzgeçlerdir. Süzgeçlemede özdeki ilgi modu (moda değer, mode) belirlemektir. Küçük bir topluluktan sayıtsal bilgilerin elde edilmesi güçtür. Modu öngörmek için Davies(1988)'in geliştirdiği kırılmış ortanca süzgeçten yararlanılabilir. Daha fazla ayrıntı alabilmek için [68] 3.5.3 *Mode Filtre* bölümüne ve sayıtsal işlemlerin (mean, median, mode) karşılaştırıldığı *Şekil 3.25*'e bakılabilir.

Ortanca süzgeç, ortalama alma temelinde olmadığından adım geçişlerinde parlaklık farkını yani zıtlığı azaltmaz. Ortalama alan süzgeçlerin yaptığı gibi, nesne sınırlarını kaydırmaz. Ardışık süzgeç uygulamaları nesne sınırlarında bir bozulmaya neden olmamasına karşın buğulanma ortaya çıkabilmektedir[34].

Ortanca süzgeçler, benek türünden (speckle type) gürültüleri başarılı bir şekilde uzaklaştırabilmesine karşın, örneğin kızılberisi-ses (ultrason) görüntülerini karakterize eden zayıf, yayılmış kenarların yeterince korunması konusunda başarısızdır[93]. Bu uyarıların benek-türü gürültü uzaklaştırıcıların geliştirilmesini güdülemiştir [93, (1,12) makaleler].

Çok büyük komşuluklu ortanca süzgeç uygulamalarında, kenarlar konum değiştirmeden alınabilmesine karşın, komşuluk yarıçapından küçük olan görüntü özellikleri yitirmekte ve yerini kendisini çevreleyen arkaplan değerleri almaktadır. Şekil 2.51.a dilim (sector) deneme görüntüsü verilmiştir. Filtre boyutu soldan sağa doğru artmaktadır. Filtre uygulanmış görüntülere dikkat edildiğinde görülmekte ki süzgeç boyutu arttıkça görüntüdeki süzgeç boyutundan küçük alanlar görüntüden çıkarılmaktadır.

Süzgecin bu özelliğinden yararlanarak görüntü içerisindeki küçük kir zerrecikleri uzaklaştırılabilir. Fakat gürültü bastırma niyetinde olan bir kişinin, büyük boyutlu süzgeç yerine küçük çaplı olanının ardışık uygulanması daha iyi sonuçlar alınmasını



(a) Dilim (sector) deneme görüntüsü (b) 3x3 Ortanca Filtre uygulayım sonucu (c) 7x7 Ortanca Filtre uygulayım sonucu (d) 13x13 Ortanca Filtre uygulayım sonucu

Şekil 2.51: Ortanca süzgeç boyutunun çıkış görüntüsü üzerindeki etkisi

sağlayacaktır. Ortanca süzgecin tekrarlı kullanımı yüzünden ortaya çıkan parlaklık basamaklanması (leveling), zaman zaman contouring ya da posterization olarak adlandırılır[34].

Ortanca süzgecin kuramsal altyapısı doğrusal olanlara oranla eksiktir [35], bu daha derinlemesine araştırmayı kısıtlamaktadır. Bu yüzden yapılan birçok kuramsal çalışma, doğrusal olan süzgeçlerinkine oranla dar bir bakış açısı sunabilmektedir. Teorik çalışmaların yapıldığı Gallagher'in makalesinde[108], görüntünün değişmeden geçebilmesi için gerek ve yeter koşulu türetilmiş ve ortanca süzgecin tekrarlı olarak uygulanmasıyla, kök imin (root signal) alınacağı gösterilmiştir. Kök imin ise, kullanılan süzgeç boyutuna bağlı olduğu gösterilmiştir. Daha fazla ayrıntı ve kuramsal inceleme için Gallagher'in makalesine [108] bakılabilir. Ortanca işleminin doğrusal olmama doğası, üstdüşüm (superposition) özellikli olmamasına ve geleneksel darbe tepki çözümlemesinin kesiklikle uygulanamamasına neden olur. Gerçekte ise, ortanca süzgecin birim vuruş tepkisi sıfırdır. Bunun sonucunda ortanca süzgeçlerin çözülmesi ve karakterize edilmesinde alternatif yöntemlerin kullanılması gerekmiştir. Bu yöntemler sayıtsal ve rastgele olmayan temelli olmak üzere iki türdür. Daha fazla ayrıntı ve sayıtsal özellikleriyle ilgili ayrıntı için [67] 5.1.1 *Statistical Properties* bölümüne bakılabilir.

**Genişletilmiş OF Seçenekleri** Komşuluk örüntüsü (ya da penceresi) içerisinde yer alan elemanların parlaklık değerlerinin sıralanması temelindeki süzgeçleme sıralandırma (ya da derecelendirmeli, rank) süzgeçleme olarak adlandırılır. Bu sınıf süzgeçlerden en iyi bilineni, sıralı değerlerden ortadakini alıp, çıkış değeri olarak atayan *ortanca* (median) süzgeçdir. Eğer ortadaki değer değil de en küçüğü alınsaydı

*min* en büyüğü alınırsa *maks* süzgeç olarak adlandırılır. Sıralı değerlerden herhangi birini alarak da süzgeçleme yapmak olanaklıdır (*%x* süzgeç). *Orta-nokta süzgeç*, *alpha-trimmed süzgeç* ve *mod* (moda değer, mode ya da kırılmış ortanca) süzgeç de bu sınıfta yer alır. Ortanca süzgeçler, görüntünün hem iki- hem de tek-kutuplu darbesel gürültü içermesi durumunda iyi sonuçlar üretebiliyorken, görüntünün yalnızca biber gürültü içermesi durumunda min, sadece tuz gürültüsü içermesi durumunda ise maks süzgeçleri daha iyi sonuç üretmektedir. Max ve min süzgeçler ayrıca, görüntüdeki doğrusal olmayan ışıklandırma kaynaklı değişken zeminin belirlenmesi ve çıkarımında da kullanılmaktadır (Bkz.[34, Bölüm 3, Şekil 52]). Orta-değer süzgeçleri ise en iyi sonucu Gauss biçimli ya da tekdüze (uniform) gürültü dağılımlı gürültü içeren görüntülerde üretmektedir. Alpha-trimmed süzgeçler ise, karışım biçimindeki (örneğin darbesel + Gauss biçimli gürültü) gürültü olması durumunda yeğlenir. Mod süzgeçlerle, daha keskin kenar elde edilebilmektedir[117]. Mod değerinin küçük bir topluluktan öngörüsü için ise, kırılmış ortanca süzgeçten yararlanılmaktadır. Daha fazla ayrıntı almak için [34] sayfa 167'ye ve [68] sayfa 92'ye bakılabilir.

Tek bir kare yerine ardışık kareler üzerinden ortanca süzgecin uygulandığı zaman-sal ortanca süzgeçler, sahnedeki zeminin takip edilmesi, böylelikle ardından devinim izlemesi önışlemesine yardımcı olarak yer almaktadırlar. Ayrıntılı bilgi için ve nesne takip etme algoritmasının önışlemesinde kullanımıyla ilgili [68] sayfa 92'ye bakılabilir.

Maks ve min işleçleri, sırasıyla ikil (binary) görüntüler üzerinde kullanılan *genişletme* (dilation) ve *aşındırma* (erosion) şekilbilimsel (morphological) işleçlerle benzerlik gösterir [34, 118, 119]. Bu benzerliklerinden ötürü gri ölçekli genişletme ve aşındırma işleçleri olarak adlandırılırlar. Ayrıntılı bilgi için [34] *Rank Leveling* (3. bölüm, 189. sayfa) ve *Extension to grey-scale images* (7. bölüm, 427. sayfa) başlıklı bölümlere bakılabilir. Ortanca süzgeç, Şekilbilimsel *Top-Hat* dönüşümündeki yaklaşıma benzer yolla nokta ya da öznetelik bulucu olarak da kullanılabilir. Ayrıntılı bilgi için [34] 259. sayfa ve radar görüntüleri üzerinde kullanımının anlatıldığı 266. sayfaya bakılabilir.

Derecelendirme süzgeçleri, Sobel süzgeçlerine benzer şekilde kenar iyileştirme ve

kenar vektörlerini üretme amacıyla kullanılabilir. Örneğin yatay eğim değeri (gradyan) komşuluk penceresinin yatay yönde eşit iki parçaya bölünüp, her bir bölgedeki ortanca değerlerin üretilmesi ( $Ortanca_{sag}$ ,  $Ortanca_{sol}$ ) ve bunların farklarının alınmasıyla elde edilir,

$$G_x = Ortanca_{sag} - Ortanca_{sol}$$

Daha ayrıntılı bilgi için [34] *Rank operations* (4. bölüm, 257. sayfa) başlıklı bölüme bakılabilir.

Standart ortanca süzgeci nedenselleştirmek için geridönümlü / yinelemeli ortanca düzleştirici kullanılır. Bunun çıkış ifadesi,

$$Y(n) = ORTANCA[Y(n - N_L), Y(n - N_L + 1), \dots, Y(n - 1), X(n), \dots, X(n + N_R)]$$

biçimindedir. Aynı miktarda işlem uygulayımı için yinelemeli ortanca süzgeç, geleneksel olana oranla daha iyi gürültü zayıflatma yetisi vardır. Öte yandan bu özelliği, yinelemeli ortanca süzgecin, aynı gürültü bastırmasını sağlayabilmek için daha küçük pencere boyutu gerektireceği anlamına gelir.

Ortanca süzgecin yarı boyutundan küçük alanlı parlak ya da koyu alanları uzaklaştırabildiğinden, soruna özel / uygun olarak elle komşuluk boyutunun ayarlanması gerekir[35]. Pencere boyutunun görüntü boyunca, belirlenen ölçütlere uygun olarak değiştirilmesiyle ortanca süzgecin uyarlanır versiyonunu (UOF) elde etmek olanaklıdır. UOF daha şiddetli gürültü durumunda (düşük SNR) başarımın sürdürülebilmesini olanaklı kılar. Geleneksel olana oranla, gürültüyü daha fazla giderirken aynı zamanda ayrıntıların korunmasını da sağlayabilmektedir. Belli koşulların sağlanmasıyla pencere boyutunun değiştirilmesinden ötürü uyarlanır olarak adlanır. Algoritmanın gerçekleştirilmesine dair ayrıntılar için [38] 241. sayfaya bakılabilir.

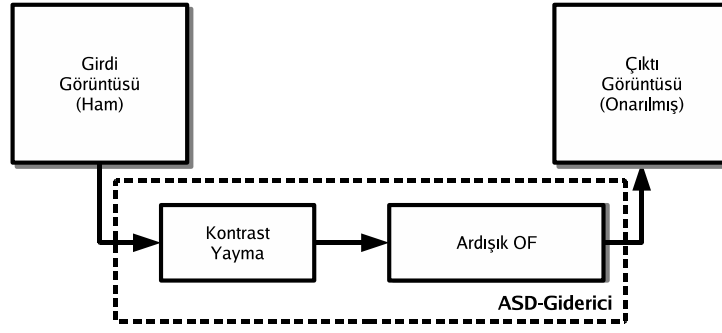
**Sorun Tanımı** Görünür ışıktaki görünebilen en derin katman olan fotosferdeki oluşumlardan granüllerin zamanla birleşerek oluşturduğu süper-granülasyonlar, yaygın

olan düşünceye göre zaman içerisinde lekelerin oluşmasına neden olurlar. Lekelerin sayısının, dünya iklimi üzerinde ciddi bir etkisi vardır [2].

Bu yüzden güneş yüzeyi oluşumları üzerine çok sayıda çalışma yapılmıştır. Güneşten kaynaklı manyetik etkinliklere neden olan bu oluşumların sürekli olarak izlenmesi, incelenmesi ve karakterize edilmesi, dizge tasarımı ya da etkili uyarı ve öngörü dizgelerinin geliştirilmesi için yaşamsal önemi vardır [2]. Maliyet, teknik imkânsızlıklar vs. den ötürü uzay ve balon yollu gözlemler sınırlı zaman aralığında, sayıda ve çözünürlükte yapılabilmektedir. Daha düşük giderli çözüm sunan yerüstü gözlemevlerinden gözlemler ise atmosferde meydana gelen türbülans (burgaç) devingenliğinin etkisi altındadır. Eldeki seri görüntüler, bölgenin türbülans etkisinin en düşük olduğu bölgesinde kurulmuş olan *Şamahi Gözlemevi (ShAO)*'nde, türbülans istatistikleri ve gözlemler temelinde en temiz atmosferik koşullarda, ardışık olarak çekilmiştir. Bu çekimler fotografik sinema kameraları yardımıyla yapılmıştır ve çekim hızı  $24 \text{ kare/saniye}$ 'dir. Bu çekimlerde atmosferik etkiler en alt düzeydedir. Bölüm 2.2.2.3'de verilen AOBtBKS algoritması yardımıyla, bir seri çekim içerisindeki en iyi kareler belirlenmektedir. Bundan sonrası ise, bu iki aşamalı olarak seçilmiş (iyilerin iyisi) karelerin görsel olarak iyileştirilmesidir. Bu amaçla sonraki bölümde algoritması verilen *ASD-Giderici* algoritması geliştirilmiştir.

**ASD-Giderici Algoritma Ayrıntıları** Görüntüler, ya görüntüleme algılayıcısının devingen eriminin yetersizliğinden ya da görüntü pozlama sırasında mercek açıklığının yanılmalı kurulmasından kaynaklı olarak [38] zayıf aydınlanmadan ötürü düşük zıtlıklıdır. Eldeki düşük zıtlıklı görüntülerin gri düzeylerinin devingen erimini arttırmak için Zıtlık Yayma (*Contrast Stretching*) ilk olarak uygulanmıştır.

Görüntüler, Bölüm 2.2.3.3'de ayrıntılandırıldığı üzere bir kaç piksellik yayılmış darbe biçimli istenmeyen oluşumlar içerirler. Bunların görüntüden uzaklaştırılması gerekiyor. Öte yandan hem gürültü hem de buğulanmanın etkisiyle parlaklık çevritleri bulanıklaşmış, daha fazla bulanıklaşma üretilmeden ve kenarlar kaydırılmadan görüntünün onarılmasına gerek duyuluyor. *OF* ile ilgili genel bilgilerin ayrıntılandırıldığı bölümde söylendiği üzere, *OF*'nin görüntü üzerinden her bir geçişi daha fazla buğulanmaya neden olmaktadır ve ek olarak pencere boyutu -  $N^\ell$  ne kadar bü-



Şekil 2.52: ASD-Gidericinin uygulanması

yükse görüntü o oranda buğulanmaktadır ve ardışık uygulamalar sonunda süzgeç boyutundan daha küçük ölçekli parlaklık çevritler bilgisi kaybedilmektedir. Ayrıca Davies[120]'e göre  $OF$ 'nin neden olduğu kayma miktarı,

$$kayma = \frac{1}{6} \times \kappa \times a^2 \quad (2.64)$$

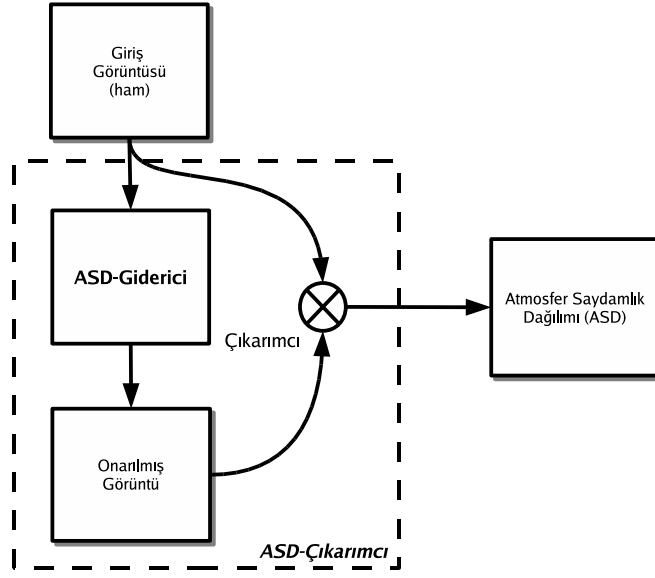
ile verilmiştir. Burada  $\kappa$ , pencere altındaki örüntünün eğriselliği ve  $a$ ,  $OF$ 'nin pencere yarı boyutudur (yani  $a = N^\ell/2$ ). Sonuçta kayma miktarı, pencere boyutuyla karesel bağımlılık göstermektedir.

Tüm bu nedenlerden ötürü, her bir yineleme adımında pencere boyutu gittikçe artan bir  $OF$  uygulayımına karar verildi. Eşitlik 2.62'de verilen ifadedeki  $\ell$  ile gösterilen her bir yineleme adımında,  $N^\ell = [3, 5, 7, 9, 11, 13, \dots]$  değerlerini almakta ve bir önceki görüntü çıktısı girdi olarak alınmaktadır (yani  $X^\ell = Y^{\ell-1}$ ,  $\ell > 1$  ve  $X^1 = GirdiGoruntusu$ ).

*Zıtlık Yayma*'nın ardından artan boyutlu  $OF$ 'nin kullanılmasıyla gerçekleştirilen *ASD-Giderici*'ye ilişkin algoritmik öbek çizge gösterilimi Şekil 2.52'de verilmiştir.

$OF$  ile ilgili genel bilgi kısmında vurgulandığı üzere  $OF$ 'nin matematiksel alt yapısı eksiktir. Böyle olunca Şekil 2.52'de verilen *ASD-Giderici*'nin görüntüden uzaklaştırdığı gürültüyü modellemek için matematiksel altyapı da mevcut olmayacaktır. Diğer taraftan Bölüm 2.2.2.2'de de gösterildiği üzere Bölüm 2.2.1.3'deki atmosferik etkiyi saydamlık dağılımının ve optik bozulmanın *toplamı* olarak ifade edilebileceği





Şekil 2.53: ASD-Çıkarımcı algoritması

tezi doğrulanmıştır. Bu yüzden *ASD-Çıkarımcı* algoritması *toplamsallık* üzerine kurulmuştur (Şekil 2.53). Ancak bu alanda çok daha fazla çalışmaya ve diğer *olası* modellerin (örneğin çarpımsallık ve katlama) sınanmasına hâla gereksinim vardır. Görüntüdeki buğu ve gürültü katmanını *ASD-Giderici* ile çıkarıldıktan yani görüntü onarıldıktan sonra hâm görüntü ile onarılmış görüntü arasındaki *farka* bakarak atmosfer saydamlık dağılımını elde etmeye olanak sağlayacak *ASD-Çıkarımcı*'ya ilişkin algoritma Şekil 2.53'de verilmiştir.

## 2.3 Teknolojik Granülasyon Oluşumları, Öznitelik Çıkarımı ve Sayıtımsal İşlemler

### 2.3.1 Giriş

Çalışmanın paralel olarak ilerleyen teknolojik granülasyon ayağında, çember biçimli oluşumların sayıtımının yapılması amaç edinilmiştir. Sayıtımının yapılması istenen iki farklı tür granülasyon oluşumu söz konusudur. Bunlar ADT (Antibiyotik Duyarlılık Testi)'de karşılaşılan mikroorganizma içerisine konan çember biçimli antibiyotik çevresinde yine çember biçimli zon ölçümü ve DND (Dondurma Nitelik Değerlendirme) uygulayımında dondurmanın niteliğini değerlendirmede çember biçimli kabarcıkların yarıçap dağılımının çıkarılmasıdır. Güneş granülasyonu kavram kargaşıklığının olmaması için ADT'deki disk ve çevresindeki zon, ve DND'deki hava kabarcıkları için *teknolojik granülasyon* isimlendirmesi uygun görülmüştür. Burada verilen sorunları çözmeye yönelik yayın taraması CHT (Çemberler için Hough Dönüşümü, Circle Hough Transform) algoritmasına götürmüştür Çözülmesi istenen sorunlar örüntü tanımanın (ÖT) alt dalı olan öznitelik çıkarımı (ÖÇ) alanına girdiğinden öncelikle hem ÖT hem de ÖÇ ile ilgili kısaca bir giriş yapılacaktır. HT (Hough Transform) ile ilgili genel bilgi, kavramları basit bir şekilde anlatabilmek için HT'nin çizgi algılamadaki uyarlaması, üzerinde çalışılan sorundaki nesneleri (yani çemberleri) algılamada kullanılacak CHT ile ilgili bir girişin ardından, nesnenin konum değiştirmiş, ölçeklenmiş, dönmüş uyarlamalarını eksik bilgiye karşın gürültü altında algılayabilen HT (CHT)'nin en büyük sıkıntısı olan büyük kaynak gereksinimi sorununun üstesinden gelmek üzere geliştirilen gradyan temelli CHT (gradCHT) algoritmasının her bir aşamasıyla ilgili ayrıntılı bilgi sağlanacaktır.

### 2.3.2 Örüntü Tanıma (ÖT) ve Öznitelik Çıkarım (ÖÇ)

Bilgi çıkarımı yönüyle işlemeden farklılık[34] gösteren görüntü içerik çözümlemesinde ya da görüntü anlamada[121] *örüntü tanıma* (pattern recognition) önemli yer tutar. Yapay zekanın bilgisayarla (makine) görü ayağı, görüntünün içeriğini çözümleme için algoritmalar geliştirmeye ilgilendir[35]. *Görüntüyü anlamaya* yönelik farklı yaklaşımlar geliştirilmiştir. Bunlardan en yaygın kullanımlı olanı sayıtsal örüntü tanımadır (kısaca örüntü tanıma denilecek). Örüntü tanıma, görüntünün bir ya da daha fazla nesne içerebileceğini ve bunların her birinin farklı öntanımlı *türlerden*, *kategorilerden* ya da *örüntü* sınıflarından birine ilişkin olduğunu kabul eder. Örüntü tanıma, farklı yollarla gerçekleştirilmesine karşın, sayısal görüntü işleme teknikleri açısından olaya bakılacak. Örüntü tanıma genel olarak üç önemli aşamadan oluşur: *görüntü bölütleme* (image segmentation), *öznitelik çıkarımı* (feature extraction) ve *sınıflama* (classification) [35].

Görüntü bölütleme aşamasında, görüntü içerisinde üzerinde çalışılan nesneye ilişkin görüntü zeminden *yalıtılır*. Böylelikle *nesne yalıtımı* olarakta anılır[35]. Çeşitli görüntü bölütleme türleri vardır. Yalnızca her bir pikselin gri düzeyini kullanan piksel-tabanlı yöntemler, daha büyük bir alanda gri değerleri kullanan bölge tabanlı yöntemler ve kenarları algılayıp onlar üzerinden işlem yapan kenar tabanlı yöntemler. Bahsedilen bu üç tür yaklaşımın ortak sıkıntısı, sadece yerel bilgidен yararlanmalarıdır ve bu bilgiyi kısmi olarak kullanmalarıdır [34]. Piksel tabanlı yöntemler, yerel komşuluk bilgisini de kullanmaz. Kenar tabanlı yöntemler yalnızca süreksizliklere bakıyorken, bölge temelli teknikler homojen bölgeleri çözümlerler. Nesnenin geometrik şeklinin bilinmesi durumunda *model tabanlı* yaklaşımlar uygulanabilir. Bilindiği üzere insan görme sistemi, nesneler tam olarak sunulmasa da tanımlayabilme yeteneği vardır. Böylesi eksik veriden nesne tanıma görevini, yerel komşuluk işleçlerinden elde edilen bilgiyle yerine olanaklı değildir. Bunun yerine yerel bilgiyle karşılaştırmak için nesnenin geometrik şekli hakkında özel bilgiye gereksinim duyulur[34]. Sonraki bölümde model tabanlı yaklaşımlardan Hough dönüşümüyle ilgili ayrıntı verilecektir.

Öznitelik çıkarımı ise ikinci aşamayı oluşturur. Burası nesnenin *ölçüldüğü* yerdir.

Ölçüler ise, nesnenin bazı nicelenebilen özelliklerin değerleridir. *Öznitelik*, nesnenin bazı önemli özgeğrilerini nitelemek için ölçülmüş bir ya da daha fazla ölçünün işlevidir. Öznitelik çıkarımı, *öznitelik vektörü* olarak adlanan öznitelik kümesini üretir. Bu aşama, giriş görüntüsüyle karşılaştırıldığında bilgi miktarını önemli miktarda aşağılara indirir (malumat ayıdır).

Örüntü tanımanın son aşaması ise, nesnenin hangi *sınıfa* ilişkin olduğunu belirleme yani sınıflamadır. Makine görü dizgelerinde bu aşamaya özışlerlik kazandırmak için çeşitli insan görmeyi modelleyen yaklaşımlar geliştirilmiştir: sayıtsal sınıflama, yapay sinir ağları yaklaşımı gibi. Sınıflamayla ilgili genel bilgi için “Pattern Recognition and Image Preprocessing” başlıklı kitaba [122], “Image Recognition and Classification: Algorithms, Systems, and Applications” başlıklı kitaba [123], [34] Bölüm 20’ye, [35] Bölüm 20’ye ve örüntü tanıma yerine *nesne tanıma* olarak isimlendirmesini yeğleyen [38] Bölüm 12’ye, yapay sinir ağları yaklaşımı için “Neural Networks for Classification: A Survey”[124] başlıklı makaleye, “Learning-Pattern Classification: A Survey”[125] başlıklı makaleye ve bulanık mantık temelli sınıflama yaklaşımlar için “A Survey of Fuzzy Clustering Algorithms for Pattern Recognition”[126] başlıklı makaleye bakılabilir.

Örüntü tanıma sorununa örnek olarak en basitinden içerisinde çember, kare, üçgen ve dikdörtgenini yer aldığı görüntülerdeki her bir farklı nesnenin sınıflanması verilebilir. Bu görüntüdeki çemberlere odaklanıldıysa, görüntü bölütlemenin çıkışında, görüntüden sadece çemberler yer alır. Çembere ilişkin öznitelikler yarıçapı ve merkezidir. Böylelikle *öznitelik vektörü* = {*Yarıçap*, *Merkez*} olabilir ya da örneğin {*yarıçapı ve rengi*} olabilir. Sınıflayıcı öznitelik vektöründen nesnenin hangi sınıfa ilişkin olduğunu belirlediğinde *çember* sınıfındandır çıktısı üretilecektir.

### 2.3.3 Hough Dönüşümü (HT)

#### 2.3.3.1 Giriş

Örüntü tanıma sorunlarında görüntü içerisindeki örüntünün (nesnenin) *konum* değiştirmiş, *dönmüş* ve *ölçeklenmiş* uyarlamalarını *eksik* bilgiye karşın *gürültüden*

çıkarmayı başarabilen görüntü bölütleme ve öznitelik çıkarım amaçlı olarak sıklıkla *Hough Dönüşümü*ne (HT, Hough Transform [127]) başvurulur. HT özişler denetim, uzaktan algılama, ölçüm ve montaj başta olmak üzere birçok bilgisayarla görü uygulamasında[120], görüntüler içerisine gömülü, süreksizlikli örüntülerin çıkarımında kullanılan etkili bir tekniktir. Duda ve Hart [128], çizgi algılamayı daha verimli duruma getirmek için polar parametre gösterimini ve ayrıca çember algılamayı ilk olarak önermiştir. Ballard[129] ise keyfi biçimli şekillerin dönmüş, ölçeklenmiş ve çevrilmiş uyarlamalarının algılanmasında kullanılmak üzere Genelleştirilmiş HTyi sunmuştur.

HT gerçeklemede, önışlemeyle (kenarlar algılama) elde edilen görüntünün her bir noktasından oylar, aranan eğri parametrelerinin eksenleri oluşturduğu parametre uzayındaki (Hough uzayı ya da model uzayı) kanıt toplama hücrelerinde toplanır. Böylece HT görüntü uzayından (veri uzayından), şeklin geometrik yapısıyla tanımlanan model uzayına dönüşümü gerçekleştirir[33] ve böylelikle model uzayına bir haritalamayı tanımlar[68]. HT'ye olası seçenekler arasında eşik uygulama, çıkartma ve *şablon eşleme* (ŞE, template matching) sayılabilir. HT'nin karşısındaki en güçlü rakip olan ŞE, şablon ve görüntü arasında hesaplanan ilintinin çözümlemesini kullanır. Şablonun görüntü üzerinde gezdirilmesiyle olası koordinat değerlerini ilinti hesabı yapılarak görüntü içerisinde söz konusu koordinatta örüntünün olabilirliği sınanır. Belirlenen eşik üzerine çıkan adaylar kabul görür. Başarımı ise, görüntünün içerdiği gürültü düzeyine, görüntünün pozlanması sırasındaki ortam ışıklandırma düzeyine ve örüntülerdeki kayıp bilgiye bağlıdır[68, 120]. Bahsedilen ilinti hesaplama temelli ŞE konum parametresini belirleyebilmesine karşın, diğer parametreleri belirleme eklentisi başka sorunu beraberinde getirir (örneğin dönmeden kaynaklı boşlukları doldurma, aynılaştırma gibi)[68]. Öte yandan hesaplama yükü şablon boyutunun  $m \times m$  ve görüntü boyutunun  $N \times N$  olması durumunda  $N^2 \cdot m^2$  ile orantılı süre gerektirir. Algoritması verilen ŞE yönteminin tek bir nesne parametresini çıkarttığı ve diğer parametrelerin de hesaplamaya ayrı bir yük getireceği hatırlanınca kullanışlı olamayacağı görülür. En basitinden çizgi bulma sorununda *kaba kuvvetle* (kaba kuvvet) aramada hesaplama kamaşıklığı  $N^3$  iken aynı işlem HT algoritmasında  $\frac{N \cdot (N-1)}{2}$  ile orantılıdır [130]. Ancak HT, şablon eşleme yöntemlerine nazaran daha az kaynak

gereksinimi olmasına karşın, hâla önemli miktarda bellek ve yüksek hesap gücü gerektirir. Haritalama süreci sona erdiğinde, Yerel En büyük Bulma yani görüntüdeki eğrilerin parametrelerini veren, yerel olarak en fazla oyu alan noktaları belirleme gerçekleşir.

Toplama dizisi, uygulamada parametre uzayının sezgisel bir şekilde pencerelemesi ve örneklenmesiyle önceden tanımlanır. Geniş bir aralıkta eğrileri algılamak için pencere boyutu olanaklı olduğunca büyük olmalı; diğer taraftan yüksek doğrulukta algılama içinse parametreler yüksek çözünürlükte örneklenmelidir (görüntünün ve dönüşüm uzayının sayısallaştırılma etkisi üzerine ayrıntılı bilgi için [44]'e bakılabilir). Her iki gereksinim, çok fazla hesaplama zamanı ve saklama kapasiteli büyük dizilere neden olur. Görüntü hakkında ön bilgi olmadıktan sonra, toplama dizisini uygun bir şekilde önceden tanımlamak oldukça zor bir görevdir. Uygun bir şekilde seçilmemiş bir dizi ise takip eden sorunlardan en azından birini barındıracak: (a) bazı eğrilerin algılanmasında yanlış, (b) yerel en büyüğü bulmada zorluk yaşama, (c) düşük doğruluk, (d) geniş bellek kapasite gereksinimi ve (e) düşük hız[131].

Hem HT'deki bu sıkıntıları aşmak, hem de HT'nin uygulama alanları, çeşitleri ve uzantıları üzerine şimdiye kadar yüzlerce makale yayınlanmıştır. Literatürde Leavers[121] ve Illingworth ile Kittler'in[132] HT ile ilgili gelişmeleri derledikleri iki temel inceleme makalesi ve yine yakın zamanda Kalviainen ve arkadaşlarınca[133] yayınlanmış, olasılıksal ve olasılıksal olmayan HT'lerle ilgili gözden geçirme ve karşılaştırmasını içeren bir inceleme yazısı vardır. Yukarıda sözü edilen sıkıntıları çözmek için geliştirilen teknikler algılanan örüntünün (eğrinin) geometrik özelliklerinden yararlanmasına (örneğin [134]) ve yeni çıkan hesaplama tekniklerinden (algoritmalar-dan) yararlanmasına (örneğin [135]) bağlı olarak iki genel gruba ayrılmaktadırlar. Öte yandan HT, içerisinde kestirim bulunmasına (olasılıksal olanlar ve olmayanlar), oylama yöntemine (çoktan-teke ve tekten-çoğa oylama), görüntü uzayının örneklenmesine (hepsi, yeterli miktarda ve altküme örnekleme) ve algılama biçimine (teker-teker ve hepsini birden) göre de sınıflandırılabilir.

HT, Bölüm 2.3.2'de verilen örüntü tanıma dizgesindeki görüntü bölütleme ve öznitelik çıkarımını birden gerçekler. Nesnenin geometrik denklemi kullanılarak ya-

pılan *oylamada* o nesnenin var olması durumunda Hough uzayında sivri-sıkı tepeler alınacaktır. Diğer nesneler (örneğin kare, üçgen, beşgen gibi) içinse tepeler yayılmış olarak alınacaktır[120]. Böylelikle tepenin sivrilğine ve sıklığına bakarak *elme* yapmakla *görüntü bölütleme* ve ilgilenilen nesne dışındakiler ayıklanabilir. Oylamayla elde edilen uzayda *yemel en büyük* belirlemeyle de ilgilenilen nesnenin ölçüleri bulunabilir. Bu ise *öznitelik çıkarımına* denk düşer.

Öncelikle Bölüm 2.3.3.2’de HT’nin çizgi algılamada kullanımı, algoritmalar ve bazı sonuçlar verilecek. Ardından Bölüm 2.3.4’de çemberler için HT’nin kullanımı ve gradyan temelli CHT algoritması ve ayrıntıları verilecektir. Bu algoritma öncesinde çalışılan görüntülerin uygun önışlenmesinin yapıldığı ve algoritma çıktılarının uzmanlarca yorumlanması kolay duruma getirmek amacıyla da sonışlemenin yapıldığı uygulamadan örnekler verilecektir. Uygulamalarda iki adet yapay görüntü ve gürültülü uyarlamaları ve hastadan alınan mikroorganizmaların antibiyotiklere duyarlılığının belirlendiğı ADT ve dondurmanın niteliğı değerlendirmek amacıyla hava kabarcıklarının sayıldığı DND uygulamaları gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar verilmiştir.

### 2.3.3.2 Hough Dönüşümünün Çizgi Algılamada Kullanımı

İkil ya da gri görüntü üzerinden uygulanışına göre HT iki farklı sınıfa ayrılır. İkil görüntü üzerinde HT’nin uygulayımında öncelikle görüntü ya basit eşik uygulama yöntemleri ya da standart kenar algılama teknikleri (örneğin Canny) kullanılarak ikili (binary) görüntülere (görüntü uzayına) dönüştürülürler. Elde edilen görüntü, kenar pikselleri (önplan pikselleri) ve arkaplan piksellerinden oluşur. Burada önplan pikselleri siyah ve arkaplan pikselleri ise beyazdır. Gri görüntü üzerinde HT’nin uygulayımı ise görüntünün farklı önışlenmesini gerektirir. Örneğın gradyan hesaplama (daha fazla ayrıntı Bölüm 2.3.5’de verilecektir).

**İsımlendirme** İkil görüntüler üzerinden çizgilerin bulunmasına dair algoritma içerisinde geçecek bir kaç kavramı ya da isimlendirmeyi vererek başlayalım.

**Nokta:** Önplan piksellerini ifade etmek için kullanılır.

**Piksel:** Hem önplan hem de arkaplan piksellerinden söz ederken kullanılır.

**Görüntü Uzayı:** Aksi belirtilmediği müddetçe, bu bölümde asıl görüntüye kenar algılama uygulandıktan sonra ikil (binary) biçime dönüştürülmesiyle elde edilen görüntüdür.

**Parametre Uzayı:** HT ile öznitelik çıkarımı yapılan görüntüye ilişkin parametrelerin eksenlerini oluşturduğu uzaydır.

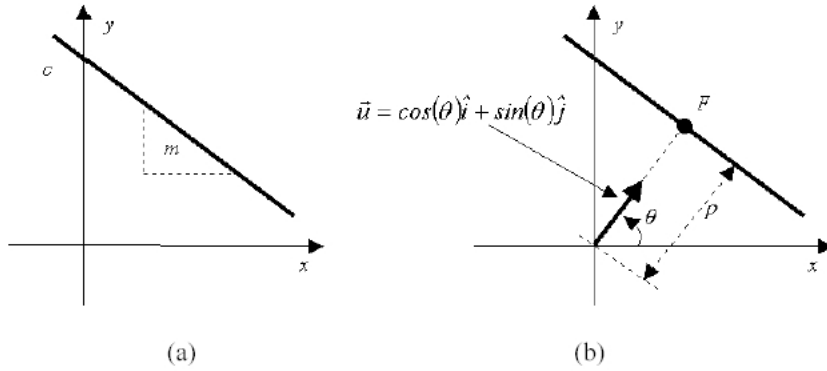
**Çizgiler için HT** Doğru ya da çizgi denklemi için genelde eğim - kesişme gösterilimi kullanılır,

$$y = mx + c \quad (2.65)$$

Fakat bu tek gösterilim değildir ve bu gösterilimle dikey çizgilerin temsilinde yaşanan sonsuz eğim gibi güçlüklerden ötürü, *normal gösterilimi* yeğlenmektedir[68],

$$\rho = x \cos(\theta) + y \sin(\theta) \quad (2.66)$$

Her iki gösterilim Şekil 2.54’de resmedilmiştir.

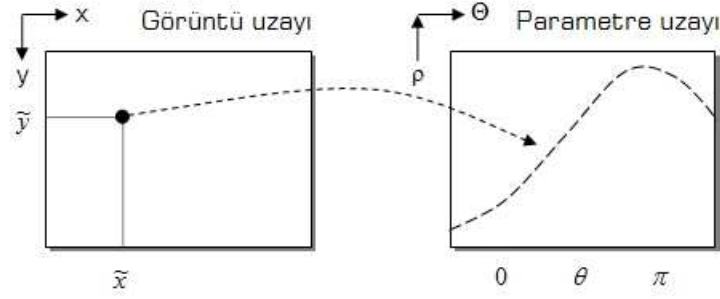


Şekil 2.54: Doğrunun *eğim-kesişme* ve *normal* gösterilimi

Normal gösterilimi kullanılarak görüntü içerisindeki doğruların agulanmasında kullanılan HT’ye ilişkin kanıt toplama uzayı  $\rho$  ve  $\theta$  parametrelerinden oluşacak yani

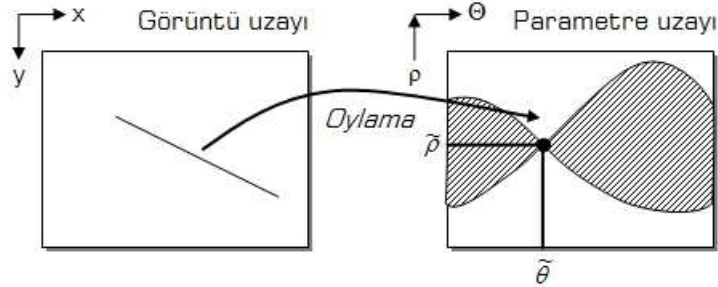


iki boyutlu olacak. Standart - sürekli HT, görüntü düzlemindeki (sürekli ya da analog görüntü) her bir  $(\tilde{x}, \tilde{y})$ -noktasını (önplan noktasını) normal parametre (Hough) uzayında  $\rho = \tilde{x}\cos(\theta) + \tilde{y}\sin(\theta)$ -sinüsoidalına haritalar (Şekil 2.55).



Şekil 2.55: Noktadan sinüsoide oylama gösterilimi

Görüntü düzleminde aynı doğru üzerinde yer alan noktaların haritalamasının ardından, parametre düzleminde tek bir noktada kesişen çok sayıda sinüsoidal yer alacak. Sinüsoidlerin kesiştikleri koordinat değeri görüntü düzlemindeki doğrunun parametrelerini -  $(\tilde{\theta}, \tilde{\rho})$  verecek (Şekil 2.56).



Şekil 2.56: Oylama ile elde edilen sinüsoidler kümesi

Görüntü düzleminin sayısallaştırılması, nicemleme yanılgısı olarak adlandırılan yanılığların ortaya çıkmasına neden olur[44]. Bu ise oylama sırasında görüntü düzlemindeki (bundan sonrası için ayrık görüntü düzlemi, görüntü düzlemi olarak kısaltılacak) her bir nokta parametre uzayında tek bir sinüdoide değil, Eşitlik 2.67'deki formülle tanımlanan sinüsoid bantına karşılık düşecek. Oluşacak sinüsoid bandı Şekil 2.57'de gösterilmiştir. Bu bant içerisindeki tüm adaylara oy vermek gerekecektir.

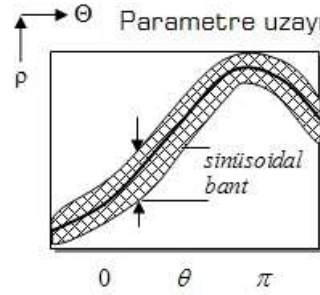
$$\rho_{alt-sinir} \leq \rho < \rho_{ust-sinir} \quad (2.67)$$

burada,

$$\rho_{alt-sinir} = \tilde{y}\sin(\theta) + \tilde{x}\cos(\theta) - 0.5\mu(\theta)$$

$$\rho_{ust-sinir} = \tilde{y}\sin(\theta) + \tilde{x}\cos(\theta) + 0.5\mu(\theta)$$

$$\mu(\theta) = \begin{cases} \sin(\theta) & \text{eger } 45^\circ \leq \theta < 135^\circ \text{ ise} \\ |\cos(\theta)| & \text{diger durumlarda} \end{cases}$$



Şekil 2.57: Sayısallaştırmayla oluşan sinüsoid bandı

HT'nin sayısal gerçeklemesini yapabilmek için şimdiye kadar *sürekli* biçimde verilen parametre uzayı, sırasıyla  $\Delta\theta$  ve  $\Delta\rho$  aralıklarıyla örneklenmelidir.  $N_x N$  boyutlu görüntü için örneklenmiş parametre uzayı  $N_\theta x N_\rho$  boyutlarında bir matris oluşturur ki bu matrise *toplama dizisi* adı verilir. Örnekleme aralıkları (nicem değerleri) ile toplama dizisinin boyutları arasındaki ilişkiler Çizelge 2.6'da özet olarak verilmiştir. Ayrıntı için [44] nolu kaynağın *5.6.3 Discrete Image and Parameter Space* bölümüne bakılabilir. Alternatif aralıklar düşünülebilir olmasına karşın  $0 \leq \theta < \pi$  aralığı yeterlidir. Bu durumda  $\Delta\theta$  ile  $N_\theta$  arasındaki ilişki,

$$\Delta\theta = \frac{\theta_{max} - \theta_{min}}{N_\theta - 1} = \frac{\pi - 0}{N_\theta - 1} = \frac{\pi}{N_\theta - 1} \quad (2.68)$$

biçimini alır. Görüntünün koordinat merkezinin, görüntü merkezinde yerleştirilmesi durumunda, Şekil 2.54.b'deki gösterimde kullanılarak  $\rho_{min} = -\sqrt{2}N/2$  ve  $\rho_{max} = \sqrt{2}N/2$  elde edilebilir. Bu durumda  $\rho$  ile  $N_\rho$  arasındaki ilişki,

$$\Delta\rho = \frac{\rho_{max} - \rho_{min}}{N_\rho - 1} = \frac{\sqrt{2}N}{N_\rho - 1} \quad (2.69)$$

biçimini alır.  $1 \leq i_\theta < N_\theta$  ve  $1 \leq i_\rho \leq N_\rho$  değişim aralıklı, tamsayı değerli toplama dizisi indisleriyle parametre değerleri -  $(\theta, \rho)$  arasındaki ilişkiler aşağıdaki tabloda verilmiştir (Çizelge 2.6). Bu formüllerin türetimi için [44] nolu kaynağın 5.6.3 *Discrete Image and Parameter Space* bölümüne bakılabilir.

|                               |                                                                                                                                   |
|-------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\theta \Rightarrow i_\theta$ | $i_\theta = 1 + \frac{N_\theta - 1}{\pi} \theta$                                                                                  |
| $\rho \Rightarrow i_\rho$     | $i_\rho = 1 + \frac{\rho - \rho_{min}}{\Delta\rho}$                                                                               |
| $i_\theta \Rightarrow \theta$ | $\theta = (i_\theta - 1) \cdot \Delta\theta$<br>$i_\theta = 1, \dots, N_\theta - 1$<br>$\Delta\theta = \frac{\pi}{N_\theta - 1}$  |
| $i_\rho \Rightarrow \rho$     | $\rho = (i_\rho - 1) \cdot \Delta\rho + \rho_{min}$<br>$i_\rho = 1, \dots, N_\rho$<br>$\Delta\rho = \frac{\sqrt{2}N}{N_\rho - 1}$ |

Çizelge 2.6: Toplama dizisi indisleriyle parametreler arasındaki ilişkiler

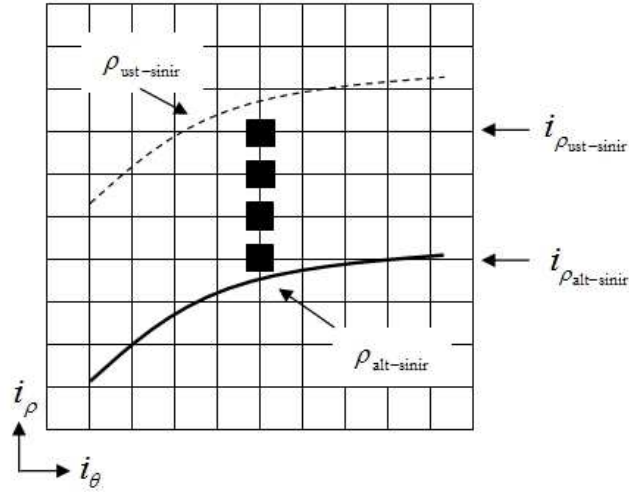
Şekil 2.57'de gösterilen her bir bant için,  $i_\theta$  1'den  $N_\theta$ 'ya kadar değişiyorken Şekil 2.58'de gösterilen  $i_\rho$  değerleri güncellenmelidir.

Güncellenecek indis değerleri Çizelge 2.6'daki veriler kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanabilir,

$$i_{\rho_{alt-sinir}} = \lfloor (\rho_{alt-sinir} - \rho_{min}) / \Delta\rho + 1 \rfloor \quad (2.70)$$

$$i_{\rho_{ust-sinir}} = \lfloor (\rho_{ust-sinir} - \rho_{min}) / \Delta\rho \rfloor \quad (2.71)$$

burada  $\lfloor x \rfloor$  aşağı yuvarlama işlemidir ve  $x$ 'e en yakın kendisinden büyük olmayan en büyük tamsayıyı verir. Normal gösterilimiyle sunulan çizgileri algılamak için



Şekil 2.58: Sayısallaştırılmaya ortaya çıkan sinüsoid bantında her bir  $i_\theta$  değeri için  $\rho_{alt-sinir} \leq \rho < \rho_{ust-sinir}$  arasındaki tüm hücrelere erişilerek oyları birer arttırılmaktadır.

Çizelge 2.7: Çizgileri algılamak için SHT (Standart Hough Transform

1.  $\rho_{min} = -\sqrt{2}N/2$
2.  $TD$ -toplama dizisini sıfırla
3. **For** görüntüdeki her bir  $(\tilde{x}, \tilde{y})$ -önplan noktası için **do**
4.   **For**  $i_\theta = 1$  to  $N_\theta - 1$  **do**
5.      $\theta = (i_{theta} - 1)\Delta\theta$
6.      $\rho_{alt-sinir}$  ve  $\rho_{ust-sinir}$  değerlerini hesapla
7.      $i_{\rho_{alt-sinir}}$  ve  $i_{\rho_{ust-sinir}}$  değerlerini hesapla
8.     **For**  $i_\rho = i_{\rho_{alt-sinir}}$  to  $i_{\rho_{ust-sinir}}$  **do**
9.        $TD(i_\theta, i_\rho)++$
10.    **end**
11.   **end**
12. **end**

standart Hough dönüşümünün gerçekleştirilmesi sözde kodlarla aşağıda verilmiştir (Tablo 2.7).

Görüntüdeki önplan (kenar) noktalarının her biri için  $\theta$ 'nın  $[0, \pi]$  aralığındaki  $\Delta\theta$  aralıklı değerleri için  $[\rho_{al-sinir}, \rho_{ust-sinir}]$  ile sınırlanan sinüsoid banttaki tüm  $\Delta\rho$  aralıklı tüm değerlere erişilir. 9. satırdaki  $TD(i_\theta, i_\rho)++$  toplama dizisinde *oylama* olarak yorumlanır. Gerçekten de görüntü üzerindeki her bir *nokta* üzerinde yer alabileceği olası tüm doğru parametrelerine oy vermekte, bu parametre noktası için *kanıt* sağlamaktadır. Parametre düzlemindeki üyelerin belirlenen bir eşğin üzerinde yer

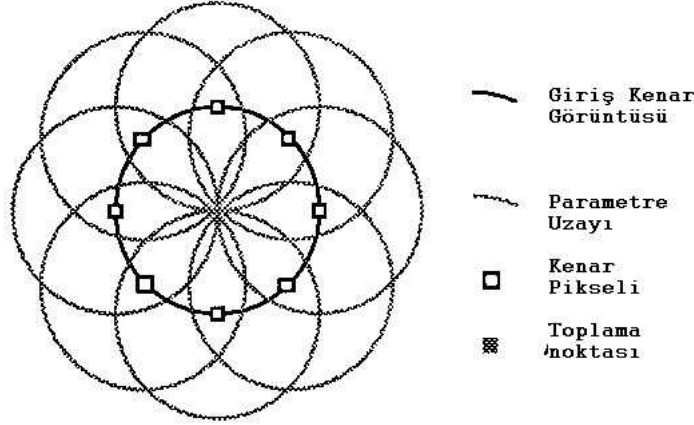
alan hücrelerin her biri, görüntü düzlemindeki bir doğrunun parametrelerine denk gelir.

### 2.3.3.3 Sıkıntılar ve Çözüm Yöntemleri

HT çeşitli sıkıntıları beraberinde getirir, örüntünün geometrik (analitik) olarak ifade edilebilmesi gerekir, yüksek kaynak (büyük bellek ve yüksek hesaplama gücü) gerektirir ve eksik bilgidен kurtarım bazen yanılgılı sonuçlara neden olur. Örneğin elips yayından çember algılanabilir. Hough dönüşüm uzayında oluşan arkaplan gürültüsünün geriye-haritalama yaklaşımıyla giderilmesiyle birlikte sorunlar bitmemektedir. Görüntü düzlemindeki sayısallaştırma sorunu sinüsoid bant yaklaşımıyla çözme girişimi yeni bir sorun doğurmaktadır, dönüşüm uzayında tek bir noktada güçlü bir tepe noktası yerine yayılmış oylar (baklava biçimli yayılım) ve bunun sonucunda da eğrinin (doğrunun) algılanamaması. Görüntüdeki doğrunun boyu kısa ise daha büyük baklava dilimleri alınmakta ve işler çok daha zorlaşmaktadır. Bu sorunun çözümü ise parametre uzayının, görüntü verisine bağlı olarak eşit olmayan aralıklarla örneklenmesi gerektireceğinden ve bunu sağlamak için veri yapısı çok fazla karmaşıklaşacağından pratikte kullanım bulmaz. Bunun yerine  $N_\theta = N$  ve  $N_\rho = 2.N$  boyutlu eşaralıklı ızgara kullanılır. Eş aralıklı ızgaranın yol açacağı aşırı- ve düşük-örnekleme sorunlarının üstesinden gelmek için yerel ve genel geometrik özelliklerden yararlanılır. Örneğin *Bağlantısallık Çözümlemesi* [136, 44]. Bu teknik ayrıca, çizginin (doğrunun) uç noktalarını belirleyebilmektedir. Çözümlemesi gereken diğer ciddi sıkıntı kaynak gereksinimi olarak adlandırılan bellek ve hesaplama gücü gereksinimi sorunudur. Bu amaçla çeşitli hızlandırma algoritmaları geliştirilmiştir [137, 138, 139]. Ayrıca algılanan çizginin kalınlığı ve uzunluğunun ne kadar olduğu yukarıda verilen standart HT algoritmasıyla başarılamamaktadır. Bu amaçla geliştirilmiş çeşitli değişikliğe uğramış ya da eklenti yapılmış HT algoritmaları vardır[140, 141]. HT'nin büyük kaynak gereksinimini en azlamak için görüntünün öncelikle ölçeklenmesi ve görüntüdeki büyük boyutlu çemberler algılanıp, görüntüden bunların çıkarılmasının ardından daha büyük ölçekte tekrardan algılamının çalıştırılması işlemi yapılabilir.

### 2.3.4 Çemberler için HT (CHT)

Yuvarlak nesnelerin konumlandırılması, yalnızca görüntü çözümlemenin birçok alanında değil aynı zamanda özişler denetim ve kurulum gibi endüstri uygulamalarında da önemlidir. Tek başına yemek endüstrisinde, ürünlerin çok geniş bir bölümü yuvarlaktır – bisküvitler, kekler, pizzalar, turtalar, portakal ve daha bir çoğu. Otomotiv endüstrisinde, çok sayıda dairesel bileşen kullanılır – yıkayıcı, tekerlek, direksiyon, piston, civata gibi, ayrıca farklı boyutlu yuvarlak boşluklar. Ek olarak düğmeler ve birçok diğer günlük nesneler de yuvarlaktır. Tüm bu ürün parçaları, yüksek doğrulukla *gözden geçirilmeyi*, *kurulmayı*, *denetlenmeyi* ve *ölçülmeyi* gerektirir. Sonuç olarak, nesneler sıklıkla onların boşluklarıyla konumlandırılabilirler, böylelikle yuvarlak boşlukları ya da öznitelikleri bulma daha büyük bir sorunun parçasıdır. Yuvarlak görüntü nesneleri, kendilerine has bir kategoriye biçimlendirdiğinden, onları içeren sayısal görüntüleri çözümlmek için oldukça etkili algoritmalar vardır[120].



Şekil 2.59: Standart CHT kavramlar

Görüntü içerisindeki çizgileri ve çemberleri algılama, görüntü işleme uygulamalarında çok temel bir konudur. Sayısal görüntülerden çemberlerin çıkarımı, birçok teknolojik uygulamalarında çembersel nesnelerin konumlandırılmasında kullanılacağından oldukça ilgi çekici bir alandır. Şimdiye kadar çok sayıda çember çıkarım yöntemi geliştirilmiştir. Çemberler için Hough dönüşümü (CHT [128]), en iyi bilinen algoritmalarından biridir ve görüntü içerisinde bilinen  $r$  yarıçaplı çembersel şekilleri bulmaya yardımcı olur. Bunun için öncelikle görüntü gri düzeylere dönüştürülür,

ardından güneş granülasyonu incelemelerinde ayrıntılandırılan yöntemler (örneğin kontrastlığını arttırmak için Çok İşlevli Gama Zıtlayıcı, ya da görüntüdeki belli dilime düşen çemberlerle ilgilenilmesi durumunda Gri Düzey Dilimleme ve diğer yöntemler) kullanılarak önışleme yapılır ve eşik uygulanarak görüntü zemin ve önplan (ya da kenar) noktalarından oluşan ikil (binary) duruma getirilir. Genel olarak görüntüye ilişkin kenar noktalarının her biri, çıkış toplama uzayında  $r$  yarıçaplı bir çembere katkıda bulunur (oy verir). Yarıçap değerinin bilinmemesi durumunda, algoritma yarıçapın olası tüm değerleri için çalıştırılarak, sonuçta 3-boyutlu parametre uzayı şekillendirilir. Şekillendirilen bu uzayın iki boyutu merkezi diğer boyutu ise yarıçapı temsil eder. Çıkış toplama uzayında, orjinal çemberin merkezinin olduğu koordinatta oylama sırasında katkıda bulunan çemberlerin örtüşmesiyle bir tepe ortaya çıkar (Şekil 2.59).

Basit çalışma kuramının oluşturduğu yaygınlığına karşın, sayıllaştırılmış görüntüler üzerinde çalışırken, CHT'nin bazı sıkıntıları vardır. Özellikle gerçek zamanlı etkileşim isteyen uygulamalarda, CHT'nin büyük kaynak (bellek ve işlem gücü) gereksinim sorunu onun en önemli sıkıntı kaynağıdır. Şimdiye kadar başarımını arttırmak için, CHT'nin çok sayıda değişiklik geçirmiş uyarlamaları bildirilmiştir. Tsuji ve Matsumoto, parametre uzayını ayrıştırıp, çemberlerin koşutluk (paralel) özelliğini kullanmışlardır[142]. Yöntemlerin bir kısmında, kenar noktalarının rastgele olarak seçimi ve kenar nokta bilgisi yerine çemberin geometrik özellikleri kullanılmıştır. Xu ve arkadaşları, rastgele olarak üç noktanın seçilmesi yaklaşımını sunmuşlardır[143]. Bu yöntemde, üç adet aynı doğrultuda yer almayan kenar noktası seçilir ve çember eşitliği kullanılarak bulunan çember parametresine oylama yapılır. Chen ve Chung, Xu ve arkadaşlarının yöntemini rastgele olarak dört nokta seçip, toplama dizisi kullanmadan çember parametresini bulup ardından doğrulama yaparak iyileştirmişlerdir[144]. Fakat, rastgele seçim yöntemlerinin, kenar noktalarının sayısına bağlı ihtimale dayalı seçim, doğruluk ve hız gibi özgün sıkıntıları vardır. Yip ve arkadaşları, parametre boyutunu azaltmasına karşın, çember parametrelerinin öngörüsünde kullandığı yerel geometrik özelliklerinin nicemleme gürültüsünden kaynaklı olarak, zayıf tutarlılığa ve düşük konumlandırma doğruluklu yeni bir yöntem önermişlerdir[145]. Bu sıkıntıların üstesinden gelmek için, Ho ve Chen, para-

metre uzayının boyutunu azaltmada küresel (global) geometrik çember bakışimsallığını (symmetry) kullanmıştır[146]. UpWrite yöntemi, seçilen kenar noktalarının yerel numunesinin (model) üretiminde rastgele denetleme algoritmasını (spot algorithm) kullanılmıştır [147]. Seçilen kenar noktaları, seçilen kenar *noktalar*nda merkezi olan  $r$  yarıçap çembersel komşuluktadırlar. CHT'yi boyuttan bağımsız kılmak için geliştirilmiş çok sayıda çalışmada vardır [148]. Bu yaklaşımlar ağır hesaplama yükünü azaltmasına karşın, hâla diğer sıkıntılar vardır.

Görüntü hakkında önbilginin varlığı, CHT'yi basitleştirmekte ve soruna özel yaklaşımlarla algoritmanın zorlukları azaltılabilmektedir. Standart 3D HT yardımıyla çember tanımanın üstesinden gelmek için çeşitli çabalar [149] harcanmış olmasına karşın, hâla kaynak gereksinim sorununu basitleştirmek adına arama uzayının basitleştirilmesi gereksinimi vardır [134]. “Çember üzerindeki bir noktanın normali, çemberin merkezinden geçer [150]” özelliği birçok çalışmada kullanılmıştır[151, 152]. İdeal durumda çembere ilişkin bu özellik, tek bir görüntü önplan noktası yardımıyla çemberin merkezinin üzerinde yerleştiği doğrultunun belirlenmesini olanaklı kılar. Aynı çember üzerinde yer alan iki görüntü önplan noktasının kullanılması ise çember merkezinin belirlenmesini olanaklı kılacağından, böylelikle az sayıda önplan noktasıyla çemberin öngörüsü olanaklı olacak ve hesap yükü azalacak, fazlalık - yanlışlıklar oylamalar yapılması engellenebilecek, parametre düzlemi ya da toplama dizisi daha basit ve daha küçük boyutlu bir yapıda olacağından bellek gereksinimi azalacak.

İlk olarak kenar yönelim bilgisinin kullanılmasını öneren Kimme [153]'dir. O, çember sınırında (çevresi üzerinde) kenar yöneliminin çember merkeze ya da dışı doğru olduğunu farketmiştir. Bu değişiklik, hesaplama gereksinimini önemli oranda azaltmıştır. Öyle ki her bir kenar noktası için, sadece kenar noktasından  $r$  uzaklıkta kenar yönelimine dik  $\alpha$  derecelik bir yayın oylanması yeterli olmaktadır. Buradaki  $\alpha$  açısı sayısallaştırma ve ayrıklaştırma yanlışlarından kaynaklı olarak ortaya çıkan yardımcı bir parametredir. Minor ve Sklansky, kenar yönelim kullanımını, kenar yönelimi boyunca yarıçap eriminde bir çizgi - doğru çizerek (oylayarak) genişletmişlerdir[154]. Oylama ya da olası çember merkezi doğrusuna ilişkin çizim için [155]-Şekil 1.a ve -Şekil 3'deki gösterimlere bakılabilir. [154]'deki yaklaşım, üç boyutlu yerine iki boyutlu parametre uzayı kullanımını olanaklı kılma üstünlüğünü



de beraberinde getirmektedir. Yöntem, çember biçimli şekillerin (sıkı/tıkız/compact dışbükey nesneler ya da leke) algılanması için daha fazla genişletilebilir.

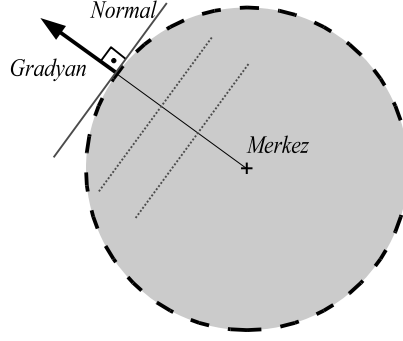
Bu yöntemler gürültüye duyarlı[82] olan kenar yönelim bilgisini kullanırlar. İm gürültü oranı azaldıkça, gradyan kestiricisinin doğruluğu da azalmaktadır[82, 81]. Gradyan temelli yöntemlerin şiddetle gradyan öngörü doğruluğuna bağlı olması gerçeği, neden gürültüye karşı bu kadar duyarlı olduğunu da açıklar. Diğer bir sıkıntı ise bazı kenar algılama yöntemlerinin gradyan bilgisi sağlayamamasıdır. Gradyan temelli algoritmaların gürültüye karşı duyarlılığın yüksek olması eksikliği, gradyan işlemi öncesinde ve sonrasında uygun gürültü giderici süzgeçler kullanılarak, önemli ölçüde giderilebilmektedir [155, 156].

Burada görüntü içerisindeki yuvarlak ya da çember biçimli nesneleri (örüntüleri) tanımlama, anlama ya da ölçmeyi olanaklı kılacak CHT ya da özel olarak bir sonraki bölümde algoritması verilecek gradyan hesaplama temelli CHT algoritması ve gerçekleymeyle ilgili ayrıntılar ve algoritmaya yapılan katkılar verilecektir. Yaklaşım, 3D aramasını 2D HT ve 1D yarıçap histogramına dönüştürerek ayrıştırma yapmaktadır. Ardından olası geniş uygulama örnek eriminden yalnızca iki tanesi üzerinde elde edilen sonuçlar verilerek bölüm sonlandırılacaktır.

### 2.3.5 gradCHT (Gradyan Temelinde CHT) Algoritması

Standart CHT’de giriş *kenar görüntüsündeki kenar piksellerinin* her biri *parametre uzayında*  $r$  yarıçaplı bir çembere *oy vererek toplama noktalarını* doldururlar (Şekil 2.59). Gradyan tabanlı yöntem ise çember üzerindeki her hangi bir noktanın *normaline* dikme (*gradyan*), çemberin *merkezinden* çıkan ışın doğrultusunda olduğu bilgisinden yararlanır (Şekil 2.60). Öte yandan çember içeren görüntünün *gradyanı* alındığında (değişim yönünü veren vektörler üretildiğinde), çember sınırlarında vektörlerin merkeze ya da merkezden dışa doğru olduğu kolaylıkla görülebilmektedir. Bu iki bilgi kullanılarak öncelikle görüntünün gradyanı alınır. Ardından gradyan vektör yönlerine uygun olarak olası çember merkezi adaylarına oylar dağıtılır. Gradyan görüntüdeki tüm noktalar için oylamanın ardından kanıt toplama uzayında yerel en büyükler belirlenir. Bu yerel en büyük koordinatlarının her biri için yarıçap histog-

ram üretimine geçilir. Yarıçap histogramında, eşik değerinin üzerine çıkan yerel en büyükler belirlenerek algılanan çember parametresi olarak atanır.

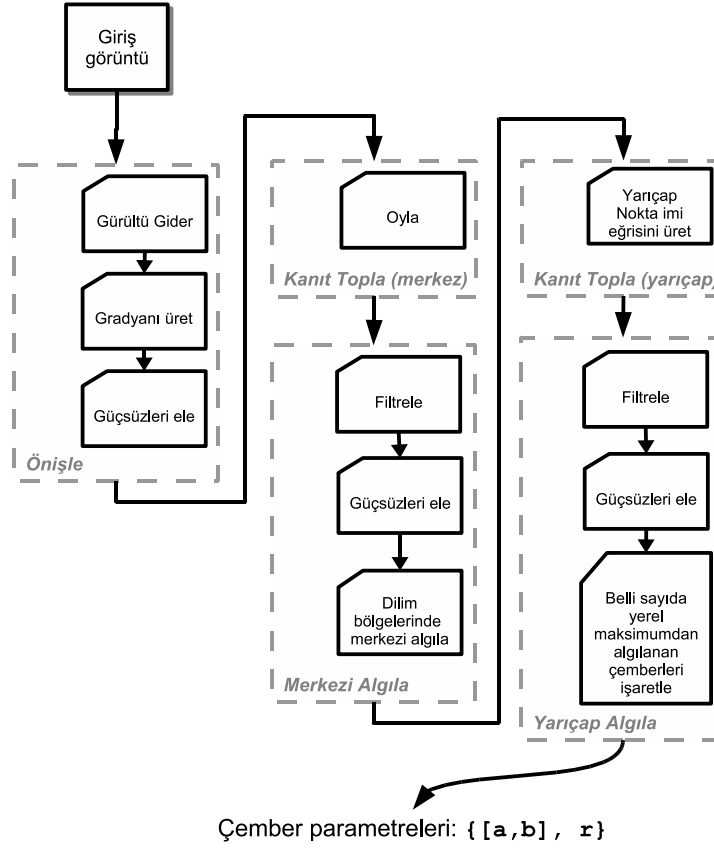


Şekil 2.60: gradCHT kavramlar

## Önişleme

Yöntemin gölgelenme, görüntü gürültüsü, şekil bozuklukları ve ürün kusurlarından etkilenmemesi için[120] ve algoritmanın kullanımı sırasında, giriş görüntüsünün algoritma için uygunlaştırmak adına ya da algoritmanın başarımını iyileştirmek için bazı önişlemelerin yapılması gerekecektir[156]. Önişleme aşaması gürültü giderimini, gradyan bilgisi üretimini ve zayıfları eleme amaçlı eşik uygulamayı içerir. Öte yandan görüntülerin gri düzey erimi aşırı yayılmış ya da dar olabilir. Algoritma öncesinde bu tarz görüntüler önişlenmediği takdirde başarımın düşük alınmasına neden olurlar. Devingen erimi uygun miktara getirmek için log zıtlık yayma ya da normal zıtlık yayma uygulanabilir. Bazı durumlarda çemberler görüntüde bulanık bir yapıda ve neredeyse zeminle kaynaşmış bir şekilde olabilir. Bu durumda gradyan hesaplayıcı düşük genlik üretecek, eşik aşamayıp elenmesiyle başarım incek aşağıya. Ancak görüntüler değişinti süzgeç gibi araçlarla çemberlerin (genel olarak kenarların) belirginleştirilmesi sağlanabilir. Böylelikle algoritmanın başarımı arttırılabilir.

**Gürültü Giderme** Uygulamaya bağlı olarak çalışılan görüntüler farklı türden gürültüler içerir. Sayısal görüntülerdeki asıl gürültü kaynakları, görüntünün pozlanması (elde edilmesi ya da sayısallaştırılması) ve/ya iletimi sırasında ortaya çıkar. Görüntüleme algılayıcısının başarımı, çeşitli etmenlerden etkilenir: görüntünün elde edilmesi



Şekil 2.61: gradCHT (Gradyan temelinde CHT)

sırasındaki ortam koşulları ve algılama elemanının kendisinin niteliği. Örneğin CCD kameralarda, sonuç görüntüsündeki gürültü büyük ölçüde ışık düzeyine ve algılayıcı sıcaklığına bağlıdır[38]. Görüntülerde çeşitli gürültü modellerine (yapılarına) rastlamak mümkündür: gauss biçimli, rayleigh, gamma, üstel, tekdüze, birim vuruşsal, periyodik. Gürültülerin asıl kaynağı ya elektronik, ya fotoelektronik ya da film elemanı temellidir[35]. Görüntüde yer alan gürültüleri uzaklaştırmak amacıyla çeşitli teknikler geliştirilmiştir: ortalama alma (ya da yumuşatıcı), ortanca süzgeçleme, sıklık düzlemi temelli. Ortanca süzgeç, kenarları koruyarak yumuşatma ya da gürültü bastırmayı başarabilmeleri yönüyle ortalama alıcı gibi diğer olası seçenekler arasında yeğlenme nedenidir[155]. Sonuçta görüntülerin çekilip bilgisayara aktarılınca kadar geçtiği ortamda uygulamaya bağlı olarak çeşitli gürültü kaynakları bozucu etkide bulunur. Görüntünün içerdiği gürültü türü histogram incelemesi gibi çeşitli teknikler yardımıyla belirlenmeli, ardından uygun süzgeçleme yöntemiyle giderilmelidir. Çünkü CHT algoritmasının üzerine kurulduğu gradyan hesaplama aşaması gürültü duyarlıdır[82]. Gradyanın tahammül edemeyeceği orandaki gürültü sonuçların yanlış alınmasına neden olur.

**Gradyan Bilgisini Üretme** gradCHT algoritması, oylamayı en azlamak için Şekil 2.60'da resmedilen, “çember kenarından hesaplanan gradyan vektörü tersi yönünde çemberin merkezi yer alır. Görüntüden kenarlar üzerindeki gradyanı ya da kısaca görüntünün gradyanını hesaplamak için birinci dereceden türevler kullanılır[38].  $I(x, y)$  görüntü işlevinin  $(x, y)$  koordinatında ki gradyanı iki boyutlu sütun vektörü ile tanımlanır,

$$\nabla \mathbf{I} = \begin{bmatrix} G_x \\ G_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial I}{\partial x} \\ \frac{\partial I}{\partial y} \end{bmatrix} \quad (2.72)$$

burada  $G_x$ ,  $x$ - ve  $G_y$ ,  $y$ - yönünde görüntünün türevi ya da gradyanıdır. Bu vektörün genliği (ya da kenar bilgisi),

$$\begin{aligned}
\nabla I &= \text{genlik}(\nabla \mathbf{I}) \\
&= [G_x^2 + G_y^2]^{1/2} \\
&= \left[ \left( \frac{\partial I}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial I}{\partial y} \right)^2 \right]^{1/2}
\end{aligned} \tag{2.73}$$

bağıntısıyla hesaplanabilir ki bu eşitlik aynı zamanda Laplacian işleci olarak da anılır. Kare ve karekök alma maliyetli işlemlerdir, bu yüzden sıklıkla yaklaşık sonuç üretse de,

$$\nabla I \approx |G_x| + |G_y| \tag{2.74}$$

eşitliği kullanılır[33].  $x$ - ve  $y$ -yönündeki gradyan bilgisini üretmek için kullanılacak  $3 \times 3$  boyutlu süzgeç maskeleri aşağıda verilmiştir,

$$G_x = \frac{\delta I}{\delta x} = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \tag{2.75}$$

ve

$$G_y = \frac{\delta I}{\delta y} = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \tag{2.76}$$

Eşitlik 2.75 ve Eşitlik 2.76 Sobel işleci olarak anılırlar. Sobel işleci optimuma en yakın olandır[157], ve tarihsel temeli olan bir standarttır ve günümüzde yayınlarda en sıklıkla kullanılan işleçtir[50]. Fakat görüntünün sayısallaştırılmış ya da ayrıklaştırılmış olması, doğal olarak gradyan hesaplamalarında genlik ve yönelim yanılılarıyla sonuçlanır[33], bu yüzden de zayıf kenar yönelim öngörücüsü olarak bilinir[51]. Yanılgıyı en azlamak amacıyla görüntünün bu doğası da dikkate alınarak hesaplanmış Eşitlik 2.76 yerine kullanılabilir enuygun (optimum)  $3 \times 3$  süzgeç katsayıları[157],

$$Gradyan_{3 \times 3-optimum} = \begin{bmatrix} -0.112737 & 0.000000 & 0.112737 \\ -0.274526 & 0.000000 & 0.274526 \\ -0.112737 & 0.000000 & 0.112737 \end{bmatrix}$$

dir.

**Gradyan Eşliğini Uygulama** Önışlemeyle süzülemeyen gürültüden kaynaklı olarak ortaya çıkan zayıf gradyan değerlerinin algoritmanın bundan sonrasında hesaplama yüküne daha fazla yük getirmemesi ve yanılgılı sonuçların alınmaması için eşik uygulanır.

### Kanıt Toplama

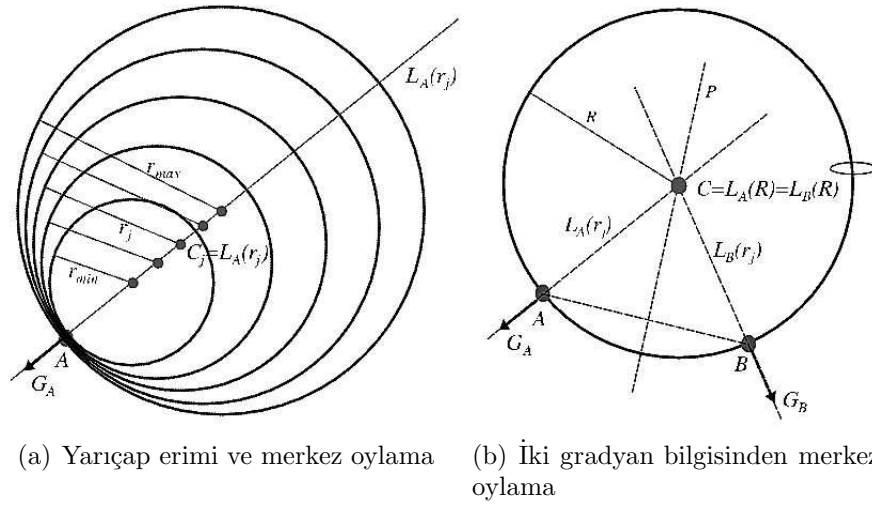
Hesaplanan gradyan değerleri Şekil 2.60'da verilen geometrik özellik bilgisi ışığında merkez oylamasında kullanılır. Oylar ise kanıt uzayında (parametre uzayı) tutulur. Aşağıda verieln iki nedenden ötürü parametre uzayının ayrıklaştırılması gerekir[134]:

1. *Hesaplama etkinliği.* Görüntüde var olabilecek olası tüm sayısal çemberleri dikkate almak olanaklı değildir.
2. *Gradyan vektörünün tersi yöndeki doğrultu, tam olarak çemberin merkezinden geçmez.* Görüntünün sayısallaştırılmasının sonucu olarak, sayısal çembere ilişkin noktalar tam olarak 2.77 eşitliğini sağlamaz ve böylece gradyanın tersi yöndeki doğrultu, gerçek çemberin kirişiyle tam olarak çakışmaz. Söz konusu olan sayısal çemberler olduğundan, onların çevreleri / kenarları üzerindeki noktalar sayıllaştırmadan etkilenirler ve dahası standart çember eşitliğini tam olarak sağlayamazlar,

$$r^2 = (x - x_o)^2 + (y - y_o)^2, \quad (2.77)$$

burada  $r$  çember yarıçapını ve  $(x_0, y_0)$ 'da çember merkez koordinatını temsil eder. Sayısal çemberler için matematiksel inceleme için “Digitized Circular Arcs:

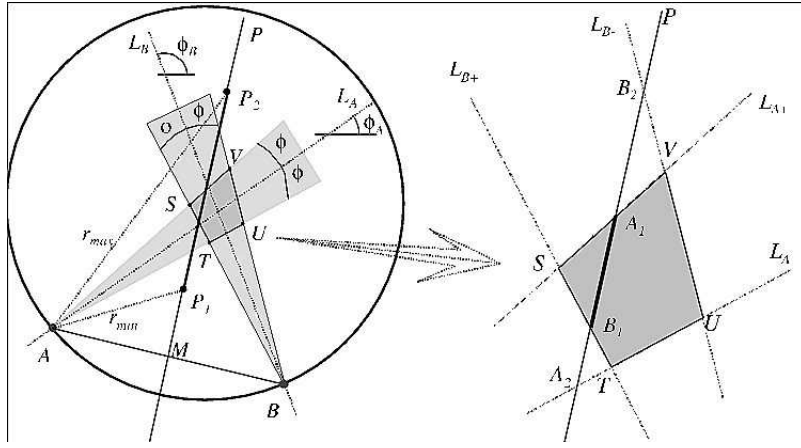
## Her bir Önplan Noktasından Olası Tüm Merkez Noktalarına Oy verme



Şekil 2.62: Yarıçap oylama

Yarıçap erimi (range) hakkında küçükde olsa önbilginin olması, algoritmanın başarımını önemli oranda arttıracaktır[156]. Bu bağlamda algoritma, yarıçapın yaklaşık en düşük ve en büyük değerlerini:  $[r_{min}, r_{maks}]$  gerektirir. Görüntü uzayındaki  $A$ -noktasındaki gradyandan, Şekil 2.60.b'deki geometrik özellik ışığında, gradyanın tersi yönde yarıçap erimindeki:  $r_j \in [r_{min}, r_{maks}]$  olası tüm merkez adaylarına:  $C_j = L_A(r_j)$  oy verilir (Şekil 2.62.a). Eğer görüntüden rastgele seçilen iki noktadan ( $A$  ve  $B$ ) gradyan bilgisi kullanılarak oylama yapılacak olsa, Şekil 2.62.b'de gösterildiği gibi, yalnızca bu ikisinden çıkan doğruların kesiştiği koordinata:  $C = L_A(r_j) = L_B(r_j)$  oy vermek yeterli olur.

Ancak üzerinde çalışılan görüntüler ayrıktır - sayısaldır. Böyle olunca sayısallaştırmada kaynaklı yanlışların, oylama sırasında dikkate alınması gerekir. Bu dikkate alındığında merkez oylama Şekil 2.63'e dönüşür. Burada verilen  $\phi$  ayrıklaştırma yanlışlığıdır ve örneğin  $\phi = \pm 4^\circ$  seçilebilir[155].



Şekil 2.63: Ayrık görüntülerde merkez oylama

Oylamada ki yaklaşım her bir güncelleme de standart olarak değeri bir-1 arttırmak biçimindedir. Yarıçaptan bağımsız bir duruma getirmek diğer bir değişle oylama uzayını normalize etmek için [159] Eşitlik 5'deki yani,

$$A[y_0, x_0] = A[y_0, x_0] + 1/r^2 \quad (2.78)$$

yaklaşım kullanılabilir. Burada  $A[]$  toplama dizisidir,  $\{y_0, x_0\}$  oyun atıldığı merkez koordinatı ve  $r$ 'de oyun atılmasına neden olan yarıçap değeridir.

**Oylama Düzlemine Filtre Uygulama** Önışlemeyle uzaklaştırılsa da hâla gürültü vardır, gradyan eşığının üzerine çıkan yanlışlı gradyan değerleri olabilir ve görüntü çember dışı nesneler içermektedir. Hem oylama düzlemindeki gürültüleri onarmak hem de oylama düzleminde çember parametresinin konumunda ortaya çıkan tepeyi daha belirgin duruma getirmek için süzgeç uygulanır.

### Merkezin Algılanması

**Yanılıklı Oylamalar ve Eşik Uygulama** Şekil 2.64.a'nın sağ tarafında gri taralı bir bölgenin görüntüde yer alması durumunda, solda gösterilen  $A, B, C, D, E, F$  nokta çiftlerinden yanlışlı merkez oylamaları yapılacaktır. Diğer bir örnek Şekil 2.64.b'de gösterildiği gibi  $N_1$ 'den  $M_1$ 'e ve  $N_2$ 'den  $M_2$ 'e yapılan oylar doğru iken,  $M_3$ 'e yapılan oylamalar yanlışlıdır. Burada gerçekte M1 ve M2 gibi iki adet çem-

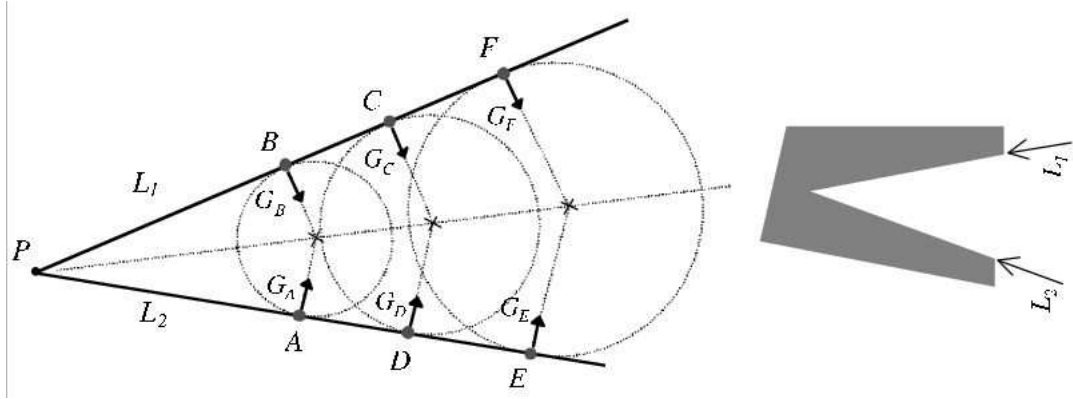


ber vardır. Böylesi bir yanlışlı oylama ancak standart CHT'deki parametre uzayına çembersel oy dağıtımında yapılabilir. gradCHT yönteminde gradyanın tersi yönünde yer alan yarıçap erimine düşen olası yarıçaplar oyladığından böylesi bir yanlışlı oylamayla karşılaşılmaz. Öte yandan eğer Şekil 2.64.c'de gösterildiği gibi çember eksikse, eksik olan bölgelerden yapılan oylamalar merkeze değil, bölgesel değişimden kaynaklı çember merkezi yönelimli olmayan gradyanlar yönünde ve yanlışlı yerlere yapılacaktır. Şekilde *yanlışlı oylama* olarak gösterilmiştir. Tüm bunlara ek olarak, önışlemeyle uzaklaştırılamamış gürültüler de yanlışlı oylamaya katkıda bulunurlar. Böylelikle parametre ya da oylama uzayında *doğru oylama*yla oluşmuş sivri tepelere ek olarak cılız-yayılmış *yanlışlı oylamadan* kaynaklı düzeyler olacaktır. Görüntü hakkındaki ön bilgi ışığında, yani yanlışlı oylamaya kaynaklık edeceklerin olasılığı ve önışlemeyle uzaklaştırılamayan gürültünün miktarı, bir eşik düzeyi belirlenerek. Parametre uzayı bu eşikle, cılız ve yayılmış olan düzeylerden, başka bir değişle arkaplan gürültüsünden temizlenir.

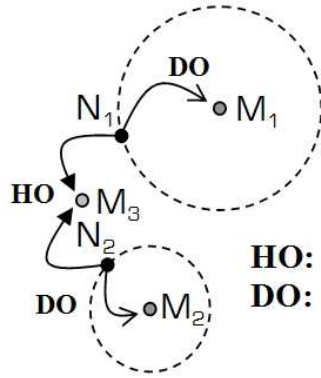
**Merkez Algılama** Parametre düzlemi, her bir çember yerel tepeler oluşturduklarından yerel müdahale etmeyi gerektirir. Bölgesel ya da yerel çalışmayı olanaklı kılmak için oylama uzayı alt alanlara bölünür. Bu alt bölümlerin her biri AOI (Area Of Interest) olarak adlanır. Her bir AOI'ye, görüntüdeki çemberlerin mükemmelliklerine bağlı olarak boyutu belirlenen süzgeç uygulanır. Mükemmellik düşükse süzgeç boyutunun büyük seçilmesi önerilir. Çünkü böylesi mükemmel olmayan şekil oylama düzleminde yayılmış tepe biçiminde alınacaktır. Daha geniş bir süzgeçle ancak yerel en büyük belirlenmesi olanaklı olabilir. Filtrelenmiş merkez adayları grubundan yerel en büyük bulucu yardımıyla merkez konumu belirlenip, algılanan çember merkezi olarak atanır.

### Yarıçapın Algılanması

**Yarıçap Nokta İmi Eğrisini Üretme** Her bir algılanan çember merkezi için, algoritmaya girdi olarak çemberle ilgili ön bilgi ışığında belirlenip sunulan  $r \in [r_{min}, r_{max}]$  yarıçap bölgesinde görüntüde yer alan her bir noktadan yarıçap histogramı üretilir.

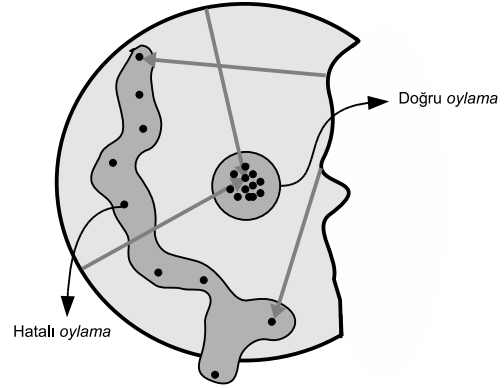


(a) Çembersel şekilli olmayan nesneden yanlışlı oylama



**HO:** Hatalı oylama  
**DO:** Doğru oylama

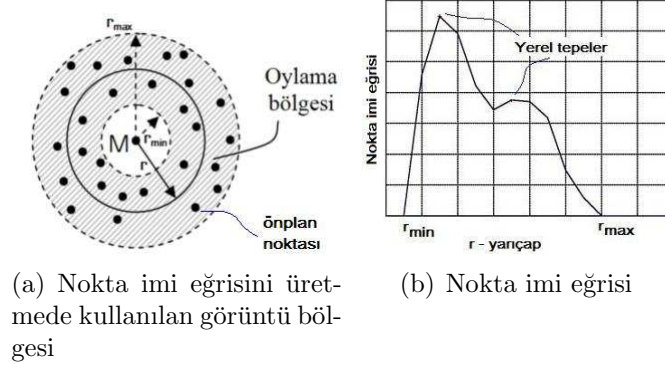
(b) Yönelim bilgisine bakılmadığında karşılaşılan yanlışlı oylama



(c) Eksiklikten kaynaklı yanlışlı oylama

Şekil 2.64: Yanlışlı merkez oylama

Bu histogram nokta imi eğrisi olarak adlanır (SC, signature curve). Şekil 2.65.a'da merkez oylamasındaki  $M$ -yerel tepesi çevresinde, yarıçap için öntanımlı en düşük ve en büyük değer aralığıyla belirlenen oylama bölgesindeki her bir önplan noktası için oluşturulan yarıçap histogramı ya da nokta imi eğrisi Şekil 2.65.b'de gösterilmiştir



Şekil 2.65: Nokta imi eğrisinin üretilmesi

SC yaklaşımı, şekil çözümleme ve sınıflandırma uygulamalarında şekil tanımlama amacıyla kullanılan bir ölçüvdir (metric)[44]. İki boyutlu düzlemdeki görüntü noktalarının, referans noktadan küçük açılı adımlarla saat yönünde ya da tersi yönde devinmekle, merkez ya da ağırlık merkezinden uzaklığına göre çizilen tek boyutlu eğridir. Çizilen eğri şeklin nokta imini ya da imzasını verir (Ayrıntı ve diğer uyarlamaları için [44] nolu kitabın 6.2.14 *Shape Signatures* bölümüne bakılabilir). Burada noktaların merkezden uzaklıklarına göre, Hough dönüştürümüne benzer oylama yapılarak SC elde edilmiştir.

SC'nin her bir selesindeki (bin) oy miktarı bir taraftan  $r$ -yarıçap değerine diğer taraftan da yay uzunluğuna bağlıdır. Merkez oylaması sırasında toplanan oy miktarı ile çember yarıçapı arasında ilişkinin varlığı, SC'nin üretilmesinde fazlalık ve yanlışlıkların toplanmasını önüne geçmede yardımcı olacaktır. Bu ilişkiyi türetmek için Kulpa'nın sayısallaştırılmış çemberlerle ilgili makalesinden [160], yarıçapla çember üzerindeki nokta sayısı arasındaki ilişkiyi verelim,

$$\lim_{r \rightarrow \infty} P_c(r) = 4\sqrt{2}r \quad (2.79)$$

burada  $r$  yarıçapı ve  $P_c(r)$  ise  $r$  yarıçaplı sayısallaştırılmış çember üzerindeki nokta sayısını temsil eder. Bu eşitlik büyük yarıçap değerleri için daha doğru sonuçlar üretecektir.

Eğer görüntüde  $r$  yarıçaplı çember bütün olarak yer alıyorsa, merkez oylaması sonucunda bu noktaların her biri merkeze oy vereceğinden çember merkezinin alacağı oy miktarı,

$$OyMiktari(M) \geq P_c(r) \quad (2.80)$$

biçiminde olacak. Burada  $M$  merkezi ve  $OyMiktari(M)$  ise bu merkezli çemberin almış olduğu oyu gösterir. Böylelikle çember algılamada, merkez oylamasının ardından yarıçap oylamasına geçilirken bu merkez oy miktarını verebilecek en küçük yarıçap değeri 2.79 ve 2.80 eşitlikleri birleştirilerek,

$$r_{min} = \frac{OyMiktari(M)}{4\sqrt{2}} \quad (2.81)$$

biçiminde elde edilir. Bu eşitliğin daha doğru sonuçları, büyük yarıçap bölgesinde ürettiği unutulmamalıdır. 2.81 bağıntısıyla hesaplanan  $r_{min}$  değeri, bu geçişteki yarıçap histogram üretiminde, programa girdi olarak verilen en küçük yarıçap değeri yerine kullanılacaktır. Görüntüdeki çemberde eksiklikler ve şekil bozuklukları olabileceğinden merkez için yapılan oy miktarına bakarak yarıçapın en büyük değeri için böyle bir eşitliğin türetilmesi olanaklı değildir. Çünkü bütün bir çember için üretilenle aynı miktarda oy, daha büyük yarıçaplı eksik çemberle de üretilebilir.

**SC'yi Pürüzsüzleştirme ya da Süzgeçleme** En küçük ve en büyük yarıçap değerleriyle belirlenen bölge içerisindeki noktalardan bir kısmı  $M$  merkezine değil başka merkezli çembere ya da çember olmayan nesneye ya da önışlemeyle uzaklaştıramamış gürültüye ilişkin olabilir. Bölgede gürültü kaynakları olmasa da  $M$  merkezli çembere ilişkin çok az sayıda nokta yer alabilir ve SC'deki yerel en büyük bulmayı zorlaştırabilir. Bir taraftan arka plan gürültüsünü bastırmak diğer taraftan SC'de tam belirgin olmayan yerel en büyük noktasını diğer adaylar arasında daha güçlü

konuma getirmek için süzgeç uygulanabilir. Zaten yarıçap histogramından (SC'den) bilgi çıkarımı, sıradan - basit bir iş değildir ve burada verilen sıkıntıların üstesinden gelebilmek için uygun süzgeçlemenin yapılması gerekir. Örnek bir süzgeç yapısı [134] Eşitlik 4'de verilmiştir. Bu süzgeç hesaplanan histogram (SC) üzerinde işletilir ve geçiş işlevi,

$$t = \frac{1}{4\sqrt{2}r} \left[ \begin{array}{cccc} \frac{-3r}{2(r-2)} & 1 & 1 & 1 & \frac{3r}{2(r+2)} \end{array} \right] \quad (2.82)$$

biçimindedir. Burada  $r$  yarıçap değerini gösterir. Her bir histogram bölgesinde yarıçap değeri yerine konularak 5 boyutlu pencereden ağırlık katsayıları hesaplanır ve histogramdaki değerlere uygulanarak merkezdeki histogram hücresi güncellenir. Filtre yapısı merkez çevresinde bakışımıdır, türev hesaplamadakine benzemektedir ve nedensel bir yapıdadır. Önceki çıkış değerlerinden sonraki hesaplamalarda yararlanır. Bu geçiş işleviyle olumlu sonuç alınmadığı görülmüştür.

**Belli Sayıda Yerel En büyük Koordinatını Belirle ve Algılanan Çember Olarak Etiketleme** Pürüzsüzleştirilmiş SC'deki yerel en büyük koordinatlarını belirle. Bu yerel en büyüklerden eşik uygulayarak ya da *belli* sayıda kısıtlamasına uygun olarak çember parametresi olarak belirle. Yerel en büyüklerden kaç tanesinin dikkate alınacağı, görüntüde izin verilen içiçe çember sayısına bağlıdır. Hiç yerel en büyüğün bulunamaması merkez için yeterince oy toplanılmış olmasına karşın, bu merkez noktalı herhangi bir çember olmadığı ve merkez için yanlışlı oyların toplandığı anlamına gelir. Bu yanlışlı oylar, merkez oylamasında bir yerel tepenin oluşmasına neden olmasına karşın, SC eğrisinde bir varlık gösteremeyecek ve böylelikle yanlışlı çember olarak ortaya çıkmayacaktır. Hesaplama ya da oylama sırasında oluşabilecek yanlışlı kaynakları için Bölüm 2.3.5'e bakılabilir.

## 3. BULGULAR ve TARTIŞMA

### 3.1 Giriş

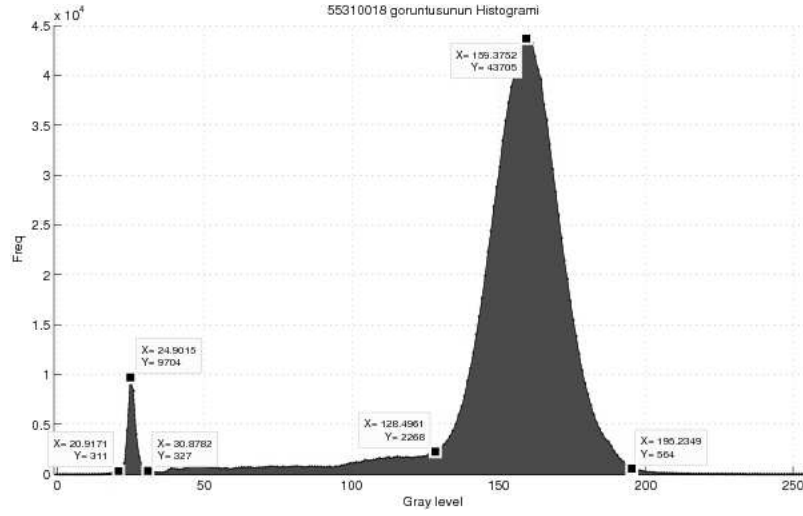
Geliştirilen yöntemlerle elde edilen sonuçlar ve önceki çalışmalarla karşılaştırılması alt başlıklar halinde verilecektir.

### 3.2 Granülasyon ve Leke Öznitelik Çıkarımı

ShAO yerüstü gözlemevinden temin edilen güneş yüzeyine ilişkin seri çekimlerden, araya giren bozucu atmosfere karşın oluşumları çıkartabilmek amacıyla geliştirilen yöntemlerle elde edilen sonuçlar alt başlıklar halinde verilmiştir.

#### 3.2.1 ÇİGZ ve Renklendirme Uygulayarak Görüntülerde Oluşumların ve Atmosferik Etkinin Belirginleştirilmesi

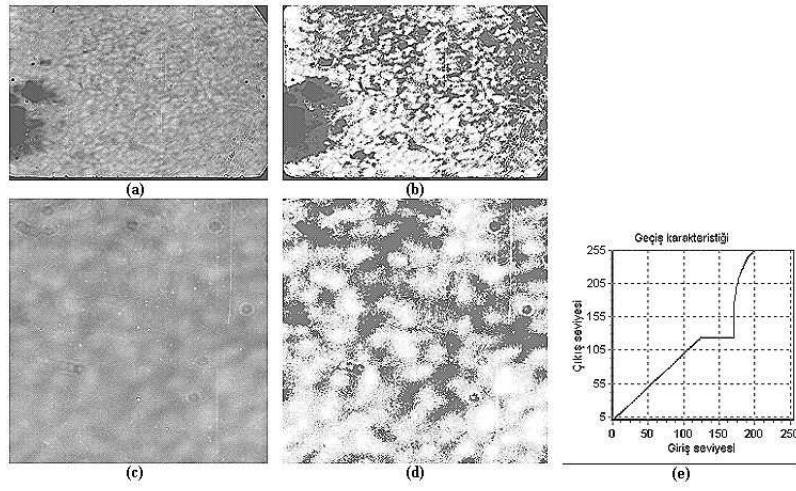
Şekil 3.1’de verilen histogramı temelinde 55310018.bmp deneme görüntüsünden leke bölgesi çıkarılmıştır. Bu histogramdaki küçük tepe, leke bölgesinden gelmektedir. İkinci tepeyi oluşturan ise granül ve yolcuklarıdır. Görüntü genelindeki homojen olmayan ışıklanma dağılımının (Bölüm 2.2.3’de ayrıntılandırılan Atmosferin Saydamlık Dağılımı etkisi) bir sonucu olarak büyük genlikli tepenin ne alt bölümü tam olarak granül yolcuklarına ne de üst bölümü tam olarak granüllere ilişkindir. Örneğin histogramı üretilen deneme görüntüsünün, sağ-orta ve sol-üst çapraz bölümünde yolcuklara ilişkin parlaklık düzeyleri tepenin alt eteklerine doğru kaymışken



Şekil 3.1: 55310018.bmp görüntüsünün histogramı

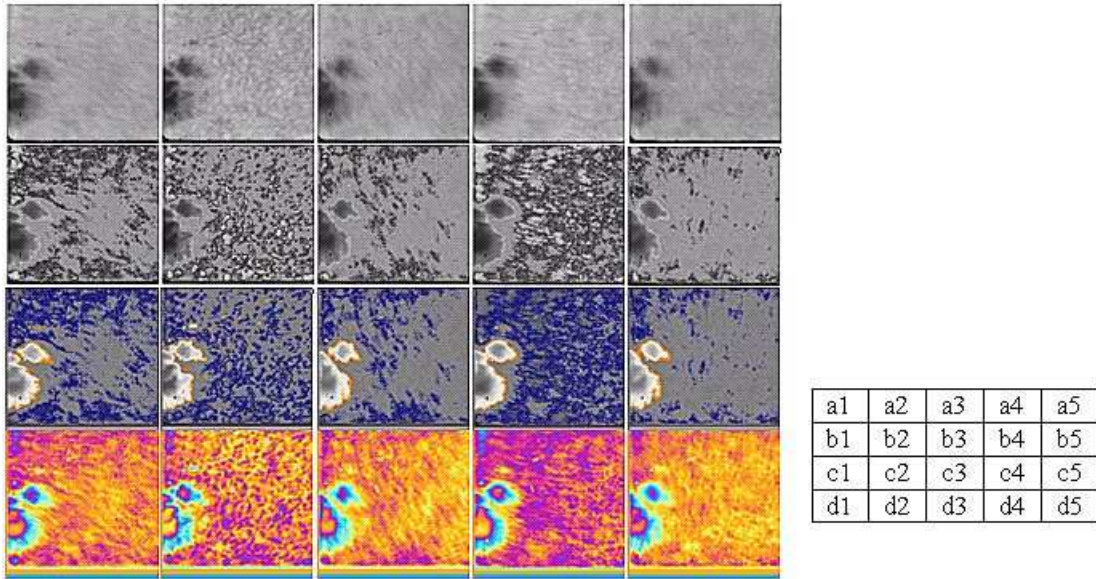
görüntünün orta ve özellikle orta-bölümünde tepenin üst bölümüne doğru yayılmıştır. Böyle olunca görüntüdeki yolcu özneliğini önplana çıkartmak için tek bir parlaklık dilimi yeterli olamayacaktır. Yerelde çalışan yine histogram temelli bir yöntem üzerinde yoğunlaşılabilir fakat yerelde çalışmanın doğasından gelen *öbeklenme* etkisiyle karşılaşılacaktır. Bu yüzden görüntünün bütününe uygulanan dilim aralıkları histogramdaki büyük tepeyle belirlenen ÇİGZ uygulanmıştır. Lekeyi de içeren arkaplan için bir bölge, granül yolcukları için bir bölge, granüller için bir bölge ve görüntüdeki parlak ve noktasal gürültü (Bölüm 2.2.3.3’de bu gürültülerin kaynakları ayrıntılandırılmıştır) için bir bölge ayrıldığında ÇİGZ için dilim sayısı dört olur. Graanül özneliğini ortaya çıkarak ÇİGZ’ya ilişkin gama değerleri, birinci bölgede 1.0, ikinci bölgede 0.0, üçüncü bölgede 0.7 ve dördüncü bölgede 0.0 seçilmiştir. Böylelikle ÇİGZ geçiş işlevi Şekil 3.2.e’de verilen biçimi almıştır. Şekil 3.2.a’da verilen 55310018 deneme görüntüsüne, ÇİGZ uygulandığında Şekil 3.2.b’de verilen görüntü elde edildi. Bu iki görüntünün orta bölümünden küçük bir alan ( $256 \times 256$ ) büyütülerek sırasıyla Şekil 3.2.c ve .d’de gösterilmiştir. Bu uygulamıyla hem granüller hem de granül yolcukları belirginleştirilebilmiştir. Fakat özellikle alt-sol ve alt-sağ bölümlerde yer alan yolcu bilgileri görülebiliyor olsa da diğer yerlerdeki kadar belirgin değildir.

Şekil 3.3.a1-a5’de, deneme ardışıklığından 55310017-21.bmp deneme görüntüleri verilmiştir. Bu görüntülerde dört dilimli, hem leke hem de granül çevresinin vur-



Şekil 3.2: ÇİGZ uygulayımı a) leke bölgesi çıkarılmış 55310018.bmp görüntüsü, b) ÇİGZ uygulayım sonucu, c) ve d) orta bölümlerinden alıntı (256x256), e) ÇİGZ geçiş işlevi

gulayan ÇİGZ uygulayımının sonuçları Şekil 3.3.b1-b5’de verilmiştir, ÇİGZ yerine renklerin kullanılmasıyla elde edilen görüntüler Şekil 3.3.c1-c5’de verilmiştir ve herhangi bir dilimleme işlemiyle uğraşmadan doğrudan siyah-beyaz görüntüden Eşitlik 2.13 kullanılarak ve açı değerleri sırasıyla  $[0^\circ, 45^\circ, 90^\circ]$  seçilerek elde edilen sözde renklendirilen görüntüler Şekil 3.3.d1-d5’de verilmiştir.

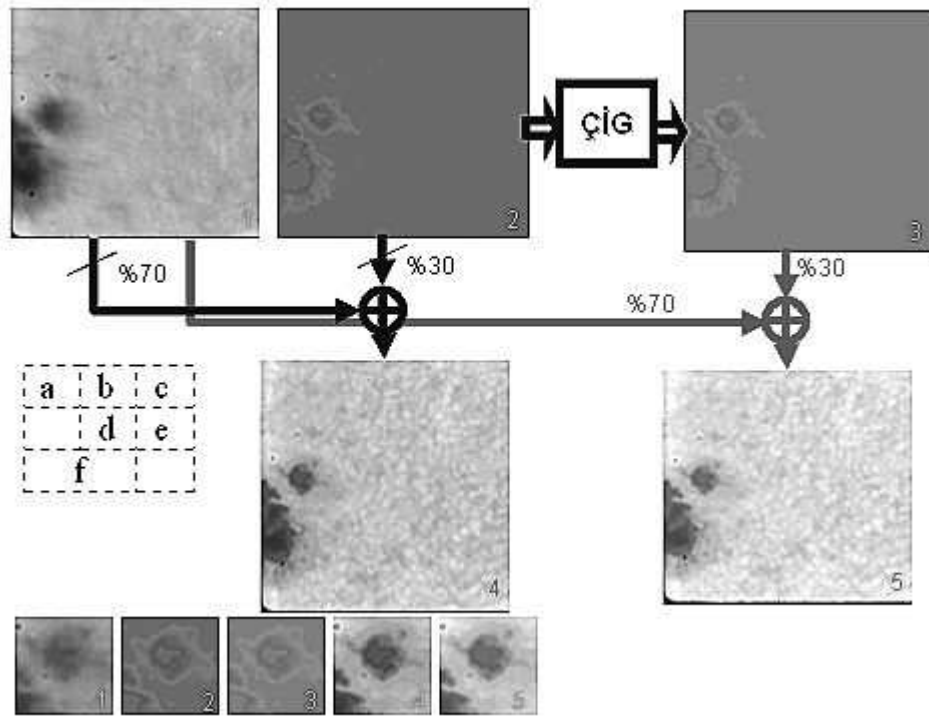


Şekil 3.3: Ardışık karelerde kısa aralıklı ÇİGZ uygulama ve renklendirme yöntemi



### 3.2.2 Buğulu Görüntüleri Kullanan GSD ve ÇİGZ Birleşimi Bir Yöntem

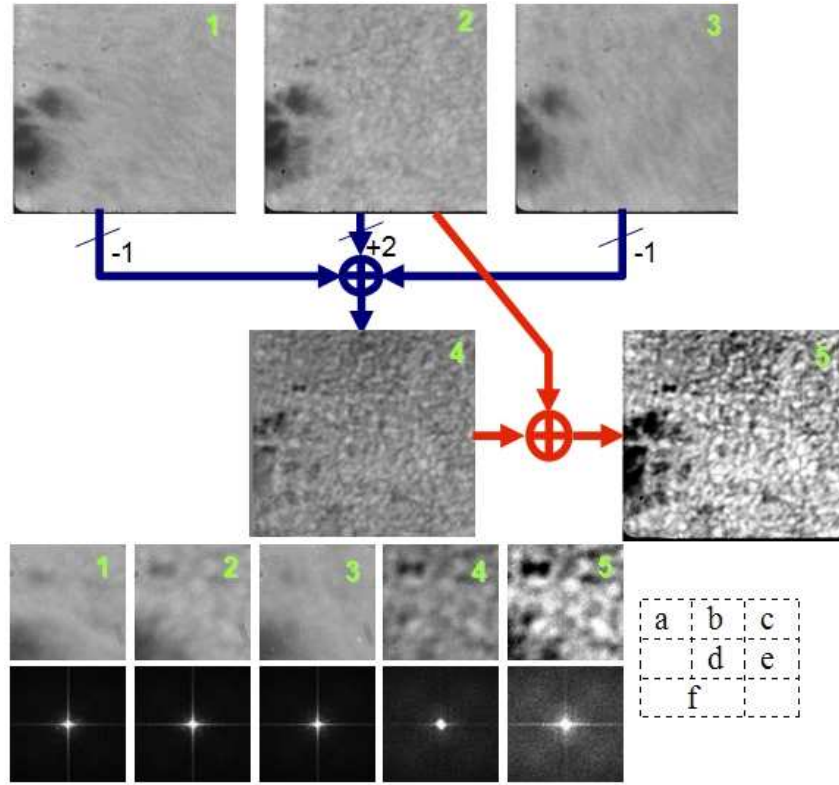
Bölüm 2.2.2.1’de ayrıntılandırılan GSD yaklaşımıyla görsel olarak belirlenir. Böylelikle GSD ile 55310019 görüntüsünde buğunun ağırlıkta olduğu katman belirlenir. Şekil 3.4.a’da 55310019 buğulu deneme görüntüsü verilmiştir. Daha az buğulu olarak nitelendirilen bir önceki katmana ilişkin görüntü ise Şekil 3.4.b’de verilmiştir. Bu iki görüntü belli oranda (burada sezgisel olarak %70-%30 seçildi) toplanarak elde edilen görüntünün (Şekil 3.4.d) görsel niteliği ham-buğulu görüntüye oranla daha iyi olduğu söylenebilir. Buğusuz görüntüye ilişkin katmana ÇİGZ uygulayarak elde edilen görüntü (Şekil 3.4.c) ile buğulu görüntü aynı oranda birleştirilirse elde edilen görüntünün (Şekil 3.4.e) özellikle lekenin kontür bölümlerinde görsel açıdan niteliğinin daha da iyileştiği söylenebilir. Bunu desteklemek için Şekil 3.4.f’de görüntülerin, küçük leke civarı büyütülerek verilmiştir. Bu yöntemle görsel açıdan niteliği artmış görüntüler elde edilmiştir. Burada görüntülerin sonuca yüzdesel katkıları belirlenirken, önemli ağırlığın ham görüntüden gelmesine dikkat edilmiştir.



Şekil 3.4: GSD ve ÇİGZ yaklaşımıyla leke bölgesinin vurgulanması

### 3.2.3 Ardışık Görüntü Türevi Yaklaşımıyla Oluşum Kenarlarının Belirginleştirilmesi

Test ardışıklığından 55310017 (Şekil 3.5.a), 55310018 (Şekil 3.5.b) ve 55310019 (Şekil 3.5.c) deneme görüntülerini seçildi. Eşitlik 2.14 yardımıyla hesaplanan kenarları içeren görüntü Şekil 3.5.d'de verilmiştir. Bu görüntü seçilen ardışıklıktaki daha az buğulu görüntüye eklenerek elde edilen kenarları vurgulanmış sonuç görüntüsü ise Şekil 3.5.e'de verilmiştir. Numaralandırılarak verilmiş görüntülerin küçük lekenin üst bölümüne ilişkin büyütülmüş görüntüler ve bu görüntülere ilişkin sıklık düzlemleri Şekil 3.5.f'de verilmiştir. Görüldüğü gibi kenarlar belirginleşmiş, görsel olarak yorumlanması daha kolay görüntü elde edilmiştir. Fakat bu sırada ikinci dereceden türev uygulanmasının doğal bir sonucu olarak gürültü de artmıştır. Toplamsal olarak ise görsel nitelikteki iyileşme gürültüdeki artışı telafi edebilmiştir.



Şekil 3.5: Ardışık resim türevi uygulayımıyla oluşumlara ilişkin kenarların belirginleştirilmesi

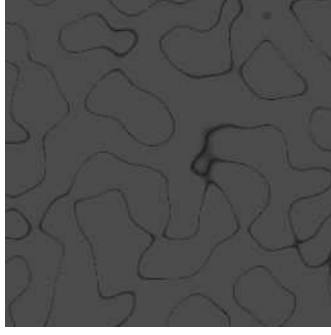
### 3.2.4 ÖGYÇ Algoritması

Algoritma ayrıntıları anlatılırken 55310018 buğulu deneme görüntüsünün orta bölümüne ilişkin parçası için sonuçlar verilmişti. Şekil 3.6.d-f’de 55310019’da aynı alana ilişkin algoritma ara sonuçları, Şekil 3.6.g-i’de 55310020’de aynı alana ilişkin algoritma ara sonuçları verilmiştir. Şekillerin çözümlenmesi granül oluşumlardaki değişimi net olarak göstermektedir.

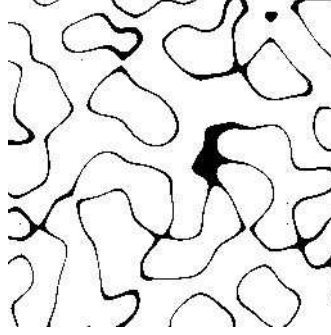
Böylesi bir algoritma granül yolcuklarının konumsal olduğu kadar zamansal çözümlenmesinde de yararlı olacaktır. Öte yandan Bölüm 1.1.2’de gösterildiği üzere çekim ardışıklığındaki 2-3 görüntüde granülasyon oluşumlarının değişmeden alınması gerekirdi. Değişim olduğuna göre bunun kaynağı nedir? Bunun kaynağı görüntülerin çekimi sırasında araya giren atmosferik ortam, özel olarak türbülansdır. Türbülansın neden olduğu konumsal kayma ve dönme etkisi granüllerin yanılgılı olarak alınmasına neden olmaktadır. Böylelikle bu algoritmanın diğer bir kullanım alanı ortaya çıkmaktadır ki bunun adı türbülans çözümlemesidir. Bölüm 2.2.2.2’de ayrıntılandırılacak AOBPÇ (Atmosferik Bozulma Parametre Çıkarımcı) algoritması bu algoritmanın çıktılarının çözümlenmesi temelindedir.

Burada ardışıklıkdaki başka bir buğulu görüntü için ve uzaydan çekilmiş bir görüntü için algoritmanın sağlamlılığı denetlenmiştir. 55310042 buğulu deneme görüntüsünün orta bölümüne (Şekil 3.7.a) ilişkin granül yolcuk maskesi Şekil 3.7.b’de verilmiştir. Bu maskenin hâm görüntü üzerine bindirilmesiyle elde edilen görüntü Şekil 3.7.c’de verilmiştir. Uygulamada kullanılan ÖGYÇ parametreleri  $\{f_0 = \%2, BG = \%2, \gamma = 0.25, maske\_rengi = siyah, dilim\_ust\_sinir = 100\}$  olarak seçilmiştir.

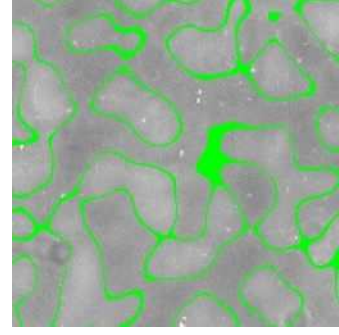
SunGranul-DOT02my2003.jpg buğusuz uzaydan çekilmiş granülasyon görüntüsünün orta bölümü (Şekil 3.7.d) için elde edilen yolcuk maskesi Şekil 3.7.e’de verilmiştir. Bu maske hâm görüntü üzerinde bindirildiğinde elde edilen görüntü Şekil 3.7.e’de verilmiştir. Görüntüde granül/görüntü ölçeği seri görüntülerdekilere oranla küçük olduğundan BGS orta sıklık değerini büyültmek gerekmiştir. Ayrıca yolcukları daha belirgin kılmak için dilim üst sınırını arttırmak gerekmiştir. Böylelikle ÖGYÇ



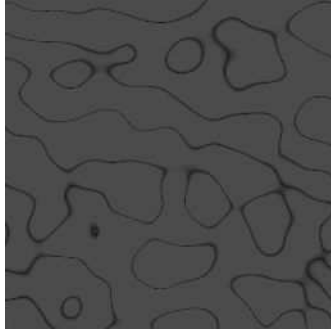
(a) 55310018'e ilişkin parlaklık dilimi



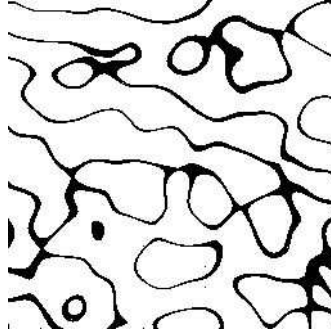
(b) 55310018'e ilişkin ikil yol-cuk maskesi



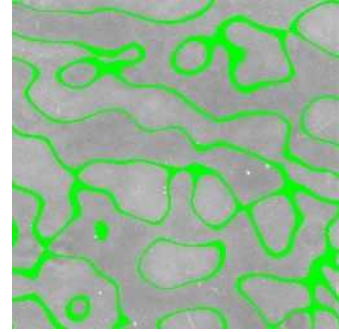
(c) 55310018'e ilişkin ikil yol-cuk maskesinin asıl görüntü üzerine bindirilmesi



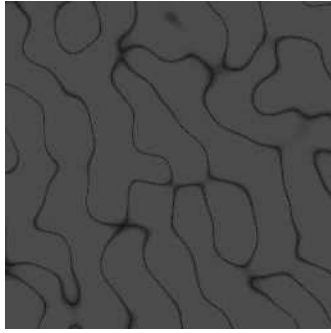
(d) 55310019'a ilişkin parlaklık dilimi



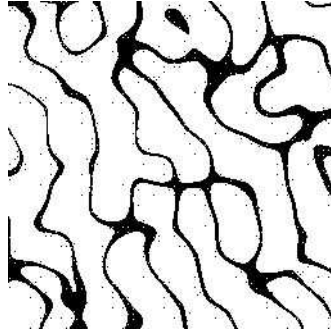
(e) 55310019'a ilişkin ikil yol-cuk maskesi



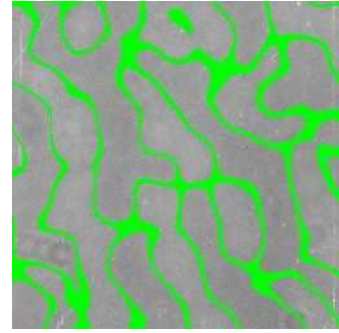
(f) 55310019'a ilişkin ikil yol-cuk maskesinin asıl görüntü üzerine bindirilmesi



(g) 55310020'ye ilişkin parlaklık dilimi

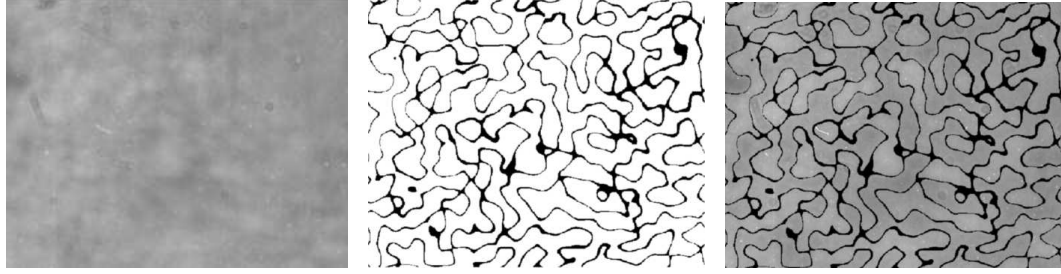


(h) 55310020'ye ilişkin ikil yol-cuk maskesi

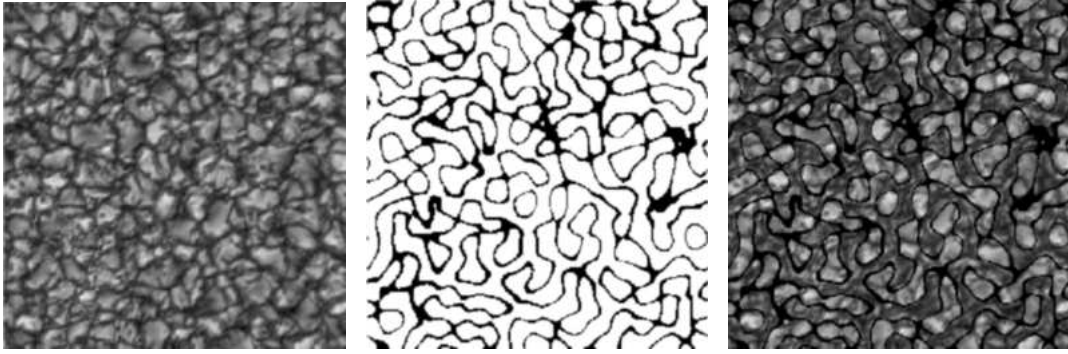


(i) 55310020'ye ilişkin ikil yol-cuk maskesinin asıl görüntü üzerine bindirilmesi

Şekil 3.6: Ardişık gelen karelerde ÖGYÇ sonuçları



(a) 55310042 orta-orta bölüm (b) ÖGYÇ sonucunda elde granül yolcuk maskesi (c) Granül yolcuk maskesinin ham görüntü üzerine bindirilmesi



(d) Buğusuz (SunGranul-DOT02my2003.jpg) orta-orta bölüm (e) ÖGYÇ sonucunda elde granül yolcuk maskesi (f) Granül yolcuk maskesinin ham görüntü üzerine bindirilmesi

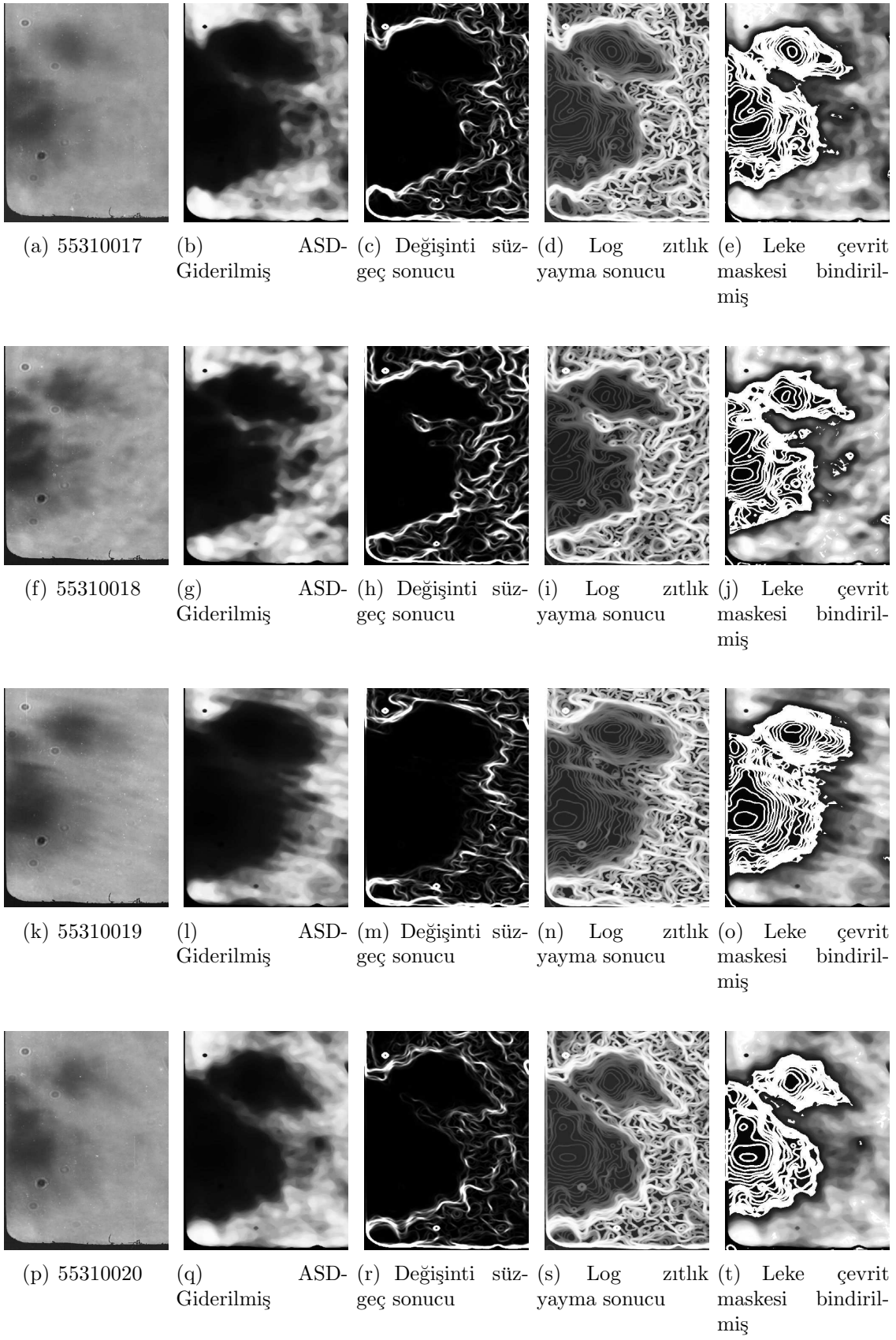
Şekil 3.7: 55310042 buğulu ve SunGranul-DOT02my2003.jpg buğusuz deneme görüntülerinin orta-orta bölümüne ilişkin ÖGYÇ sonuçları

parametreleri  $\{f_0 = \%4, BG = \%2, \gamma = 0.25, maske\_rengi = siyah, dilim\_ust\_sinir = 125\}$  olarak seçilmiştir.

Böylelikle hem buğulu hem de buğusuz görüntülerde algoritma başarılı sonuçlar üretmiştir. Dahası Şekil 3.7.a ve .d’de hiçbir benzerlik yokmuş gibi görünmesine karşın ki bunun nedeni atmosferdir, Şekil 3.7.b ve .e’de karşılaştırılabilir-benzer grannül yolcukları elde edilmiştir. Böylelikle yerüstünden atmosferin etkisiyle bozularak alınan görüntülerdeki yolcuklar, astigmatizmanın ya da türbülansın etkisine bağlı olarak göreceli olarak bir yönde genişleme olmaktadır. Böylelikle yolcuk dağılımı o yönde homojenliğini yitirmektedir. Astigmatik genişlemenin olduğu yönde daraltma yaparak tekrardan homojenlik geri getirilebilir ve uzaydan çekilme görüntülerin grannül yolcuklarının karşılaştırılması yapılabilir. Fakat vurgulamak gerekir ki atmosferin bu özelliği teleskopun görüş açısını göreceli olarak daraltmaktadır. Atmosferdeki değişimin konumsal karakteri olduğu hatırlanınca ve genişlemeyi daraltmayla telafi ederek görüntüler onarılsa da görüntüde boşluklar oluşacaktır. Böylelikle bu boşlukların nasıl doldurulacağı sorunu ortaya çıkar.

### 3.2.5 ÖLÇÇ Algoritması

ÖLÇÇ algoritmasının 55310017-20 görüntüleri üzerinde koşturulmasıyla elde edilen görüntüler Şekil 3.8’de verilmiştir. Şekil 3.8.a1, -b1, -c1 ve -d1 sırasıyla 55310017-20 deneme görüntülerinin leke civarına ilişkin bölgelerini göstermektedir. Şekil 3.8.a2, -b2, -c2 ve -d2 ASD-Giderilmesiyle elde edilen görüntüleri, Şekil 3.8.a3, -b3, -c3 ve -d3 değişinti süzgeçleme sonucunu, Şekil 3.8.a4, -b4, -c4 ve -d4 log yayma sonucunu ve son olarak da Şekil 3.8.a5, -b5, -c5 ve -d5 leke maskesinin giriş görüntüsü üzerine bindirilmesiyle elde edilen görüntüyü göstermektedir. Sonuç görüntüleri incelendiğinde 55310017’e ilişkin olanla 55310018’e ilişkin olan hemen hemen özdeş, 55310020’nin ki benzerken 55310019’unki çok daha farklıdır. Oluşumların zaman ölçeği çıkarımından bilindiği üzere ardışık gelen bu karelerde oluşumların (özel olarak leke oluşumunun) değişmediği varsayılabilir. Ardışıklıktaki dört görüntüden üçü benzer biri farklıysa bunun sebebi türbülanstır.



Şekil 3.8: ÖLÇÇ sonuçları

### 3.3 Atmosferik Etkinin Elde Edilmesi, Giderimi ve Modellenmesi

#### 3.3.1 GSD Yaklaşımıyla Oluşum Bilgi Yoğunlaşmalarının ve Atmosferik Etkinin Belirlenmesi

Çalışmada yerüstü gözlemlerinde görüntüyü bozan ve böylelikle görüntüdeki granülasyon ve leke özniteliklerinin çıkarılmasını zorlaştıran buğulanma katmanının incelenmesi üzerine yoğunlaşılınca, buğulanma görüntünün hangi katmanındadır ya da hangi katmanda etkisi daha büyüktür sorularının yanıtları aranmıştır. Böylece gri düzey dilimleme işlemi uygulanıp ve sonuçları gözlemlenmiştir.

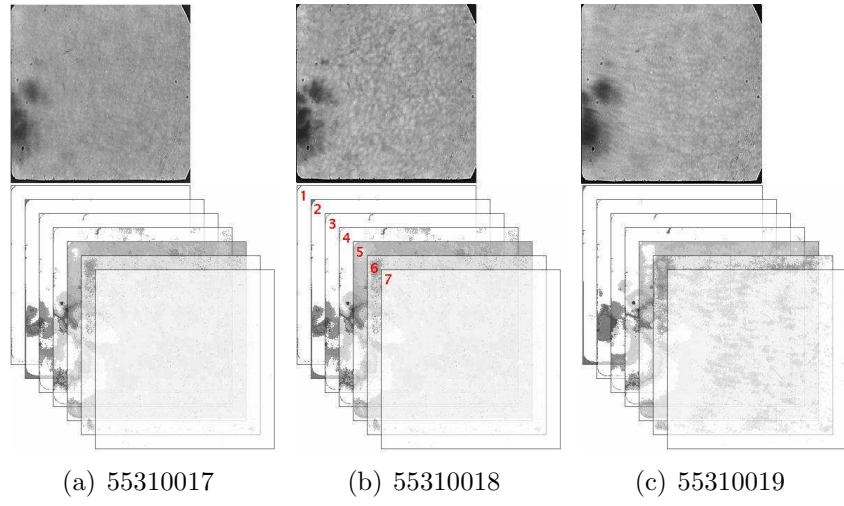
Her bir görüntü dilimini üst üste bindirip her bir dilimin bütüne katkısını değerlendirebilmek için, katmanların (dilimlerin) şeffaflığını ayarlamak gerekti. Bu süreci basitleştirmek için Eşitlik 2.33'deki değişmez değerleri ( $A$  ve  $B$  değerlerini) 255 ile değiştirmek gerekti. Eşitliğin bu yeni duruma uyarlaması Eşitlik 3.1'de verilmiştir.

$$s = T(r) = \begin{cases} 255, & 0 < r < A \\ r, & A \leq r \leq B \\ 255, & B < r < 255 \end{cases} \quad (3.1)$$

Böylelikle dilimlere bölünen görüntü ofset vererek üst üste bindirildi. Katmanların ortak saydamlık değerini görsel olarak yorumlaması kolay olacak biçimde ayarlayarak, bütünsel görüntüye her bir katmanın katkısını değerlendirmek için öznel değerlendirme olanağı sağlanmıştır. Örnek olarak tüm parlaklık eriminin 7 eşit parçaya bölünerek elde edilen ve saydamlık değeri %60 seçilerek elde edilen görüntü Şekil 3.9'de verilmiştir. Tek bir görüntüyü parlaklık dilimlerine ayırarak toplam görüntüye her bir dilimin katkısının incelenmesi ve hangi katmanda granülasyon ile ilgili daha fazla malûmatın olduğunun belirlenmesi olanaklı kılınmasının yanı sıra, ardışık karelere uygulamayla katmanlardaki devingenliğin, dolayısıyla granülasyon ve türbülans devingenliğinin belirlenmesi sağlanmıştır.

Şekil 3.9'deki her bir görüntünün katmanlarına bakıldığında, özellikle en yoğun





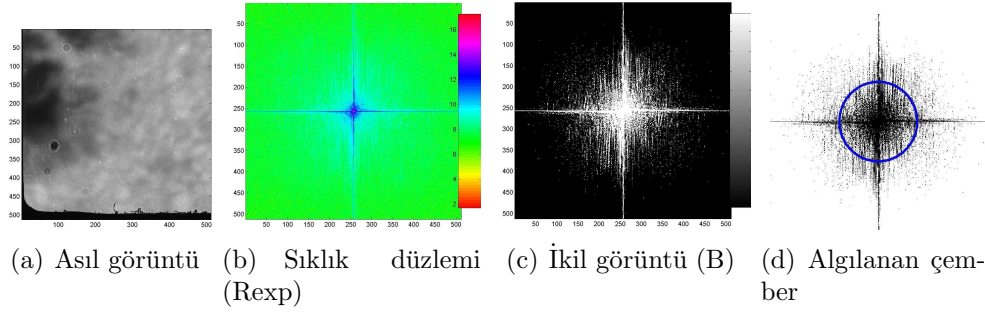
Şekil 3.9: 55310017, 55310018 ve 55310019'ye ilişkin 7 eşit dilimle ve %60 saydamlık değeriyle elde edilen GLS'li görüntüler

bilgi miktarının 5. ve 6. katmanda yoğunlaştığı görülmekteyken, sadece ortadaki görüntünün 4. katmanında diğerlerine oranla belirgin bir bilgi yoğunlaşmasının olduğu görülebilir. Ortadaki Soldaki görüntü ise buğulanmanın en az olduğu görüntüdür. Öyleyse diğer görüntüler için buğulanmanın en etkili olduğu 4. katmandır denilebilir.

### 3.3.2 AOBPÇ Sonuçları

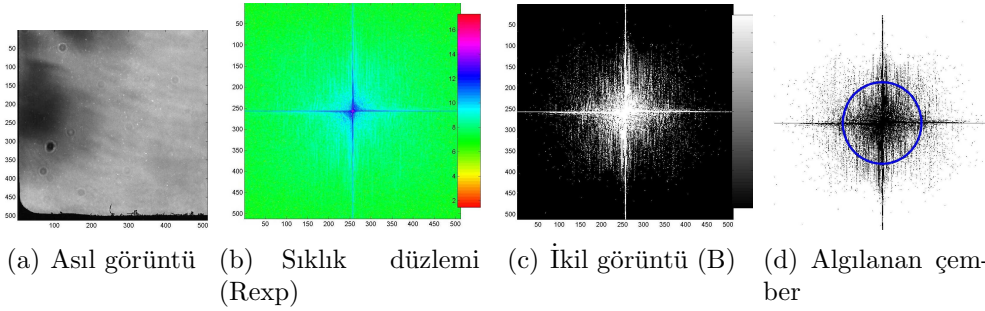
Burada ilk olarak granülasyon görüntülerini ÖGYÇ algoritmasıyla işlemeyen ham halde Şekil 2.28'deki geriye kalan adımları işletmekle elde edilen sonuçlar verilecek. 55310018 deneme görüntüsünün sol alt bölümünde  $512 \times 512$ 'lik bölüm ( $img = \text{Şekil 3.10.a}$ ) Eşitlik 2.40 ile elde edilen (burada  $gy\_img = img$  alındı) sıklık düzlemi Şekil 3.10.b'de,  $m = 0$  seçilerek (yani pürüzsüzleştirme uygulanmadı) Eşitlik 2.48 yardımıyla elde edilen ikil görüntü Şekil 3.10.c'de ve bu ikil görüntüye uydurulan elips Şekil 3.10.d'de verilmiştir.

Benzer işlemler 55310019 deneme görüntüsünün aynı alanına uygulanarak elde edilen ara sonuçlar Şekil 3.11.a-d'de verilmiştir. Bu görüntülerden ikincisinde (55310019'a ilişkin olanında) türbülans etkisi çok daha yoğundur ve görsel olarak değerlendirilebilmektedir. Fakat sıklık düzleminde buna ilişkin belirtiler açık değildir. Hem az buğulu hem de çok buğulu için elde edilen elips parametreleri çember üretmektedir



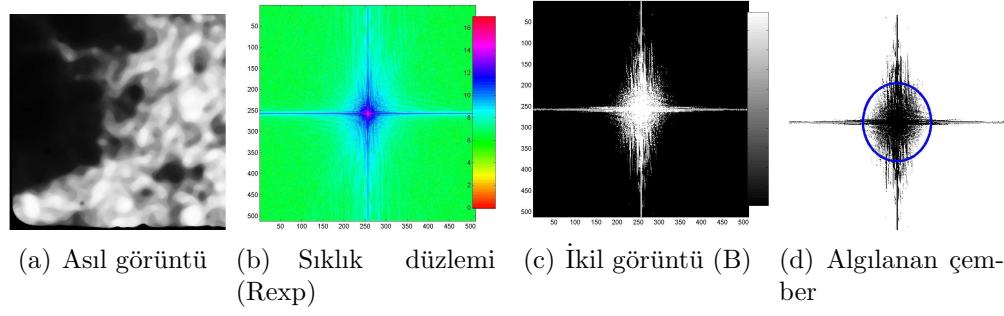
Şekil 3.10: 55310018 deneme görüntüsünün sol alt bölümünde ÖGYÇ önişlemesi uygulanmaksızın AOBPÇ algoritmasının ara aşamalarında elde edilen sonuçlar

ve bundan da türbülans parametreleri çıkartılamamaktadır.



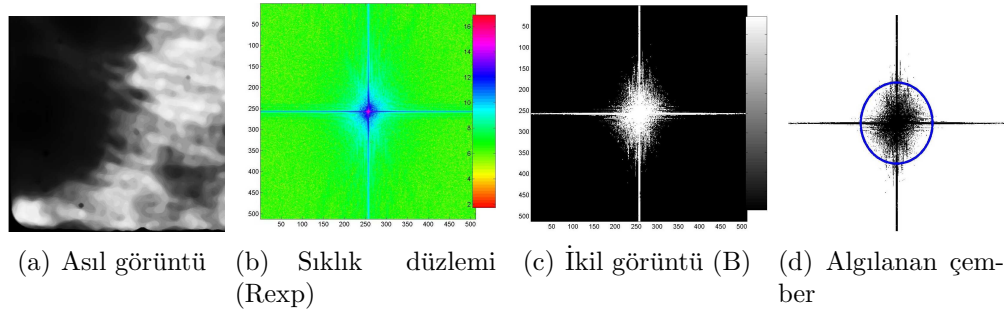
Şekil 3.11: 55310019 deneme görüntüsünün sol alt bölümünde ÖGYÇ önişlemesi uygulanmaksızın AOBPÇ algoritmasının ara aşamalarında elde edilen sonuçlar

Ham görüntüler atmosferin saydamlık farklılığından kaynaklı parlaklık bozuklukları da barındırmaktadır. Bu bozuklukların görüntüden giderilmesinin ardından AOBPÇ algoritmasının çalıştırılması türbülans ile ilgili bilgi edinmeyi sağlayabilirdi. Bölüm 2.2.3’de ayrıntıları verilen atmosferin saydamlık dağılımının etkisinin giderme algoritmasını (ASD-Giderici) kullanılarak görüntüleri onarıp, ÖGYÇ algoritmasıyla önişlemeksizin AOBPÇ algoritmasını çalıştırarak ara kademelerde elde edilen sonuçlar üretildi. Şekil 3.10.a’da verilen görüntü üzerinde ASD-Giderici algoritması çalıştırıldığında elde edilen sonuç görüntüsü Şekil 3.12.a’da, bu görüntü üzerinde ÖGYÇ önişleyicisi çalıştırılmadığında ve pürüzsüzleştirici seçeneği kullanılmadığında elde edilen sıklık düzlemi görüntüsü Şekil 3.12.b’de, ikil görüntü karşılığı Şekil 3.12.c’de ve bu ikil görüntüye uydurulan elips çizimi Şekil 3.12.d’de verilmiştir.



Şekil 3.12: 55310019 deneme görüntüsünün sol alt bölümünde ASD-Gidericinin çalıştırılıp ÖGYÇ önişlemesi uygulanmaksızın AOBPÇ algoritmasının aşamalarında elde edilen sonuçlar

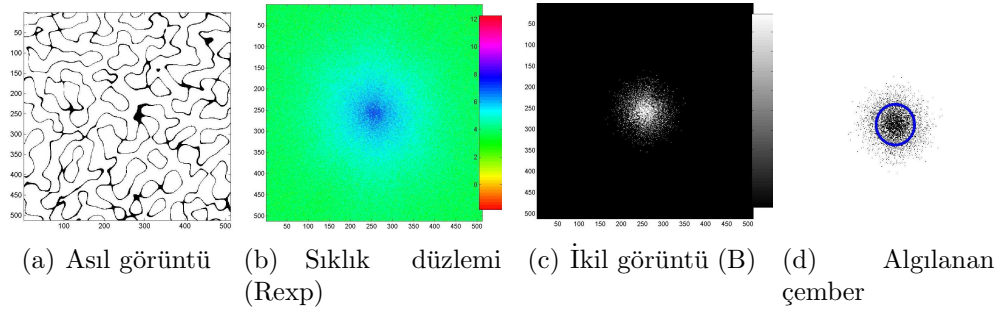
Benzer işlemler Şekil 3.11.a'da verilen deneme görüntüsüne uygulandığında elde edilen ara sonuçlar Şekil 3.13.a-d'de verilmiştir. Bu görüntülerden ikincisinde (55310019'a ilişkin olanında) türbülans etkisi çok daha yoğunudur ve görsel olarak değerlendirilebilmesi ASD-Gidericinin ardından kolaylaşmıştır. Fakat sıklık düzleminde buna ilişkin belirtiler açık değildir. Hem az buğulu hem de çok buğulu için elde edilen elips parametreleri çember üretmektedir ve bundan da türbülans parametreleri çıkartılamamaktadır.



Şekil 3.13: 55310019 deneme görüntüsünün sol alt bölümünde ASD-Gidericinin çalıştırılıp ÖGYÇ önişlemesi uygulanmaksızın AOBPÇ algoritmasının aşamalarında elde edilen sonuçlar

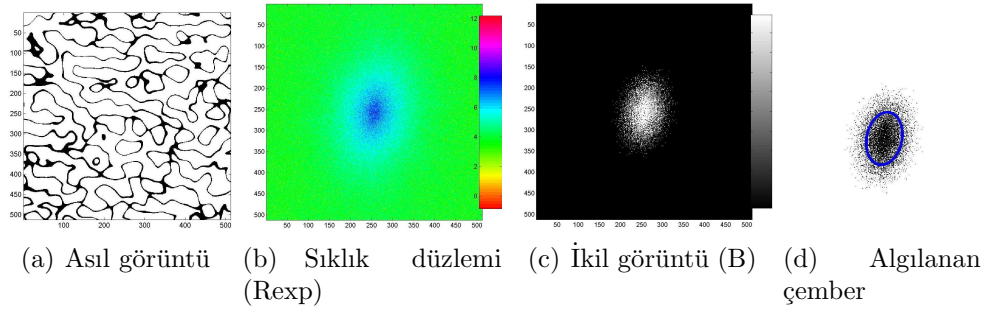
Granülasyon ham ve ASD-Gidericiyle onarılmış görüntülerde AOBPÇ ile türbülansla ilgili parametreler elde edilemiyor olmasına karşın, ÖGYÇ önişlemeli AOBPÇ algoritmasının koşturulmasının sonucunda türbülans şiddetine bağlı olarak elips biçimli sıklık düzleminin elde edilebileceği görüldü. Örnek olarak Şekil 3.10.a'da verilen az buğulu görüntü ÖGYÇ algoritmasına girdi olarak verildiğinde çıkışında elde edilen görüntü Şekil 3.14.a'da, pürüzsüzleştirici seçeneği kullanılmadan elde edilen

sıklık düzlemi görüntüsü Şekil 3.14.b’de, ikil görüntü karşılığı Şekil 3.14.c’de ve bu ikil görüntüye uydurulan elips çizimi Şekil 3.14.d’de verilmiştir.



Şekil 3.14: 55310018 deneme görüntüsünün sol alt bölümünde ÖGYÇ önışlemeli AOBPC algoritmasının ara aşamalarında elde edilen sonuçlar

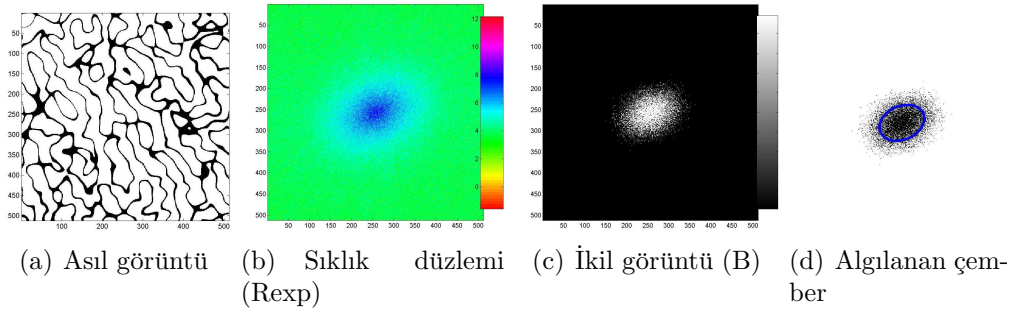
Benzer işlemler Şekil 3.11.a’da verilen deneme görüntüsüne uygulandığında elde edilen ara sonuçlar Şekil 3.15.a-d’de verilmiştir. Bu iki görüntünün ardından gelen 55310020 deneme görüntüsünün aynı bölgesi üzerinde uygulandığında elde edilen ara sonuçlar Şekil 3.16.a-d’de verilmiştir.



Şekil 3.15: 55310019 deneme görüntüsünün sol alt bölümünde ÖGYÇ önışlemeli AOBPC algoritmasının ara aşamalarında elde edilen sonuçlar

Bu görüntülerden ilki (55310018’e ilişkin olan) en az buğulu iken diğer iki görüntüde buğu ve burulma daha şiddetlidir. Böylelikle bu görüntülerin çekimi sırasında türbülansın daha şiddetli olduğu söylenebilir. Granül yolcuklarından (Şekil 3.14.a, Şekil 3.15.a ve Şekil 3.16.a) burulmayla ilgili değerlendirme görsel olarak yapılabilir. Sıklık düzlemlerinde burulmayla ilintili olarak dairesellikten uzaklaşma

söz konusudur. Türbülansın daha az etkili olduğu görüntünün sıklık düzleminde dağılım dairesellik gösteriyorken, türbülansın etkili olduğu görüntülerin sıklık düzlemleri elips dağılımlıdır. Bu elips dağılım yapısı ise granül görüntüsünde homojenliğin hangi yönde bozulduğuna bağlı olarak şekillenmektedir. Şekil 3.15.a'daki görüntüde yolcukların göreceli olarak yatay yönde genişlediği, dikey yönde ise göreceli olarak değişmediği görülmektedir. Eşitlik 2.41'deki  $\{a < 1, b \approx 1\}$  durumu olduğundan, yatay yönde değişim oranı düşmüştür, değişim miktarını gösteren sıklık düzleminde bu yüksek yatay sıklık bileşenlerin azalmasıyla göreceli olarak dikey sıklıkların değişmemesi olarak çıkmıştır. Böylelikle sıklık düzleminde dikey yarıçapı yatayınkinden daha büyük olan bir elips dağılımı ortaya çıkmıştır (Şekil 3.15.b). Şekil 3.16.a'daki granül yolcuk görüntüsünde ise birincil diagonal eksen üzerindeki yolcukların boyları uzamış, bu yöndeki değişim azalmıştır. Böylelikle diagonal yönde değişim azalması diagonal yönde yüksek sıklık bileşenlerinin azalmasına (diğer diagonal yönde değişim göreceli olarak değişmeden kalmıştır) neden olmuştur. Sıklık düzleminde ikincil diagonal yönde bir elips biçimi alınmıştır (Şekil 3.16.b). Bu durum Eşitlik 2.44 ve Eşitlik 2.41'nin birlikte yorumlanmasıyla da açıklanabilir: yolcuklar döndürülmüştür ve (göreceli olarak bir yönde) ölçeklenmiştir.



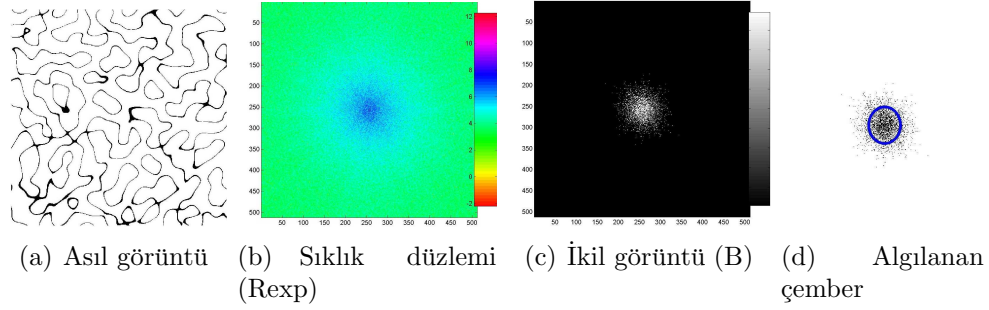
Şekil 3.16: 55310020 deneme görüntüsünün sol alt bölümünde ÖGYÇ önışlemeli AOBPÇ algoritmasının ara aşamalarında elde edilen sonuçlar

Sıklık düzleminde ortaya çıkan elipsin dairesellikten ne kadar uzak olması görüntüdeki yolcukların homojenlikten ne kadar uzak olmasına dolayısıyla görüntünün çekilmesi sırasında türbülans derecesine ve türbülans yönelimine bağlıdır.

Atmosferin saydamlık dağılımı etkisinin ASD-Gidericiyle onarılmasının AOBPÇ algoritmasının çıktıları nasıl etkilediğini göstermek için uygulamalar yapılmış-

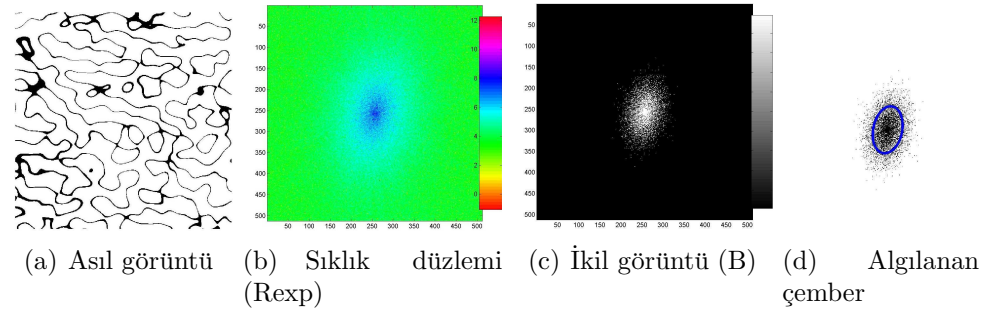


tır. Bu amaçla Şekil 3.12.a'da verilen ASD-Gidericili görüntü ÖGYÇ algoritmasına girdi olarak verildiğinde elde edilen yolcuk görüntüsü Şekil 3.17.a'da, pürüzsüzleştirici seçeneği kullanılmadan elde edilen sıklık düzlemi görüntüsü Şekil 3.17.b'de, ikil görüntü karşılığı Şekil 3.17.c'de ve bu ikil görüntüye uydurulan elips çizimi Şekil 3.17.d'de verilmiştir.



Şekil 3.17: 55310018 deneme görüntüsünün sol alt bölümünde ASD-Gidericiyle onarımın ardından ÖGYÇ önışlemeli AOBPÇ algoritmasının ara aşamalarında elde edilen sonuçlar

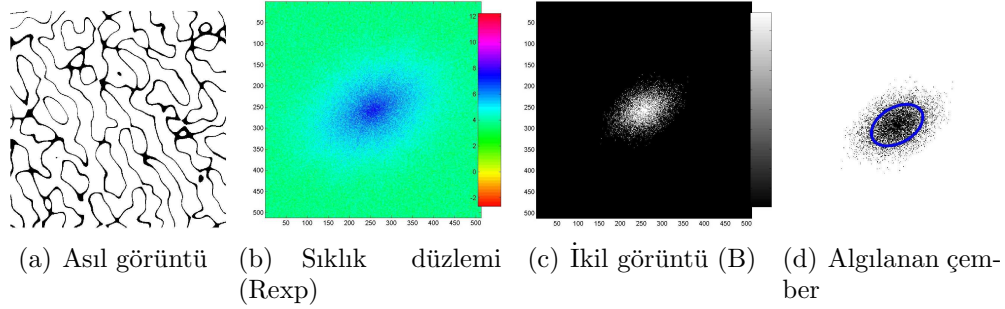
Benzer işlemler Şekil 3.13.a'da verilen deneme görüntüsüne uygulandığında elde edilen ara sonuçlar Şekil 3.18.a-d'de verilmiştir. Bu iki görüntünün ardından gelen 55310020 deneme görüntüsünün aynı bölgesi üzerinde uygulandığında elde edilen ara sonuçlar Şekil 3.19.a-d'de verilmiştir.



Şekil 3.18: 55310019 deneme görüntüsünün sol alt bölümünde ASD-Gidericiyle onarımın ardından ÖGYÇ önışlemeli AOBPÇ algoritmasının ara aşamalarında elde edilen sonuçlar

Atmosferin saydamlık dağılımından kaynaklı etkisinin ASD-Gidericiyle onarılması, türbülansla ilgili bilgiye dokunmaması gerekirdi. Sonuçlardan (Şekil 3.17.a,

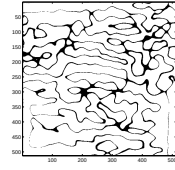
Şekil 3.18.a ve Şekil 3.19.a) görüleceği üzere daha önceki ASD-Giderme uygulanmadan elde edilenlerle (Şekil 3.14.a, Şekil 3.15.a ve Şekil 3.16.a) hemen hemen aynı sonuçları üretmiştir.



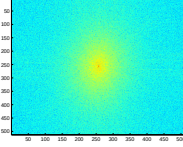
Şekil 3.19: 55310020 deneme görüntüsünün sol alt bölümünde ASD-Gidericiyle onarımın ardından ÖGYÇ önişlemeli AOBPÇ algoritmasının ara aşamalarında elde edilen sonuçlar

55320061-65 arasındaki deneme görüntülerinin ÖGYÇ ile önişlenip AOBPÇ'ye verilmesiyle ara aşamalarında elde edilen sonuçlar Şekil 3.20'da verilmiştir.

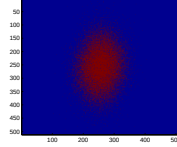
Buraya kadar AOBPÇ algoritmasının görüntü çıktıları verildi, sayısal değerler ise Çizelge 3.1'de verilmiştir. Bu tabloda (+) gösterilimi söz konusu önişlemenin (ASD-G ya da ÖGYÇ) kullanıldığını, (-) gösterilimi ise kullanılmadığını göstermektedir. ASD-G ve ÖGYÇ önişlemesi uygulanmadan AOBPÇ algoritmasıyla elde edilen yarıçap oranları 1.0'a yakın değerler ( $\frac{R_u}{R_v} < 1.15$ ) almaktadır. Daha önce söylendiği üzere çembere benzeyen elips durumunda açı değerleri anlamsızdır ve bu tabloda (\*) gösterilimiyle gösterilmiştir. Yarıçap oranları türbülansın etkili olduğunda birime daha yakın olsa da çok belirgin değildir. ÖGYÇ önişlemesiyle AOBPÇ algoritması kullanıldığında yarıçaplar oranı türbülansın etkisine bağlı olarak önemli oranda farklılaşmaktadır. Örneğin türbülansın az etkili olduğu görüntüde (55310018'e ilişkin olanda) yarıçaplar oranı 1.060 iken daha fazla etkinin olduğu görüntülerde (55310019'a ve 55310020'ye ilişkin olanlarda) yarıçaplar oranı sırasıyla 1.513 ve 1.403'tür. Ayrıca ASD-G algoritmasıyla önişleme yapılması göreceli sonuçları çok fazla etkilememiştir. Örneğin ASD-G uygulanmaması durumunda türbülansın çok etkili olduğu görüntünün (55310019) yarıçaplar oranının türbülansın az etkili olduğu görüntünününe



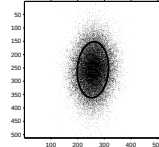
(a) 55320061



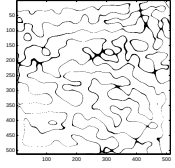
(b) Sıklık düzlemi



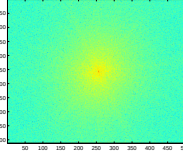
(c) İkıl görüntü



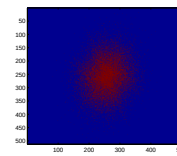
(d) Uydurulan elips



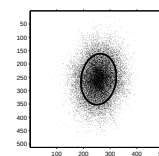
(e) 55320062



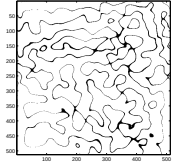
(f) Sıklık düzlemi



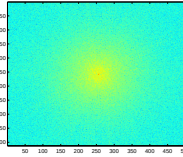
(g) İkıl görüntü



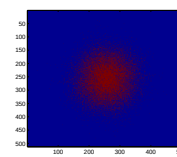
(h) Uydurulan elips



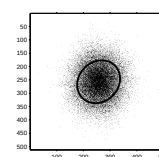
(i) 55320063



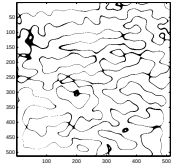
(j) Sıklık düzlemi



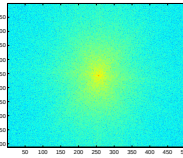
(k) İkıl görüntü



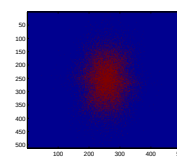
(l) Uydurulan elips



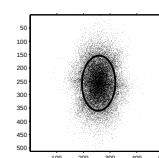
(m) 55320064



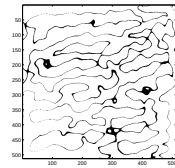
(n) Sıklık düzlemi



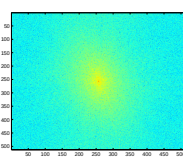
(o) İkıl görüntü



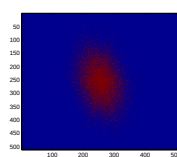
(p) Uydurulan elips



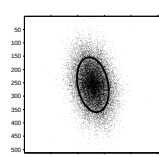
(q) 55320065



(r) Sıklık düzlemi



(s) İkıl görüntü



(t) Uydurulan elips

Şekil 3.20: 55320061-65 arasındaki deneme görüntülerinin orta bölümünde ÖGYÇ önışlemeli AOBPÇ algoritmasının ara aşamalarında elde edilen sonuçlar



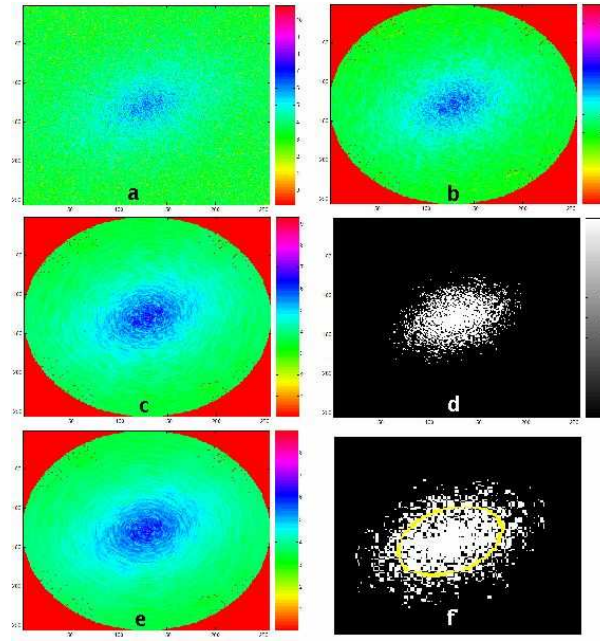
(55310018) oranlanmasıyla  $\frac{1.513}{1.060} = 1.4274$  elde edilmişken ASD-G önışlemesiyle bu oran  $\frac{1.640}{1.149} = 1.4273$  olarak neredeyse değışmeden kalmıştır. Böylelikle ASD-G algoritması türbölans bilgisini yitirmeden onarım işini başarabilmiştir. Sonuç olarak türbölans ve ASD etkisinin *bağımsız* olaylar oldukları söylenebilir.

Çizelge 3.1: Test görüntülerinin sol-alt bölümleri ( $512 \times 512$ ) üzerinde ASD-G ve ÖGYÇ seçenekli olarak AOBPÇ'nin çalıştırılmasıyla elde edilen elips parametreleri

| Test resmi | ASD-G | ÖGYÇ | $R_u$ | $R_v$ | $\frac{R_u}{R_v}$ | $\theta$ (°) |
|------------|-------|------|-------|-------|-------------------|--------------|
| 55310018   | -     | -    | 91.6  | 93.9  | 1.025             | 0.11*        |
| 55310019   | -     | -    | 92.9  | 96.5  | 1.039             | 178.46*      |
| 55310020   | -     | -    | 90.5  | 95.1  | 1.051             | 86.58*       |
| 55310018   | +     | -    | 80.5  | 92.0  | 1.143             | -0.71*       |
| 55310019   | +     | -    | 84.7  | 95.9  | 1.132             | -0.94*       |
| 55310020   | +     | -    | 82.4  | 89.7  | 1.088             | -0.07*       |
| 55310018   | -     | +    | 38.2  | 40.4  | 1.060             | 151.95*      |
| 55310019   | -     | +    | 35.1  | 53.2  | 1.513             | 11.68        |
| 55310020   | -     | +    | 36.1  | 50.6  | 1.403             | 62.26        |
| 55310018   | +     | +    | 31.7  | 36.4  | 1.149             | 146.08*      |
| 55310019   | +     | +    | 31.4  | 51.5  | 1.640             | 11.57        |
| 55310020   | +     | +    | 32.7  | 51.7  | 1.582             | 59.93        |

Algoritmadaki pürüzsüzleştirme seçeneğinin sonuçlar üzerindeki etkisini araştırmak amacıyla Şekil 3.19.a'da verilen görüntü üzerinde farklı süzgeç boyutu- $m$  için işlemler yapılmıştır. Bu görüntünün log-genlik tayfı Şekil 3.21.a'da,  $m = 5$  ile elde edilen pürüzsüzleştirilmiş tayf Şekil 3.21.b'de,  $m = 9$  durumuna ilişkin olan Şekil 3.21.c'de ve  $m = 15$  durumuna ilişkin olanda Şekil 3.21.e'de verilmiştir.  $m = 9$  durumu için ikil görüntü Şekil 3.21.d'de ve bunun için uydurulan elips Şekil 3.21.f'de verilmiştir.

Her bir  $m$  değeri için üretilen elips parametre değeri Tablo 3.2'de verilmiştir.  $R_x$  ve  $R_y$  değeri süzgeç boyutuyla artma göstermiş olmasına karşın,  $R_{yx} = \frac{R_y}{R_x}$  ile verilen oranlardaki yüzdesel değışim  $R_{\text{yüzdesel}} = \frac{R_{yx-m} - R_{yx-0}}{R_{yx-0}} \times 100$ , burada  $R_{yx-0}$ ,  $m = 0$  durumundaki yarıçaplar oranı iken  $R_{yx-m}$   $m = 5, 9, 15$  durumlarındaki yarıçaplar oranıdır. Hesaplanan yüzdesel değışim sırasıyla [% - 1.4363, %0.4059, %1.4753]



Şekil 3.21: Pürüzsüzleştirmenin algoritmanın çıktıları üzerindeki etkisinin incelenmesi

olmuştur. Bu ortalama %1.1058’lik bir salınıma denk gelir. Süzgeç boyutu arttıkça uydurulan elips açısı- $\theta$  değeri de artmıştır. Açıda oluşan yüzdesel değişim sırasıyla [% - 5.8898, % - 18.0813, % - 19.2529] olarak hesaplanmıştır. Bu ortalama %14.4080’lik bir salınıma denk düşmektedir. Görüntü nitelik indisinde (*gni*) oluşan yüzdesel değişim ise sırasıyla [% - 1.2825, % - 5.8336, % - 6.6156] olarak hesaplanmıştır. Bu değişimin ortalaması yüzdesel olarak %4.5772’dir. Algoritmada en fazla zaman alıcı olanın pürüzsüzleştirme süreci olması da hesaba katılınca, yarıçaplar oranında oluşan %1.1058’lik değişim, açı değerinde oluşan %14.4080’lik değişim ve asıl önemlisi *gni*’de oluşan %4.5772’lik değişim, doğruluk-hız başarımı dengesi pürüzsüzleştirmenin kullanılmamasına götürmektedir. Bir de buna AOBPÇ’de ASD-Gidericiyle önışlenerek görüntülerin verilmesi durumunda pürüzsüzleştiricinin algoritmanın başarımına katkısı gözardı edilebilir düzeylere düşmesi de eklenince algoritmada seçenek olarak kalmaya devam etse de uygulamalarda kullanılmamıştır.

Çizelge 3.2: Açısal yönde pürüzsüzleştirmenin AOBPÇ'ya etkisinin incelenmesi

| $m$ | $R_x$   | $R_y$    | $R_{yx} = \frac{R_y}{R_x}$ | $RI$ (%) | $\theta$ (radyan) | $TI$ (%) | $gni$  |
|-----|---------|----------|----------------------------|----------|-------------------|----------|--------|
| 0   | 62.4149 | 79.9567  | 1.2811                     | 87.6789  | 1.255             | 40.2084  | 0.6394 |
| 5   | 82.6056 | 104.3031 | 1.2627                     | 88.3914  | 1.2736            | 37.8402  | 0.6312 |
| 9   | 86.4693 | 111.2295 | 1.2863                     | 87.4758  | 1.3121            | 32.9382  | 0.6021 |
| 15  | 88.2338 | 114.7041 | 1.3000                     | 86.9565  | 1.3158            | 32.4671  | 0.5971 |

### 3.3.3 AOBtBKS Sonuçları

55310018, 55310019 ve 55310020 deneme görüntülerine ilişkin  $ni$ , yarıçap oranı ve dönme açısı değerleri Çizelge 3.1'de verilmiştir. Bu tabloda ki her bir hücrede 3 satır 3 sütun yer almaktadır. Sütunlar farklı görüntülere denk geliyorken (sırasıyla 55310018,19 ve 20), ilk satır GNİ, sonraki satır yarıçaplar oranına ve en son satır da dönme açısına denk gelmektedir. Dönme açısı kısmında tire – gösterilimi geçersiz açı girdisi anlamındadır. Geçerli açı ölçütü ise yarıçap oranının belirlenen bir eşik değerinin (örneğin 1.25:1.00) üzerinde yer almasıdır. GNİ verileri aday başvuru karesinin 2.50 bağıntısıyla hesaplanan oylarını temsil etmektedir.

Çizelge 3.3: 55310018-20 görüntü ardışıklığına ilişkin Nitelik İndisi, Yarıçap oranı ve dönme açısı değerleri tablosu

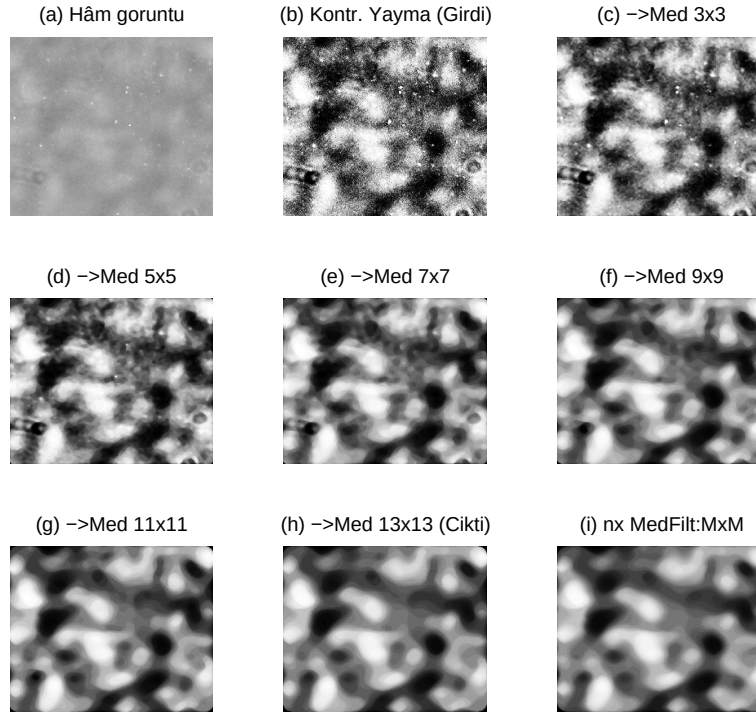
|      | Sol   |        |        | Orta  |       |        | Sağ   |       |        |
|------|-------|--------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|
| Üst  | %98   | %48    | %58    | %97   | %43   | %77    | %97   | %98   | %73    |
|      | 1.085 | 1.535  | 1.332  | 1.116 | 1.641 | 1.258  | 1.127 | 1.063 | 1.300  |
|      | -     | 7.45°  | 76.83° | -     | 5.01° | 60.24° | -     | -     | 62.95° |
| Orta | %98   | %48    | %58    | %97   | %40   | %62    | %97   | %98   | %81    |
|      | 1.108 | 1.712  | 1.436  | 1.128 | 1.711 | 1.546  | 1.120 | 1.074 | 1.278  |
|      | -     | 12.94° | 66.33° | -     | 2.63° | 69.55° | -     | -     | 56.31° |
| Alt  | %98   | %62    | %94    | %96   | %48   | %95    | %95   | %95   | %95    |
|      | 1.072 | 1.288  | 1.247  | 1.174 | 1.488 | 1.202  | 1.244 | 1.226 | 1.240  |
|      | -     | 16.20° | -      | -     | 6.89° | -      | -     | -     | -      |

Çizelge 3.1'den her bir görüntüye ilişkin  $gni$  değerleri sırasıyla Eşitlik 2.51 yardımıyla  $[0.9653 \ 0.5205 \ 0.7218]$  olarak hesaplanmıştır. Eşitlik 2.52 yardımıyla hesaplanan  $bki$  değeri 1'dir. Buna göre en fazla oyu toplayan ilk görüntüdür, böylelikle başvuru karesi 55310018.bmp'dir.

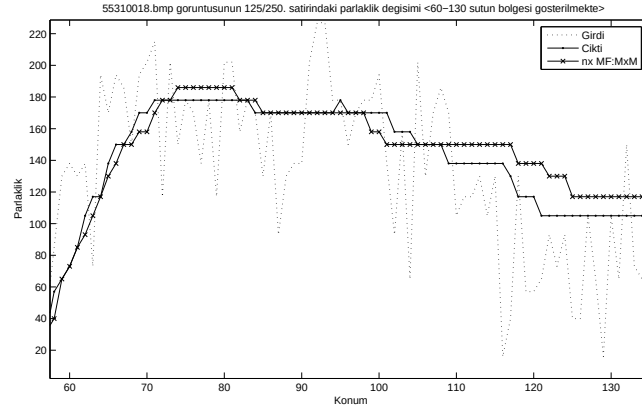
### 3.3.4 ASD-Giderici ve ASD-Çıkarımcı Sonuçları

Şekil 3.22.a'da güneşin fotosferine ilişkin bir çekimden bölüm gözükmemektedir. Bu görüntüdeki parlak alanlar, granülü (ya da merkezini) göstermektedir ve koyu tonda olanlar da granüller arası yolcukları göstermektedir. Granülasyon oluşumları üzerine daha fazla ayrıntı edinmek için Bölüm 1.1'e bakılabilir. Isı yayılımının etkisiyle ortaya çıkan granülasyon oluşumları atmosferin ve ortamdaki gürültünün etkisiyle buğulanmakta ve yorumlanması güç bir duruma gelmektedir. *55310018.eps* deneme görüntüsünün orta bölümünden  $250 \times 250$ 'lik alan üzerinde Şekil 2.52'de verilen algoritma yürütüldüğünde her bir adımındaki görüntüler ve karşılaştırma amacıyla 7 kez  $9 \times 9$  zıtlık yayılmış görüntüye süzgeç uygulanmasıyla elde edilen görüntü Şekil 3.22.a'da ve girdi - çıktı görüntüleriyle, karşılaştırma görüntüsünün orta satırlarına ilişkin parlaklık değişimi grafiği Şekil 3.22.b'de verilmiştir. Burada çıktı olarak isimlendirilen görüntü en son *OF* uygulayımından elde edilen görüntüdür ki burada  $13 \times 13$ 'tür. Grafikte girdi olarak çizilen, *Zıtlık Yayma* ile elde edilen görüntüdür. Bunun sebebi asıl giriş görüntüsünün çok düşük zıtlıklı olmasıdır. Grafikte giriş görüntüsü noktalı çizgiyle, çıkış görüntüsü ise düz çizgiyle gösterilmiştir. Görüntü çıktılarından Şekil 3.22.a:(b,f,h,i) karşılaştırıldığında, üst üste büyük boyutlu *OF* uygulayımı süzgeç boyutundan küçük ayrıntıların kaybolmasına ve görüntünün git-tikçe buğulanmasına neden olmaktadır. Şekil 3.22.b'deki grafik çizimlerinden açık bir şekilde görüleceği üzere ardışık aynı boyutlu süzgeç uygulayımı, artan boyutta uygulanmasına oranla imi daha kötü takip etmektedir. Böylelikle hem görüntü hem grafik çizimleri artan süzgeç seçiminin olumlu olduğunu göstermiştir. Daha buğulu *55310019.eps* deneme görüntüsünün orta bölümünden  $250 \times 250$ 'lik alan üzerinde aynı işlem tekrarlandığında Şekil 3.23.a ve b'de verilen görüntü ve grafik çizimi elde edilmiştir.

Şekil 3.22 ve Şekil 3.23'ten görüldüğü üzere giriş görüntülerinde var olan ve zıtlık yayılmış görüntülerde daha net olarak görülebilen darbe biçimli oluşumlardan temizlenmiştir. Granüller arasındaki yolcuklar, çok daha belirgin hâle gelmiştir. Granüllerin parlaklık çevritleri kolay bir şekilde görülebilir hâle gelmiştir. Dolayısıyla



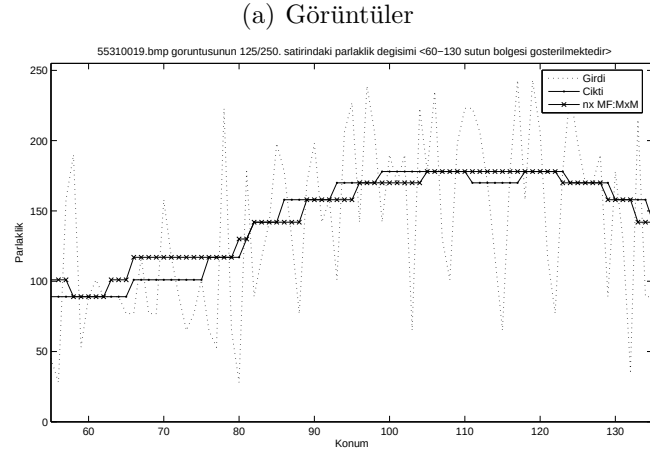
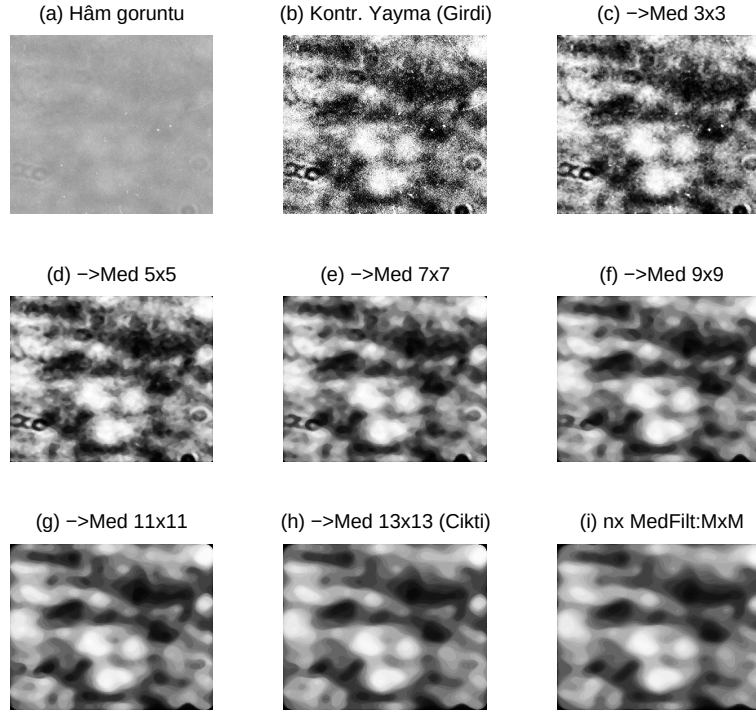
(a) Görüntüler



(b) Görüntülerin orta satırlarına ilişkin parlaklık değişimleri grafiği

şekil 3.22: 55310018 deneme görüntüsünün orta bölümünden  $250 \times 250$ 'lik bir alanda ASD-Giderici sonuçları

bu işlemin ardından istenirse granüllerdeki parlaklıkla orantılı sıcaklık dağılımı ve bununla ilgili çözümleme işlemlerine geçilebilir.

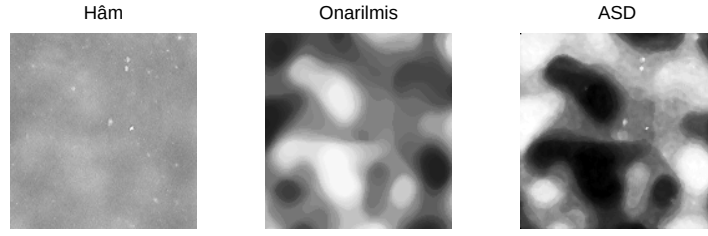


(b) Görüntülerin orta satırlarına ilişkin parlaklık değişimleri grafiği

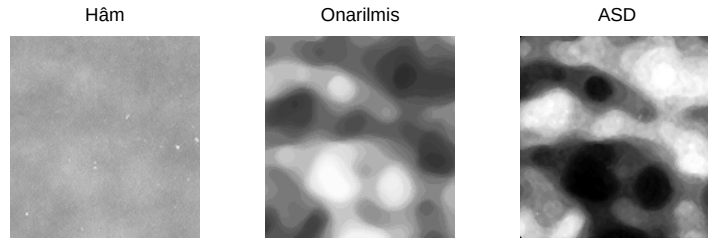
Şekil 3.23: 55310019 deneme görüntüsünün orta bölümünden  $250 \times 250$ 'lik bir alanda ASD-Giderici sonuçları

Şekil 2.53'de verilen *ASD-Çıkarımcı* algoritması, *55310018.eps* deneme görüntüsünün orta bölümünden  $150 \times 150$ 'lik alan üzerinde çalıştırıldığında Şekil 3.24.a'da, *55310019.eps* deneme görüntüsünününe ilişkin olan Şekil 3.24.b'de ve *55310020* deneme görüntüsünününe ilişkin olan Şekil 3.24.c'de verilen ASD'ler elde edilmiştir.

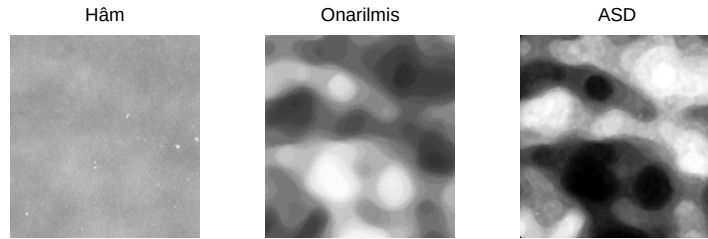
Görüntülerde şeffaflığın en düşük olduğu düzey siyahla, en yüksek olduğu düzey beyazla ve ara durumlarda gri düzeylerle gösterilmiştir. Ancak daha önceden de söylendiği üzere, ASD-Çıkarımcının hâla geliştirilmeye ihtiyacı vardır.



(a) 5310018



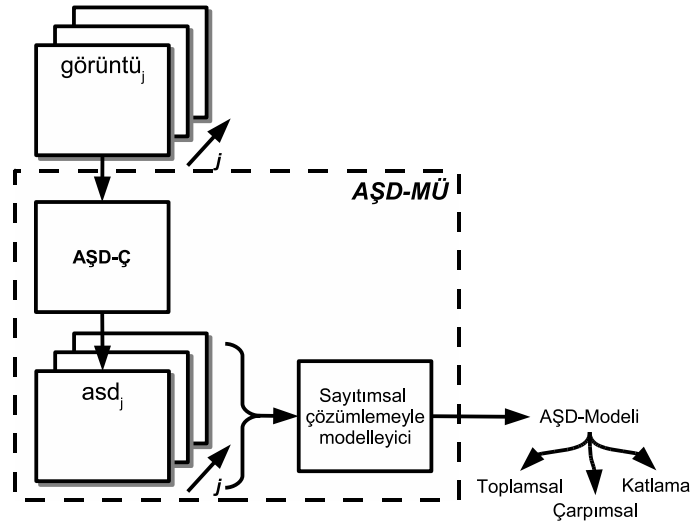
(b) 55310019



(c) 55310020

Şekil 3.24: ASD-Çıkarımcı sonuçları: görüntülerin küçük bir alanlarına ( $150 \times 150$ ) ilişkin ASD'ları

ASD-Çıkarımcı algoritması geliştirildikten sonra atmosferin *toplamsal*, *çarpımsal* ve *katlamasal* modeli üretilebilir. Buna dair düşünsel algoritmaya ilişkin öbek çizge gösterilimi Şekil 3.25'de verilmiştir.



Şekil 3.25: ASD-Modelleyici düşüncesi

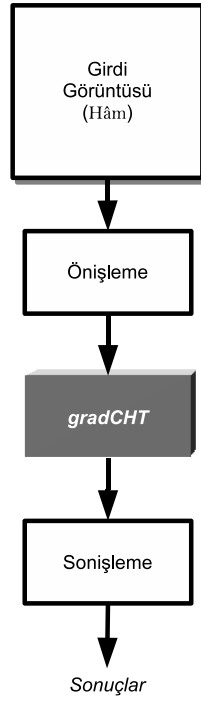


## 3.4 Teknolojik Granülasyon Oluşumları Öznitelik Çıkarımı Sonuçları

### 3.4.1 Giriş

Bölüm 2.3.5’de verilen gradyan temelli CHT algoritmasını çeşitli yapay ve gerçek görüntüler üzerinde denendi. Öncelikle tek çember içeren deneme görüntüsü (gchtTestTekCember) üzerinden algoritmanın farklı ara aşamalarında elde edilen sonuçlar, yorumlar ve düşünceler verildi. Ardından örtüşen çok sayıda ve farklı boyutta çember içeren deneme görüntüsü (gchtTestCokluOrtusenCemberler) için işlemler tekrarlanmıştır. HT’nin örtüşen çember olması durumundaki, başka bir deyişle eksik bilgiye karşın çember parametre çıkarımının başarımı sınanmıştır. Benzer sına içiçe çok sayıda çember içeren deneme görüntüsünde (gchtTestAyniMerkezliCemberler) yapılmıştır. Yarıçap histogramlamanın nasıl yapıldığı ve önemi bir kez daha vurgulanmıştır. CHT algoritması gürültüye duyarlı gradyan hesaplama temelinde olduğu söylenmişti. Gürültü altındaki (özellikle tuz&biber gürültüsü) başarımını sınamak için gchtTestCokluOrtusenCemberler ve gchtTestAyniMerkezliCemberler deneme görüntüsüne farklı oranda gürültü uygulanıp algoritmanın doğruluk sınaması yapılmıştır. Tüm bu sınamaların ardından asıl soruna ilişkin granülasyon görüntülerine geçildi. Bunlar ADT’de karşılaşılan diskinin ve çevresinde oluşan zonunun çember biçimli olduğu granülasyon oluşumları ve DND’de kullanılan mikroskop altında izlenen dondurma içerisindeki hava kabarcıklarına ilişkin granülasyon oluşumlarıdır. Gerçek görüntüler üzerinde çalışırken ise görüntülerin, uygulamanın doğasına uygun olarak *önışlemenin* yapılması ve benzer şekilde gradCHT algoritmasıyla elde edilen sonuçların da sunulması istenen biçimine bağlı olarak son işlenmesi gerekmiştir (Şekil 3.26).

Uygulamalar özellikle gürültü altında algoritmanın başarımının hızla düştüğünü göstermiştir. O yüzden Algoritma 3.26’da gösterilen *önışleme* aşaması olduğundan çok daha fazla önemi vardır. Çünkü bu kısımda gürültünün uzaklaştırılma derecesi algoritmanın başarımını doğrudan etkilemektedir. Uygulamaya bağlı olarak algo-



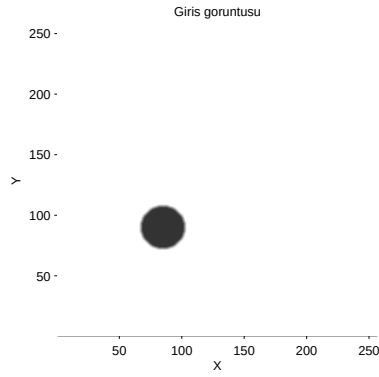
Şekil 3.26: gradCHT uygulayım

ritma parametrelerinin ince ayarlanması gerekmiştir. Ancak eldeki bir uygulamaya ilişkin deneme görüntülerinin her biri için uygun parametre kombinasyonu bulunabilmiştir. Uygulama sonuçlarını kullanacak kişilerin gerçekleştirme ayrıntılarıyla uğraşmamaları için uygun *sonışleme*yle soyutlamaların yapılması gerekmiştir.

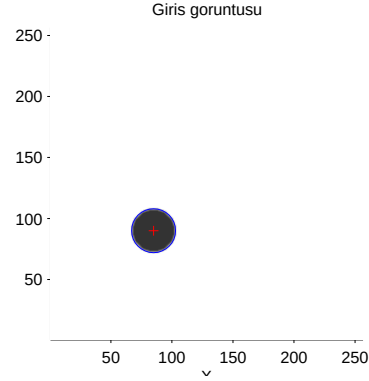
### 3.4.2 Tek Bir Çember İçeren Test Görüntüsü: gchtTestTekCember

İlk uygulamada görüntüde tek bir çember yer almaktadır. Burada amaç Bölüm 2.3.5’de verilen algoritmanın önemli aşamalarından sonuçlar verilecektir.

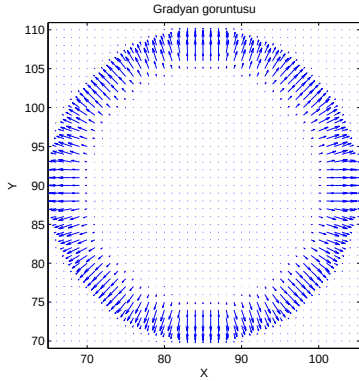
Görüntüdeki çember  $\{85, 90\}$  koordinatlarındadır ve yarıçap değeri  $r = 17$ ’dir. Çemberi içeren görüntü Şekil 3.27.a’da, Şekil 3.27.b’de ise HT ile bulunan çember çizimi, Şekil 3.27.c’de gradyan hesaplama sonucu, çember bölgesi büyütülerek gösterilmiştir, Şekil 3.27.d-e sırasıyla gradyan görüntüsünün sol-üst ve sağ-alt bölgeleridir. Bu son iki görüntüden görüldüğü üzere gradyanın yönü merkezden dışa doğrudur. Şekil 3.27.f’de verilen toplama (Hough, parametre) uzayından görüldüğü üzere en



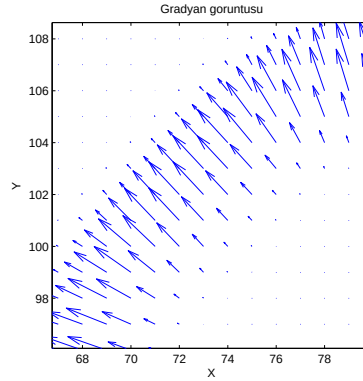
(a) Giriş görüntüsü (gchtTest1)



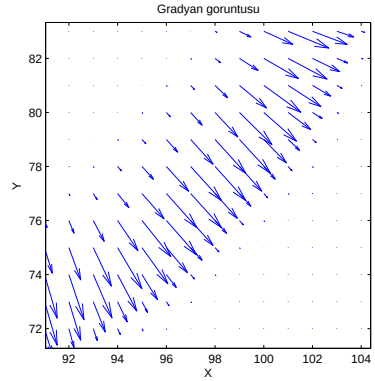
(b) Giriş görüntüsü üzerine HT tarafından çember bindirildi



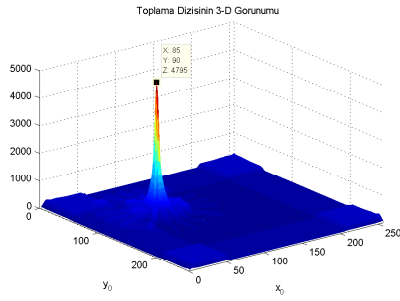
(c) Gradyan görüntüsü (çembere odaklanılmış)



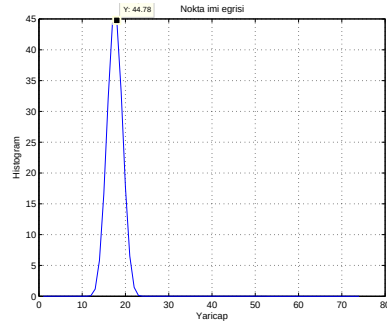
(d) Üst-sol bölgedeki gradyanlar



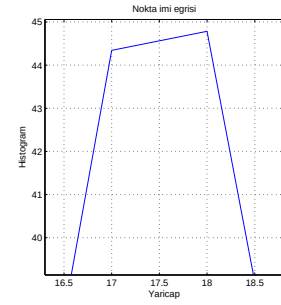
(e) Alt-sağdaki gradyanlar



(f) Hough uzayı 3D gösterilimi



(g) Yarıçap oylama nokta imi eğrisi



(h) Yarıçap oylama nokta imi eğrisi-tepe bölgesi büyütülmüş

Şekil 3.27: gradCHT Uygulama 1 görüntüler

fazla oyu alan (yani tepe noktası) çemberin merkez parametresinin olduğu koordinnattadır yani  $\{85, 90\}$ 'dadır. Toplama uzayında yerel en büyük bulmayla çember merkezinin elde edilmesinin ardından yarıçap oylamasına geçilmiştir. Şekil 3.27.g yarıçap oylama sonucunu göstermektedir. Yarıçap oylama sonucu çemberin yarıçapıyla hemen hemen aynı değerde en büyük yapmıştır. Yarıçapta böyle bir yanılığının çıkmasının en önemli nedeni ayırıklaştırmadır. Şekil 3.27.h'de tepe bölgesi büyütülerek gösterilmiştir, bu grafik çiziminden de görüleceği üzere eğri 16.0'ya ulaşmıca kadar hızla büyürken ve benzer şekilde 18.5'dan sonra da hızla düşerken, 16.0 – 18.5 aralığında değişim yavaşlamaktadır ve sayısallaştırmanın bir sonucu olarak tepe belirsizleşmektedir. Sayısallaştırmadan kaynaklı olarak sonuçlarda  $\pm 0.5 br$ 'lik yanılığlar ortaya çıkabilir[44] ve yuvarlama ve tekrardan ayırıklaştırmının sonucu olarak en büyük olarak 1  $br$ 'lik bir kayma ortaya çıkabilir. Özellikle yarıçap sonucunda ortaya çıkan yanılığı düzeltme gayretiyle yapılan araştırma kapsamında [134]'nın yarıçap histogramını yarıçap histogramına uygulanmıştır. Fakat süzgeçleme daha iyi sonuç üretmedi, yanılığ miktarı aynı kaldı ve  $r = 16.0$  olarak bulundu. Sonuçta sayısallaştırmadan kaynaklı 1  $br$ 'lik bir yanılığ ortaya çıkmıştır. Yarıçap histogramı program ayırık - tamsayı değerleri üzerinden üretiliyor. Gerçel değerlerin kullanılmasıyla yanılığ miktarının önüne geçilme en azından indirilme ihtimali var. Ancak bu dizgeye ek bir kaynak yükü (hesap ve bellek) getirecek. Kaynak yükü ile doğruluk arasında dengenin uygulamaya bağlı olarak kaymasıyla gerçel sayı seçeneği de gerçekleştirilebilir. Çizelge 3.4'de  $zz$  gösterilimi gerçel değeri,  $\tilde{z}z$  Hough dönüşümüyle bulunan değeri ve  $\Delta zz$  ise ikisi arasındaki farkı göstermektedir.

Çizelge 3.4: Uygulama 1 sonuçları

| $X$ | $\tilde{X}$ | $\Delta X$ | $Y$ | $\tilde{Y}$ | $\Delta Y$ | $r$ | $\tilde{r}$ | $\Delta r$ |
|-----|-------------|------------|-----|-------------|------------|-----|-------------|------------|
| 85  | 85.00       | 0.00       | 90  | 90.00       | 0.00       | 17  | 18.00       | 1.00       |

### 3.4.3 Çok Sayıda Örtüşen Çember Test Görüntüsü: gcht-TestCokluOrtusenCemberler

İkinci uygulamada görüntüde çok sayıda, farklı boyutta ve parlaklıkta, örtüşen çember yer almaktadır. Burada amaç Bölüm 2.3.5'de verilen algoritmanın böylesi kar-

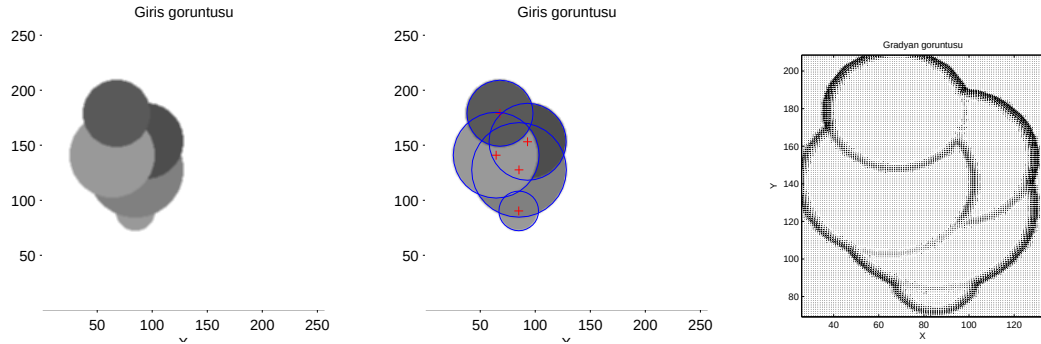
maşık görüntü yapısındaki başarıyı denetlemektir. Bu amaçla algoritmanın aşamalarından sonuçlar verilecektir.

Yapay deneme görüntüsü üst üste binmiş, farklı parlaklıkta ve yarıçapta 5 adet çemberden oluşturulmuştur. Bu deneme görüntüsü *gchtTest2* olarak adlandırılmıştır. Çizelge 3.5’de her bir çemberin yarıçap ve merkez değerleri verilmiştir. Çemberleri içeren *gchtTest2* görüntüsü Şekil 3.28.a’da, Şekil 3.28.b’de HT ile buluna çemberlerin çizimi, Şekil 3.28.c’de gradyan hesaplama sonucu, çemberler bölgesi büyütülerek gösterilmiştir, Şekil 3.28.d-e sırasıyla gradyan görüntüsünün alt-orta ve sağ-orta bölgeleridir. Bu son iki görüntüden görüldüğü üzere gradyanın yönü çember merkezinden dışa doğrudur. Şekil 3.28.f’de verilen toplama (Hough, parametre) uzayından görüldüğü üzere en fazla oyu alanlar (yani tepe noktası) çemberlerin merkez parametrelerine denk düşen koordinatlardır. Toplama uzayında yerel en büyük bulmayla çember merkezlerinin elde edilmesinin ardından yarıçap oylamasına geçilmiştir. Şekil 3.28.g-k yarıçap değeri küçük büyüğe doğru artan sırada yarıçap oylama sonuçlarını göstermektedir. Algoritma sırasıyla [4, 2, 5, 1, 3] nolu çemberler bulmuştur. Yarıçap histogramlarında gerçekte olması beklenen ve artı olarakta yan daha az oy almış tepeliklerde çıkmıştır. Bunların sebebi çemberlerin birbirine girmiş durumda olmalarıdır. *gchtTest2* görüntüsünün aynı merkezli içiçe çember içermeyeceği önbilgisi, ortaya çıkan yanlışlı oylamalardan gelebilecek, yerel en büyük bulma ve sonucunda çember parametresi olarak atanmanın önüne geçmek için histogramı uygun bir şekilde işlemiştir.

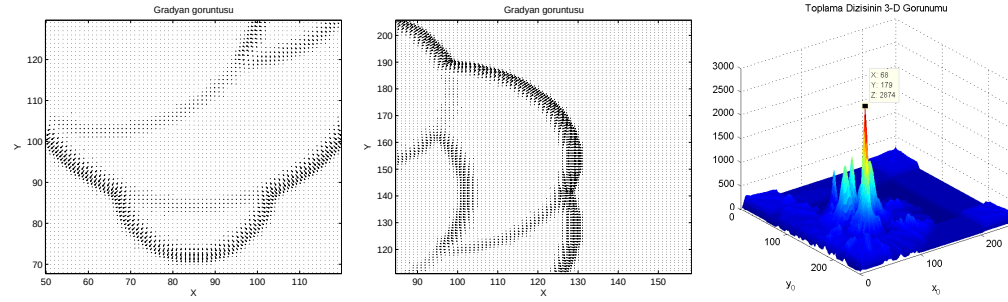
Çizelge 3.5’de  $zz$  gösterilimi gerçek değeri,  $\tilde{zz}$  Hough dönüşümüyle bulunan değeri ve  $\Delta zz$  ise ikisi arasındaki farkı göstermektedir. Görüldüğü gibi en büyük 1 *br*’lik bir yanlışlı alınması söz konusudur.

#### 3.4.4 Aynı Merkezli Çember Test Görüntüsü: *gchtTestAynıMerkezliÇemberler*

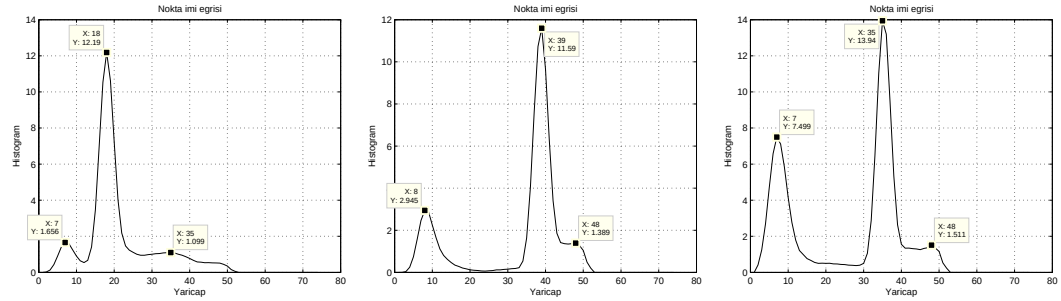
İkinci uygulamada görüntüde çok sayıda, farklı boyutta ve parlaklıkta, aynı merkezi paylaşan çember yer almaktadır. Burada amaç Bölüm 2.3.5’de verilen algoritma-



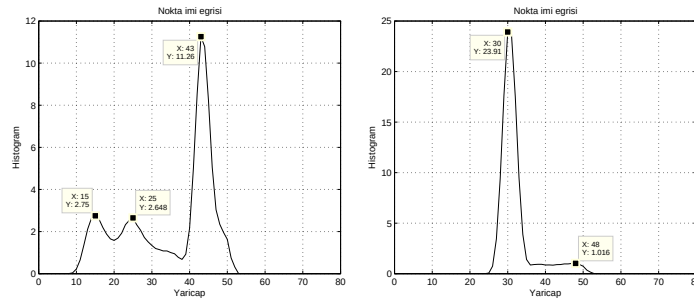
(a) Giriş görüntüsü (gchtTest2) (b) Giriş görüntüsü üzerine HT tarafından bulunan çemberler (çemberlere odaklanılmış) (c) Gradyan görüntüsü



(d) Alt-orta bölgedeki gradyanlar (e) Orta-sağdaki gradyanlar (f) Hough uzayı 3-D gösterimi



(g) Yarıçap oylama nokta imi eğrisi (h) Yarıçap oylama nokta imi eğrisi (i) Yarıçap oylama nokta imi eğrisi



(j) Yarıçap oylama nokta imi eğrisi (k) Yarıçap oylama nokta imi eğrisi

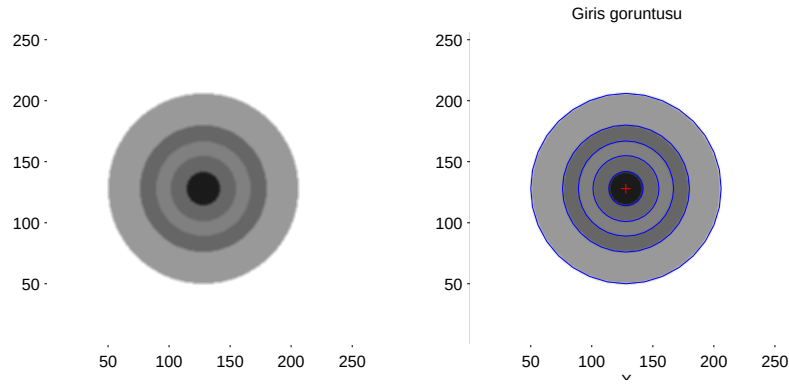
Şekil 3.28: gradCHT Uygulama 2 görüntüler

Çizelge 3.5: gradCHT Uygulama 2 sonuçları

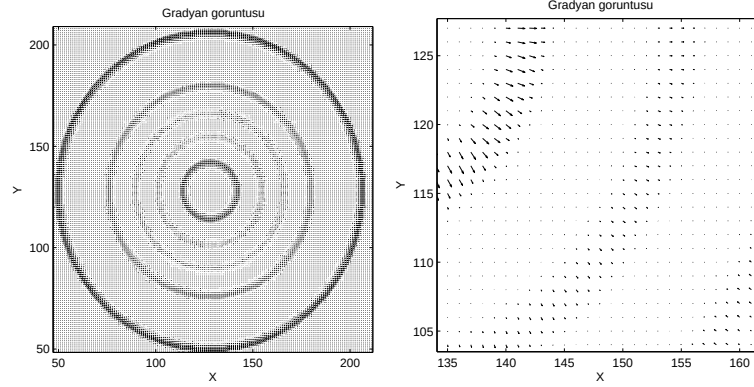
| $X$ | $\tilde{X}$ | $\Delta X$ | $Y$ | $\tilde{Y}$ | $\Delta Y$ | $r$ | $\tilde{r}$ | $\Delta r$ |
|-----|-------------|------------|-----|-------------|------------|-----|-------------|------------|
| 85  | 85.02       | 0.02       | 90  | 90.33       | 0.33       | 17  | 18          | 1.00       |
| 68  | 67.96       | 0.04       | 179 | 179.08      | 0.08       | 30  | 30.00       | 0.00       |
| 94  | 93.02       | 0.08       | 154 | 153.17      | 0.83       | 34  | 35          | 1.00       |
| 64  | 64.51       | 0.51       | 141 | 140.97      | 0.03       | 38  | 39.00       | 1.00       |
| 85  | 85.27       | 0.27       | 128 | 127.58      | 0.42       | 43  | 43          | 0.00       |

nın böylesi karmaşık içiçe geçmiş görüntü yapısındaki başarımını denetlemektir. Bu amaçla algoritmanın aşamalarından sonuçlar verilecektir.

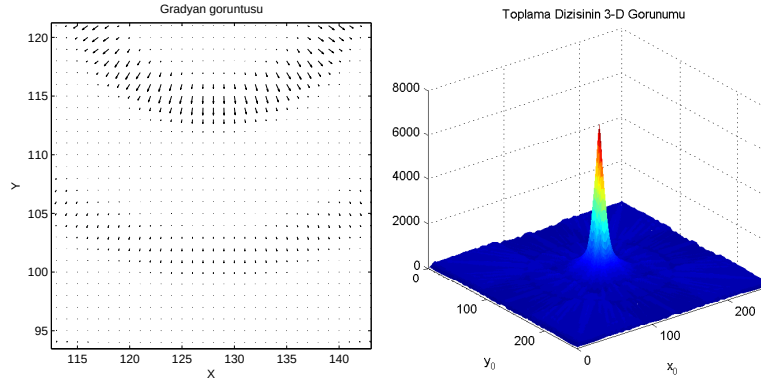
Yapay deneme görüntüsü üst üste binmiş, farklı parlaklıkta ve yarıçapta 5 adet aynı merkezli çemberden oluşturulmuştur. Bu test görüntüsü *gchtTest3* olarak adlandırılmıştır. Çizelge 3.6’da her bir çemberin yarıçap ve merkez değerleri verilmiştir. Çemberleri içeren *gchtTest3* görüntüsü Şekil 3.29.a’da, Şekil 3.29.b’de HT ile buluna çemberlerin çizimi, Şekil 3.29.c’de gradyan hesaplama sonucu, çemberler bölgesi büyütülerek gösterilmiştir, Şekil 3.29.d-e sırasıyla gradyan görüntüsünün güney-doğu ve güney yönündeki gradyan bölgeleridir. Bu son iki görüntüden görüldüğü üzere gradyanın yönü çember merkezinden dışa doğrudur ve parlaklığın (zıtlığın) düşük olduğu çemberlerde daha düşük gradyan üretilmiştir. Şekil 3.29.f’de verilen toplama (Hough, parametre) uzayından görüldüğü üzere en fazla oyu alan (yani tepe noktası) çemberlerin merkez parametrelerine denk düşen koordinatlardır. Toplama uzayında yerel en büyük bulmayla çember merkezinin elde edilmesinin ardından yarıçap oylamasına geçilmiştir. Şekil 3.29.g yarıçap oylama sonucunu göstermektedir. Görüldüğü üzere merkezleri aynı yarıçapları farklı çemberlerin parametreleri birer tepe olarak ortaya çıkmıştır. Burada ilki dışında gittikçe hitogramı artan bir yapı görülmekte ki bu beklenen bir şeydir. Çünkü ne kadar büyük bir çemberse o kadar fazla noktadan yarıçap oylaması yapılacak ve büyük bir genlik olarak ortaya çıkacaktır. En küçük yarıçaplı olanda bir istisna söz konusudur. Bunun muhtemel nedeni küçük boyutlu olması ve ara bölgelerden yanılgılı oylamaların yapılmasıyla daha büyük genlik olarak ortaya çıkmıştır. Yarıçap histogramı için normalize gösterilim de kullanılabilirdi[134]. *gchtTest3* görüntünün aynı merkezli içiçe çember içerdiği ön bilgisi, yerel en büyük bulma ve sonucunda çember parametresi olarak atamada



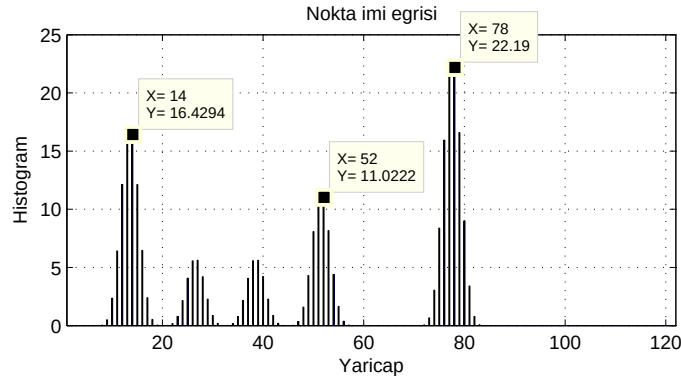
(a) Giriş görüntüsü (gchtTest2) (b) Giriş görüntüsü üzerine HT tarafından bulunan çemberler bindirildi



(c) Gradyan görüntüsü (çembere odaklanılmış) (d) Güney-doğu bölgesindeki gradyanlar



(e) Güney yönündeki gradyanlar (f) Hough uzayı 3D gösterilimi



(g) Yarıçap oylama nokta imi eğrisi

Şekil 3.29: gradCHT Uygulama 3 görüntüler



histogramı uygun bir şekilde işlemiştir.

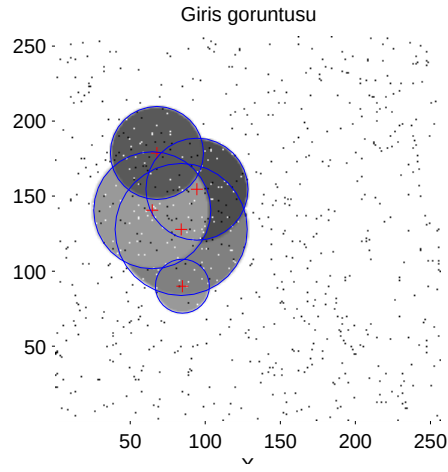
Çizelge 3.6’da  $zz$  gösterilimi gerçek değeri,  $\tilde{zz}$  Hough dönüşümüyle bulunan değeri ve  $\Delta zz$  ise ikisi arasındaki farkı göstermektedir. Görüldüğü gibi en büyük  $1 br$ ’lik bir yanlgı alınması söz konusudur.

Çizelge 3.6: gradCHT Uygulama 3 sonuçları

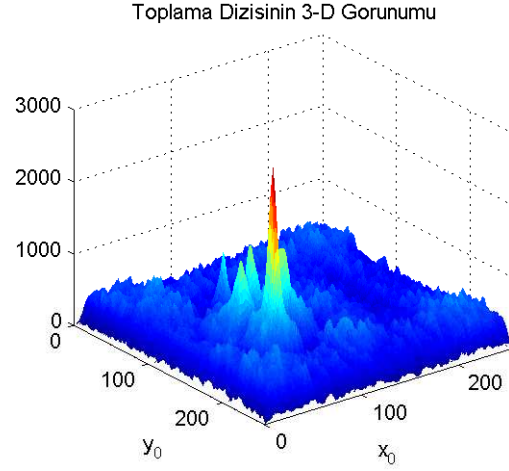
| $X$ | $\bar{X}$ | $\Delta X$ | $Y$ | $\bar{Y}$ | $\Delta Y$ | $r$ | $\tilde{r}$ | $\Delta r$ |
|-----|-----------|------------|-----|-----------|------------|-----|-------------|------------|
| 128 | 128.00    | 0.00       | 128 | 128.00    | 0.00       | 13  | 14.00       | 1.00       |
| 128 | 128.00    | 0.00       | 128 | 128.00    | 0.00       | 26  | 27.00       | 1.00       |
| 128 | 128.00    | 0.00       | 128 | 128.00    | 0.00       | 38  | 39.00       | 1.00       |
| 128 | 128.00    | 0.00       | 128 | 128.00    | 0.00       | 51  | 52.00       | 1.00       |
| 128 | 128.00    | 0.00       | 128 | 128.00    | 0.00       | 77  | 78.00       | 1.00       |

### 3.4.5 Gürültülü gchtTestCokluOrtusenCemberler Test Görüntüsü

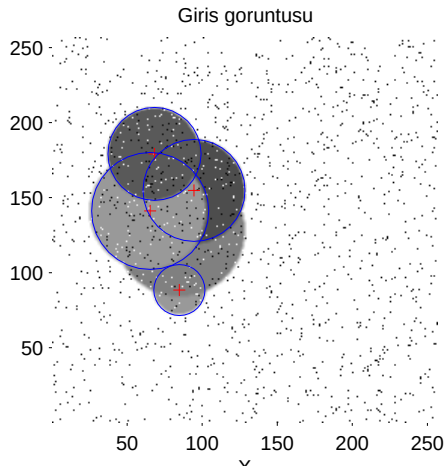
Bu bölümde gchtTest2 görüntüsü üzerine gürültü (tuz&biber gürültüsü) eklenerek algoritmanın başarımı denetlenecektir. Daha önce söylendiği üzere algoritmanın temelini oluşturan gradyan hesaplama aşaması gürültüye duyarlıdır ve gürültü altında başarımı hızla düşmektedir. Uygulayimler da bu paralelde sonuçlar üretmiştir. Şekil 3.30.a’da az gürültülü (gürültü = %2), Şekil 3.30.c’de orta gürültülü (gürültü = %4) görüntüler ve Şekil 3.30.b ve d’de ise hough dönüşüm uzayı karşılıkları verilmiştir. Dönüşüm uzayından net bir şekilde görüldüğü üzere gürültüdeki küçük değişim (gürültü = %2’den gürültü = %4’e çıkış) arkaplan gürültü düzeyini yukarılara doğru çıkartmıştır. Bunun sonucu olarakta çember parametrelerini algılama zorluk derecesi artmıştır. Orta gürültülü görüntüdeki çemberlerden yarısından fazlası eksik olanı algılanamamıştır Bu bölümde daha yüksek dereceli gürültü durumu için çember algılama kararlı sonuçlar üretmediğinden eklenmemiştir. Gürültü miktarının şiddetli yani SNR’nin (sinyal gürültü oranı) düşük olduğu durumlarda HT’nin başarımı önışleme aşamasındaki gürültü gidericilerin başarımına bakmaktadır. Çizelge 3.7’de farklı gürültü düzeylerinde bulunabilen çemberler üzerinden hesaplanan ortalama karesel yanlgı değerleri verilmiştir. Gürültüyle birlikte yanlgı



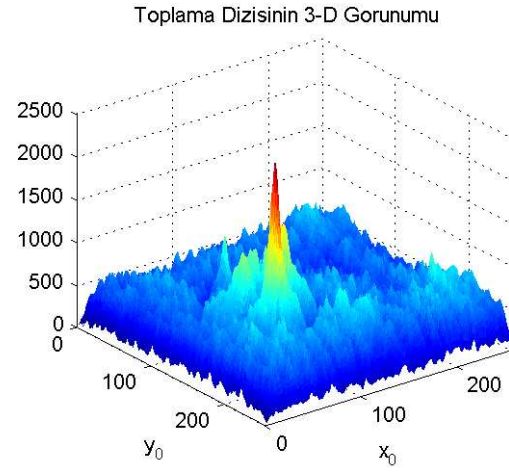
(a) Az gürültülü giriş görüntüsü



(b) Az gürültülü görüntünün 3D Hough uzayı



(c) Orta gürültülü giriş görüntüsü



(d) Orta gürültülü görüntünün 3D Hough uzayı

Şekil 3.30: Gürültü altında *gchtTest2* görüntüsünde gradCHT'nin başarımlı sinaması

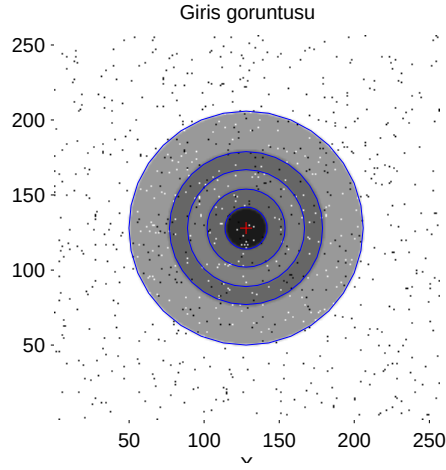
değeri artmakta dolayısıyla doğruluk azalmakta ve HT'nin başarımı düşmektedir. Tabloda yer alan (\*) işatlemesi eksik/yanılgılı çember algılamasının olduğunu gösterir. Bu çemberler yanılgı hesabının dışında tutulmuştur.

Çizelge 3.7: Gürültü altında *gchtTest2* görüntüsünde gradCHT'nin başarıım sınaması

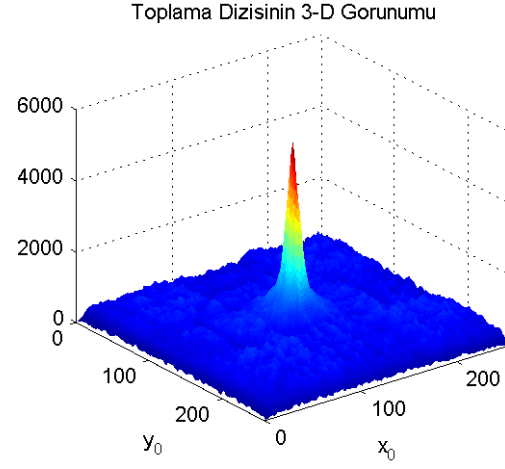
| Gürültü (%) | MSE     |
|-------------|---------|
| %1          | 0.1403  |
| %2          | 0.1703  |
| %3          | 0.1816  |
| %4          | 0.2277* |

### 3.4.6 Gürültülü *gchtTestAynıMerkezliCemberler* Test Görüntüsü Sonuçları

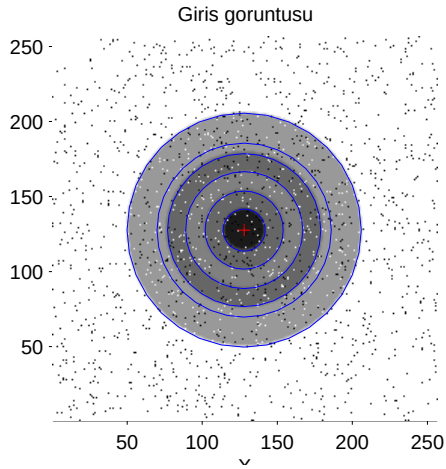
Bu bölümde *gchtTest2* görüntüsü üzerine gürültü (tuz&biber gürültüsü) eklenerek algoritmanın başarımı denetlenecektir. Daha önce söylendiği üzere algoritmanın temelini oluşturan gradyan hesaplama aşaması gürültüye duyarlıdır ve gürültü altında başarımı hızla düşmektedir. Uygulamalar da bu paralelde sonuçlar üretmiştir. Şekil 3.31.a'da az gürültülü (gürültü = %2), Şekil 3.31.c'de orta gürültülü (gürültü = %4) görüntüler ve Şekil 3.31.b ve d'de ise hough dönüşüm uzayı karşılıkları verilmiştir. Dönüşüm uzayından net bir şekilde görüldüğü üzere gürültüdeki küçük değişim (gürültü = %2'den gürültü = %4'e çıkış) arkaplan gürültü düzeyini yukarılara doğru çıkartmıştır. Bunun sonucu olarakta çember parametrelerini algılama zorluk derecesi artmıştır. Orta gürültülü derecesinden itibaren fazlalık çemberler algılanmaya başlanmıştır. Daha önceden söylendiği üzere gürültü miktarının şiddeti yani SNR'nin (sinyal gürültü oranı) düşük olduğu durumlarda HT'nin başarımı önışleme aşamasındaki gürültü gidericilerin başarımına bakmaktadır. Çizelge 3.8'de farklı gürültü düzeylerinde bulunabilen çemberler üzerinden hesaplanan ortalama karesel yanılgı değerleri verilmiştir. Gürültüyle birlikte yanılgı değeri artmakta dolayısıyla doğruluk azalmakta ve HT'nin başarımı düşmektedir. Tabloda yer alan (\*) işatlemesi eksik/yanılgılı çember algılamasının olduğunu gösterir. Bu çemberler yanılgı hesabının dışında tutulmuştur.



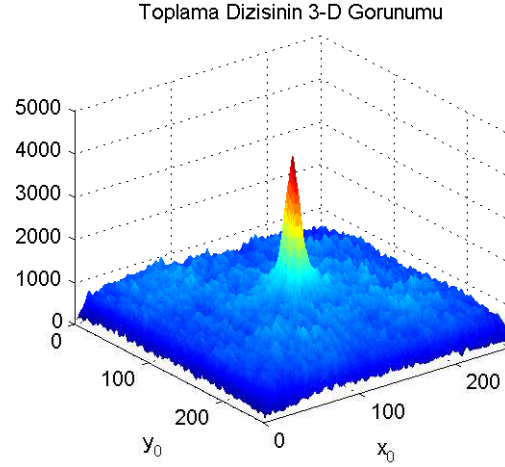
(a) Az gürültülü giriş görüntüsü



(b) Az gürültülü görüntünün 3D Hough uzayı



(c) Orta gürültülü giriş görüntüsü



(d) Orta gürültülü görüntünün 3D Hough uzayı

Şekil 3.31: Gürültü altında *gchtTest3* görüntüsünde gradCHT'nin başarımlarını gösteren sonuçlar

Çizelge 3.8: Gürültü altında *gchtTest3* görüntüsünde gradCHT'nin başarımlarını gösteren sonuçlar

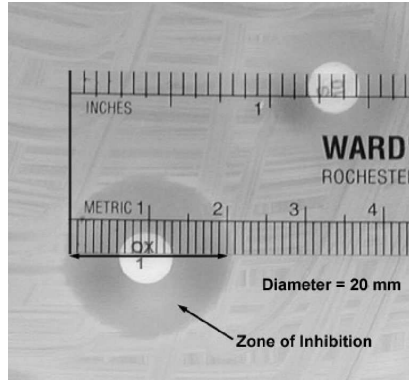
| Gürültü (%) | MSE     |
|-------------|---------|
| %1          | 0.0971  |
| %2          | 0.1161  |
| %3          | 0.1288* |
| %4          | 0.1295* |

### 3.4.7 ADT (Antibiyotik-antimikrobik Duyarlılık-direnç Testi) Çözümlemesi

#### 3.4.7.1 Sorun Tanımı ve Uygulanan Geleneksel Çözüm Yaklaşımı

Hasta örneklerinden elde edilen mikroorganizmanın gideriminde en uygun antibiyotığın ya da antibiyotik bileşiminin belirlenmesinde Antibiyotik Duyarlılık Testleri (ADT) kullanılmaktadır[161, 162]. Bu amaçla geliştirilmiş birçok yöntem vardır: disk yayılım (diffusion), sulandırım temelli gibi. Disk yayılım yöntemi, sulandırım temelli yöntemlere kıyasla daha kolay ve ucuzdur. Bu nedenle de rutin laboratuvar uygulamalarında sıklıkla kullanılmaktadır [161, 162, 163]. Disk yayılım yöntemi antibiyogram olarak da anılmaktadır. Bu yöntemde, belirli bir miktar antibiyotik emdirilmiş kağıt diskler kullanılır. Bu kağıt diskler, test edilen mikroorganizmadan (microorganism) hazırlanan standart çözeltinin (süspansiyonun) yayıldığı agar plak üzerine yerleştirilir. Böylelikle diskteki antibiyotik, agar içerisine yayılır ve mikroorganizmaya etkili olduğu oranda üremeyi engeller. Bunun sonucunda, disk çevresinde bakterilerin üreyemediği *dairesel* bir arınmış bölge ya da önlenim zonu (inhibisyon alanı) oluşur[162]. Şekil 3.32’de [164] uzman tarafından bu zon çapının kumpas ya da şerit cetvel yardımıyla nasıl ölçüldüğü gösterilmektedir[164]. Ölçülen zon *çapı*, her antibiyotik için farklı olabilen ve NCCLS (National Committee for Clinical Laboratory Standards) tarafından önerilmiş duyarlılık sınırıyla karşılaştırılır[165]. Antibiyotığın neden olduğu zon büyüklüğüne göre, mikroorganizmanın “*duyarlı* (S, sensible)”, “*orta* (I, intermediate)” ve “*dirençli* (R, resistant)” şeklinde duyarlılık kategorisi belirlenir[166, 164, 167]. Hastadan alınan mikroorganizmanın duyarlılık kategorilendirme sonuçlarından yararlanarak duyarlı olduğu antibiyotik (ler) hekim tarafından uygulanacak tedavide yeğlenir.

Bu yöntemde, besiyerinden oluşturulacak plakların biçimsel özellikleri de ortaya çıkacak önlenim zonlarının büyüklüğünü etkiler. En çok 8 disk kullanılacaksa 90 – 100 mm iç çapındaki petri kutuları, daha fazla sayıda disk kullanılacaksa ya iki plakla çalışılır ya da 140 – 150 mm iç çaplı petri kutuları kullanılır[161]. Önlenim zonlarını, disk büyüklüğünden daha çok içerdikleri antimikrobik miktarı et-



Şekil 3.32: Zon çap ölçüm yöntemi

kilemektedir. Pratikte  $5\text{ mm}$  ile  $8\text{ mm}$  arasında, ortalama  $6.25\text{ mm}$  çaplı diskler kullanılmaktadır[161]. Bu diskler üzerinde içerisine emdirilmiş antibiyotiğin türünü belirten kısaltmalar yer alır: *CTX* 30 (Cefoxitin), *AMC* 30 (Amoxicilin/Clavulanic Acid), *CD* 03(Klindamisin), *CAZ* 30(Seftazidim), *ATM* 30(Aztreonam), *CRO* 30(Seftriakson) gibi.

#### 3.4.7.2 gradCHT Temelindeki Öneri

Disk yayılımı temelli ADT, ölçme tekniğinden ötürü insan etmenine bağlıdır[168]. Yanlış ölçülen zon çapı, mikroorganizmanın yanılığlı duyarlılık sınıflandırılmasıyla sonuçlanır. Bu ise hastaya yanlış tedavi uygulanmasını doğurur. Bu yüzden zon çaplarının ölçülmesindeki hassaslık ADT'nin en kritik aşamalarından biridir. ADT'de mikroorganizmanın ekildiği kap içerisine konan antibiyotik emdirilmiş diskler ve benzer biçimde bu disklerin çevresinde oluşan zon da dairesel bir biçimi vardır. Zonlar arası etkileşim sonucunda girişimler oluşabilmekte ve yuvarlak biçimlilik bozulabilmektedir. Görüntüden ölçeklenmiş, kaymış çember yapılarını eksik bilgiye ve bir ölçüye kadar şekil bozulmasına karşın gürültü içerisinde çıkartabilmeyi özışler duruma getirebilmek için Çemberler için Hough dönüşümü (CHT ya da özel olarak gradCHT algoritması) kullanılabilir. Bu amaçla görüntü içerisindeki her bir disk çevresindeki zon çapları ölçölür ve duyarlılık durumları tablo halinde verilir.

**Önişleme** Görüntülere gradCHT algoritmasına verilmeden önce bazı önişlemele-  
rin yapılması gerekmiştir. Öncelikle renkli olarak görüntüler griye dönüştürülmüştür.

Bazı görüntüler çok yüksek çözünürlüktedir ve bunların yeniden boyutlandırılıp makul ölçülere indirilmesi gerekmiştir. Bu aşama önemlidir, çünkü algoritmanın başarımı görüntü boyutlarına doğrudan bağlıdır. Burada kullanılan görüntülerin boyutları ortalama olarak:  $[596 \times 477]$ 'dir. Görüntülerin incelenmesiyle elde edilen gürültü ön bilgisi ya da öngörüsü sonucunda kenarlara dokunmadan gürültü uzaklaştıran olarak adlandırılan Ortanca Filtre (OF) uygulanmış, OF'nin pencere boyutu  $9 \times 9$  ve komşuluk örüntüsü karesel seçilmiştir. OF uygulayımı gürültüyü uzaklaştırmış ve kenarları korumuş olmasına karşın, OF ile ortaya çıkan keskin kenarlı çemberlerin gradCHT içerisinde gradyan hesabında yanlış sonuçların alınması kenarları yumuşatmayı gerektirmiştir. Özellikle JPEG sıkıştırmasının sonucunda ortaya çıkan yapaylıkları gidermede kullanılan yumuşatıcı süzgeç görüntü üzerinden iki kez geçirilerek algoritmanın başarımı arttırılmıştır. Kullanılan  $5 \times 5$  JPEG-yumuşatıcı süzgeç maskesi,

$$filtre\_maskesi = \frac{1}{52} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 2 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 4 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 8 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 4 & 2 & 1 \\ 1 & 1 & 2 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

biçimdedir.

**Algoritma Parametreleri** OF ile gürültüleri uzaklaştırılarak ve JPEG tarzı-yumuşatıcıyla keskinliği azaltılarak önışlenmiş görüntü gradCHT algoritmasına girdi olarak verilmiştir. Görüntülerin önincelemesi, yarıçap için  $[\%2, \%20]$  aralığının uygun olduğunu göstermiştir. Görüntünün uygun ve doğru önışlemesi yapıldığından gradyan hesabında çemberler güçlü değerlerle gelmektedirler. Böylelikle algoritmanın önerdiği aralık  $(\%4 - \%10) \times 2^{BitSayisi}$  ve öntanımlı gradyan eşik değeri  $10 \in [0, 255]$  birçok deneme görüntüsü için iş görmesine karşın bazı görüntülerde (örneğin ESBL-screen.JPG) yanlış çemberlerin algılanmasına neden olmuştur. Bu yüzden 5 değerine çekilmiştir. Görüntüdeki zonlar aralarında etkileşime geçerek biçim bozulmasına uğrayabilmekte ya da mikroorganizmanın ekilmesi işlemi ya da mikroorga-

nizmanın kap içerisine yayılımı tekdüze olmadığından çember şeklinin mükemmeliği düşmektedir. Toplama dizisinde yerel en büyük aramada kullanılan süzgeç yarıçapı için öntanımlı de 8'dir. Çemberin mükemmelliğindeki düşüklük bu değeri birazcık daha yukarılara çekmeyi gerektirmiştir. Denemeler yerel en büyük bulucu süzgecin boyutunun 10 seçilmesinin uygun olacağını göstermiştir. ADT uygulamasında incelenen görüntüde en fazla iki çember yer alabileceği önbilgisi ışığında, yarıçap histogramından yarıçap seçiminde eşiği gösteren öntanımlı değeri 0.5 olan parametre en düşük düzeyine yani 0.1'e çekilmiştir. Bu çok zor koşullarda dahi içiçe çemberleri bulmayı sağlamasına karşın, fazlalık içiçe çemberlerinde bulunmasına neden olmuştur. Sonişleme aşamasında uygun düzenlemeyle bu fazlalıklar elenmiştir. Görüntüye ve parametre seçimlerine bağlı olarak toplama dizisi farklı gürültü ve gürültü örüntüleri içerebilmektedir ve bu algoritma başarımını ciddi derece de etkilemektedir. Bu durumda bu türden yapıların süzgeçlenmesi gerekir. Uygulayimler ve yapılan araştırmalar da önışleme gereksinimi doğrulamıştır. Önışlemede kullanılan JPEG tarzı yumuşatıcıyla süzgeçle toplama dizisinin süzgeçlenmesi yeterli olmuştur.

**Sonışleme** CHT algoritmasınca üretilen çember parametrelerinin uzman tarafından yorumlanabilir kılınması için bazı kritik sonışleme adımlarına gereksinim duyulmuştur. Öncelikle iç içe çemberlere izin verme parametresinin bilinçli olarak çok düşük seçilmesinin sonucu olarak ortaya çıkan aynı merkezli ikiden fazla sayıdaki çemberler elendi. Ayrıca antibiyotik yarıçapı ve çevresinde oluşabilecek en büyük zon çapı hakkındaki önbilgi ışığında dış çember yarıçapı için bir üst sınır sınaması yapılmıştır. Algoritma parametrelerinden içiçe çemberlere izin verme en büyüğe çekilmesiyle çok zor koşullar altındaki içiçe çemberler dahi algılanabilmesi sağlanmış olmasına ek olarak, bazı yanlışlı çember algılamaları da olabilmektedir. Bunun önüne geçmek için yapılan iç-dış yarıçap oranları için en büyük üst sınır 5 olarak seçilmiştir. Bu tablolardan duyarlılık sınırlarının incelenmesiyle ulaşılmış bir değerdir ve  $\frac{R_{zon}}{R_{antibiyotik}} < 5$  koşulunu sağlayan zonlar kabul göreceği anlamına gelir. Sunuş için antibiyotiklerin her birine birer etiket verilir. Burada basit olarak büyük tek harften oluşan etiketler verilmiştir. Ekranı ya da yazıcıya yapılan dökümde kullanıcıdan öğrenilen mikroorganizma türü antibiyotik etiketi, zon eşiği ve duyarlılık durumu yer



almaktadır. Ayrıca her bir etiketın görüntü üzerindeki koordinatları içeren bir tablo da üretilmektedir. Antibiyotikler üzerinde türünü belirten kısaltmalar yer almaktadır.



(a) Sol-alt bölümdeki C ile (b) Sağ-alt bölümdeki D etiketlenen antibiyotik ile etiketlenen antibiyotik

Şekil 3.33: Antibiyotik etiketleri

Şekil 3.33.a-b’de 20050919140052298.jpg deneme görüntüsünün sırasıyla sol-alt ve sağ-alt bölümlerindeki diskler gösterilmiştir. Bu disklerin içerisine emdirilen antibiyotığın türü disk üzerine işlenmiştir. Örneğin Şekil 3.33’de *CD* 03 ve *CTX* 30’dur. ADT’nin şu anki gerçekleştirilmesi basit etiket vermeyi kapsamaktadır. İleri de karakter tanıma algoritmaları da kullanılarak doğrudan disk üzerindeki etiketlerin kullanılması sağlanabilir.

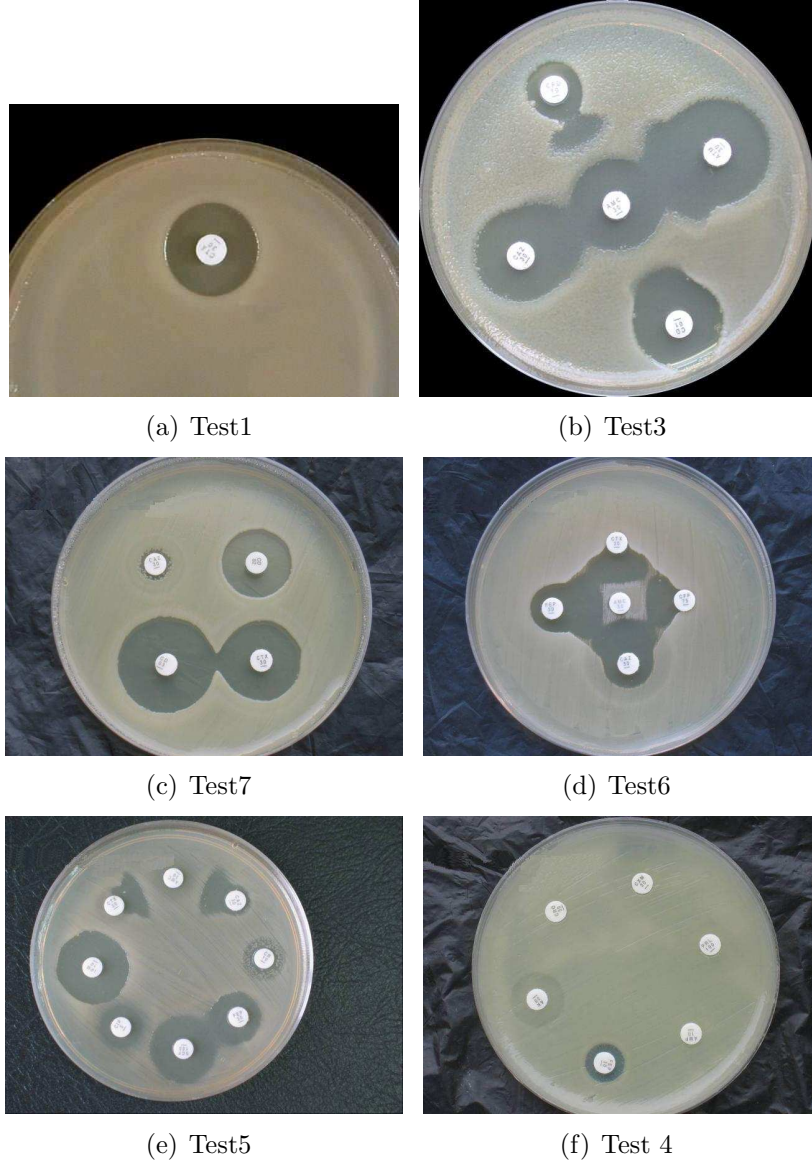
Çizelge 3.9: Kirby-Bauer zon yarıçap yorumlama çizelgesi

| Antibiyotik  | Disk Kons. | Dirençli (R) | Ara düzey (I) | Duyarlı (S) |
|--------------|------------|--------------|---------------|-------------|
| Amoxicilin   | 30 $\mu g$ | $\leq 19$    |               | $\geq 20$   |
| Ampicilin    | 10 $\mu g$ | $\leq 20$    | 21 – 28       | $\geq 29$   |
| Erythromycin | 15 $\mu g$ | $\leq 13$    | 14 – 22       | $\geq 23$   |
| Kanamycin    | 5 $\mu g$  | $\leq 13$    | 14 – 17       | $\geq 18$   |
| Oxacillin    | 1 $\mu g$  | $\leq 10$    | 11 – 12       | $\geq 13$   |
| Penicillin   | 2 $\mu g$  | $\leq 20$    | 21 – 28       | $\geq 29$   |
| Tetracycline | 5 $\mu g$  | $\leq 18$    | 19 – 22       | $\geq 23$   |

Çalışılan mikroorganizma için söz konusu antibiyotiğe duyarlılık zon eşiği için hazır tablolar kullanılmaktadır. Bu tablolardan en yaygın olanı Kirby-Bauer zon yarıçap yorumlama çizeneğidir [161, 164]. Bir mikroorganizma için 7 tane antibiyotiğe

ilişkin zon yarıçap eşikleri Çizelge 3.9’de [164] verilmiştir. Bu tabloların bilgisayar ortamına aktarılması ve yazılıma eklenmesiyle ADT işlemi, yazılımı kullanan uzmanın sadece mikroorganizma bilgisini seçmesine kadar indirgenebilir.

### 3.4.7.3 Sonuçlar



Şekil 3.34: ADT deneme görüntüleri

gradCHT algoritmasının ADT amacıyla kullanımı için geliştirilen algoritma farklı görüntüler üzerinde sınanmıştır. Şekil 3.34.a-f’de üzerinde çalışılan deneme görüntülerinden 6 tanesi verilmiştir. Şekil 3.35.a-f’de ise gradCHT algoritmasıyla önceki

bölümde sözü edilen önışleme ve sonışlemelerin ardından elde edilen sonuçlar verilmiştir. Çok karmaşık yapılar da dâhi zon çaplarını ölçebilmiştir (Şekil 3.35.b->B (antibiyotiklere etiketler, saatin tersi yönde alfabetik sırayla verilmiştir: A, B, C, ...), Şekil 3.35.c->A,B,E, Şekil 3.35.d->D,E, Şekil 3.35.e->A,B) fakat Şekil 3.35.e->F ve Şekil 3.35.f->D'deki zonlar buğuludur, o yüzden de algılanamamıştır. Bunların algılanması için daha fazla çabanın harcanması gerekmektedir. Algoritma tarafından algılanamayacak oranda zonların buğulu alınmasının sebepleri arasında, petri kabına yanlışlıkla birden fazla sayıda mikroorganizma ekilmiş olması ya da antibiyotik diskinin üretim yanlışlığı sayılabilir. Birden fazla mikroorganizmanın yanlışlıkla ekilmesi durumunda zonda, diskteki antibiyotiğe organizmalardan birisi duyarlıdır diğeri ise dirençlidir. Böylelikle ne koyu ne parlak bir alan oluşmuştur. Bu durumda ADT'nin tekrarlanması önerilir.

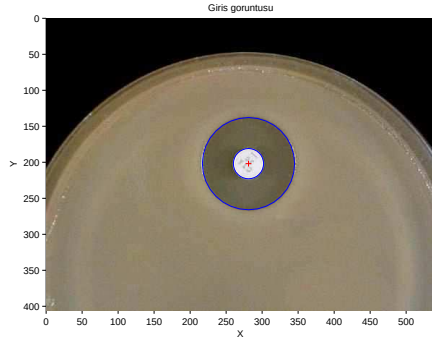
Çizelge 3.10'da *test7* için sonışlemenin ardından elde edilen antibiyotik etiketleri, zon çapları ve duyarlılık durumları tablo halinde verilmiştir. Duyarlılık hesabında basit bir katsayı kullanıldığı daha önce söylenilmişti, gerçekte ise tablolardan mikroorganizmaya özel her bir antibiyotik için zon eşikleri verilir, onlardan yararlanarak antibiyotiğe duyarlı olup-olmadığına karar verilir.

Çizelge 3.10: ADT Test 7 sonışlenmenin ardından elde edilen zon çapları ve duyarlılık sonuçları

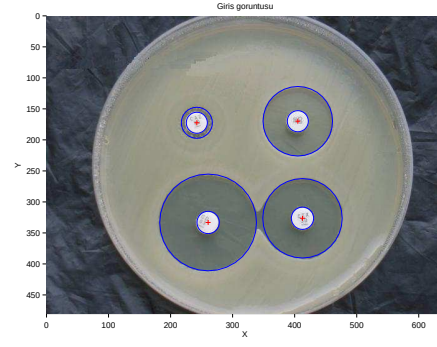
| Tür | Zon çapı | Duyarlılık |
|-----|----------|------------|
| A   | 148      | Duy        |
| B   | 78       | Duy        |
| C   | 128      | Duy        |
| D   | 128      | Duy        |
| E   | 124      | Duy        |

Çizelge 3.11'de Tablo 3.10'daki etiketlerin koordinatları verilmiştir.

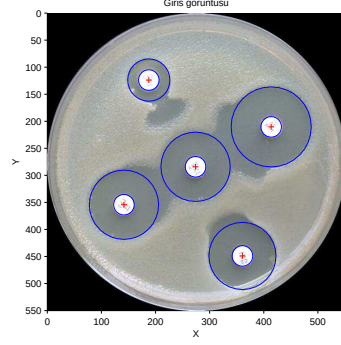
Çizelge 3.12'de *test5* için sonışlemenin ardından elde edilen antibiyotik etiketleri, zon çapları ve duyarlılık durumları tablo halinde verilmiştir. Duyarlılık hesabında



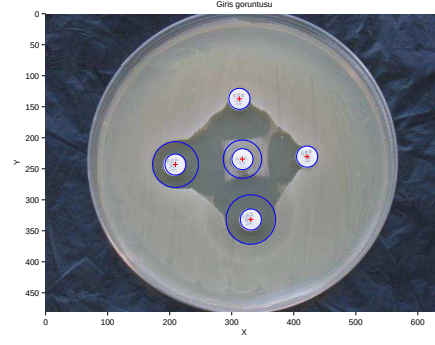
(a) Test1



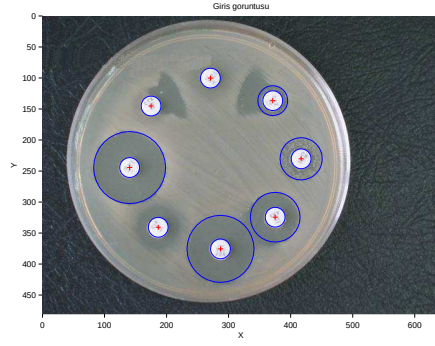
(b) Test7



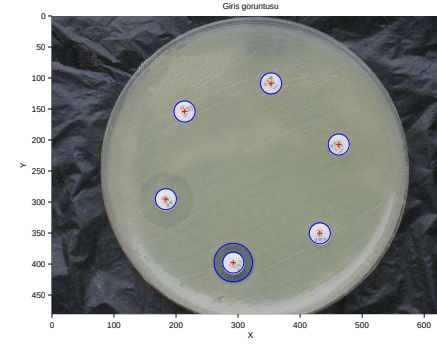
(c) Test3



(d) Test6



(e) Test5



(f) Test4

Şekil 3.35: ADT sonuçları

Çizelge 3.11: ADT Test 7 sonuçlanma sonucunda elde edilen etiketlerin koordinatları

| Tür | X      | Y      |
|-----|--------|--------|
| A   | 413.71 | 210.42 |
| B   | 187.58 | 123.86 |
| C   | 273.94 | 284.20 |
| D   | 141.68 | 354.32 |
| E   | 360.58 | 448.98 |

basit bir katsayı kullanıldığı daha önce söylenmişti, gerçekte ise tablolardan mikro-organizmaya özel her bir antibiyotik için zon eşikleri verilir, onlardan yararlanarak antibiyotiğe duyarlı olup-olmadığına karar verilir.

Çizelge 3.12: ADT Test 5 sonişlenmenin ardından elde edilen zon çapları ve duyarlılık sonuçları

| Tür | Zon çapı | Duyarlılık |
|-----|----------|------------|
| A   | 68       | Duy        |
| B   | 48       | Dir        |
| C   | -        | Dir        |
| D   | -        | Dir        |
| E   | 116      | Duy        |
| F   | -        | Dir        |
| G   | 108      | Duy        |
| H   | 80       | Duy        |

Çizelge 3.12’de Çizelge 3.13’deki etiketlerin koordinatları verilmiştir. Tabloda verilen kısaltmalar duyarlılığa ve dirençliye ilişkindir.

Çizelge 3.13: ADT Test 5 sonişlenme sonucunda elde edilen etiketlerin koordinatları

| Tür | X       | Y      |
|-----|---------|--------|
| A   | 4126.87 | 230.33 |
| B   | 371.17  | 136.55 |
| C   | 270.71  | 100.22 |
| D   | 175.04  | 145.19 |
| E   | 140.47  | 244.43 |
| F   | 186.58  | 340.71 |
| G   | 286.91  | 375.51 |
| H   | 375.05  | 324.48 |

Algoritmanın çalıştırılmasının aldığı toplam işlem süreleri Tablo 3.14’de verilmiştir. Ortalama geçen süre  $9.3752 \pm 1.7844$  sn’dir ve söz konusu algoritmanın Matlab ortamında gerçekleştiği hatırlanınca oldukça hızlıdır ve daha da hızlandırılabilir.

Çizelge 3.14: ADT işlemlerinin aldığı toplam süreler

| Görüntü | Geçen süre (sn) |
|---------|-----------------|
| Test 1  | 5.8910          |
| Test 2  | 6.1720          |
| Test 3  | 9.1100          |
| Test 4  | 11.000          |
| Test 5  | 10.8910         |
| Test 6  | 10.2660         |
| Test 7  | 10.4530         |
| Test 8  | 10.8440         |
| Test 9  | 9.1560          |
| Test 10 | 9.8910          |
| Test 11 | 9.4530          |

### 3.4.8 DND (Dondurma Nitelik Değerlendirici) Çözümlemesi

#### 3.4.8.1 Sorun Tanımı ve Geleneksel Yaklaşım

Dondurma, içerisindeki hava kabarcıklarının boyutları ve sayısı, bir taraftan ağızda erimesini ve alınan lezzetini, diğer taraftan gösterişliğini ve sonuçta birim başına gideri etkilemektedir[169, 170, 171, 172]. Amaç birim hacim başına gideri düşük lezzetli dondurma yapabilmektir. Bu ise dondurma içerisindeki hava kabarcıklarının sayısına ve büyüklüklerine bağlıdır.

DND (Dondurma Nitelik Değerlendirme) amacıyla, duyarlılık ve özyapı çözümlemesini de içine alan çok sayıda yöntem vardır fakat bunlar arasında enuygun ve yeterli olanı mikroskopik yöntemdir ve bu endüstriyel denetimlerde sıklıkla kullanılmaktadır[171]. Optik mikroskop yardımıyla dondurmanın ince bir kesitindeki hava kabarcıkları  $-25^{\circ}C$  sıcaklıkta gözlemlenir. Gözlenen hava kabarcıkları Goff'a göre [170]  $20 - 50 \mu m$ , Bolliger'e göre [173]  $40 - 70 \mu m$  ve Caillet'e göre [171]  $30 - 150 \mu m$  erimindedir. Mikroskopun verdiği ölçek bilgisi de kullanılarak, gözlemlenen alan (resim) içerisindeki çembersel biçimli hava kabarcıkları geleneksel olarak cetvel ya da kumpas yardımıyla ölçülür ve elle sayımı yapılır. Daha sonrasında elde edilen hava kabarcığı sayıtımından dondurmanın nesnel niteliği hakkında yorumlar yapılmakta ve öznel sonuçlarla karşılaştırılmaktadır.

#### 3.4.8.2 gradCHT Temelinde Önerilen Yöntem

Bilgisayar ortamına alınan dondurma görüntüleri üzerinde çember parametre çıkarımını uygulayıp. Algılanan çemberlerin sayıtımını üreterek, hava kabarcıkları hakkında bilgi sağlamak. Çember parametre çıkarımı için CHT (Circular Hough Transform) algoritmasından yararlanılmıştır.

**Önişleme** Öncelikle renkli olan görüntüler griye dönüştürülmüştür. Bazı görüntüler abartılı olarak yüksek çözünürlüklüdür ve bunların yeniden boyutlandırılıp makul ölçülere indirilmesi gerekmiştir. Bu aşama önemlidir, çünkü algoritmanın başarımı görüntü boyutlarına doğrudan bağlıdır. Burada kullanılan görüntülerin boyutları:

$[320 \times 234]$ 'dir. Görüntü içerisinde çemberimsi yapıların (hava kabarcıklarının) çok silik olması onları ortaya çıkartacak bir süzgeç uygulayımını gerektirmektedir. Yayın taramanın ardından *yüksek zıtlıklı büyük özyapılarda daha yüksek değişinti* (im düzeyi) üretebilen değişinti süzgecinin (variance filter) uygulamaya karar verilmiştir. İncelemeler  $3 \times 3$  boyutlu değişinti süzgecinin (VF, variance filter) olumlu sonuç verdiğini göstermiştir. VF kenarların keskinleştirilmesini sağlamasına ek olarak görüntüdeki gürültünün de güçlenmesine neden olmuştur. Bu ise görüntüdeki çemberlerin gradCHT-gradyan hesabında yanlışlı sonuçların alınmasına neden olmaktadır. Bunun çözümü ise kenarları yumuşatmaktır. Özellikle JPEG sıkıştırmasının sonucunda ortaya çıkan yapaylıkları gidermede kullanılan yumuşatıcı süzgeç görüntü üzerinden iki kez geçirilerek algoritmanın başarımı arttırılmıştır. Kullanılan  $5 \times 5$  JPEG-yumuşatıcı süzgeç maskesi,

$$filtre\_maskesi = \frac{1}{52} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 2 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 4 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 8 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 4 & 2 & 1 \\ 1 & 1 & 2 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.3)$$

biçimdedir.

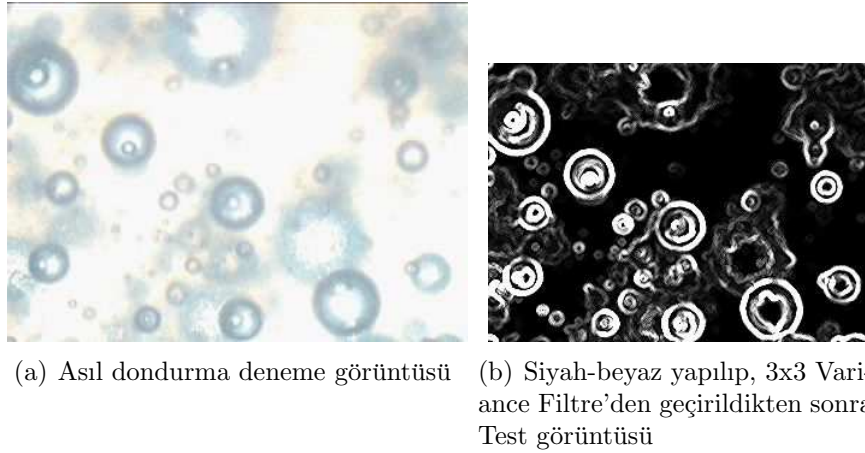
**Algoritma Parametreleri** VF ile kenarları belirginleştirilmiş ve JPEG tarzı-yumuşatıcıyla gürültüsü azaltılmış görüntü gradCHT algoritmasına girdi olarak verilmiştir. Görüntülerin önincelemesi ve denemeler görüntünün bir kaç aşamalı olarak HT uygulanmasının daha iyi sonuç vereceğini göstermiştir. Görüntü içerisindeki çemberlerin dağılımı [%1, %8] bölgesinde yoğunlaşmaktadır. Yarıçap erimi, [%1, %3], [%3, %6] ve [%6, %8] olmak üzere yaklaşık olarak eşit üç bölgeye bölünmüştür. Her bir bölgedeki parametre değerleri ise ilki için *gradyan\_eşiği* (*grdThres*) = 10, *toplama\_dizisi\_süzgeç\_boyutu* (*fltr4LM*) = 8, *içiçe\_yarıçapa\_izin\_verme\_derecesi* (multirad) = 0.5, ikincisi için *grdThres*=10, *fltr4LM*=8, multirad=0.95 ve sonuncusu için de *grdThres*=10, *fltr4LM*=25, multirad=0.95 seçilmiştir.



**Sonışleme** CHT algoritmasınca üretilen çember parametrelerinin uzman tarafından yorumlanabilir kılınması için kritik sonışleme adımlarına gereksinim duyulmuştur. Bu amaçla görüntü içerisindeki çemberler yarıçaplarına göre histogram üretilmiştir.

### 3.4.8.3 Sonuçlar

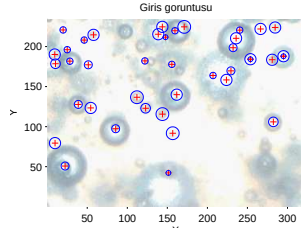
Eldeki görüntü ardışıklığından ışıklandırma koşulları eniyi durumda olan Şekil 3.36.a'daki görüntü seçildi. Bu görüntü önışlendikten sonra Şekil 3.36.b elde edildi. Bu görüntü CHT algoritmasına girdi olarak sunuldu.



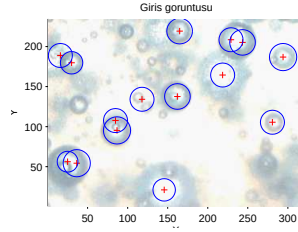
Şekil 3.36: Dondurma deneme görüntüsü

gradCHT algoritması önışlenmiş görüntü üzerinde koşturulduğunda her bir yarıçap bölgesinde elde edilen gradyan görüntüsü Şekil 3.37.a-c'de, gradyan görüntüleri Şekil 3.37.d-f'de, toplama uzayları Şekil 3.37.g-i'de ve algılanan çemberlerin hitogramları Şekil 3.37.j-l'de verilmiştir.

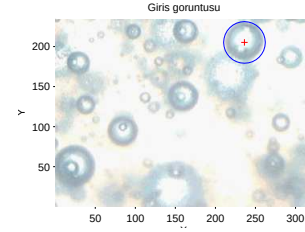
Çizelge 3.15'de D25 test görüntüsü için bulunan hava kabarcıkları listelenmiştir. Hava kabarcıklarının yarıçaplarına göre yapılan bu listelemede aralık ya da tüm erimin kaç dilime bölüneceği değıştirilebilir.



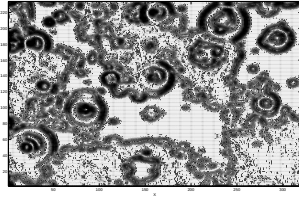
(a) Küçük ölçekte bulunan çemberler



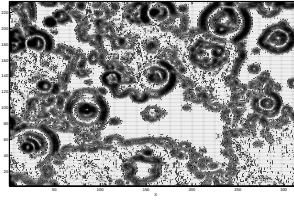
(b) Orta ölçekte bulunan çemberler



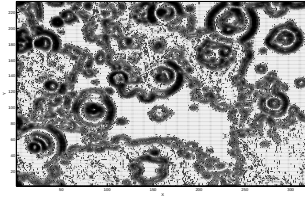
(c) Büyük ölçekte bulunan çemberler



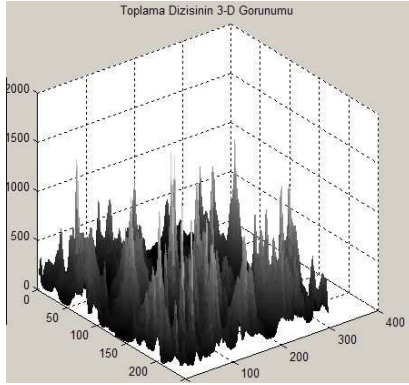
(d) Küçük ölçekteki grad-  
yan görüntüsü



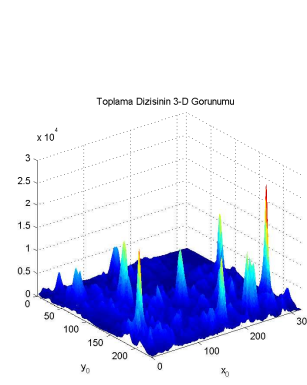
(e) Orta ölçekteki grad-  
yan görüntüsü



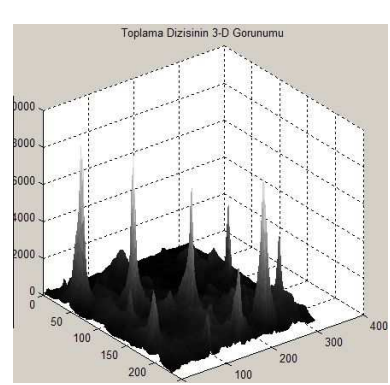
(f) Büyük ölçekteki grad-  
yan görüntüsü



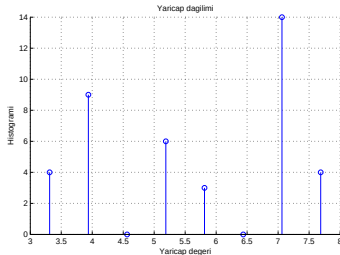
(g) Küçük ölçekteki Hough uzayı



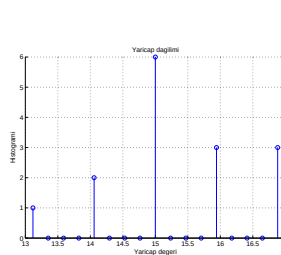
(h) Orta ölçekteki Hough  
uzayı



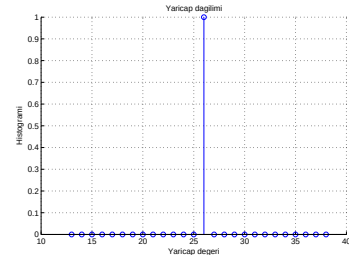
(i) Büyük ölçekteki Hough uzayı



(j) Küçük ölçekteki bulunan çemberlerin yarıçap histog-  
ramı



(k) Orta ölçekteki bulu-  
nan çemberlerin yarıçap histog-  
ramı



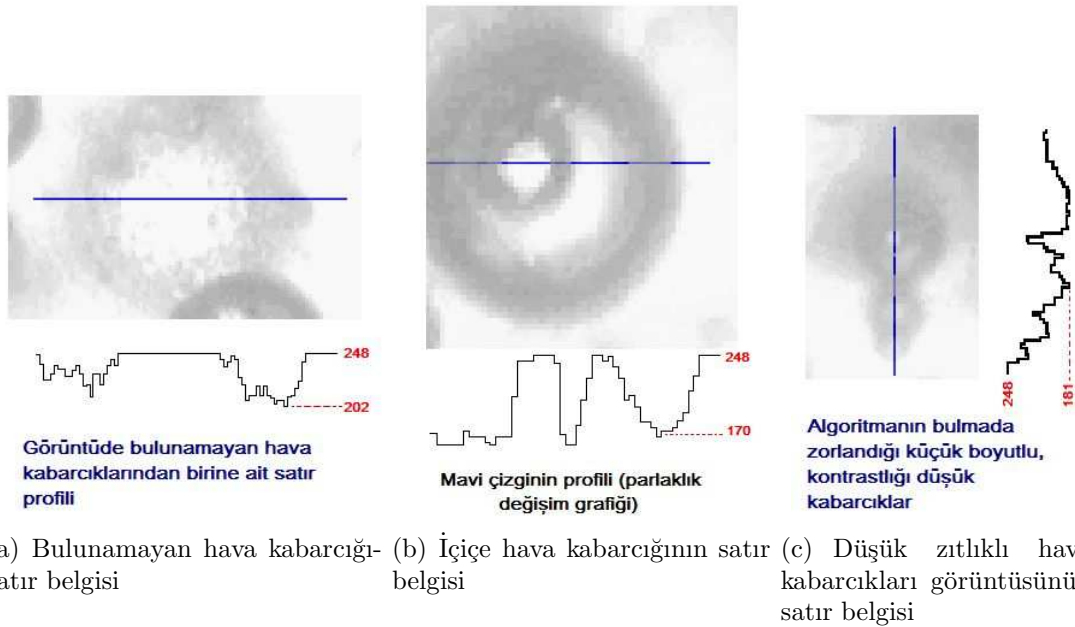
(l) Büyük ölçekteki bulunan çemberlerin yarıçap histog-  
ramı

Şekil 3.37: d25.jpg deneme görüntüsü için alınan sonuçlar

Çizelge 3.15: DND uygulaması, kullanıcıya sunulan hava kabarcıklar sayısı

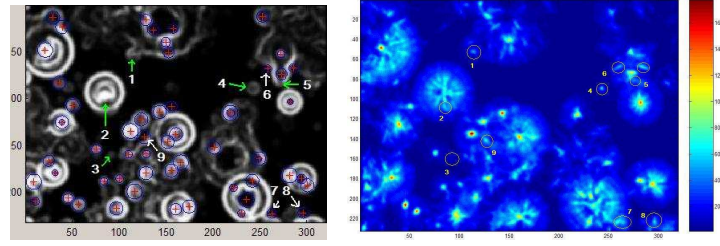
| No | Yarıçap<br>Alt sınırı | Yarıçap<br>Üst sınırı | Adet      |
|----|-----------------------|-----------------------|-----------|
| 1  | 03.00                 | 05.29                 | 19        |
| 2  | 05.30                 | 07.59                 | 17        |
| 3  | 07.60                 | 09.89                 | 04        |
| 4  | 09.90                 | 12.19                 | 00        |
| 5  | 12.20                 | 14.49                 | 03        |
| 6  | 14.50                 | 16.79                 | 09        |
| 7  | 16.80                 | 19.09                 | 03        |
| 8  | 19.10                 | 21.39                 | 00        |
| 9  | 21.40                 | 23.69                 | 00        |
| 10 | 23.70                 | 25.99                 | 01        |
|    | <b>03.00</b>          | <b>25.99</b>          | <b>56</b> |

Algoritma bulanık-puslu yapıdaki hava kabarcıklarının birçoğunu belirlemiş olmasına karşın bir kısmını bulamamış bir diğer kısmını ise yanlışlı olarak bulmuştur. Çeşitli yanlış kaynaklarına ve algoritmanın yanlışlı algılaması ya da hiç algılamamasının olası nedenleri Şekil 3.38.a-c'da verilen parlaklık belgisi çizimlerinde gösterilmiştir.



Şekil 3.38: Yanlışlı ya da bulunamayan çemberlere ilişkin özellikler

Şekil 3.39.a'da yeşil oklarla gösterilen çemberler (1-5 nolu) algılanamamışlardır ve beyaz oklarla gösterilen (6-9) yanlışlı algılanmış çemberlerdir.



(a) Algılanamayan ve yanlış algılanan çemberler (b) Hough uzayı 2D görünüm

Şekil 3.39: Küçük hava kabarcıklarının algılanmasında yanlış algılananlar ve bulunamayanlar

Yorumlamada kolaylık sağlaması açısından Hough uzayının iki boyutlu gösterimi de verilmiştir (Şekil 3.39.b). 1 ile işaretlenen çember, fazla şekil bozulmasına uğramıştır ve sanki  $45^0$  açılı elipse benzemektedir, görüntüde oldukça siliktir ve böylelikle Hough uzayında oldukça düşük genlikle alınmıştır. 2 nolu çember, başka bir çemberin içerisinde yer almasından ötürü zaten cılızken önışleme tamamen yok etmiştir ve Hough uzayındaki genliği düzeyinde çok sayıda nokta vardır. 3 nolu çemberde, 1 nolu çember için söylenenden daha kötü bir durum söz konusudur. 4 nolu çemberde, 1 nolu çember için söylenene oranla daha iyi bir durum söz konusu olmasına karşın Hough uzayındaki genliği yetersizdir. 5 nolu çemberde, oldukça küçük ve hemen hemen komşudaki daha büyük çemberle kaynaşmış durumda, üstelik önışleme daha da kaynaşmalarına neden olmuş ve böylelikle Hough uzayında bir varlık gösterememektedir. 6-9 nolu çemberlerde, zeminde oluşan yolcukların kıvrımları yay biçiminde, bu yüzden Hough uzayında dönmüş elips biçimli bir yayılma söz konusu fakat görüntüdeki parlaklıkları yüksek olduğundan çember olarak algılanmaktadır.

## 4. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmayla sağlanan katkılar özet olarak listelendikten sonra, her bir aşamayla ilgili ayrıntılı sonuçlar ve daha sonra bu alanda çalışacak araştırmalara öneriler ve rilerek bölüm sonlandırılacaktır.

- Güneş oluşumlarının (granülasyon ve leke) hiçbir kullanıcı müdahalesi gerek tirmeksizin öz niteliğini çıkarabilen algoritmalar (ÖGYÇ ve ÖLÇÇ) geliştiril miştir. Görüntüdeki granülleri dolayısıyla da granül yolcuklarını çıkartmak için geleneksel olarak Voronoi Mozaik dilimleri kullanılmıştır [1, 174]. Bu yöntemde öncelikle görüntüden parlak noktalar seçilir, daha sonra kenarları her iki tara findaki noktaların tam merkezinde yerleşecek biçimde seçilen noktalarda mer kezi olan çok kenarlı mozaiklerin ölçütleri belirlenir. Geliştirilen algoritmayla karşılaştırıldığında elde edilen granül yolcukları daha geometrikseldir ve parlak noktaların doğru seçilmesi çok önemlidir. Güneş yüzeyi görüntülerinde parlak noktalar granül merkezidir. Ortam gürültüsü de hesaba katıldığında bu nokta ların belirlenmesi zorlaşır dolayısıyla da algoritmanın başarımı düşer. ÖGYÇ algoritması ise hem daha gerçekçi yolcuk çıktısı üretir hem de gürültüden daha az etkilenir. ÖGYÇ'nin en önemli eksikliği yolcukların kırılmış olarak alın masıdır. Bu ise, piksel tabanlı bağlama işleçleri kullanılarak çözülebilecek bir sorundur.
- AOB ve ASD bağımsız iki sürecin toplamı olarak önerilen atmosfer modeli, yapılan çalışmalar ve alınan sonuçlarla doğrulanmıştır. Yalnızca oluşum gö rüntüleri kullanılarak atmosferin optik bozulmasını çıkartabilen AOBÇ ve saydamlık dağılımını çıkartabilen ASD-Çıkarıcı algoritmaları geliştirilmiştir.

Yayınlarda çok daha karmaşık atmosfer modellerine rastlamak olanaklıdır. Bunlar arasında Tatarski tarafından geliştirilen Kolmogorov türbülans modeli [30], dalga önyüzeyinin elde edilip Zernike polinomlarına ayrıştırmayı sayabiliriz. Bu çalışmada geliştirilen yöntemler, görüntü girdisi dışında herhangi bir veri kullanmamaktadır. Atmosferin en etkili iki bozucu etkisi bağımsız süreçler olarak modellenmiştir. Bunlar optik etki ve saydamlık etkisidir. Diğer modeller görüntünün çekilmesi öncesinde veri (örneğin dalga öncü bilgisi) gerektirirler. Optik bozulmayı temel bozulma türlerine ayrıştırırlar. AOBPÇ ile kazanılan tecrübeyle devam niteliğinde yapılacak çalışmayla yalnızca görüntüler serisinden dalga öncü bozulması verisinin çıkartılabileceği, böylelikle atmosferin çekim anındaki bozulmasının temel bozulma türlerine ayrıştırılabileceği öngörülmektedir.

- Türbülansın davranışı astigmatik ağırlıklıdır. Böylelikle görüntünün çekildiği optik düzeneğin neden olduğu astigmatik bozulmanın belirlenmesi için geliştirilmiş yöntemler, AOBPÇ ile karşılaştırılabilir yapıdadır. Baba vd. makalelerinde [78] ardışık hızla çekilmiş iki farklı odaklı görüntüden optik düzeneğin astigmatik bozuculuğunu özişler olarak değerlendirmek için bir algoritma geliştirmişlerdir. Bu yöntemle karşılaştırıldığında AOBPÇ algoritması, fokus önbilgisi gerektirmemektedir ve tek görüntü kullanmaktadır. Tek görüntü üzerinden astigmatik bozuculuğu belirlemeye çalışan Suganuma [79] gibi araştırmacıların geliştirdiği yöntemler oldukça karmaşık hesaplamalar gerektirmekte ve sonuçların elde edilmesi uzun zaman almaktadır. Özellikle gerçek zamanlı etkileşim gerektiren uygulamalar için kullanışsız olmaktadır. AOBPÇ algoritması basit bir ilke üzerine kurgulanmıştır ve hesaplama süresi gerçek zamanlı etkileşim için uygundur. AOBPÇ algoritmasının, homojen dağılımlı öznitelik içeren görüntülerin çekilmesi sırasında atmosfer benzeri araya giren optik dizgenin (teleskop, mikroskop, göz vs) astigmatik parametrelerinin belirlenmesi için kullanışlı olacağı düşünülmektedir.
- Tatarski'nin makalesi [30] başta olmak üzere atmosferin modellenmesini konu edinen yayınlarda atmosferin saydamlık etkisi göz ardı edilmiştir. Böylelikle

bu alanda yapılmış çalışmalar bulunmamaktadır. Atmosferin saydamlık etkisini gidermek için düşünülebilecek zıtlık ve histogram işlemleri ile karşılaştırıldığında ASD-Giderici algoritmasının başarılı olduğu söylenebilir.

- AOBPÇ'nın temelini oluşturan granül yolcuklarının homojen dağılımlı olduğu tezi doğrulanmıştır.
- Türbülansın zamansal ölçeği çok küçük olmasından ötürü, istatistiklerin belirttiği zaman diliminde sürekli ardışık gözlemlerin alınması gerekmektedir. AOBPÇ temelinde geliştirilen AOBtEUCAB algoritması yardımıyla, gözleminde türbülansın en temiz olduğu zaman diliminde sürekli çekimlerin alınmasının önüne geçilebilecek, atmosferin sürekli olarak izlenmesi ve en temiz anlarda özişler olarak çekimlerin alınması olanaklı olabilecektir.
- Uzmanlar ardışık hızla alınmış 2-3 görüntüden görsel olarak olarak değerlendirerek eniyiyi (en temizi) belirlemektedirler (başvuru kare seçme sorunu). AOBPÇ temelinde nesnel yolla BKS'ni belirlemek için AOBtBKS algoritması geliştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, öznel olan sonuçlarla paralellik göstermiştir.
- Böylelikle AOBtEUCAB algoritması yardımıyla çekim anları belirlenmekte, çekimlerden en temiz olanları AOBtBKS algoritması yardımıyla belirlenmektedir. Atmosferin saydamlık dağılım etkisi ASD-Giderici yardımıyla giderilmektedir. Uzmanlarca gereksinim duyulan bilgi, özişler öznitelik çıkarıcı algoritmaları (ÖGYÇ ve ÖLÇÇ) yardımıyla sağlanmaktadır.
- Paralel olarak ilerleyen teknolojik granülasyon çözümleme ayağında, uzmanlarca kumpas ya da cetvelle ölçümü yapılarak öznel yolla sayıtların elde edildiği, çember biçimli oluşumları içeren ADT ve DND uygulamaları için gradCHT temelli nesnel-özişler en az kullanıcı müdahalesi gerektiren programlar geliştirilmiştir.

## 4.1 Granülasyon ve Leke Öznitelik Çıkarımı

### 4.1.1 Önışleme

Öncam üzerinde yer alan lekeler, uygun boş çekimlerin alınmamış olmasından ötürü, giderilememiştir. Uygun boş çekimlerin alınmasıyla, incelenmesiyle basit çıkarım temelinde öncam leke giderici algoritmasının geliştirilebileceği düşünülmektedir. Bu alanda çalışacak araştırmacıların öncelikle ESO (Avrupa Güney Gözlemevi)'nin MIDAS projesinde öncam lekesine benzer saçak örüntüsünü giderme yaklaşımını incelemeleri yararlı olacaktır.

### 4.1.2 ÖGYÇ

Konumsal düzlemde çalışmayla hiçbir şekilde tam olarak elde edilemeyen granül yolcuk dilimi uygun parametrelili BGS ve ÇİGZ ikilisiyle dar bir alana sıkıştırılabilmiş ve ÖGYÇ'nin geriye kalan aşamalarıyla çıkarılabilmiştir. ÖGYÇ algoritması, Şekil 3.7'de gösterildiği üzere ham halde karşılaştırılamayacak derece de farklı görünen yerüstünden çekilen buğulu görüntüler ve uzaydan çekilen görüntüler için benzeş, karşılaştırılabilir yolcuklar üretebilmiştir. Algoritmanın bu özelliği granüllerin konumsal- ve zamansal-karakterinin çıkarılması gibi daha ileri düzey çalışmaların önünü açabileceğini göstermektedir. Şekil 2.12.a'da BGS'nin ardından ÇİGZ'nin uygulanmasıyla elde edilen yolcuklar gösterilmektedir. ÖGYÇ algoritması içerisinde kabaca [45, 75] arasındaki dilim alınmış ve ikil görüntü üretme işlemine tabii tutulmuştur. Bölgesel çalışan uyarlanırlı bir model geliştirilebilir. Bu yöntemle yerel en büyük ve yerel en düşük düzeyden yararlanarak her bir granül ve yolcuğu için ayrı ve uygun eşikler belirlenebilir. ÖGYÇ algoritmasındaki BGS parametreleri ve dilim aralığı sezgisel olarak belirlenmektedir. Fakat görüntü ve sıklık düzleminin dikkatli incelenmesiyle bu parametrelerin değerlerinin belirlenmesinde özışlerlik kazandırılabilir düşünlmektir. Diğer taraftan incelemeler ve deneyler sırasında  $\theta$  açısı değerinin 0-90 derece arasında değeri aldığını göstermiştir fakat matematiksel olarak dikkatle yorumlanmasıyla açısı sınırlarıyla ilgili kuramsal sınırların belirlenmesi gerekecek.



### 4.1.3 ÖLÇÇ

Zıtlığı granül ve yolcuklarının daha belirgin olması için ayarlanmış, leke bölgesinde aşırı düşük zıtlığın olduğu görüntülerden ÖLÇÇ algoritması yardımıyla lekelerle ilişkin çevritler çıkarılabilmektedir. Leke maskesi üretilirken uygun boyutlu şekilbilimsel genişleme uygulayımı yapılmıştır. Leke ve granüller arasındaki farklılık temelinde leke maske çıkarımcı geliştirilebilir. İleri bir çalışmayla ÖLÇÇ algoritmasının çıktılarının dikkatle incelenmesiyle hem lekelerin zamansal davranışı hem de diğer oluşumlarla (örneğin granülasyon) etkileşiminin incelenmesiyle ilgili değerli bilgilere ulaşılabileceğine inanılmaktadır.

## 4.2 Atmosferik Etkinin Elde Edilmesi, Giderimi ve Modellenmesi

### 4.2.1 Genel

Yeryüzeyinden çekilen güneş yüzeyi oluşumlarına ilişkin görüntülerden atmosferin modellenmesinde kökleşik yöntemlerin (Zernike polinom ayrıştırma, Kolmogorov modeli gibi) kullanışsız olduğu görülmüştür. Granül yolcuklarının homojen dağılımlı oldukları tezi doğrulanmıştır. Atmosferin (türbülansın) granül yolcuk dağılımının homojenliğini bozduğu görülmüştür. Atmosferin, AOB ve ASD'nın toplamı olarak modellenebileceği düşüncesi, görüntülerin ASD-Giderici önışlemesinin kullanılması ve kullanılmaması durumunda AOBPÇ'nin verdiği sonuçlar üzerinden doğrulanmıştır. Ayrıntılı bilgi için Çizelge 3.1'e ve ilgili açıklamaların bulunduğu bölümlere bakılabilir.

### 4.2.2 AOBPÇ

AOBPÇ algoritması yardımıyla, ÖGYÇ algoritmasıyla önışlenen görüntülerin sıklık düzlemlerinden türbülansın neden olduğu granül yolcuk dağılımındaki homojensizlikle orantılı sayısal veriler üretilebilmiştir. ÖGYÇ ile görüntülerin önışlenmemesi

durumunda aOBPÇ çıkarımcı türbülansla ilgili herhangi bir bilgi sağlayamamaktadır. Aynı şekilde ASD-Giderici ile görüntülerin önışlenmesi ya da onarımı sonucu etkilememektedir. Algoritmada  $R_{ave}$ ’den  $B$ ’ye geçerken basit eşik uygulanmaktadır. İkıl görüntünün üretilmesinde kullanılan bu eşik değeri granül yolcuklarının yapısında incelenerek matematiksel bir temele oturtulabilir. Algoritmanın sonışleme katında granül yolcuk dağılımının homojen olup-olmadığını belirten eşik seçimi değışmez ve sezgisel yolla seçilmiştir. Özellikle, oluşturulacak uygun yapay görüntüler üzerinde algoritmanın çalıştırılmasıyla eşik değeri için matematiksel bir zemin oluşturulabilir. AOBPÇ gerçeklemesi sıklık düzlemi log-genlik üzerinden elips uydurma biçiminde gerçekleştirilmiştir. Fakat incelemeler evrenin de genlikte olduğu gibi granül yolcuk dağılımındaki homojenlik bozulmasıyla orantılı çıktılar ürettiğı görölmüştür. Algoritma evreden AOBP’si üretecek biçimde genişletilebilir ve evre ve genlik üzerinden üretilen sonuçlar karşılaştırılabilir.

#### 4.2.2.1 AOBtGNÜ

AOBPÇ’nin alt aşaması olarak türbülansın etkisiyle orantılı çıkış veren görüntü nitelik üretici ve onun üzerine kurulan algoritmalar başarılı olmuştur. Görüntü alt bölümünün boyutunun ve örtüşen olup-olmamasının GNİ çıktıları üzerindeki etkisi araştırılabilir. Ayrıca homojenlikteki bozulmayı ifade etmek için kurulan GNİ görüntüsüyle verilen modelin geliştirilmesi gerekecek.

#### 4.2.2.2 AOB-Düzeltici, AOBtEUCAB ve AOBtSKOPT

AOBPÇ’nin çıktılarını kullanan AOB düzeltici düşüncesi başarısızlıkla sonuçlanmıştır. Atmosferin optik bozulmaları görüntüde konumsal ve ölçeksel bozukluklara neden olması, başarısızlığın sebebi olarak görölmektedir. Görüntüleri kamera yardımıyla çekmeden önce onarmanın yolunu araştırmalıyız ya da atmosferin en temiz olduğu anları kollanmalıdır. Bu amaçla geliştirilen atmosferi sürekli takip ederek en uygun çekim anını belirleyip çekim emri veren AOBtEUCAB algoritmasının ve sonraki çekim için türbülansı öncekilerden öngören AOBtSKOPT algoritmasının olumlu sonuçlar üreteceğı düşünülmektedir.

### 4.2.3 ASD-Giderici ve ASD-Çıkarımcı

#### 4.2.3.1 Genel

Çember ve dilim deneme görüntüsü üzerinde şiddetli gürültü altında yapılan incelemeler OF'nin gözardı edilebilir yapaylığının olduğunu göstermiştir. Ancak OF'nin süzgeç boyutu büyüdükçe yanılgılar karesel olarak artmaktadır.

#### 4.2.3.2 ASD-Giderici

Artan OF temelinde oluşturulan ASD algoritması yardımıyla atmosferin neden olduğu buğu katmanı çıkartılabilmiş, granül ve granül yolcukları parlaklık çevritleri belirginleştirilebilmiştir. ASD-Gidericinin temelini oluşturan OF'nin matematiksel alt yapısı eksiktir. Bu yüzden OF'nin neden olabileceği kayma yanılgıları ve yapaylıklar da henüz matematiksel olarak modellenebilmiş değildir. Bir çok yayında OF'nin yapaylık üretmediği kabul edilmekteyken, Davies gibi bazı yazarların yayınlarında yanılgıların oluşabileceği söylenmektedir. Bu alanda yanılgıları belirleyebilmek için uygun deneme görüntüleri üzerinde ve farklı gürültü derecelerinde ortaya çıkan yanılgıların dikkatli incelenmesi temelinde bir çalışma yapılabilir. Veriler temelinde bir modelin oluşturulabilmesi durumunda bu yanılgıları gidermek için yöntemler geliştirilebilir. ASD-Giderici algoritması artan OF uygulayımı temelindedir. Diğer OF türleri (uyarlanır OF, ağırlıklandırmalı OF gibi) ve farklı komşuluk örüntüleri (karesel, sekizgensel, seyrek gibi) için ASD giderme işlemi tekrarlanabilir ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılabilir.

#### 4.2.3.3 ASD-Çıkarımcı

Atmosferi AOB ve ASD'nin toplamı olarak ifade edebilme, ASD-Çıkarımcı algoritmasını da toplamsal temelli gerçekleşmesini güdülemiştir. Hem atmosferin hem de ASD-Gidericide kullanılan OF'nin matematiksel alt yapısının eksik olmasından ötürü, ASD-Çıkarımcının, *çıkarımcı* kısmına ilişkin matematiksel bir model bulunmamaktadır. Seri içerisindeki ham görüntüler ve saydamlık dağılımı giderilmiş durumlarına, farklı modellerin (örneğin toplamsal, çarpımsal) uygunluğunun sınanması

gerekecektir. Belki de ASD için geliştirilecek model parametrik bir yapıda olacaktır. Bu konuda titiz ve uzun soluklu bir çalışma gerekmektedir.

## 4.3 Teknolojik Granülasyon Oluşumları Öznitelik Çıkarımı

### 4.3.1 Genel

gradCHT temelindeki algoritmayla içiçe geçme ve üst üste binmeyle ortaya çıkan eksik bilgiye karşın, farklı konumlarda, boyutta ve parlaklıkta çembersel granül oluşumları gürültüye karşın algılanabilmiştir. Algoritmanın gürültüye duyarlı gradyan temelinde olmasından ötürü önışlemenin en önemli aşalarından olduğu görölmüştür. Gradyan hesabında Sobel işleci yerine Ando'nun [157] önerdiği optimum işlecinin kullanımı işlem süresini bir miktar uzatmış olmasına karşın, daha doğru sonuçlar üretmiştir. Merkez oylamasında tek bir gradyan değeriinden olası merkez değeriilerine oylama yapılmaktadır, devam niteliğinde yapılacak çalışmayla Goulermas'ın makalesinde [155] önerdiği iki ya da daha fazla gradyandan tek bir noktaya oylama ve sayısallaştırma yanılıklarını dikkate alarak oylamanın güncellenmesi sağlanabilir. Ioannou'nun [134] önermiş olduğu yarıçap algılama kolaylaştırıcı süzgeçsi olumlu sonuç üretememiştir. Yarıçap oylama tamsayı değerieli oy kovalarından (hücrelerinden) oluşturulduğundan  $\pm 1$  birimlik bir yanılığ payıyla yarıçap değerieleri üretilebilmiştir.

### 4.3.2 ADT

gradCHT algoritması temelinde uygun önışleme ve sonışlemelerle ADT'deki her bir antibiyotiğe ilişkin disk ve zon çapları ölçölüp etiketlenebilmiştir. ADT'nin şu anki gerçektelemesi basit etiket vermeyi kapsamaktadır. İleri de karakter tanıma algoritmaları da kullanılarak doğrudan disk üzerindeki etiketlerin kullanılması sağlanabilir. Kirby-Bauer zon yarıçap yorumlama çizeneklerinin, bilgisayar ortamına aktarılması ve yazılıma eklenmesiyle ADT işlemleri, yazılımı kullanan uzmanın sadece mikroorganizma bilgisini seçmesine kadar indirgenebilir. Algoritmanın çalıştırılma-

sının aldığı toplam işlem süreleri Çizelge 3.14’de verilmiştir. Ortalama geçen süre  $9.3752 \pm 1.7844$  sn’dir ve söz konusu algoritmanın Matlab ortamında gerçekleştiği hatırlanınca oldukça hızlıdır ve daha da hızlandırılabilir. Burada prototip hazırlanmıştır, otomatize etiketleme ve tabloların da eklenmesiyle uygun yazılım ortamında algoritmanın gerçekleşmesiyle ADT’ni kullanıcıdan sadece mikoorganizma türü bilgisini okumaya kadar indiren bir donanıma dönüştürmek olanaklı olabilecektir.

### 4.3.3 DND

gradCHT algoritması temelinde uygun ön işleme ve son işlemlerle DND’de gereksinim duyulan hava kabarcıkları histogramı üretilebilmiştir. Özellikle mikroskop görüntülerinin çekimindeki aydınlatmanın tekdüze olmamasından kaynaklı sorunların üstesinden gelinmesiyle yöntemin başarısı artacaktır.

# KAYNAKLAR

- [1] C. J. Schrijver and C. Zwaan. *Solar and Stellar Magnetic Activity*. Number 34 in Cambridge Astrophysics. Cambridge University Press, 2004.
- [2] Arnold Hanslmeier. *The Sun and Space Weather*. Kluwer Academic Publishers, 2004.
- [3] S McKenna Lawlor. The sun and solar flares. *Physics Education*, 17(4):165–173, 1982.
- [4] A. Bhatnagar, Kiran Jain, and S.C. Tripathy. Variation of solar irradiance and mode frequencies during maunder minimum. *Astrophysics and Space Science*, 281(4):761–764, December 2002.
- [5] R Moore and D Rabin. Sunspots. *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 23(1):239–266, 1985.
- [6] M. A. Clilverd, E. Clarke, H. Rishbeth, T. D. G. Clark, and T. Ulich. Solar cycle: Solar activity levels in 2100. *Astronomy and Geophysics*, 44:20–5, October 2003.
- [7] K. L. Harvey. Granulation Bibliography. In R. J. Rutten and G. Severino, editors, *NATO ASIC Proc. 263: Solar and Stellar Granulation*, pages 623–+, 1989.
- [8] T. Roudier and R. Muller. Structure of the solar granulation. *Solar Physics*, 107:11–26, January 1987.

- [9] J.A. Bonet, I. Márquez, R. Muller, M. Sobotka, and T. Roudier. Phase diversity restoration of sunspot images. II. Dynamics around a decaying sunspot. *the Association of American Publishers*, 430:1089–1097, February 2005.
- [10] A. M. Title, T. D. Tarbell, K. P. Topka, S. H. Ferguson, R. A. Shine, and SOUP Team. Statistical properties of solar granulation derived from the SOUP instrument on Spacelab 2. *Astrophysical Journal*, 336:475–494, January 1989.
- [11] C. J. Macris. *Ann. d’Astrophys.*, 16(29), 1953.
- [12] J. P. Mehlretter. Balloon-borne imagery of the solar granulation. II - The lifetime of solar granulation. *Astronomy and Astrophysics*, 62:311–316, January 1978.
- [13] H. Zirin and H. Wang. Video image selection studies of granules, pores, and penumbral flows near a large sunspot. *Solar Physics (ISSN 0038-0938)*, 119:245–255, 1989.
- [14] J. Hirzberger, J. A. Bonet, M. Vázquez, and A. Hanslmeier. Time Series of Solar Granulation Images. II. Evolution of Individual Granules. *Astrophysical Journal*, 515:441–454, April 1999.
- [15] J. Hirzberger, M. Vazquez, J. A. Bonet, A. Hanslmeier, and M. Sobotka. Time Series of Solar Granulation Images. I. Differences between Small and Large Granules in Quiet Regions. *Astrophysical Journal*, 480:406–+, May 1997.
- [16] M. P. Rast. The scales of granulation, mesogranulation, and supergranulation. *Astrophysical Journal*, 597:1200–1210, November 2003.
- [17] Thomas T. Arny. *Explorations: an Introduction to Astronomy*. Mosby-Year Book Inc., 1994.
- [18] Mehmet B. Kerimbekov. *Izvestija Akademii Nauk Azerb. SSSR (ser. fiz.-tech.-mat. nauk)*, 1, 1969.
- [19] Annual report 2000/2001. Technical report, Joint Organization for Solar Observations, 2001.

- [20] A. Bhatnagar and W. Livingston. *Fundamentals of solar astronomy*. William Livingston, 2005.
- [21] Chaisson Eric and McMillan Steve. *Astronomy Today, Fourth Edition*. Prentice Hall.
- [22] Gabriel Okolski. A brief history of the hubble space telescope: Why a space telescope? *NASA*, 2006.
- [23] Wikipedia. Astronomical seeing — wikipedia, the free encyclopedia, 2006. [Online; accessed 19-September-2006].
- [24] D. L. Fried. Statistics of a Geometric Representation of Wavefront Distortion. *Journal of the Optical Society of America (1917-1983)*, 55:1427–1435, 1965.
- [25] Andrei A. Tokovinin. Adaptive optics tutorial at ctio. Lecture note, Cerro Tololo Inter-American Observatory, 2001.
- [26] A. Nussbaum and R. A. Phillips. *Contemporary Optics for Scientists and Engineers*. Contemporary Optics for Scientists and Engineers by Allen Nussbaum, Richard A. Phillips New Jersey: Prentice Hall, INC, 1976, 1976.
- [27] Robert Nigel Tubbs. Lucky exposures: Diffraction limited astronomical imaging through the atmosphere (doktora tezi), 2003.
- [28] Claire E. Max. Astronomy 289c – adaptive optics. Lecture note, UCSC Dept of Astronomy and Astrophysics, 2004.
- [29] R. Avila, E. Carrasco, F. Ibanez, J. Vernin, J.-L. Prieur, and D.X. Cruz. Generalized scidar measurements at san pedro martir. ii. wind profile statistics. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, (118):503–515, 2006.
- [30] Tatarski V. I. *Wave Propagation in a Turbulent Medium*. McGraw-Hill Books, 1961. <http://home.comcast.net/~v.tatarskii/vit.htm>.
- [31] R. J. Noll. Zernike polynomials and atmospheric turbulence. *Journal of the Optical Society of America (1917-1983)*, 66:207–211, March 1976.



- [32] A. Labeyrie. Attainment of Diffraction Limited Resolution in Large Telescopes by Fourier Analysing Speckle Patterns in Star Images. *the Association of American Publishers*, 6:85–+, May 1970.
- [33] B. Jahne. *Digital Image Processing (5th revised and extended edition)*. Springer-Verlag, 2002.
- [34] J.C. Russ. *The Image Processing Handbook*. CRC Press, 2002.
- [35] Kenneth R. Castleman. *Digital Image Processing*. Prentice-Hall Inc., 1996.
- [36] G. Wolberg. *Digital Image Warping*. IEEE Press, July 1990.
- [37] R.C. Gonzalez, R.E. Woods, and S.L. Eddins. *Digital Image Processing Using MATLAB*. Prentice Hall, 2004.
- [38] R.C. Gonzalez and R.E. Woods. *Digital Image Processing, Second Edition*. Prentice Hall, 2002.
- [39] J.A. Stark and W.J. Fitzgerald. An alternative algorithm for adaptive histogram equalization. *Comput. Vis. Graph. Image Proc.*, 2(56):180–185, 1996.
- [40] *Elixir Projesi, Hawaii Universitesi*, 2001.
- [41] Çingiz A. Efendiyev and Yaşar N. Sevgen. *Televizyon (Siyah-Beyaz, Renkli Televizyon, Video İşaretlerinin Magnetik Yazılımı)*. Beta Basım Yayın Dağıtım A.Ş., 1998.
- [42] G. O. Reynolds and J. B. Develis. Hologram coherence effects. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, AP-15, January 1967.
- [43] Eso-midas users guide, 1998.
- [44] L. da Fontoura Costa and R.M. Cesar, Jr. *Shape Analysis and Classification: Theory and Practice*. CRC Press, 2001.
- [45] Avni Morgül. *Dijital Televizyon: Uydu ve Karasal Yayın Sistemleri*. Uydu Dünyası Eğitim Yayınları, 2002.

- [46] I. Frosio, G. Ferrigno, and N.A. Borghese. Enhancing digital cephalic radiography with mixture models and local gamma correction. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 25(1):113–121, January 2006.
- [47] C. Bishop. Neural networks for pattern recognition. In *UK 95*, page 1995. Oxford University Press, 1995.
- [48] G. McLachlan and D. Peel. *Finite Mixture Models*. John Wiley and Sons Inc., 2000.
- [49] J. Canny. A computational approach to edge detection. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 8(6):679–698, November 1986.
- [50] M. Heath, S. Sarkar, T. Sanocki, and K.W. Bowyer. Comparison of edge detectors. *Computer Vision and Image Understanding*, 69(1):38–54, January 1998.
- [51] J Kittler. On the accuracy of the sobel edge detector. *Image and Vision Computing*, 1:37–42, February 1983.
- [52] Andrew Lambert and Don Fraser. Image restoration and atmospheric turbulence. Research note, School of Information Technology and Electrical Engineering, 2002.
- [53] S. Rizzo and A. Rapisarda. Application of superstatistics to atmospheric turbulence. *ArXiv Condensed Matter e-prints*, February 2005.
- [54] Cyril Cavadore. Seeing and turbulence. Tech report, 2003.
- [55] Alan Harris, Jr. James J. Sluss, Hazem H. Refai, and Peter G. LoPresti. Free-space optical wavelength diversity scheme for fog mitigation in a ground-to-unmanned-aerial-vehicle communications link. *Optical Engineering*, 45(8):086001, 2006.
- [56] Monaco J.W. Smith M.J.T. Frakes, D.H. Suppression of atmospheric turbulence in video using an adaptive control grid interpolation approach. *Acoustics*,

- Speech, and Signal Processing, 2001. Proceedings. (ICASSP '01). 2001 IEEE International Conference on*, 3:1881–1884, 2001.
- [57] Jr.; Barreto A.B. Alonso, M. Pre-compensation for high-order aberrations of the human eye using on-screen image deconvolution. *Engineering in Medicine and Biology Society, 2003. Proceedings of the 25th Annual International Conference of the IEEE*, 1:556–559, 2003.
  - [58] T. A. ten Brummelaar. Modeling atmospheric wave aberrations and astronomical instrumentation using the polynomials of zernike. *Center for High Angular Resolution Astronomy, Georgia State University Optics Communication*, 132:329–342, 1996.
  - [59] Nancy Tripoli MA. The zernike polynomials. March 2006.
  - [60] J. Hoey and J.J. Little. Representation and recognition of complex human motion. pages I: 752–759, 2000.
  - [61] H.S. Kim and H.K. Lee. Invariant image watermark using zernike moments. *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Techn.*, 13(8):766–775, August 2003.
  - [62] L.Z. Wang and G. Healey. Using zernike moments for the illumination and geometry invariant classification of multispectral texture. *IEEE TRANSACTIONS ON IMAGE PROCESSING*, 7(2):196–203, February 1998.
  - [63] S. J. Radford and M. A. Holdaway. Atmospheric conditions at a site for submillimeter-wavelength astronomy. In T. G. Phillips, editor, *Proc. SPIE Vol. 3357, p. 486-494, Advanced Technology MMW, Radio, and Terahertz Telescopes, Thomas G. Phillips; Ed.*, pages 486–494, July 1998.
  - [64] Anthony H. Gonzalez. Atmospheric effects and other observational issues, techniques of observational, astronomy i, lecture notes. Technical report, 2006.
  - [65] R. W. Sjoberg and B. K. P. Horn. Atmospheric effects in satellite imaging of mountainous terrain. *Applied Optics*, 22:1702–1716, June 1983.

- [66] Joseph M. Kahn. Atmospheric turbulence in free-space optical communication. Research note, Department of Electrical Engineering, Stanford University, 2003.
- [67] Gonzalo R. Arce. *Nonlinear Signal Processing*. John Wiley & Sons, 2005.
- [68] Mark Nixon and Alberto Aguado. *Feature Extraction and Image Processing*. Newnes Press, 2002.
- [69] Tomita A. and Ishii R. Hand shape extraction from a sequence of digitized gray-scale images. *Industrial Electronics, Control and Instrumentation, 1994. IECON '94., 20th International Conference on*, 3:1925–1930, 1994.
- [70] Keenan E., Wright R.G., Zgol M., Mulligan R., Tagliava V., and Kirkland L.V. Ir circuit board and ic failure detection,.
- [71] Niidome T., Ishii K., and Ishii R. Recognition of a hand shape for application in a human interface. *Industrial Electronics Society, 1999. IECON '99 Proceedings. The 25th Annual Conference of the IEEE*, 2:565–570, 1999.
- [72] Venturini Y.R. and Cruvinel P.E. Analysis of the quality of digital images through a noise spectrum. *Cybernetic Vision, 1996. Proceedings., Second Workshop on*, pages 117–122, 1996.
- [73] R.G. Lane, A. Glindemann, and J.C. Dainty. Simulation of a Kolmogorov phase screen . *Waves in Random Media*, 2:209–224, July 1992.
- [74] Tarantola Albert. *Inverse Problem Theory and Methods for Model Parameter Estimation*. SIAM, Philadelphia, 2005.
- [75] Daniel J. Bernstein. Understanding brute force. Tech report, Department of Mathematics, Statistics, and Computer Science (M/C 249), The University of Illinois at Chicago, 2005.
- [76] C.U. Keller. Solar polarimetry close to the diffraction limit. In S. Fineschi, editor, *Polarimetry in Astronomy. Edited by Silvano Fineschi . Proceedings of the SPIE, Volume 4843, pp. 100-111 (2003).*, pages 100–111, February 2003.

- [77] M. G. Lofdahl and G. B. Scharmer. Wavefront sensing and image restoration from focused and defocused solar images. *Astronomy & Astrophysics Supplement Series*, 107:243–264, October 1994.
- [78] Norio Baba, Kazuhiro Terayama, Toshihiro Yoshimizu, Norihiko Ichise, and Nobuo Tanaka. An auto-tuning method for focusing and astigmatism correction in haadf-stem, based on the image contrast transfer function. *Japanese Society of Electron Microscopy*, 50(3), February 2001.
- [79] T. Suganuma. A novel method for automatic measurement and correction of astigmatism in the sem. *J. Phys. E: Sci. Instrum.*, 20:67–73, 1987.
- [80] Jennifer Lotz. Turbulence in the atmosphere. Tech note, National Optical Astronomy Observatory (NOAO), 1996.
- [81] E.P. Lyvers and O.R. Mitchell. Precision edge contrast and orientation estimation. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 10(6):927–937, November 1988.
- [82] E.R. Davies. The effect of noise on edge orientation computations. *Pattern Recogn. Lett.*, 6(5):315–322, 1987.
- [83] S.C. Pei and W.Y. Chen. Split vector-radix-2/8 2-d fast fourier transform. *Signal Processing Letters*, 11(5):459–462, 2004.
- [84] Duhamel P. and Vetterli M. Fast fourier transforms: A tutorial review and a state of the art. *Signal Process.*, 19(4):259–299, 1990.
- [85] E.O. Brigham. *The Fast Fourier Transform*. Prentice Hall, 1974.
- [86] N. Otsu. A threshold selection method from grey-level histograms. *IEEE Trans. Systems*, 9(1):62–66, January 1979.
- [87] A. W. Fitzgibbon, M. Pilu, and R. B. Fisher. Direct least-squares fitting of ellipses. *IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 21(5):476–480, May 1999.

- [88] A.J. Larocca. Methods of calculating atmospheric transmittance and radiance in the infrared. *IEEE Proceedings*, 63:75–94, January 1975.
- [89] J.L. Starck and F. Murtagh. Astronomical image and signal processing: Looking at noise, information, and scale. *IEEE Signal Processing Magazine*, 18:30–40, March 2001.
- [90] Jing-Xiu Wang, Gui-Ping Zhou, Ya-Yuan Wen, Yu-Zong Zhang, Hua-Ning Wang, Yuan-Yong Deng, Jun Zhang, and Louise K. Harra. Transequatorial filament eruption and its link to a coronal mass ejection. *Chinese Journal of Astronomy and Astrophysics*, 6(2):247–259, 2006.
- [91] M. K. Georgoulis, B. J. LaBonte, and T. R. Metcalf. On the resolution of the azimuthal ambiguity in vector magnetograms of solar active regions. *Astrophys. J.*, 602:446–467, February 2004.
- [92] David Hathaway. Solar dynamics observatory. Technical report, September 2002.
- [93] A.N. Evans and M.S. Nixon. Mode filtering to reduce ultrasound speckle for feature extraction. *IEEE Proc.-Vis. Image Signal Process.*, 142(2), April 1995.
- [94] R.W. Sjoberg and B.K.P. Horn. Atmospheric effects in satellite imaging of mountainous terrain. *Applied Optics*, 22:1702–1716, June 1983.
- [95] Thomas A. Nodes and Neal C. Gallagher. Median filters: Some modifications and their properties. *IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, ASSP-30(5):739–746, October 1982.
- [96] Thomas A. Nodes and Neal C. Gallagher. Some modifications to the median filter and their properties. in *Proc. 18th Annu. Allerton Conf. Commun. Contr. Comput.*, October 1980.
- [97] E. Ataman, V. K. Aatre, and K. M. Wong. A fast method for real-time median filtering. *IEEE Trans. Acoust. Speech Signal Process.*, ASSP-28(4):415, 1980.

- [98] V.K. Aatre, E. Ataman, and K.M. Wong. Median filtering. *in Proc. 17th Annu. Allerton Conf. Commun., Contr., Comput.*, pages 886–895, October 1979.
- [99] T.S. Huang, G.J. Yang, and G.Y. Tang. A fast two-dimensional median filtering algorithm. *IEEE Trans. Acoust. Speech Signal Process.*, 27:13–18, February 1979.
- [100] R. Steele and D.J. Goodman. Detection and selective smoothing of transmission errors in linear pcm. *Bell Syst. Tech. J.*, 56:399–409, March 1977.
- [101] N. S. Jayant. Average and median based smoothing techniques for improving digital speech quality in the presence of transmission errors. *IEEE Trans. Commun.*, COM-24:1043–1045, September 1976.
- [102] L.R. Rabiner, M.R. Sambur, and C.E. Schmidt. Applications of a nonlinear smoothing algorithm to speech processing. *IEEE Trans. Acoustics, Speech, Signal Processing*, ASSP-23:552–557, December 1975.
- [103] T. S. Huang. *Two-Dimensional Digital Signal Processing II*. Springer, 1981.
- [104] Chung-Bin Wu, Bin-Da Liu, and Jar-Ferr Yang. Adaptive postprocessors with dct-based block classifications. *IEEE Transactions, Circuits and Systems for Video Technology*, 13(5):365–375, May 2003.
- [105] G.A. Triantafyllidis, D. Tzovaras, and M.G. Strintzis. Blocking artifact detection and reduction in compressed data. *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology*, 12(10):877–890, October 2002.
- [106] D. Nahamoo, C. R. Crawford, and A. C. Kak. Design constraints and reconstructions algorithms for traverse continuous rotate ct scanners. *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, BME-28:79–98, February 1981.
- [107] Tukey J.W. Nonlinear (nonsuperposable) methods for smoothing data. *in Congr. Rec. EASCON*, page 673.

- [108] Gallagher N.C. and Wise G.L. A theoretical analysis of the properties of median filters. *IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing*, ASSP-29:1136–1141, December 1981.
- [109] Kenneth Barner and Gonzalo R. Arce. *Nonlinear Signal and Image Processing: Theory, Methods, and Applications*. CRC Press, Inc., Boca Raton, FL, USA, 2003.
- [110] H. Hwang and R.A. Haddad. Adaptive median filters: new algorithms and results. *IEEE Transactions on Image Processing*, 4(4):499–502, April 1995.
- [111] D.R.K. Brownrigg. The weighted median filter. *Communications of the ACM*, 27(8):807–818, August 1984.
- [112] Jaakko T. Astola and T. George Campbell. On computation of the running median. *IEEE Trans. Acoust. Speech Signal Process.*, 37(4):572–574, April 1989.
- [113] E.R. Davies. Edge location shifts produced by median filters: theoretical bounds and experimental results. *Signal Process*, 16(2):83–96.
- [114] E.R. Davies. Median and mean filters produce similar shifts on curved boundaries. *Electronics Lett.*, 27(10):826–828.
- [115] E.R. Davies. Shifts produced by mode filters on curved intensity contours. *Electronics Lett.*, 33(5):381–382.
- [116] E.R. Davies. Image distortions produced by mean, median and mode filters. *Machine Vision Group, Department of Physics*, 1997.
- [117] E.R. Davies. On the noise suppression and image enhancement characteristics of the median, truncated median and mode filters. *Physical Review Letters*, 7:87–97, 1988.
- [118] P. Maragos and R.W. Schafer. Morphological filters. part ii: Their relations to median, order-statistic, and stack filters. *IEEE Trans. Acoust. Speech Signal Process.*, 35:1170–1184, 1987.



- [119] R.L. Stevenson and G.R. Arce. Morphological filters: Statistics and further syntactic properties. *IEEE transactions on circuits and systems*, 34:1292–1305, 1987.
- [120] E.R. Davies. *Machine Vision: Theory, Algorithms, Practicalities*. Academic Press, 1997.
- [121] Leavers V.F. Survey: which hough transform? *Computer Vision Graphics and Image Processing: Image Understanding*, 58:250–264, 1993.
- [122] Sing Tze Bow. *Pattern Recognition and Image Preprocessing*. Marcel Dekker Inc., 2002.
- [123] Bahrem Javidi, editor. *Image Recognition and Classification: Algorithms, Systems, and Applications*. Marcel Dekker Inc, New York - Basel, 2001.
- [124] G.P. Zhang. Neural networks for classification: a survey. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 30(4):451–462, November 2000.
- [125] S.R. Kulkarni, G. Lugosi, and S.S. Venkatesh. Learning-pattern classification: A survey. *IEEE Transactions on Information Theory*, 44(6):2178–2206, October 1998.
- [126] A. Baraldi and P. Blonda. A survey of fuzzy clustering algorithms for pattern recognition. II. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part B (Cybernetics)*, 29:786–801, 1999.
- [127] P.V.C. Hough. Methods and means for recognizing complex patterns, 1962.
- [128] R.O. Duda and P.E. Hart. Use of the hough transform to detect lines and curves in pictures. In *CMetImAly77*, pages 204–208, 1977.
- [129] Ballard D.H. Generalizing the hough transform to detect arbitrary shapes. *Pattern Recognit.*, 2(13):111–122, 1981.
- [130] Gerhard X. Ritter and Joseph N. Wilson. *Handbook of Computer Vision Algorithms in Image Algebra*. CRC Press, 2000.

- [131] Xu L. and Oja E. Randomized hough transform (rht): Basic mechanisms, algorithms, and computational complexities. *CVGIP: Image Understanding*, 57(2):131–154, March 1993.
- [132] Illingworth J. and Kitler J. A survey of the hough transform. *Comput. Vision Graphics Image Process*, 43:221–238, 1988.
- [133] Kalviaiainen H., Hirvonen P., Xu L., and Oja E. Probabilistic and non-probabilistic hough transforms: overview and comparisons. *Image and Vision Computing*, 13(4), May 1995.
- [134] D. Ioannou, W. Huda, and A.F. Laine. Circle recognition through a 2d hough transform and radius histogramming. *Image and Vision Computing*, 17(1):15–26, January 1999.
- [135] Mainzer T. Genetic algorithm for ellipse detection. *the Ministry of Education of the Czech Republic under research and development project LN00B084*, 1999.
- [136] M.C.K. Yang and J.S. Lee. Hough transform modified by line connectivity and line thickness. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 19(8):905–910, August 1997.
- [137] N. Guil, J. Villalba, and E.L. Zapata. A fast hough transform for segment detection. *IEEE Transaction on Image Processing*, 4(11):1541–1548, November 1995.
- [138] C.G. Ho, R.C.D. Young, C.D. Bradfield, and C.R. Chatwin. A fast hough transform for the parametrisation of straight lines using fourier methods. *Real-Time Imaging*, 6(2):113–127, April 2000.
- [139] A. Bandera, J.M. Perez Lorenzo, J.P. Bandera, and F. Sandoval. Mean shift based clustering of hough domain for fast line segment detection. *Physical Review Letters*, 27(6):578–586, April 2006.
- [140] Akhtar M.W. and Atiquzzaman M. Determination of line length using hough transform,.

- [141] M. Atiquzzaman and M.W. Akhtar. Complete line segment description using the hough transform. *Image and Vision Computing*, 12(5):267–273, June 1994.
- [142] S. Tsuji and F. Matsumoto. Detection of ellipses by a modified hough transformation. *IEEE trans. on Computers*, 27:777–781, 1979.
- [143] L. Xu, E. Oja, and P. Kultanen. A new curve detection method: Randomized hough transform (rht). *Pattern Recognition Letters*, 11(5):331–338, May 1990.
- [144] T.C. Chen and K.L. Chung. An efficient randomized algorithm for detecting circles. *Computer Vision and Image Understanding*, 83(2):172–191, August 2001.
- [145] R.K.K. Yip, P.K.S. Tam, and D.N.K. Leung. Modification of hough transform for circles and ellipses detection using a 2-dimensional array. *Pattern Recognition*, 25(9):1007–1022, September 1992.
- [146] C.T. Ho and L.H. Chen. A fast ellipse/circle detector using geometric symmetry. *Pattern Recognition*, 28(1):117–124, January 1995.
- [147] R.A. McLaughlin and M.D. Alder. The hough transform versus the upwrite. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 20(4):396–400, April 1998.
- [148] T.J. Atherton and D.J. Kerbyson. Size invariant circle detection. *Image and Vision Computing*, 17(11):795–803, September 1999.
- [149] Gian Luca Foresti, Carlo S. Regazzoni, and Gianni Vernazza. Circular arc extraction by direct clustering in a 3d hough parameter space. *Signal Process.*, 41(2):203–224, 1995.
- [150] Eric W. Weisstein. Circle. *From MathWorld—A Wolfram Web Resource*.
- [151] J. Illingworth and J.V. Kittler. The adaptive hough transform. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 9(5):690–698, September 1987.

- [152] E.R. Davies. A high speed algorithm for circular object detection. *Physical Review Letters*, 6:323–333, 1987.
- [153] C. Kimme, D.H. Ballard, and J. Sklansky. Finding circles by an array of accumulators. *Communications of the ACM*, 18(2):120–122, February 1975.
- [154] L.G. Minor and J. Sklansky. The detection and segmentation of blobs in infrared images. pages 464–469, 1981.
- [155] J.Y. Goulermas and P. Liatsis. Incorporating gradient estimations in a circle-finding probabilistic hough transform. *Pattern Analysis and Applications*, 2(3):239–250, 1999.
- [156] Ali Ajdari Rad, Karim Faez, and Navid Qaragozlou. Fast circle detection using gradient pair vectors. In *Digital Image Computing: Techniques and Applications*, pages 879–888, 2003.
- [157] S. Ando. Consistent gradient operators. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 22(3):252–265, March 2000.
- [158] Worring M. and Smeulders A.W.M. Digitized circular arcs: characterization and parameter estimation. *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on*, 17(6):587–598, Jun 1995.
- [159] Heung-Soo Kim and Jong-Hwan Kim. Circle detection method using the intersecting chords, 2000.
- [160] Z. Kulpa. On the properties of discrete circles, rings, and disks. *Computer Graphics and Image Processing*, 10:348–365, August 1979.
- [161] Hakkı Bilgehan. *Klinik Mikrobiyolojik Tanı*. Barış Yayınları Fakülteler Kitapevi, 2002.
- [162] Şemsettin Ustaçelebi, Gönül Mutlu, Turgut Imir, Tevfik Cengiz, Emel Tumbay, and Ömer Mete, editors. Güneş Kitabevi, 1999.

- [163] Patrick R. Murray, Ellen Jo Baron, James H. Jorgensen, Michael A. Pfaller, and Robert H. Tenen, editors. *Manual of Clinical Microbiology*, volume 1. ASM Press, 2003.
- [164] G.E. Kaiser. Biol 230: Microbiology lab manual, 2006.
- [165] Deniz Gür. Antibiyotik duyarlılık testlerinin standardizasyonu. *3. Antimikrobik Kemoterapi Günleri: Klinik-Laboratuvar Uygulamaları ve Yenilikler*, (31):58–63, 1997.
- [166] John E. Gustafson. Kirby-bauer antibiotic susceptibility testing, 2006.
- [167] G. Mauriello, G. Moschetti, F. Villani, G. Blaiotta, and S. Coppola. Antibiotic resistance of coagulase-negative staphylococci isolated from artisanal naples-type salami. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 51:19–24, 2000.
- [168] Ahmet Başustaoğlu. Antibiyotik duyarlılık testlerinde kalite kontrolü. *3. Antimikrobik Kemoterapi Günleri: Klinik-Laboratuvar Uygulamaları ve Yenilikler*, (31):64–70, 1997.
- [169] A. A. Flores and H. D. Goff. Ice crystal size distributions in dynamically frozen model solutions and ice cream as affected by stabilizers. *J. Dairy Sci.*, 82(7):1399–1407, 1999.
- [170] H. Douglas Goff. Formation and stabilisation of structure in ice-cream and related products. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 7:432–437, November 2002.
- [171] Alexandre Caillet, Claudia Cogne, Julien Andrieu, Pierre Laurent, and Alain Rivoire. Characterization of ice cream structure by direct optical microscopy. influence of freezing parameters. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie*, 36:743–749, December 2003.
- [172] Z. Zhang and H.D. Goff. On fat destabilization and composition of the air interface in ice cream containing saturated and unsaturated monoglyceride. *International Dairy Journal*, 15:495–500, May 2005.

- [173] S. Bolliger, H. D. Goff, and B. W. Tharp. Correlation between colloidal properties of ice cream mix and ice cream. *International Dairy Journal*, 10:303–309, 2000.
- [174] A. Okabe, B. Boots, and K. Sugihara. *Spatial Tessellations: Concepts and Applications of Voronoi*. Chichester: Wiley, 1992.

## A. Sözlük

Metin içerisinde sık geçen İngilizce terimler için kullanılan Türkçe karşılıkları içeren küçük bir sözlük eklenmiştir.

|                         |                        |
|-------------------------|------------------------|
| Aberation:              | Bozulma, buruşum       |
| Analysis:               | Çözümleme              |
| Astronomy:              | Gökbilim               |
| Automatize:             | Özişler                |
| Classification:         | Sınıflama              |
| Contour:                | Çevrit                 |
| Correlation:            | ■linti                 |
| Feature Extraction:     | Öznitelik Çıkarımı     |
| Granule Lake:           | Granül yolcuk          |
| Gray Level Slicing:     | Gri düzey dilimleme    |
| Image Segmentation:     | Görüntü bölütleme      |
| Impulsive Noise:        | Birim vuruşsal gürültü |
| Median Filter:          | Ortanca Filtre         |
| Objective / Subjective: | Nesnel / Öznel         |
| Pattern Recognition:    | Örüntü tanıma          |
| Quality:                | Nitelik                |
| Reference:              | Başvuru                |
| Template Matching:      | Şablon Eşleme          |
| Transparency:           | Saydamlık              |
| Variance Filter:        | Değişinti Filtre       |

## B. Kaynak Kodları

Bölüm 2’de verilen algoritmaların Matlab ortamında prototipleri oluşturulmuştur. Algoritmaların gerçekleştirilmesi sırasında aşağıda liste halinde verilen kitaplıklar/araçlardan yararlanılmıştır,

1. gr32 Toolbox (Delphi): GSD gerçekleştirilmesi sırasında kullanılmıştır.
2. DIP Toolbox (Matlab): Genel olarak algoritmaların bir çoğunda kullanılmıştır.
3. Filtre bankası (Matlab): ÖGYÇ’nin BGS uygulayımında Peter Kovessi’nin Butterworth süzgeç işlevinin özelleştirilen biçimi kullanılmıştır.
4. DIPUM Toolbox (Matlab): [64]’de verilen algoritma gerçeklemelerini içeren araç kiti
5. Lans, Netlab ve GTM Toolbox (Matlab): Zernike polinomlarıyla ilgili çalışmalar sırasında kullanılmıştır.
6. Fitellipse toolbox (Matlab): AOBPC’nin elips uydurma aşamasında yararlanılmıştır.
7. YkImageTools (Matlab): CHT denemelerimde deneme görüntülerini oluşturmada yararlanıldı <sup>1</sup>
8. Tao Peng’in gradCHT gerçekleştirilmesi (Matlab): ADT ve DND uygulayımının merkezinde yer almaktadır.

---

<sup>1</sup><http://www.cns.atr.jp/~kmtn/imageMatlab/index.html>



## B.1 Granülasyon ve Leke Öznitelik Çıkarımı

### B.1.1 ÇİGZ

Çizelge B.1: ÇİGZ kaynak kodları

```
type TCig = packed record // Çok islevli gamma
    alt_sinir, ust_sinir: Byte;
    gamma: Real;
end;
type TCigArray1D = array of TCig;
procedure cigk_uygula(Kaynak, Hedef: TImage;
    islev_sayisi: Byte;
    gamma: TCigArray1D);
var
    kaynakP, hedefP: pRGBArray;
    X, Y: Word;
    GAMMA_TABLO: TGammaTablo;
begin
    cigk_tablo(GAMMA_TABLO, islev_sayisi, gamma);
    Kopyala(Hedef.Picture.Bitmap, Kaynak.Picture.Bitmap);
    for Y:= 0 to Kaynak.Picture.Bitmap.Height-1 do
    begin
        kaynakP:= Kaynak.Picture.Bitmap.ScanLine[Y];
        hedefP:= Hedef.Picture.Bitmap.ScanLine[Y];
        for X:= 0 to Kaynak.Picture.Bitmap.Width-1 do
        begin
            hedefP[X].rgbtRed := GAMMA_TABLO[kaynakP[X].rgbtRed ];
            he-
defP[X].rgbtGreen:= GAMMA_TABLO[kaynakP[X].rgbtGreen];
            hedefP[X].rgbtBlue := GAMMA_TABLO[kaynakP[X].rgbtBlue ];
        end;
    end;
end;
end;
```

Çizelge B.2: ÇİGZ: alt işlevler kaynak kodları

```
procedure cigk_tablo(var gamma_tablo: TGammaTablo;  
                    islev_sayisi: Byte;  
                    gamma: TCigArray1D);  
  
    var  
        iss, i: Byte;  
        raw, corr: Real;  
begin  
    for iss:= 0 to islev_sayisi-1 do  
        for i:= gamma[iss].alt_sinir to gamma[iss].ust_sinir do  
            begin  
                raw:= i/255;  
                corr:= Power( raw, gamma[iss].gamma );  
                gamma_tablo[i]:= Set255( Trunc( 0.5 + corr * 255 ) );  
            end;  
        end;  
end;
```

## B.1.2 ÖGYÇ

Çizelge B.3: ÖGYÇ kaynak kodları

```
function [img_gy, img_maske_bindirilmis] = ogyc(img,
kirpma_ust_sinir, f0, bw, gama, maske_rengi);
% function [img_gy] = ogyc(img, kirpma_ust_sinir, f0, bw,
gama, maske_rengi);
%
% GIRIS
% img: giris goruntusu
% kirpma_ust_sinir: kirpma da kullanılan ust sinir degeri
% f0: Bant geciren suzgec (BGS) merkez frekansi
% bw: BGS bant genisligi
% gama: Sonislemde kullanılan gama degeri
% maske_rengi: eger isteniyorsa giris goruntusu uzerine
%          granul yolcuk maskesi 'maske_rengi' ile bindiri-
lir.
% CIKIS
% img_gy: granul yolcuk goruntusu
% img_maske_bindirilmis: (secenek)
% Cikis parametresi verilmezse gy_img gosterilir.
%
% BKZ
% toh_apc
if nargin < 6, maske_rengi = [0 255 0]; end;
if nargin < 5, gama = 0.25; end;
if nargin < 4, bw = 0.02; end;
if nargin < 3, f0 = 0.02; end;
if nargin < 2, kirpma_ust_sinir = 75; end;

dip_initialise('silent');
bgs_cig_img = bgs_cig_uygula (img, f0, bw, gama);
clip_bc_img = clip(bgs_cig_img, kirpma_ust_sinir, 0);
he_cbc_img = hist_equalize(clip_bc_img);
maske = threshold(he_cbc_img,'isodata', Inf);
img_gy = uint8( 255 * maske );
dip_exit;
if nargin < 1, imshow(img_gy); end;
```

Çizelge B.4: ÖGYÇ:BGS-ÇİGZ alt işlevi kaynak kodları

```
function [sonuc_img] = bgs_cig_uygula(img, f0, bw, gama);
d_img = double(img);
d_img = d_img - mean(d_img(:));
[H, W] = size(d_img);
n = 4;
fbgs = bant_geciren_filtre_uygula([H W], f0, bw, n);
f_img = fftshift( fft2( d_img ) );
f_img = f_img .* fbgs;
bgs_img = ifft2( f_img );
bgs_img = abs(bgs_img);
bgs_img = bgs_img .^ gama;
v_min = min( bgs_img(:) );
v_max = max( bgs_img(:) ) - v_min;
sonuc_img = uint8( round((255 / v_max) * (bgs_img -
v_min)) );
```

Çizelge B.5: ÖGYÇ:Bant Geçiren Filtre alt işlevi kaynak kodları

```
function f = bant_geciren_filtre_uygula(sze, f0, bw, n)
if f0 < 0 | f0 > 0.5 | bw < 0 | bw > 0.5
    error('f0 ve bw 0 - 0.5 araliginda olmalidir.');
```

```
end

if rem(n,1) ~= 0 | n < 1
    error('n >= 1 ve tamsayi olmalidir.');
```

```
end
cutin = f0 - bw/2;
cutoff = f0 + bw/2;
f = lowpassfilter(sze,cutoff,n) -
lowpassfilter(sze,cutin,n);
```

### B.1.3 ÖLÇÇ

Çizelge B.6: ÖLÇÇ kaynak kodları

```
function [img_lc, img_maske_bindirilmis] = olcc(img, n_vf,
gama, n_morpErosion, maske_rengi);
% func-
tion [img_lc, img_maske_bindirilmis] = olcc(img, n_vf,
gama, esik, n_morpErosion, maske_rengi);
%
% GIRIS
% img: giris goruntusu
% n_vf: Degisinti filtre boyutu (vars: 7x7)
% gama: CIG gama degeri (vars: 0.25)
% n_morpErosion: sekilbilimsel erosion filtre boyutu
(vars: 7x7)
% maske_rengi: eger isteniyorsa giris goruntusu uzerine
leke cevrit
%          maskesi 'maske_rengi' ile bindirilir.
% CIKIS
% img_lc: leke cevrit goruntusu
% img_maske_bindirilmis: (secenek)
% Cikis parametresi verilmezse lc_img gosterilir.
%
% BKZ
% ogyc
if nargin < 5, maske_rengi = [255 255 255]; end;
if nargin < 4, n_morpErosion = 7;          end;
if nargin < 3, gama = 1.025;              end;
if nargin < 2, n_vf = 7;                  end;
dip_initialise('silent');
dipshow(89, img);
onar_img = asd_giderici(img);
vf_img = varif(onar_img, n_vf);
log_vimg = log_img(vf_img);
cig_lvimg = single(log_vimg) .^ gama;
t_clvimg = threshold(cig_lvimg);
d_tclvimg = dilation(t_clvimg, n_morpErosion);
leke_alti = overlay(log_vimg, d_tclvimg, [0 0 0]);
isl_la = leke_alti{1};
stretch(isl_la,0,100,min(isl_la(:)),max(isl_la(:)));
img_lc = threshold(isl_la);
overlay(onar_img,img_lc,maske_rengi);
img_maske_bindirilmis = overlay(img,img_lc,maske_rengi);
function out = log_img(in)
out = histeq( uint8(round( (255/log(1+max(in)))* log( in -
min(in) + 1 ) ))));
```

## B.2 Atmosferik Etkinin Elde Edilmesi, Giderimi ve Modellenmesi

### B.2.1 AOBPÇ

Çizelge B.7: AOBPÇ kaynak kodları

```
function [Cu, Cv, Ru, Rv, Theta] = aob_pc (img, m,
esik_yuzde);
% function [Cu, Cv, Ru, Rv, Theta] = aob_pc (img, m,
esik_yuzde)
% Atmosferik Optik Bozulma Parametre Cikarici
%
% GIRIS
%   img: islenecek goruntu
%   m: puruzsuzlestirme filtre boyutu (Ontanimli m=3).
%       Eger '0' ise puruzsuzlestirme islemi yapilmaz.
%   esik: ikil cevrit uretmeye kullanan esik de-
geri (yuzde
olarak)
%   (Ontanimli esik_yuzde = 0.6).
%
% CIKIS
%   Cu,Cv: merkez (goruntunun orta koordinati = merkez,
normal 4 bolgeli)
%   Ru,Rv: yaricaplar
%   Theta: yonelim acisi (radyan olarak)
%
% BKZ:
%   aob_d, asd_g, ogye
if nargin < 3, esik_yuzde = 60 / 100; end;
if nargin < 2, m = 3; end;
if (nargout == 0), tic; end; % zamanlayiciyi baslat.
% 1. Granul yolculuklarini bul, (secenek olarak islem once-
sinde
% atmosfer gecirgenlik dagilimi giderilebilir)
% img = asd_g( img );
gy_img = ogye( img );
Rexp = log(abs( fftshift( fft2( single(gy_img) ) ) ));
```

Çizelge B.8: ...devam

```
% 2. Rexp(u, v) --> Rexp(R, Theta) bu aslında programın
% içerisinde dolaylı olarak 'pol2cart' ve 'uuvv2uv' işlev-
leri
% yardımıyla yapılmaktadır.
[H, W] = size(Rexp);
u = round( (1:W) - (W+1) / 2 );
v = round(-((1:H) - (H+1) / 2));
deltaR = sqrt(2)/2;
deltaTh = atan(1 / ( max(W,H)/2 ) );
R = 0:deltaR:( sqrt(W^2+H^2)/2);
Th = 0:deltaTh:2*pi;
% 3. Rave(R_j, Th_i) = ... (puruzsuzleştirme işlemi)
if m > 0, % puruzsuzleştir,
    Rave = puruzsuzlestir(Rexp, m, R, Th, W, H);
else % puruzsuzleştirME,
    Rave = Rexp;
end;
% 4. Esik uygulayarak ikil görüntüyü elde et,
esik = esik_yuzde * max(Rave(:));
B_rave = single(Rave > esik);
% 5. Elips parametrelerini bul,
ind = find( B_rave == 1 );
[Y, X] = ind2sub( size(B_rave), ind );
a = fitellipse(X, Y);
Cu = a(1);Cv = a(2);Ru = a(3);Rv = a(4);Theta = a(5);
if (nargout == 0),
    fprintf('\n-----\n');
    fprintf('Su anki görüntüdeki turbulans(astigmatizma)
parametreleri,\n');
    fprintf(' [Cu, Cv] = [%5.1f, %5.1f]\n', Cu-(W/2),
Cv-(H/2));
    fprintf(' [Ru, Rv] = [%5.1f, %5.1f]\n', Ru, Rv);
    fprintf(' Rv / Ru = %7.3f\n', Rv/Ru);
    fprintf(' Yonelim acisi = %6.2f derecedir. ',
rad2deg(Theta));
    if (max(Ru,Rv) / min(Ru, Rv)) <= 1.25
        fprintf(' (GECERSİZ)\n');
        Theta = deg2rad(45);
    else
        fprintf('\n');
    end
    fprintf('-----\n');
end;
```

Çizelge B.9: AOBPÇ:yerel işlevler kaynak kodları

```
function [u, v] = uuvv2uv(uu, vv, W, H);
u = round( uu + (W+1)/2);
v = round(-vv + (H+1)/2);
if u < 1, u = 1; end;
if v < 1, v = 1; end;
if u > W, u = W; end;
if v > H, v = H; end;
function Rave = puruzsuzlestir(Rexp, m, R, Th, W, H)
    M = 2 * m;
    sR = length(R);
    sTh = length(Th);
    Rave = zeros( size(Rexp) );
    for j=1:sR,
        fprintf('%3d/%3d. isleniyor...\n', j,sR);
        for i=1:sTh,
            tmp = 0.0;
            for k=i-m:i+m,
                if      k < 1,      kk = sTh + k;
                elseif k > sTh,    kk = (k - sTh);
                else,              kk = k;
            end
            [uu, vv] = pol2cart( Th(kk), R(j) );
            [u, v] = uuvv2uv(uu, vv, W, H);
            tmp = tmp + Rexp(u, v);
        end
        [uu, vv] = pol2cart( Th(i), R(j) );
        [u, v] = uuvv2uv(uu, vv, W, H);
        Rave(u, v) = (1 / M) * tmp;
    end
end
```



## B.2.2 AOBtGNÜ

Çizelge B.10: AOBtGNÜ kaynak kodları

```
function [gni, RI, TI, Ryx] = gnd_aob_pc(Rx,Ry,Theta);
% function [gni, RI, TI, Ryx] = gnd_aob_pc(Rx,Ry,Theta);
%
% GIRIS
%   Rx, Ry, Theta: aob_pc islevinden elde edilen elips
%   parametreleri sirasiyla x- ve y-
%   yonundeki yaricaplar,
%   ve donme acisi (radyan olarak)
% CIKIS
%   gni: goruntu nitelik indisi degeri
%   RI : yaricap nitelik indisi
%   TI : acisal nitelik indisi
%   Ryx: Ry/Rx yaricaplar orani
%
% BKZ
%   aob_pc
RI = 1.0 - abs(Rx - Ry) / (Rx + Ry);
if ( max(Rx, Ry)/min(Rx, Ry) ) > 1.25,
    dTheta = abs( rad2deg(abs(Theta)) );
    if dTheta > 90, dTheta = 90;    end;
    TI = 1.0 - abs(dTheta - 45) / 45;
else
    TI = 1.0;
end;
gni = 0.5 * RI + 0.5 * TI;
RI = 100 * RI;
TI = 100 * TI;
Ryx = Ry / Rx;
```

## B.2.3 AOBtBKS

Çizelge B.11: AOBtBKS kaynak kodları

```
function [bki, bk_oylari] = obks(imgS, m, esik_yuzde);
% function [bki, bk_oylari] = obks(imgS, m, esik_yuzde);
% Ozisler Basvuru (Referans) Kare Secici
%
% GIRIS
% imgS: goruntu serisi
% m: puruzsuzlestirme filtre boyutu (ontanimli = 3).
% '0' ise puruzsuzlestirme yapilmaz.
% esik: ikil cevrit uretmeye kullanan esik de-
geri (yuzde
olarak), (Ontanimli = 0.6).
%
% CIKIS
% bki: basvuru kare indisi
% bk_oylari: basvuru kare oylari
%
% BKZ
% toh_apc, toh_apc_obks
if (nargout == 0), tic; end; % zamanlayiciyi baslat.
if nargin < 3, esik_yuzde = 60 / 100; end;
if nargin < 2, m = 3; end;
[H,W,ks] = size(imgS);
bk_oylari = single( zeros(ks, 1) );
for kare_ind=1:ks,
    % 1. basvuru karesi adayi goruntusu,
    bka_img = imgS(:,:,kare_ind);

    % 2. TOH-APC,
    [Cx, Cy, Rx, Ry, Theta] = toh_apc(bka_img, m,
esik_yuzde);

    % 3. goruntunun nitelik indisi,
    [gni] = gnd_toh_apc(Rx,Ry,Theta);

    bk_oylari(kare_ind) = gni;
end;
[mx, bki] = max(bk_oylari);
```

## B.2.4 ASD-Giderici

Çizelge B.12: ASD-Giderici kaynak kodları

```
function [onarilmis_img] = asd_giderici (img);
img_histeq = histeq(img);
img_histeq_med3 = medfilt2(img_histeq, [3 3]);
img_histeq_med3_5 = medfilt2(img_histeq_med3, [5 5]);
img_histeq_med3_5_7 = medfilt2(img_histeq_med3_5, [7 7]);
img_histeq_med3_5_7_9 = med-
filt2(img_histeq_med3_5_7, [9 9]);
img_histeq_med3_5_7_9_11 = medfilt2(img_histeq_med3_5_7_9,
[11 11]);
img_histeq_med3_5_7_9_11_13 =
medfilt2(img_histeq_med3_5_7_9_11,[13 13]);
onarilmis_img = img_histeq_med3_5_7_9_11_13;
```

## B.3 Teknolojik Granülasyon Oluşumları, Öznitelik Çıkarımı ve Sayıtımsal İşlemler

### B.3.1 ADT

Çizelge B.13: ADT kaynak kodları

```
close all; clear all; clc;
warning off all; dip_initialise('silent');
% 1. Resmi yukle,
img_name = 'adt_test.bmp';
t0 = clock;
o_img = imread(img_name);
% 2. Onisle,
img = rgb2gray(o_img);
m = max( size(img) );
max_img_size = 500;
sz_olcek = 1.0;
if m > 1.5 * max_img_size,
    sz_olcek = max_img_size/m;
    img = imresize(img, sz_olcek);
end;
img = medfilt2(img, [9 9]);
fltr4img = [1 1 2 1 1; ...
            1 2 4 2 1; ...
            2 4 8 4 2; ...
            1 2 4 2 1; ...
            1 1 2 1 1];
fltr4img = fltr4img / sum(fltr4img(:));
img = filter2( fltr4img , img);
img = filter2( fltr4img , img);
img = uint8( round( img ) );
% 3. GradCHT uygula,
fltr4acc = fltr4img;
[accum, circen, cirrad] = CircularHough_Grd(img,
[11 100], 5, 10, 0.1, fltr4acc);
etime(clock,t0)
% 4. Sonuclari goster,
bp = sortrows( [circen(:,1) circen(:,2)/sz_olcek
cirrad(:)/sz_olcek], 3);
gcht_sonuclari_goruntuleADT(o_img, bp);
```

Çizelge B.14: ADT:sonuçları görüntüle alt işlevi kaynak kodları

```
function gcht_sonuclari_goruntuleADT(img, bp, accum, grd)
% function gcht_sonuclari_goruntuleADT(img, bp, accum, grd)
if nargin < 3,    accum = 0;    end;
if nargin < 4,    grd = 0;    end;

circen(:,1) = bp(:,1);
circen(:,2) = bp(:,2);
cirrad      = bp(:,3);
[H, W] = size(rgb2gray(img));
% 1. Önce fazlalık, aynı merkezli ikiden fazla sayıdaki
% çemberleri ele, iki çember yarıçaplar oranı fazla büyük
% olanları ele ve her bir bölgeyi etiketle.
siralayici = 1; % eğer acıya göre sıralama yapılaca-
    caksa '1',
                % yarıçapa göre sıralama yapılacaksa '2'
                % girilmelidir.
% 1.1 Öncelikle çemberlerin orta noktasını belirle,
W2 = mean( circen(:,1) );
H2 = mean( circen(:,2) );
% 1.2 Etiketleme için gerekli koordinat dönüşümünü yap,
[Th, R] = cart2pol( circen(:,1)-W2, H2-circen(:,2) );
Th = rad2deg( my_2pi_ext(Th) );
pol_koord = [Th R circen cirrad];
pol_koord = sortrows(pol_koord, siralayici);
% 1.3 Aynı merkezli ikiden fazla sayıdaki çemberleri te-
    mizle,
%   ve
% 1.4 Aynı merkezli iç ve dış çemberin yarıçap-
    lar oranı izin
% verilen oranın üzerindeyse, mantıksızlık ya da hatalı
% oylama olabilir diye eleniyor,
izin_verilen_dis_ic_yaricap_orani = 5;
bp_temiz = zeros(1, 3);
ind = 1;
bp_ind = 1;
sz = size(pol_koord, 1);
```

Çizelge B.15: ...devam

```

while (true)      %sonsuz dongu
    bp_temiz(bp_ind, :) = pol_koord(ind, 3:5);
    bp_ind = bp_ind + 1;
    if (ind == sz),      break;      end;

    pivot = pol_koord(ind, siralayici);
    ind = ind + 1;
    if (pivot == pol_koord(ind))
        if (pol_koord(ind, 5)/bp_temiz(bp_ind-1, 3)) <
izin_verilen_dis_ic_yaricap_orani,
            bp_temiz(bp_ind, :) = pol_koord(ind, 3:5);
            bp_ind = bp_ind + 1;
        end;
        ind = ind + 1;
        while ((ind <= sz) & (pivot == pol_koord(ind,
siralayici)))
            ind = ind + 1;
        end;
    end;
    if (ind > sz),      break;      end;
end;

% 1.5 Etiketle,
ETIKETLER = {'A', 'B', 'C', 'D', 'E', 'F', 'G', 'H', 'I',
'J', 'K', 'L'};
ei = 1;
bp_etiketli = zeros(size(bp_temiz,1), size(bp_temiz,2)+1);
bp_etiketli(:,2:end) = bp_temiz;
ind = 1;
pivot = bp_temiz(ind, 1:2);
bp_etiketli(ind, 1) = ei;
for ind = 2:size(bp_temiz,1),
    tmp = bp_temiz(ind, 1:2);
    if tmp ~= pivot,
        ei = ei + 1;
        pivot = tmp;
    end
    bp_etiketli(ind, 1) = ei;
end;

```

Çizelge B.16: ...devam

```
% 4. Sonuclari tablo halinde uret,
sz = size(bp_etiketli, 1);
ind = 1;
% for i=1: size(bp_etiketli, 1),
fprintf('Antibiyotik Duyarlilik Testi - Sonuclari\n');
while (true)
    ei = bp_etiketli(ind, 1);
    fprintf('\n%s antibiyotigi: \n', ETIKETLER{ei});
    R_antibiyotik = 2*bp_etiketli(ind, 4);
    fprintf('    Antibiyotik capi = %06.2f\n', ...
        R_antibiyotik);
    mesaj = sprintf('    Bu antibiyotik, soz konusu
mikroorganizmaya DIRENCLI dir\n');

    if ind == sz,          break;          end;
    ind = ind + 1;
    if (ind <= sz) & (bp_etiketli(ind, 1) == ei),
        R_zone = 2*bp_etiketli(ind, 4);
        fprintf('    ZONE capi          = %06.2f\n', ...
            R_zone);
        t_sonuc = 'DUYARLI';
        if (R_zone/R_antibiyotik)<1.75,
            t_sonuc = 'DIRENCLI';
        end;
        mesaj = sprintf('    Bu antibiyotik, soz konusu
mikroorganizmaya %s dir\n', t_sonuc);
        ind = ind + 1;
        if ind > sz,          break;          end;
    end;
    fprintf('%s', mesaj);
end;
if ind >= sz,    fprintf('%s', mesaj);    end;
ant_say = ei;    % yukaridaki dongude en son aldigi deger,
                % ayni zamanda kullanilan antibiyotik
                % sayisini da veriyor.
```

Çizelge B.17: ...devam

```

ei = 1;
fprintf('\nETIKETLERin koordinatlari: \n');
for ind=1: sz, % sz = toplam cember sayisi
    if bp_etiketli(ind, 1) == ei,
        fprintf('    Etiket %s: [%06.2f, %06.2f]\n', ...
            ETIKETLER{ei}, bp_etiketli(ind, 2),
bp_etiketli(ind, 3));
        ei = ei + 1;
    end;
end;
bp_etiketli(i, 4));

clear bp;
bp = bp_temiz;
circen = zeros(size(bp,1),2);
cirrad = zeros(size(bp,1),1);
circen(:,1) = bp(:,1);
circen(:,2) = bp(:,2);
cirrad      = bp(:,3);
axis image; axis on;
figure(1); hold on; imshow(img); colormap('gray');
axis ij; axis on;
    title('Giris goruntusu');
    xlabel('X');    ylabel('Y');
    v = axis; v(2)=W; v(4)=H; axis(v);

hold on;
plot(circen(:,1), circen(:,2), 'r+');
for k = 1: size(circen, 1),
    DrawCircle(circen(k,1), circen(k,2), cirrad(k), 32,
'b-');
end
hold off;

```



## B.3.2 DND

Çizelge B.18: DND kaynak kodları

```
close all; clear all; clc;
warning off all; dip_initialise('silent');
% 1. Resmi yukle,
t0 = clock;
img_name = 'dnd_test.bmp';
o_img = imread(img_name);
% 2. Onisle,
img = rgb2gray(o_img);
img = histeq(img);
img = varif(img, [3 3]);
fltr4img = [1 1 2 1 1; ...
            1 2 4 2 1; ...
            2 4 8 4 2; ...
            1 2 4 2 1; ...
            1 1 2 1 1];
fltr4img = fltr4img / sum(fltr4img(:));
img = filter2( fltr4img , img);
img = filter2( fltr4img , img);
img = double(img);
fltr4acc = fltr4img;
% 3. GradCHT uygula
% KUCUK cemberler,
[accum, circen, cirrad, grd] = CircularHough_Grd(img, [1
10], 10, 8, 0.5);
k_bp = sortrows( [circen(:,1) circen(:,2) cirrad(:)], 3);
% ORTA cemberler,
[accum, circen, cirrad, grd] = CircularHough_Grd(img, [11
20], 10, 8, 0.95);
o_bp = sortrows( [circen(:,1) circen(:,2) cirrad(:)], 3);

% BUYUK cemberler,
[accum, circen, cirrad, grd] = CircularHough_Grd(img, [21
30], 10, 25, 0.95);
b_bp = sortrows( [circen(:,1) circen(:,2) cirrad(:)], 3);
bp = [k_bp; o_bp; b_bp];

gecn_sure = etime(clock,t0)
gcht_sonuclari_goruntuleDND(o_img, bp, accum, grd);
```

Çizelge B.19: DND:sonuçları görüntüle kaynak kodları

```
function gcht_sonuclari_goruntuleDND(img, bp, ac-
cum, grd, M)
if nargin < 3,    accum = 0;    end;
if nargin < 4,    grd = 0;    end;
if nargin < 5,    M = 10;    end;

circen(:,1) = bp(:,1);
circen(:,2) = bp(:,2);
cirrad      = bp(:,3);
[H, W] = size(rgb2gray(img));
figure(1); axes; hold on; imshow(img);
colormap('gray'); axis image; axis on;
    title('Giris görüntüsü');
    xlabel('X');    ylabel('Y');

hold on;
plot(circen(:,1), circen(:,2), 'r+');
for k = 1: size(circen, 1),
    DrawCircle(circen(k,1),circen(k,2),cirrad(k),32,'b-');
end
hold off;
figure(2); axes; hold on; imshow(img);
colormap('gray'); axis image; axis on;
    title('Giris görüntüsü');
    xlabel('X');    ylabel('Y'); hold off;
figure(3);
    [N, X] = hist(bp(:,3), M);
    stem(X, N);    grid on;
    title('Yaricap dagilimi');
    xlabel('Yaricap degeri');    ylabel('Histogrami');
if size(accum,1) > 1,
    figure(4); surf(accum, 'EdgeCo-
lor', 'none');    axis ij;
    title('Toplama Dizisinin 3-D Gorunumu');
    xlabel('x_0');    ylabel('y_0');
    v = axis;    v(2)=W; v(4)=H; axis(v);
end;
if isstruct(grd),
    figure(5),
    quiver(grd.x, grd.y, 2, 'k');    axis image;
    title('Gradyan görüntüsü');
    xlabel('X');    ylabel('Y');
end;
```

Çizelge B.20: ...devam

```
% 4. Sonuclari tablo halinde uret,
fprintf('TOPLU Sonuclar: {Yaricap araligi}, hava kabarcigi
adedi...\n');
deltaX = (X(2) - X(1))/2;
for i=1:length(X),
    fprintf(['%2d> {%.2f, %.2f} yaricap arali-
ginda %02d
adet hava kabarcigi vardir.\n'],
i, X(i)-deltaX, X(i)+deltaX-0.01, N(i));
end;
fprintf(['{%.2f, %.2f} yaricap arali-
ginda %02d adet hava'
'kabarcigi vardir.\n'],
min(X)-deltaX, max(X)+deltaX-0.01, sum(N));
```

## ÖZGEÇMİŞ

12 Eylül 1979 tarihinde Samsun’da doğdu. İlk ve orta öğretimini aynı şehirde tamamladı. Lisans öğrenimini Ondokuz Mayıs Üniversitesi (OMÜ) Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümünde; Yüksek Lisans öğrenimini, 2003 yılında, OMÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Anabilim dalında tamamladı. Yabancı dili İngilizcedir.