

**DOĞU ANADOLU GÖZLEMEVİ YERLEŞKESİ
ATMOSFERİK GÖRÜŞ ÖLÇÜMLERİ**

Yavuz GÜNEY

Danışman: Prof. Dr. Cahit YEŞİLYAPRAK

Doktora Tezi

Astronomi ve Astrofizik Ana Bilim Dalı

2021

(Her hakkı saklıdır.)

T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ASTRONOMİ VE ASTROFİZİK ANA BİLİM DALI

**DOĞU ANADOLU GÖZLEMEVİ YERLEŞKESİ ATMOSFERİK GÖRÜŞ
ÖLÇÜMLERİ**
(The Atmospheric Seeing Measurements for Eastern Anatolia Observatory Site)

DOKTORA TEZİ

Yavuz GÜNEY

Danışman: Prof. Dr. Cahit YEŞİLYAPRAK

Erzurum
Haziran, 2021

KABUL VE ONAY TUTANAĞI

Yavuz GÜNEY tarafından hazırlanan “Doğu Anadolu Gözlemevi Yerleşkesi Atmosferik Görüş Ölçümleri” başlıklı çalışması 17 / 06 / 2021 tarihinde yapılan tez savunma sınavı sonucunda başarılı bulunarak jürimiz tarafından Astronomi ve Astrofizik Ana Bilim Dalı, Astronomi ve Astrofizik Bilim Dalında doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı:	Doç. Dr. Bekir GÜRBULAK <i>Atatürk Üniversitesi</i>	Aslı ıslak imzalıdır
Danışman:	Prof. Dr. Cahit YEŞİLYAPRAK <i>Atatürk Üniversitesi</i>	Aslı ıslak imzalıdır
Jüri Üyesi:	Dr. Öğr. Üyesi İlham NASIROĞLU <i>Atatürk Üniversitesi</i>	Aslı ıslak imzalıdır
Jüri Üyesi:	Dr. Öğr. Üyesi Sinan ALIŞ <i>İstanbul Üniversitesi</i>	Aslı ıslak imzalıdır
Jüri Üyesi:	Dr. Öğr. Üyesi Burçin DÖNMEZ <i>Akdeniz Üniversitesi</i>	Aslı ıslak imzalıdır

Enstitü Yönetim Kurulunun
.../.../.... tarih ve sayılı
kararı.

Bu tezin Atatürk Üniversitesi Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili maddelerinde belirtilen şartları yerine getirdiğini onaylarım.

Prof. Dr. Saltuk Buğrahan CEYHUN

Enstitü Müdürü

Aslı ıslak imzalıdır

Bu çalışma T.C. Strateji ve Bütçe Başkanlığı (Kalkınma Bakanlığı) destekli Doğu Anadolu Gözlemevi (DAG) projesi kapsamında desteklenmiştir.
Proje No: 2011K120230

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildiriş, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU

Doktora Tezi olarak Prof. Dr. Cahit YEŞİLYAPRAK danışmanlığında sunulan “Doğu Anadolu Gözlemevi Yerleşkesi Atmosferik Görüş Ölçümleri” başlıklı çalışmanın tarafımızdan bilimsel etik ilkelere uyularak yazıldığını, yararlanılan eserlerin kaynakçada gösterildiğini, Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından belirlenmiş olan Turnitin Programı benzerlik oranlarının aşılmadığını ve aşağıdaki oranlarda olduğunu beyan ederiz.

Tez Bölümleri	Tezin Benzerlik Oranı (%)	Maksimum Oran (%)
Giriş	%13	30
Kuramsal Temeller	%9	30
Materyal ve Yöntem	%3	35
Bulgular	%0	20
Tartışma ve Sonuç	%3	20
Tezin Geneli	%4	25

Not: Yedi kelimeye kadar benzerlikler ile Başlık, Kaynakça, İçindekiler, Teşekkür, Dizin ve Ekler kısımları tarama dışı bırakılabilir. Yukarıdaki azami benzerlik oranları yanında tek bir kaynaktan olan benzerlik oranlarının %5'den büyük olmaması gerekir.

Beyan edilen bilgilerin doğru olduğunu, aksi halde doğacak hukuki sorumlulukları kabul ve beyan ederiz.

Tez Yazarı (Öğrenci)	Tez Danışmanı
Yavuz GÜNEY	Prof. Dr. Cahit YEŞİLYAPRAK
17.6.2021	17.6.2021
İmza: Aslı ıslak imzalıdır	İmza: Aslı ıslak imzalıdır

* Tez ile ilgili YÖKTEZ'de yayınlamasına ilişkin bir engelleme var ise aşağıdaki alanı doldurunuz.

Tezle ilgili patent başvurusu yapılması / patent alma sürecinin devam etmesi sebebiyle Enstitü Yönetim Kurulunun/.../.... tarih ve sayılı kararı ile teze erişim 2 (iki) yıl süreyle engellenmiştir.

Enstitü Yönetim Kurulunun/.../.... tarih ve sayılı kararı ile teze erişim 6 (altı) ay süreyle engellenmiştir.

TEŐEKKÖR

Tezin gerçekleŐmesinde bŸyŸk katkıları olan danıŐmanım Prof. Dr. Cahit YEŞİLYAPRAK'a, Tez İzleme Komitesi'ne, yazılım konusunda yardımcı olan ATASAM'dan Mohammad S. NIAEI'ye, her tŸrlŸ soruma usanmadan cevap veren Dr. Tuncay ŐZİŐIK'a, tez kapsamındaki çalıŐmalara ve ekipmanlara destek veren AtatŸrk Őniversitesi RektŸrlŸgŸ'ne, T.C. Strateji ve BŸte Başkanlığı'na (Kalkınma Bakanlığı), AtatŸrk Őniversitesi Astrofizik Araştırma ve Uygulama Merkezi (ATASAM) MŸdŸrlŸgŸ'ne, verilerin paylaŐımı konusunda yardım ve katkılarından dolayı ATASAM teknik ekibine ve teknik çalıŐanlarına teŐekkŸr ederim. Ayrıca, manevi olarak emeklerinden ve desteklerinden dolayı, baŐta eŐim olmak Ÿzere aile bireylerimin hepsine ayrı ayrı teŐekkŸr ediyorum.

Bu alıŐma "2011K120230" numaralı Doğu Anadolu GŸzlemevi (DAG) Projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir.

Yavuz GŸNEY

ÖZET

DOKTORA TEZİ

DOĞU ANADOLU GÖZLEMEVİ YERLEŞKESİ ATMOSFERİK GÖRÜŞ ÖLÇÜMLERİ

Yavuz GÜNEY

Danışman: Prof. Dr. Cahit YEŞİLYAPRAK

Amaç: Bu çalışma ile Erzurum Karakaya Tepeleri'nde (3170 m rakımda) kurulmakta olan Doğu Anadolu Gözlemevi (DAG) Yerleşkesi'nin, atmosferik görüş gözlemleriyle atmosferik kalitesinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Yöntem: Farklı aygıtlar ve yöntemlerle atmosferik görüş ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Öncelikle farklı sitemlerle ölçümler ve analizler yapılmış, istatistik sonuçlar elde edilmiştir. İkinci aşamada, bu farklı sistemlerin birbiri ile karşılaştırmalarına yer verilmiştir. Üçüncü aşamada ise atmosferik görüş ölçümlerinin meteorolojik parametrelerle ilişkileri araştırılmıştır.

Bulgular: Elde edilen verilere ve analiz sonuçlarına göre, atmosferik görüş değerini en iyi ve hassas olarak klasik DIMM (Diferansiyel Görüntü Hareket Ölçer, Differential Image Motion Monitor) sistemi vermektedir. Sonrasında sırasıyla CYCLOPE Görüş Ölçer ve SBIG Görüş Ölçer sistemleriyle elde edilen veriler de iyi ve hızlı sonuç verebilmektedir.

Sonuç: Yapılan gözlemler ve analizler sonucunda, DAG Yerleşkesinde ortalama 1" (yaysaniyesi) altında atmosferik görüş değeri bulunmuştur. Bu ortalama değer, birçok gözlemevi yerleşkesinde astronomik gözlem açısından çok iyi olarak kabul edilen değerdir.

Anahtar Kelimeler: Atmosferik Görüş, Atmosferik Çalkantı, DIMM, DAG Görüş Ölçümü, SBIG Görüş Ölçer, CYCLOPE Görüş Ölçer.

Haziran 2021, 113 sayfa

ABSTRACT

DOCTORAL DISSERTATION

THE ATMOSPHERIC SEEING MEASUREMENTS FOR EASTERN ANATOLIA OBSERVATORY SITE

Yavuz GÜNEY

Supervisor: Prof. Dr. Cahit YEŞİLYAPRAK

Purpose: In this study, it was aimed to determine the atmospheric quality of the Eastern Anatolian Observatory (DAG) site, which is being constructed in Erzurum Mount Karakaya (at an altitude of 3170 m), through atmospheric seeing observations.

Method: Atmospheric seeing measurements were carried out with different devices and methods. First of all, measurements and analyzes were made with different systems, and statistical results were obtained. In the second step, comparisons of these different systems with each other are included. In the third stage, the relationships of atmospheric seeing measurements with meteorological parameters were investigated.

Findings: According to the obtained data and analysis results, classical DIMM (Differential Image Motion Monitor) system gives the best and precise atmospheric seeing value. Afterwards, the data obtained with CYCLOPE Seeing Monitor and SBIG Seeing Monitor systems can also give good and fast results.

Results: As a result of the observations and analyzes made, an atmospheric seeing value of less than 1 " (arcsec) was found at the DAG site. This average value is what is considered very good for astronomical observation in many observatory sites.

Keywords: Atmospheric Seeing, Atmospheric Turbulence, DIMM, DAG Seeing Measurement, SBIG Seeing Monitor, CYCLOPE Seeing Monitor.

June 2021, 113 pages

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY TUTANAĞI.....	i
ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
TABLolar DİZİNİ.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
KISALTMALAR VE SİMGELER DİZİNİ	xii
GİRİŞ.....	1
Atmosferik Görüş Ölçüm Yöntemleri.....	3
Kutup yıldızı izi	3
Yarı Maksimum Tam Genişlik (Full Width Half Maximum, FWHM)	3
Diferansiyel Görüntü Hareket Ölçer (Differential Image Motion Monitor, DIMM).....	4
Atmosfer ve Işık Ölçümü (Fotometri).....	4
Fried Parametresi	6
Atmosferik Çalkantı	8
KURAMSAL TEMELLER.....	14
Sarazin ve Roddier DIMM Prensibi.....	14
Tokovinin DIMM Prensibi.....	17
DIMM Hata Hesabı.....	20
Çok Açıklıklı Kırpışma Alıcısı (The Multi - Aperture Scintillation Sensor, MASS).....	21
MASS sisteminin çalışma prensibi	26
İlk MASS aleti	29
Çok Açıklıklı Kırpışma Alıcısı - Diferansiyel Görüntü Hareket Ölçer (The Multi Aperture Scintillation Sensor - Differential Image Motion Monitor, MASS - DIMM) .	31
MASS - DIMM kullanımı.....	33
SBIG Görüş Ölçer	35
CYCLOPE Görüş Ölçer	38
MATERYAL VE YÖNTEM	42
Materyal	42
DIMM	43
SBIG Görüş Ölçer	48

CYCLOPE Görüş Ölçer	52
Meteorolojik aletler	54
Yöntem	56
DIMM'in çalışma prensibi	56
SBIG Görüş Ölçer'in çalışma prensibi	59
CYCLOPE Görüş Ölçer'in çalışma prensibi	59
ARAŞTIRMA BULGULARI	60
DIMM Sisteminden Elde Edilen Bulgular	60
SBIG Görüş Ölçer Sisteminden Elde Edilen Bulgular	72
CYCLOPE Görüş Ölçer Sisteminden Elde Edilen Bulgular	80
DIMM - SBIG Görüş Ölçer Sonuçlarının Karşılaştırılması	86
DIMM - CYCLOPE Görüş Ölçer Sonuçlarının Karşılaştırılması	88
SBIG - CYCLOPE Görüş Ölçer Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	90
DIMM - SBIG - CYCLOPE Görüş Ölçer Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	92
TARTIŞMA VE SONUÇ	96
KAYNAKLAR.....	104
EKLER	110
EK 1. Dünyadaki Gözlemevleri Karşılaştırılması.....	110
ÖZGEÇMİŞ.....	113

TABLolar DİZİNİ

Tablo 1. Atmosferik Görüş ile İlgili Miktarlar	24
Tablo 2. Bazı Teleskoplar için MASS - DIMM Optik Parametreleri.....	33
Tablo 3. SBIG Görüş Ölçer’de Kullanılan CCD Kameranın Özellikleri	36
Tablo 4. DMK 23GP031 Alıcı Özellikleri.....	39
Tablo 5. DIMM Gözlemlerinde Kullanılan Teleskobun Özellikleri	43
Tablo 6. DIMM Gözlemlerinde Kullanılan Stellacam III Özellikleri	47
Tablo 7. DIMM Gözlemlerinde Kullanılan Kamera Yonga Özellikleri.....	47
Tablo 8. Pinnacle Video Yakalama Kartı Özellikleri	47
Tablo 9. Logilink Video Yakalama Kartı Özellikleri	48
Tablo 10. AWS Özellikleri	55
Tablo 11. Vaisala Özellikleri	55
Tablo 12. DAVIS Vantage Pro2 Özellikleri	56
Tablo 13. DIMM: Görüntü Sayısına Bağlı Olarak Yüzde Hata	60
Tablo 14. DIMM: Görüntü Sayısına Bağlı Olarak Maliyet Değerleri.....	62
Tablo 15. DIMM: 07 Kasım 2018 Tarihindeki İstatiksel Sonuçlar	64
Tablo 16. SBIG Görüş Ölçer: 20 Şubat 2018 Tarihindeki İstatiksel Sonuçlar	73
Tablo 17. CYCLOPE Görüş Ölçer: 25 Eylül 2017 Tarihindeki İstatiksel Sonuçlar	80
Tablo 18. DIMM - SBIG Görüş Ölçer: 24 Şubat 2018 Tarihindeki Karşılaştırmalı İstatiksel Sonuçlar	86
Tablo 19. DIMM - CYCLOPE Görüş Ölçer: 07 Ocak 2018 Tarihindeki Karşılaştırmalı İstatiksel Sonuçlar	88
Tablo 20. SBIG - CYCLOPE Görüş Ölçer: 17 Mart 2018 Tarihindeki Karşılaştırmalı İstatiksel Sonuçlar	90
Tablo 21. DIMM - SBIG - CYCLOPE Görüş Ölçer: 23 Şubat 2018 Tarihindeki Karşılaştırmalı İstatiksel Sonuçlar	92
Tablo 22. Sistemlerin Genel Atmosferik Görüş İstatiksel Sonuçları.....	97
Tablo 23. Sistemlerin Genel Fried Parametresi İstatiksel Sonuçları	97
Tablo 24. Sistemlerin Normallik Analiz Sonuçları	98
Tablo 25. Sistemlerin Spearman Korelasyon Katsayısı Sonuçları	98

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Atmosfere giren ışığın kırılması (https://web.itu.edu.tr/~kkocak/optik.htm)	1
Şekil 2. Noktasal kaynağın atmosferik görüş altındaki görünümü	5
Şekil 3. Atmosferik çalkantı etkisi	7
Şekil 4. Atmosferik çalkantı görüntü boyutu	7
Şekil 5. Düzlem dalgaların atmosferik çalkantı bölgesinden geçtikten sonraki durumu	8
Şekil 6. Işınlardan atmosferik çalkantıdan dolayı odaklanamaması	9
Şekil 7. Atmosfer katmanları tarafından yaratılan atmosferik çalkantı.....	10
Şekil 8. Teleskobun odağında oluşacak görüntü büyüklüğü.....	11
Şekil 9. Kolmogorov atmosferik çalkantı gösterimi	12
Şekil 10. Kolmogorov atmosferik çalkantı enerjisinin frekansla değişimi	12
Şekil 11. Kolmogorov atmosferik çalkantı enerji aktarımı	12
Şekil 12. Zenit uzaklığı	18
Şekil 13. DIMM: Atmosferik görüş - Standart sapma	19
Şekil 14. DIMM: Atmosferik görüş - Fried parametresi.....	19
Şekil 15. Zayıf kırılma (atmosferik görüş 0,2") - Güçlü kırılma (atmosferik görüş 1")	25
Şekil 16. Kırılmanın radyal olarak ortalama güç spektrumu	26
Şekil 17. MASS'in çalışma prensibi	27
Şekil 18. MASS'in kırılma indekslerine karşılık diyafram kombinasyon indeksleri	28
Şekil 19. MASS sisteminde kullanılan alıcı kutusunun fotoğrafı	29
Şekil 20. MASS sisteminde kullanılan alıcının iç tasarımı	30
Şekil 21. MASS verilerinin indirgenmesi için algoritma	30
Şekil 22. MASS - DIMM aygıtının optik düzeni	31
Şekil 23. MASS - DIMM aygıtının detayları	32
Şekil 24. SBIG Görüş Ölçer otomatik ünite görüntüsü.....	35
Şekil 25. SBIG Görüş Ölçer: FWHM - Fried parametresi	37
Şekil 26. SBIG Görüş Ölçer: FWHM - Atmosferik görüş.....	37
Şekil 27. CYCLOPE Görüş Ölçer sıcaklık ve nem değeri göstergesi.....	38
Şekil 28. CYCLOPE Görüş Ölçer tarafından kullanılan kamera	39
Şekil 29. CYCLOPE Görüş Ölçer alıcının dalgaboyu - kuantum verimliliği	40
Şekil 30. CYCLOPE Görüş Ölçer alıcının dalgaboyu - kuantum verimliliği (yeşil renk).....	40
Şekil 31. CYCLOPE Görüş Ölçer: Atmosferik görüş - Fried parametresi	41
Şekil 32. DIMM ölçümlerinde kullanılan teleskop sistemi.....	43
Şekil 33. DIMM sisteminde kullanılan açılır - kapanır çatı sistemi.....	44

Şekil 34. DIMM sistemi tasarımı	44
Şekil 35. DIMM sistemi Hartmann maskesi	45
Şekil 36. DIMM sistemi örnek görüntüsü	46
Şekil 37. DIMM sistemi enine ve boyuna yönler arasındaki farkın gösterimi.....	46
Şekil 38. SBIG Görüş Ölçer'in DAG Yerleşkesindeki görüntüsü	48
Şekil 39. SBIG Görüş Ölçer'in kutup yıldızına hizalanmasıyla alınan görüntü	49
Şekil 40. SBIG Görüş Ölçer kutup yıldızının bir gece gece boyunca dairesel hareketi.....	49
Şekil 41. SBIG Görüş Ölçer ile indirgeme yapıldıktan sonraki görüntü	51
Şekil 42. CYCLOPE Görüş Ölçer'in DAG Yerleşkesindeki görüntüsü	52
Şekil 43. CYCLOPE Görüş Ölçer ile kaydedilen örnek veri seti	53
Şekil 44. CYCLOPE Görüş Ölçer ile kaydedilen son örnek veri seti.....	53
Şekil 45. CYCLOPE Görüş Ölçer ile atmosferik görüşün örnek çıktısı (motion).....	53
Şekil 46. CYCLOPE Görüş Ölçer ile atmosferik görüşün örnek çıktısı (results).....	54
Şekil 47. AWS meteoroloji aletinin görüntüsü	54
Şekil 48. Vaisala meteoroloji aletinin görüntüsü	55
Şekil 49. DAVIS Vantage Pro2 meteoroloji sisteminin görüntüsü.....	56
Şekil 50. DIMM gözlemi akış diyagramı	58
Şekil 51. DIMM: Maliyet fonksiyonu akış diyagramı	61
Şekil 52. DIMM: İlk noktanın maliyeti.....	62
Şekil 53. DIMM: Görüntü sayısı - Atmosferik görüş hatası	63
Şekil 54. DIMM: Fried parametresi (X) - Fried parametresi (Y).....	65
Şekil 55. DIMM: Atmosferik görüş (X) - Atmosferik görüş (Y).....	66
Şekil 56. DIMM: Atmosferik görüş ($\leq 2''$) - Atmosferik görüş hatası	67
Şekil 57. DIMM: Atmosferik görüş ($\leq 5''$) - Atmosferik görüş hatası	67
Şekil 58. DIMM: Fried parametresi - Fried parametresi hatası (fit) (JD: 2458172).....	68
Şekil 59. DIMM: Atmosferik görüş - Frekans	69
Şekil 60. DIMM: Aylar - Atmosferik görüş.....	70
Şekil 61. DIMM: Atmosferik görüş (JD: 2458172)	71
Şekil 62. DIMM: Atmosferik görüş – Rüzgar Hızı ve Nem (JD:2458172).....	72
Şekil 63. SBIG Görüş Ölçer: Poz süresi - Atmosferik görüş	74
Şekil 64. SBIG Görüş Ölçer: Atmosferik görüş - Frekans.....	75
Şekil 65. SBIG Görüş Ölçer: Aylar - Atmosferik görüş	76
Şekil 66. SBIG Görüş Ölçer: Atmosferik görüş (JD: 2458172)	77
Şekil 67. SBIG Görüş Ölçer: Işık eğrisi	78
Şekil 68. SBIG Görüş Ölçer: Aletsel parlaklık	78

Şekil 69. SBIG Görüş Ölçer: Zaman - Atmosferik görüş, Sıcaklık, Nem ve Rüzgâr hızı (JD:2458169)	79
Şekil 70. SBIG Görüş Ölçer: Zaman - Atmosferik görüş, Sıcaklık, Nem ve Rüzgâr hızı (JD:2458172)	79
Şekil 71. CYCLOPE Görüş Ölçer: Atmosferik görüş - Standart sapma (x yönünde) (fit)	81
Şekil 72. CYCLOPE Görüş Ölçer: Atmosferik görüş - Standart sapma (y yönünde) (fit)	81
Şekil 73. CYCLOPE Görüş Ölçer: Atmosferik görüş - Frekans.....	82
Şekil 74. CYCLOPE Görüş Ölçer: Atmosferik görüş - Frekans (JD:2458073)	83
Şekil 75. CYCLOPE Görüş Ölçer: Aylar - Atmosferik görüş	83
Şekil 76. CYCLOPE Görüş Ölçer: Atmosferik görüş (JD: 2458005)	84
Şekil 77. CYCLOPE Görüş Ölçer: Ay'ın günlük yüksekliği - Atmosferik görüş	85
Şekil 78. DIMM: Atmosferik görüş - SBIG Görüş Ölçer: Atmosferik görüş (zaman farkı ile)	87
Şekil 79. DIMM: Atmosferik görüş - SBIG Görüş Ölçer: Atmosferik görüş.....	87
Şekil 80. DIMM: Atmosferik görüş - CYCLOPE Görüş Ölçer: Atmosferik görüş (zaman farkı ile)	89
Şekil 81. DIMM: Atmosferik görüş - CYCLOPE Görüş Ölçer: Atmosferik görüş.....	89
Şekil 82. SBIG Görüş Ölçer: Atmosferik görüş - CYCLOPE Görüş Ölçer: Atmosferik görüş (zaman farkı ile).....	91
Şekil 83. SBIG Görüş Ölçer: Atmosferik görüş - CYCLOPE Görüş Ölçer: Atmosferik görüş	91
Şekil 84. DIMM - SBIG - CYCLOPE karşılaştırılması (JD:2458173).....	93
Şekil 85. DIMM - SBIG - CYCLOPE: Zaman - Ortanca Atmosferik görüş (JD:2458172)....	94
Şekil 86. DIMM - SBIG - CYCLOPE: Zaman - Ortanca Atmosferik görüş	94
Şekil 87. DIMM - SBIG - CYCLOPE: Yılın günlerine göre ortanca Atmosferik görüş	95
Şekil 88. Rakım - En küçük atmosferik görüş	99
Şekil 89. Rakım - Ortanca atmosferik görüş	100
Şekil 90. Platform yüksekliği - En küçük atmosferik görüş	101
Şekil 91. Platform yüksekliği - Ortanca atmosferik görüş	101

KISALTMALAR VE SİMGELER DİZİNİ

Kısaltmalar

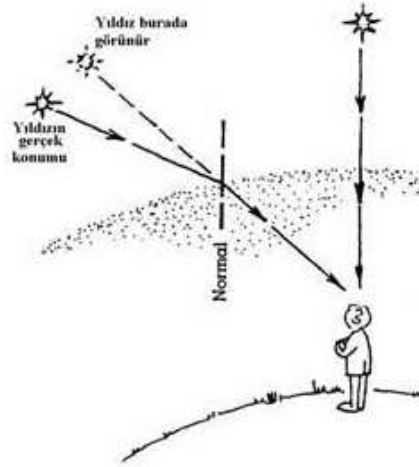
AO	: Adaptive Optics (Adaptif Optik)
AVI	: Audio Video Interleave (Ses Görüntü Birleşimi)
CCD	: Charge - Coupled Device (Yük Çiftlenimli Aygıt)
DAG	: Eastern Anatolia Observatory (Doğu Anadolu Gözlemevi)
DIMM	: Differential Image Motion Monitor (Diferansiyel Görüntü Hareket Ölçer)
ESO	: European Southern Observatory (Güney Avrupa Gözlemevi)
FITS	: Flexible Image Transport System
FL	: Fabry Lens
FoV	: Field of View (Görüş Alanı)
FWHM	: Full Width at Half Maximum (Yarı Maksimum Tam Genişlik)
GSM	: Generalized Seeing Monitor (Genelleştirilmiş Görüş Ölçer)
K	: Zernice Tilt (Zernike Eğimi)
MASS	: The Multi - Aperture Scintillation Sensor (Çok Açıklıklı Kırpışma Alıcısı)
MASS - DIMM	: The Multi - Aperture Scintillation Sensor - Differential Image Motion Monitor (Çok Açıklıklı Kırpışma Alıcısı - Diferansiyel Görüntü Hareket Ölçer)
PMT	: Photomultiplier Tubes (Foto Çoklayıcı Tüp)
PSF	: Point Spread Function (Noktasal Dağılım Fonksiyonu)
RMS	: Root Mean Square (Karekök Ortalama)
SBIG	: Santa Barbara Instrument Group
SCIDAR	: Scintillation Detection and Ranging (Kırpışma Tespiti ve Değişimi)
SLODAR	: Slope Detection and Ranging (Eğim Tespiti ve Değişimi)
SPSS	: Statistical Package for the Social Sciences (Sosyal Bilimler için İstatistik Programı)
SM	: Seeing Monitör (Görüş Ölçer)
SQL	: Structured Query Language Seeing Monitör (Yapılandırılmış Sorgu Dili)
TP	: Turbulance Profile (Çalkantı/Türbülans Profili)
TUG	: TÜBİTAK National Observatory (TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi)
UV	: Ultraviolet (Ultraviyole)
WFs	: Wavefront Sensor (Dalga Cephesi Alıcısı)

Simgeler

"	: Açısaniyesi
λ	: Dalgaboyu
r_0	: Fried parametresi/yarıçapı
vd	: Geçerli veri (Valid data)
fn	: Görüntü sayısı (Frame number)
z	: Gözlenen yıldızın zenit uzaklığı
d	: Hartmann maskesinin deliklerinin merkezleri arasındaki mesafe
D	: Hartmann maskesinin deliklerinin delik çapı
θ_0	: İsoplanatik açı
p	: İstatiksel anlamlılık (statistical significance)
m	: Kadir
km	: Kilometre
r	: Korelasyon katsayısı (correlation coefficient)
m	: Metre
m ²	: Metrekare
μm	: Mikrometre
σ_m^2	: Varyans

GİRİŞ

Gökcisimlerinden gelen tek ve net bilgi kaynağı onların ışıkları yani elektromanyetik ışımlarıdır. Gökcisimlerinden gelen ışık, atmosferin farklı katmanlarını geçerken saçılmalara ve soğurulmalara uğrayarak, etkilenir ve sönümlenir. Bu yüzden, astronomik gözlemlerde atmosfer çok önemlidir. Çeşitli atmosferik nicelikler (hava molekülleri, toz, bulut vb.), Güneş ışınlarını ilerleme doğrultusundan saptırır ve bütün yönlerde yansımaya ve saçılmaya neden olur. Örneğin; bulutlar optik olarak kalındır ve önemli miktarda Güneş ışığının saçılmasına neden olur. Bir bulut büyüdükçe yansıttığı Güneş ışığının yüzdesi artarken; geçirdiği ışığın oranı da azalır. Saçılma süreci, genellikle ortamdaki herhangi bir enerji kaybına veya kazanımına neden olmaz. Dolayısıyla, saçılma süreci esnasında sıcaklık değişmez. Güneş'in ısısal radyasyonu, gündüz boyunca Dünya tarafından soğurulur ve gece salınır veya yayılır. Bu nedenle, yere temas eden hava gündüz ısınır ve gece ise büyük bir oranda soğur. Yer tabakası, kötü atmosferik görüşten (seeing) etkilenir. Bu kuvvetli etki, yerelde yer yüzeyi niteliğine bağlıdır. Atmosfer tabakaları arasında sıcaklığın ve yoğunluğun farklı olması sonucu kaynaktan gelen ışık, atmosfer boyunca farklı kırılma indislerine maruz kalır. Az yoğun bir ortamdan daha yoğun bir ortama giren ışığın hızı azalır. Eğer ışık ortama bir açıyla girerse, ilerleme doğrultusunu değiştirir veya kırılır. Kırılma, ortamın yoğunluğu ve ışığın bu ortama giriş açısına bağlıdır. Işığın atmosferde uğramış olduğu kırılma, çeşitli görsel olaylara neden olur. Örneğin; gece tam tepe noktamızdaki (zenit) bir yıldızın ışığı herhangi bir kırılmaya neredeyse uğramaz ancak herhangi bir açıyla atmosfere giren başka bir yıldızın ışığı kırılarak ilerleme doğrultusunu değiştirir ve kırılmaya uğrar.



Şekil 1. Atmosfere giren ışığın kırılması (<https://web.itu.edu.tr/~kkocak/optik.htm>)

Yıldız ışığı daha yoğun bir ortama girdiği için kırılan ışığın yaptığı açı normale yaklaşmaktadır. Kırınımına uğramış yıldız ışığı bize ulaştığında, yıldızı gerçek konumundan

daha yüksek bir noktadaymış gibi görünür (Şekil 1). Yıldız ışığı atmosfere girdiğinde, farklı yoğunluklarda atmosfer katmanlarından geçer. Her bir katman gelen yıldız ışığının farklı oranda kırılmasına, yani yıldızın görünen konumunun sürekli olarak değişmesine neden olur. Bu, yıldız ışığının titreyerek (yanıp söner veya göz kırpar şekilde) görünmesine neden olur.

Gökcisimlerinin görüntüleri atmosferdeki atmosferik çalkantı (türbülans) hareketleri nedeniyle bozulmalara uğrar. Yer atmosferindeki tabakaların farklı kırılma indisleri yüzünden oluşan rastgele dalgalanmalar, alınan görüntüyü bozar. Bu bozulmaların bir bölümü, gözlenen cismin görünen büyüklüğünde ya da konumunda küçük değişimler şeklinde gerçekleşir. Astronomide bu şekilde gerçekleşen bozulmalar, atmosferik görüş kavramı olarak ele alınır. Diğer bir tür bozulma ise gökcisminin görünür parlaklığında yine sadece atmosferik çalkantı hareketlerinden kaynaklanan değişimlerdir. Bu şekilde gerçekleşen bozulmalar ise kırpışma (sintilasyon) olarak adlandırılır. Gözlenen gökcisminin parlaklığındaki hızlı değişim nedeniyle gökcismi, kırpışıyor gibi görünür. Belirli bir yerin atmosferik çalkantılı hava modeli için, atmosferik görüş parametresi önemlidir. Atmosferik görüş, bir astronomik gözlem sırasında atmosferik koşulların, gökyüzünde birbirine yakın iki nokta kaynağın birbirinden ayrı olarak gözlenebilmesine ne kadar izin verdiğinin bir ölçüsüdür (Ak vd. 2006).

Atmosferde yere yakın bölgeler, atmosferik çalkantının en yoğun yaşandığı yerlerdir. Atmosferdeki hava ısındıkça yükselir. Açık hava koşullarında atmosferik görüşün etkisi öğle zamanlarında maksimum, günbatımı ve gün doğumunda ise çok daha azdır. Güneş'in yeryüzünü ısıtması ve gece de ısının yeryüzünden uzaklaşması aynı etkiyi yapar. Farklı elementler ve cisimler, ısı alışverişini farklı şekilde ve oranda yaparlar. Bu nedenle, gözlem yapmak için fazla coğrafik ve jeolojik farklılık göstermeyen yerler tercih edilir.

Bir gözlemevinin astronomik niteliğini esas olarak açık gece sayısı, atmosferik görüş, atmosfer sönümlenme katsayısı, rüzgâr hızı, görelî nem ve gece sıcaklık değişimi belirler (Aslan vd. 2004). Gözlemevlerinde iyi görüş değerlerini elde etmek için atmosferik görüş kalitesinin çok iyi olması gerekir. Öyle ki; kullanılan teleskobun açıklığı ne kadar büyük ve optik kalitesi ne kadar iyi olursa olsun, açısal ayırma gücünün ulaşabileceği sınır vardır. Atmosferik görüş kötü ise gökcisimleri bulanık ve karışmış halde görünür. Atmosferdeki bu hareketlenmeler atmosferik çalkantı (türbülans) olarak adlandırılır. Dünya'nın bilinen bütün iyi gözlemevleri, ısı değişim ve atmosferik çalkantı katmanlarının üzerinde, düşük nem oranına sahip, etkin rüzgârların olmadığı yüksek dağ tepelerine kurulmuştur.

Atmosferde ışığın yayılması, optik, kızılötesi ve radyo dalga boylarında yer tabanlı astronomi performansını sınırlayan önemli faktörlerden biridir. Teleskopların yeri genellikle iyi atmosferik görüş koşullarını sağlayan yerlerde seçilir. Yüksek rakımlı gözlemevlerinin

tamamında atmosferik ve astronomik cihazlarla atmosfer özellikleri araştırılmaktadır. Bunun nedeni ise yüksek rakımda atmosferin kırılma ve atmosferik çalkantı hareketlerinin daha baskın olmasından dolayıdır. Atmosferik görüş ölçümleri, sadece gözlemevi yer seçimleri için değil, çalışan teleskopların performansı için de yapılmak zorundadır.

Atmosferik Görüş Ölçüm Yöntemleri

Atmosferik görüş değerini ölçmenin en yaygın üç yöntemi, Kutup Yıldızı İzi, Yarı Maksimum Tam Genişlik (Full Width at Half Maximum, FWHM) hesaplama ve Diferansiyel Görüntü Hareket Ölçer (Differential Image Motion Monitor, DIMM) gözlemleridir.

Kutup yıldızı izi

Geçmişte gözlemevi yerleşkesi seçiminde yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Fotoğraf makinesi ile elde edilen görüntüler kullanılmış olup; fotoğraf makinesi ile Kutup Yıldızı görüntüsünün izinin kullanıldığı yöntemdir. Fotoğraf makinesi ile elde edilen görüntüler için uzun poz süreleri verilmesi gerektiğinden, atmosferik görüş değerlerinin hataları da büyük olmaktadır. Sonrasında ise fotoğraf filmi yerine sayısal algılayıcı kullanılmış ve daha güvenilir sonuçlar elde edilmiştir. Sabit bir teleskop kullanılarak, Kutup Yıldızı'nın Dünya'nın dönüşü ile oluşan izine bakılır. Kutup Yıldızı'nın izinin inceliği veya kalınlığı üzerinden ölçüm yapılmaktadır. Kutup Yıldızı'nın görüntüde oluşturduğu iz ne kadar ince ise atmosferik görüş de o kadar küçük, dolayısıyla o kadar iyidir.

Bu yöntem için kullanan aygıtlardan biri Santa Barbara Instrument Group (SBIG) firması tarafından geliştirilen SBIG Görüş Ölçer (SBIG Seeing Monitor, SBIG) aygıtıdır. Bu yöntemde, Kutup Yıldızı'ndan başka yıldızlar da kullanılabilir fakat özellikle Kutup Yıldızı'nın kullanılmasının nedeni, gece boyunca konumunun çok değişmemesidir. Görüş Ölçer aygıtı yardımıyla çok uzun poz süresi verilmemesi bir avantaj olarak değerlendirilebilir.

Yarı Maksimum Tam Genişlik (Full Width Half Maximum, FWHM)

Kutup Yıldızı izi yönteminin aksine FWHM ölçümleri, gözlemevi kurulmadan önce pek yapılabilir değildir; çünkü çoğunlukla gerçek gözlemsel verilerden elde edilen bir değerdir. Gözlemevi'nde kullanılan teleskopla gözlem yapılırken, alınan yıldız görüntülerinin kullanılması ile elde edilir. Görüntülerdeki doymamış (unsaturated) parlak yıldızların FWHM değerlerinin ortalaması, o gecenin atmosferik görüş değerini verir.

Diferansiyel Görüntü Hareket Ölçer (Differential Image Motion Monitor, DIMM)

Teleskobun odağında oluşan görüntü üzerinde, teleskop titreşimlerinin neden olduğu hareket hataları, takip hatalarından ve rüzgârdan dolayı oluşan sallantılardan dolayı; sahte etkiler ortaya çıkmaktadır. Buna karşın, DIMM sistemiyle, teleskop titreşiminden daha büyük frekanslarda kayıt yapıldığından, teleskop titreşimlerinden etkilenmez. Dolayısıyla atmosferik çalkantı tarafından üretilen diferansiyel görüntü hareketini belirlemenin en etkin yolu, DIMM sistemidir (Sarazin and Roddier 1990; Tokovinin 2002a). DIMM, teleskop üzerindeki hava kolonundaki atmosferik görüşü ölçer.

DIMM, esas olarak bir teleskobun açıklığına yerleştirilmiş “Hartmann Maskesi”nin iki dairesel deliği arasındaki dalga cephesinin eğim farkını ölçer (Sarazin and Roddier 1990; Tokovinin 2002a). DIMM yönteminde yıldızdan gelen ışık bir Hartmann maskesinin iki deliğinden geçerek alıcı üzerine düşürülür. Ancak deliklerden birinde bulunan optik kama bu delikten geçen yıldız ışığını optik eksenden bir miktar saptırır. Bu işlem odak düzleminde aynı yıldızın iki ayrı görüntüsünün oluşmasını sağlar. Böylece takip sistemi ve teleskop sallantılarından kaynaklanan görüntü hareketleri her iki görüntüyü aynı şekilde etkilerken, atmosferik çalkantıdan kaynaklanan etkiler yıldız görüntülerinin göreceli hareketine sebep olur (Bally et al. 1996). Ayrılmış iki yıldız görüntüsü arasındaki mesafenin değişimine diferansiyel görüntü hareketi denir ve bu mesafenin ölçümünden Fried Parametresi hesaplanabilir (Sarazin and Roddier 1990).

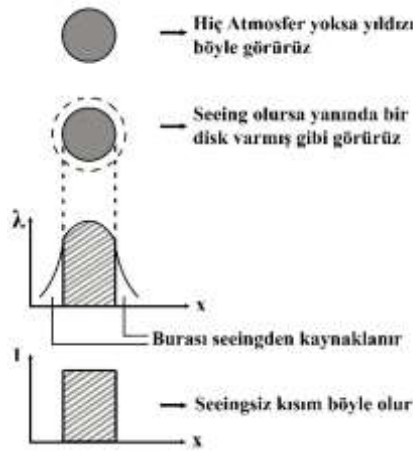
DIMM sistemi, karşılaştırmalı bir metot olduğundan teleskop takip hatalarını otomatik olarak çıkarması, rüzgârdan etkilenmemesi, teleskobun optik kalitesinin önemli olmaması (sadece dairesel nokta kaynak görüntü gereklidir, koma etkisinin olmadığı bir teleskop yeterlidir), aynı yıldızın iki farklı görüntüsü ile iki istatistiksel hatasını vermesi, dalga boyuna bağlı olmaması ve amatör alıcılarda bile kolay uygulanabilir olması gibi avantajlara sahiptir. Ancak, güçlü çalkantı, DIMM tarafından ölçülen atmosferik görüşü olumsuz etkilemektedir. DIMM sistemi, profil oluşturma gibi yeteneklere sahip olmadığı için bunu düzeltemez. Ek olarak, DIMM, her Fried parametresi ölçümünde mevcut olan gürültüyü doğrudan tahmin edemez. Yani, ölçülen atmosferik görüşte, gürültünün etkisi vardır.

Atmosfer ve Işık Ölçümü (Fotometri)

Yer atmosferi, yaşamın temel unsuru olsa bile astronomi için önemli sorunlar yaratmaktadır. Bu sorunlar, sadece bulutlar ve ışık kirliliğinden kaynaklanmamaktadır. Uygun gözlemevi konumu seçtiğimizde, bu sorunlardan kısmen kurtulabiliriz. Atmosferden kaynaklanan sorunları 5 ana başlık altında özetleyebiliriz:

1) Atmosfer Penceresi: Atmosfer, elektromanyetik tayfın belli bölgelerinde geçirgen olmasına rağmen, bu bölgelerde bile tam (%100) geçirgen değildir. Atmosferin geçirgen olduğu dalgaboyu aralıklarına, atmosfer penceresi adı verilir.

2) Atmosferik Görüş: Gök cisimleri, atmosferin yapısı ve oluşturduğu etkiler nedeniyle, gerçek parlaklık değerlerinden daha sönük ve titrek görünmektedirler. Atmosferik görüşün etkisi, yaygın kaynaktan işi bulanıklaştırmaktadır. Örneğin; gezegen gözlemi yapıyorsak, atmosferik görüşten dolayı gezegenin kenarlarını göremeyiz. Noktasal kaynak olduğu zaman, kaynağı yaygın görmemize (Şekil 2) neden olmaktadır. Atmosferik görüş, mikro düzeyde iklim ve yakın çevreden etkilenmektedir.



Şekil 2. Noktasal kaynağın atmosferik görüş altındaki görünümü

3) Gökyüzü Parlaklığı: Şehirden uzak karanlık bölgelerde bile gökyüzü, atmosferik olaylar nedeniyle parlamaktadır. Gökyüzü parlaklığı, şehir ışıklarının atmosfer tarafından saçılmasından dolayı hem artmaktadır hem de sinyal/gürültü (S/N) değerinin düşmesine neden olmaktadır. Yıldızlardan alınan sinyal, gürültü içinde kaybolmaktadır ve bu yıldızların gözlenmelerini zorlaştırmaktadır.

4) Atmosferik Sönümlenme: Atmosfer, bütün dalgaboylarından gelen ışığın bir miktarını soğururken, bir miktarını da saçmaktadır ve gökcisimlerinin ışığını azaltmaktadır. Atmosferin bu etkisine, atmosferik sönümlenme adı verilmektedir. Saçılma etkisi, kısa dalgaboylarında (mavi) maksimum olmaktadır (gökyüzünün mavi görünmesi ve gözlemlerde en fazla B bandının etkilenmesi gibi).

5) Atmosferik Kırılma: Atmosfer, gök cisimlerinden gelen ışığın yönünü değiştirmektedir. Kırılma adını verdiğimiz bu olay, bütün dalgaboylarında gelen ışığın, farklı miktarda etkilenmesine neden olmaktadır.

Bu etkilerin yanı sıra;

- kuvvetli rüzgârlar; özellikle hafif teleskopların sallanmasına,
- yüksek nem; teleskobun aynası üzerinde su damlacıkları şeklinde yoğunlaşmaya,
- özellikle gece çok zor hissedilen bulutlar; ışığın değişen miktarlarda engellenmesine,
- toz ve kir; saçılmaya yol açarak gözlem kalitesinin düşmesine,

neden olmaktadır. Bu etkiler, gözlemlerin istenilen duyarlılıkta yapılmasını engellemektedir.

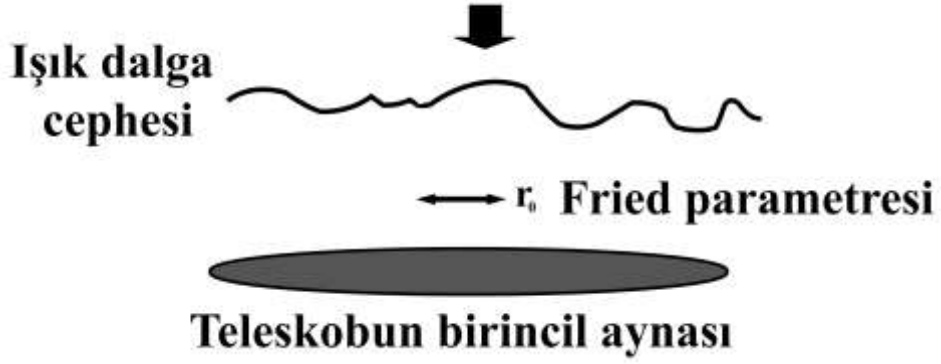
Fried Parametresi

Atmosferin bir teleskobun performansı üzerindeki etkisini açıklamak için Astronomi’de yaygın olarak kullanılan birkaç şekil vardır. En yaygın kullanılan, Fried parametresidir. Atmosferin bozucu etkisi, Fried Teorisi’ne göre (1965), belli bir andaki atmosferik görüş değerini sağlayacak ayırma gücüne sahip bir teleskobun çapı olarak Fried parametresi veya yarıçapı (r_0) ile ifade edilmektedir. Fried Parametresi, atmosferik görüş etkilerini tanımlamaktadır. Bu parametre, küçük bir teleskoptaki yıldız görüntüsünün hareketinden rahatlıkla ölçülebilmektedir (Tokovinin 2002a). Bir teleskobun ayırma gücünü belirleyen, teleskobun çapı ve atmosferik görüş değeridir. Teleskobun çapı büyüdükçe ayırma gücü artmasına rağmen; atmosferik görüş değerinin izin verdiğiinden daha iyi ayırma gücüne sahip olamaz. Bu nedenle Fried Parametresi, bir gözlemevi yerleşkesindeki atmosferik koşulların en iyi olduğu andaki ayırma gücüne sahip teleskobun çapını verir. Bu sayede, görüntü hareketi ölçümlerinden görüş değerleri belirlenebilir.

Teleskop odağındaki yıldız görüntüsünün büyüklüğü ile Fried parametresi arasındaki ilişki Eşitlik 1’de verilmektedir.

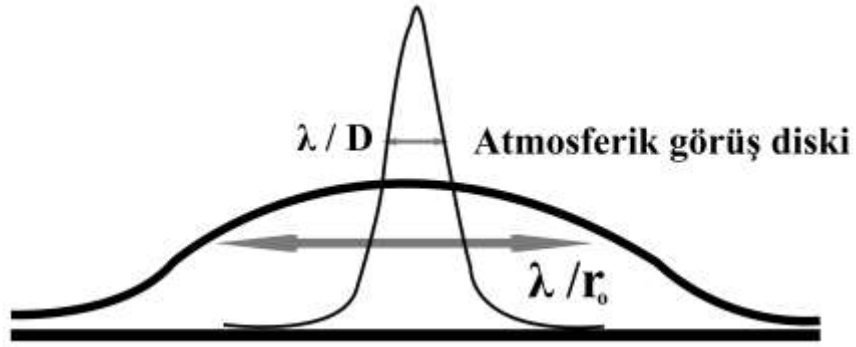
$$FWHM = 0,98 \frac{\lambda}{r_0} \quad (1)$$

Atmosferik çalkantı gücü, Şekil 3’de gösterildiği gibi, r_0 miktarı ile karakterize edilmektedir.



Şekil 3. Atmosferik çalkantı etkisi

Atmosferik çalkantının görüntü boyutu üzerindeki etkisi Şekil 4’de gösterilmektedir.



Şekil 4. Atmosferik çalkantı görüntü boyutu

Teleskobun çapı ile r_0 arasında $r_0 \ll D$ olmalıdır. Nokta kaynak olduğu zaman görüntü boyutu $\lambda / r_0 \gg \lambda / D$ olmalıdır. r_0 , aynı açısal çözünürlüğe sahip atmosferik görüşün görüntüsü ve kırınım görüntüsü için dairesel göz merceğinin çapıdır. r_0 , büyük olduğunda atmosferik görüş iyi olmaktadır. Bundan dolayı, bir yerleşkede Fried parametresinin büyük olması istenmektedir. İyi bir gözleminde $r_0 \sim 25$ cm civarındadır. Örneğin; 5000 Angstrom’da yapılan bir gözleminde ve $r_0 = 10$ cm olması durumunda, atmosferik görüş değeri 1" olmaktadır.

Fried parametresini hesaplamak için, atmosferdeki dikine ve yatay atmosferik çalkantının neden olduğu hareketleri bilmek ve odak düzleminde oluşan görüntünün merkezi koordinatlarını belirlemek gerekmektedir. Teleskobun hareket etmediği ve hassas bir takip yaptığı varsayılmaktadır. Odak düzleminde oluşan görüntü hareketinin standart sapması Eşitlik 2 ile verilmektedir.

$$\sigma^2 = 0,373 FWHM^2 \left(\frac{r_0}{D} \right)^{1/3} \quad (2)$$

Görüntüde meydana gelen toplam standart sapma hem teleskobun titreşiminden hem de atmosferik çalkantıdan kaynaklanmaktadır ve Eşitlik 3 ile verilmektedir.

$$\sigma_{toplam}^2 = \sigma_{titreşit}^2 + \sigma_{teleskop}^2 \quad (3)$$

Atmosferik çalkantı için kabul edilen standart Kolmogorov (1941) modeline göre, odak düzleminde meydana gelen görüntü hareketi Eşitlik 4 ile ifade edilmektedir.

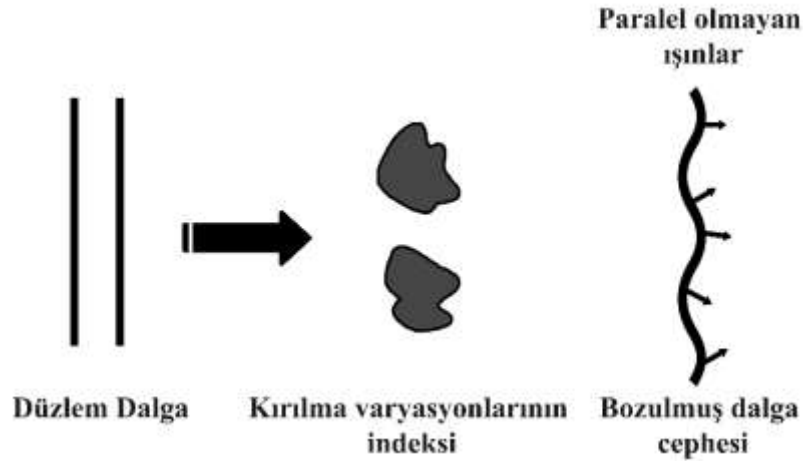
$$\sigma_{l/t}^2 = \sigma^2 \left[1 - k(l/t)(D/d)^{1/3} \right] \quad (4)$$

Burada, l bakış doğrultusuna göre yatay atmosferik çalkantıyı, t ise dikey atmosferik çalkantıyı temsil etmektedir. $(D/d) \leq 0,5$ olduğu durumlar için k(l) ve k(t) katsayıları k(l) = 0,541 ve k(t) = 0,810 olarak verilmektedir (Sarazin and Roddier 1990). Bu şekilde l ve t için iki ayrı r_0 parametresi elde etmek mümkündür. İdeal koşullarda iki değer de aynı olması beklenmektedir.

Atmosferik Çalkantı

Atmosferik çalkantı, Latince turbare – dönmek, şaşmak anlamını taşıyan bir sıvı ya da gazın hareket halindeki düzensizliğidir. Atmosferik görüş kötü ise gök cisimleri bulanık veya karışmış halde görünürler. Atmosferdeki bu hareketlenmelere atmosferik çalkantı (türbülans) adı verilir. Atmosferik çalkantının temel özelliği, hava moleküllerinin rastgele hareket etmesidir.

Düzlem dalgalar, atmosferik çalkantılı bölgeden geçtiğinde, kırılmadan dolayı bozulmuş dalga cephesi oluştururlar ve Şekil 5’de gösterildiği gibi, paralel olmayan ışınlar oluştururlar.



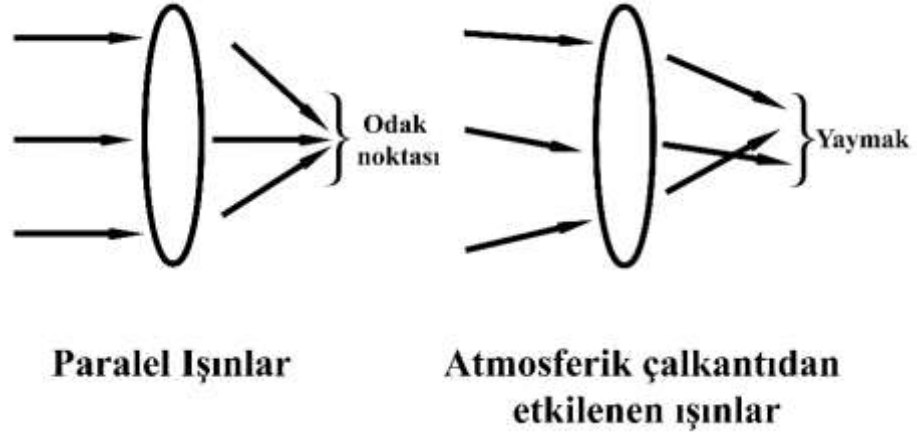
Şekil 5. Düzlem dalgaların atmosferik çalkantı bölgesinden geçtikten sonraki durumu

Atmosferik çalkantının optik sonuçları;

- sıcaklık dalgalanmaları, kırılma indisinde değişikliklere neden olmaktadır (birçok küçük lens gibi),
- ışık, birçok kez kırılmaktadır (az miktarda),

- gök cisimlerinden gelen fotonlar, teleskoba ulaştığı zaman artık paralel değildir.

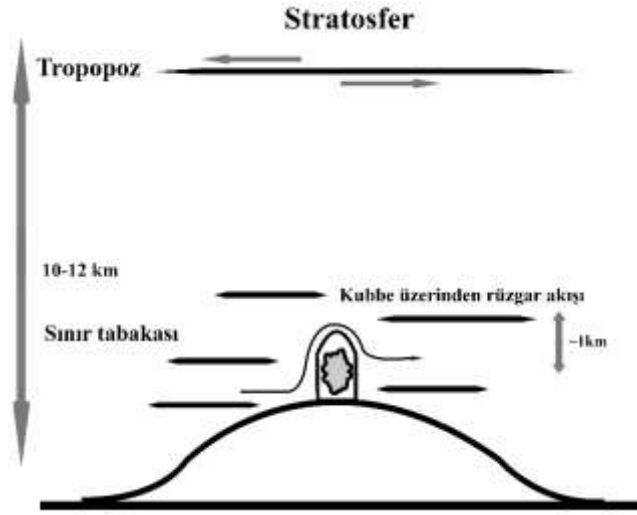
Bu nedenlerden dolayı ışınlar, Şekil 6'da bir noktaya odaklanamamaktadır.



Şekil 6. Işınlardan atmosferik çalkantıdan dolayı odaklanamaması

Teleskopla elde edilen görüntülere etki eden atmosferik görüş değeri, yalnızca atmosferde meydana gelen ısısal değişimler ve hava moleküllerinin hareketleri ile olmamaktadır. Teleskop binasından ve yer tabanındaki ısıdan kaynaklı da olabilmektedir. Hatta kubbe içindeki ve dışındaki ısı farklılığı da atmosferik çalkantı yaratmaktadır. Bu durum için en iyi çözüm, gözlem sırasında kubbenin tamamen ortadan kalkması veya kubbe içinin çok iyi bir şekilde havalandırılmasıdır (dış ve iç ortam arasındaki ısı farkından kaynaklanan atmosferik çalkantı engellenebilmektedir).

Yer tabanlı gözleminde, teleskoptan yapılan gözlemlerde etkin olan atmosferik görüş değeri; tüm atmosferdeki atmosferik çalkantıyı (Şekil 7), yere yakın yüzeydeki atmosferik çalkantı ve yine bina çevresindeki bitkilerden kaynaklı ısısal değişimleri içermektedir. Atmosferik çalkantı, hava yoğunluğu ve kırılmaya bağlı olduğundan dolayı, yere yakın bölgelerde atmosferik çalkantı daha ağırlıklı olmaktadır (Coulman 1985). Bu nedenle, böyle etkileri en aza indirmek için teleskop binaları yüksek yapılması gerekmektedir.



Şekil 7. Atmosfer katmanları tarafından yaratılan atmosferik çalkantı

Atmosferik çalkantı yoksa, kırınım teorisine göre, λ dalgaboyunda ve D ayna çaplı bir teleskobun odağında oluşturacağı görüntünün büyüklüğü, Eşitlik 5’de verilen FWHM, teleskobun kırınım sınırını vermektedir (Şekil 8).

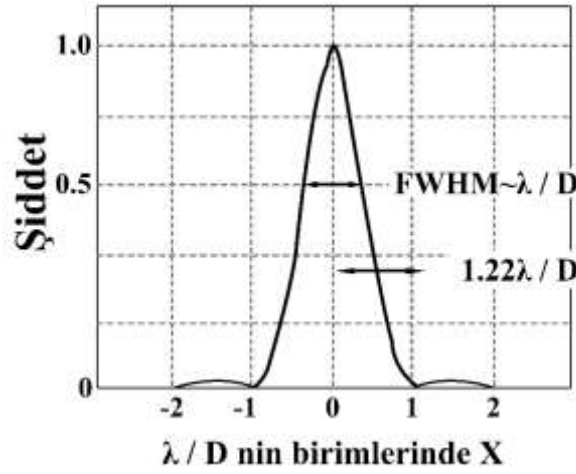
$$\text{FWHM} \sim \lambda / D \quad (5)$$

Atmosferik çalkantı varsa, atmosferdeki çalkantıdan dolayı, teleskop odağında oluşacak görüntü boyutu çok büyümektedir (tipik olarak 0,5" - 2,0") ve bozulmalara maruz kalmaktadır. Yıldız ışığının teleskoba ulaşmaya kadar (atmosferik etkiler sonucunda) odakta oluşan görüntünün boyutu, teleskobun çapından bağımsız hale gelmektedir.

Görüntüleme çözünürlüğü, Rayleigh kriterine göre tanımlanır. Bu kriter, açısal çözünürlüğün, eşit parlaklıktaki iki nokta kaynağın tepe noktaları arasındaki minimum açısal mesafe ile belirlenir (Hardy 1998). Teleskopun çapı D ile ifade edilirse, dairesel açıklık için ayırma gücü Eşitlik 6 ile verilir.

$$\theta = 1,22 \lambda / D \quad (6)$$

Bu ifade, açısal θ mesafe ile ayrılan iki nokta kaynağın böyle bir açıklık içinden görüntüleniyorsa, birinci kaynağın kırınım modelinin birinci maksimumu, ikinci kaynağın ilk minimumuyla çakışacaktır. Bu nedenle θ , iki görüntünün ayırt edilebilmesi için minimum ayırma gücüdür. Ayırma gücü, 1. Airy diskinin çapını verir. Bu Airy diskini dolduran yıldızın şiddet profilinin FWHM değeri atmosferik görüşü verir.

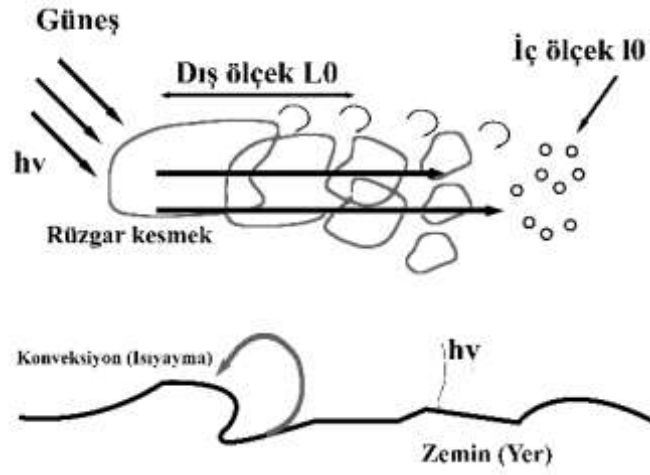


Şekil 8. Teleskobun odağında oluşacak görüntü büyüklüğü

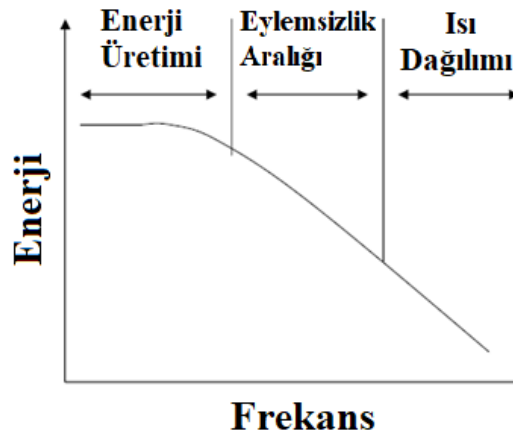
Kolmogorov atmosferik çalkantının varsayımları;

- ortam sıkıştırılmamaktadır,
- dış enerji, en büyük ölçeklerde girilmektedir ve en küçük ölçeklerde dağılmaktadır,
- yalnızca L_0 eylemsizlik aralığında geçerli olmaktadır,
- atmosferik çalkantının homojen ve izotropik olduğu varsayılmaktadır.

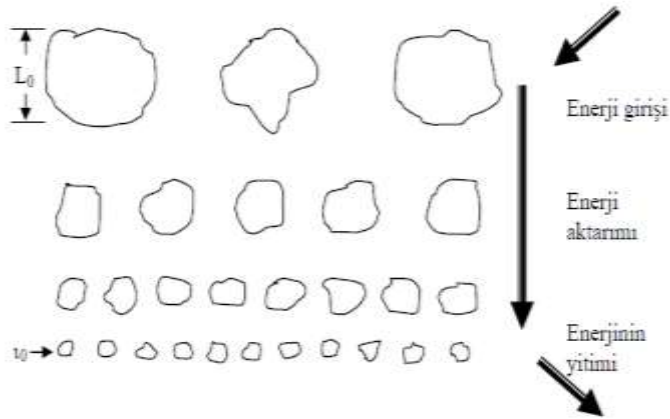
Bu varsayımları dikkate alarak, Şekil 9’da gösterildiği gibi, Güneşten gelen ışınlar ile oluşan büyük girdapların boyutu (L_0 ile gösterilen) atmosferik çalkantının dış boyutu olarak tanımlanmaktadır. Bu boyut, 100 metreden kilometrelere kadar değişebilmektedir. Bu bölgede oluşan kinetik enerji, rüzgârın büyük ölçekli hareketinden dolayı oluşmaktadır. Büyük girdaplar, rastgele hareket eden farklı hacimlere sahip akışkanın akım boyutlarıyla nitelendirilmektedir. Bu büyük ölçekli değişken hareketlerin hızı akışkanın ortalama hızından düşük olmaktadır ve Şekil 10’da gösterilen atmosferin düşük frekanslı bölümünü simgelemektedir. Zaman içinde büyük girdaplar, Şekil 11’de gösterildiği gibi, enerji aktarımı ile kademeli olarak daha küçük boyutlu girdaplara (l_0 ile gösterilen) bölünürler. Bu, atmosferik çalkantının iç boyutu olarak tanımlanmaktadır. Girdap boyutu o kadar küçük olur ki viskoziteden dolayı dağılmaya maruz kalırlar. Bölünme sonunda kinetik enerji termal enerjiye dönüşmektedir ve çevrim tamamlanmaktadır. Küçük boyutlu girdaplar, yaklaşık olarak 10 cm civarında değişebilmektedir. Bu kısım, atmosferin yüksek frekanslı bölümünü simgelemektedir. Kolmogorov atmosferik çalkantı gösterimi, Şekil 9’da ve enerji aktarımı Şekil 11’de gösterilmiştir.



Şekil 9. Kolmogorov atmosferik çalkantı gösterimi



Şekil 10. Kolmogorov atmosferik çalkantı enerjisinin frekansla değişimi



Şekil 11. Kolmogorov atmosferik çalkantı enerji aktarımı

Atmosferik çalkantı, rastgele bir şekilde farklı kırılma indislerinde hava kütlelerini karıştırmaktadır. Kırılan dalgalanmalar için tropopoz (troposfer ile stratosferi ayıran tabaka) sınır tabakasıdır. Troposfer üzerindeki hava yoğunluğu az olmaktadır. Çoğunlukla Kolmogorov istatistiklerine uymaktadır ve Kolmogorov atmosferik çalkantıdan türetilen yapı fonksiyonları $r^{2/3}$ ile orantılıdır.

Bu alışmada, Erzurum Karakaya Tepeleri'nde kurulmakta olan Doğu Anadolu Gözlemevi (DAG) Yerleşkesinin atmosferik görüş kalitesini belirlemek amaçlanmıştır. Atmosferik görüş değeri, Kutup yıldızı gözlemleri ile üç farklı sistemle (klasik DIMM metodu, SBIG ve CYCLOPE Görüş ler) lmştr ve meteorolojik parametrelerle karşılaştırılmıştır. DAG Yerleşkesinin astronomik gözlem açısından özellikleri belirlenmeye çalışılmıştır.

KURAMSAL TEMELLER

Rösch (1963) tarafından atmosferik görüş değerini ölçmek için çalışmalar yapılmıştır. Görüntü bozulması ile ilgili parametreler, jeofizikle (hava yoğunluğunun karışık dalgalanmaları) ilişkili olmasına rağmen, bütün görüş ölçerler (SM: Seeing Monitor, DIMM gibi) optik aygıtlardır. Görüş Ölçer ve balon verileri (Vernin and Munoz 1992, 1994) ile FWHM yardımıyla atmosferik görüşü tahmin etmek mümkün olmasına rağmen, zaman çözünürlüğü nedeniyle tek başına yeterli değildir. Atmosferik görüş ile ilgili Danjon yöntemi (Fatoohi 1998), Kutup Yıldızı İzleme (Dunlop 1989), Kesme Girişim Ölçer (Roddier 1976), Kırpışma Tespiti ve Değişimi (SCIDAR: Scintillation Detection and Ranging) (Rocca et al. 1974, Azouit and Vernin 1980), Diferansiyel Görüntü Hareket Ölçer (DIMM: Differential Image Motion Monitor) (Stock and Keller 1960; Sarazin and Roddier 1990) ve Genelleştirilmiş Görüş Ölçer (GSM: Generalized Seeing Monitor) (Ziad et al. 1999) sistemlerinde farklı yöntemler kullanılmıştır. Tez kapsamında, DIMM ve Görüş Ölçer kullanılmıştır.

Sarazin ve Roddier DIMM Prensibi

Gözlemevinin kurulacağı alanın gözlem yapılabilirlik özellikleri büyük teleskopların verimlerini doğrudan etkileyecektir (Sarazin and Roddier 1990). Bu nedenle teleskopların bulunacağı yerleşkenin ilgili karakteristik özellikleri sürekli olarak gözlem altında bulundurulmalıdır. Atmosferik görüş parametresi, DIMM tarafından düzenli olarak ölçülebilir. Ölçülen atmosferik görüş, yeni yerlerin seçilmesi ve mevcut teleskopların çalışmasını desteklemek için yapılır.

DIMM sistemi, görelî görüntü hareketi ölçümleri yapabilen ilk gözlem aygıtıdır ve 1960'lı yıllarda niteliksel görüş tahminleri elde etmek amacıyla Stock and Keller (1960) tarafından yapılmış, daha sonra Miller and Kellen (1975) tarafından da bu sistem revize edilerek yeniden kullanılmıştır. 1984 yılında Roddier'in önerileri doğrultusunda Avrupa Güney Gözlemevi'nde (European Southern Observatory, ESO) DIMM geliştirilmesine karar verilmiş olup; Sarazin and Roddier (1990) tarafından ve daha sonra Vernin and Munoz - Tunon (1995) tarafından şu anki yapısına geliştirilmiştir. Birçok gözlemevi DIMM sistemi kurmuş ve bu sistemle yapılan ölçümler gerek gözlemevi yer seçimi çalışmalarının gerekse de mevcut gözlemevlerinin atmosferik görüş kalitesinin takibi amaçlı çalışmaların temel kaynağını oluşturmuştur.

$z(x,y)$ dalga cephesi buruşma, Eşitlik 7 ile verilen $\phi(x,y)$ dalga cephesi faz hatası ile orantılıdır.

$$z(x, y) = \frac{\lambda}{2\pi} \phi(x, y) \quad (7)$$

Işık dalga cephesi yüzeye dik olduğu için, x yönünde geliş dalgalanmasının açısının α bileşeni, Eşitlik 8 ile verilir.

$$\alpha(x, y) = -\frac{\partial}{\partial x} z(x, y) = -\frac{\lambda}{2\pi} \frac{\partial}{\partial x} \phi(x, y) \quad (8)$$

Böylece, giriş dalgalanması açısının hareketi Eşitlik 9 ile ifade edilir.

$$B_\alpha(\xi, \eta) = \langle \alpha(x, y), \alpha(x + \xi, y + \eta) \rangle \quad (9)$$

Eşitlik 9 ile verilen faz dalgalanmasının $B_\phi(\xi, \eta)$ hareketi, Eşitlik 10 ile verilir.

$$B_\alpha(\xi, \eta) = -\frac{\lambda^2}{4\pi^2} \frac{\partial^2}{\partial \xi^2} B_\phi(\xi, \eta) \quad (10)$$

Faz yapı fonksiyonu, Eşitlik 11 ile ifade edilir.

$$D_\phi(\xi, \eta) = 2[B_\phi(0,0) - B_\phi(\xi, \eta)] \quad (11)$$

Verimleri ise Eşitlik 12 ile ifade edilir.

$$B_\alpha(\xi, \eta) = -\frac{\lambda^2}{8\pi^2} \frac{\partial^2}{\partial \xi^2} D_\phi(\xi, \eta) \quad (12)$$

Yakın alan yaklaşımında Kolmogorov atmosferik çalkantı (türbülans) için, faz yapı fonksiyonu, Eşitlik 13 ile yaygın olarak kullanılan biçimde ifade edilmiştir.

$$D_\phi(\xi, \eta) = 6,88 \left(\frac{r}{r_0} \right)^{5/3} \quad (13)$$

Burada $r = \sqrt{\xi^2 + \eta^2}$ ve r_0 , Fried'in atmosferik görüş parametresidir.

Eşitlik 12'de verileni Eşitlik 13'de yerine koyduğumuz zaman Eşitlik 14 elde edilir.

$$B_\alpha(\xi, \eta) = 0,087 \lambda^2 r_0^{-5/3} \frac{\partial^2}{\partial \xi^2} [\xi^2 + \eta^2]^{5/6} = 0,145 \lambda^2 r_0^{-5/3} \left[(\xi^2 + \eta^2)^{-1/6} - \frac{1}{3} \xi^2 (\xi^2 + \eta^2)^{-7/6} \right] \quad (14)$$

$\eta = 0$ için, $\xi = d$ ayırışma fonksiyonu olarak, boyuna hareket (eğim yönünde) Eşitlik 14 ile ifade edilir.

$$B_i(d) = B_\alpha(d, 0) = 0,097 \left(\frac{\lambda}{r_0} \right)^{5/3} \left(\frac{\lambda}{d} \right)^{1/3} \quad (14)$$

$\xi = 0$ için, $\eta = d$ ayrılığının bir fonksiyonu olarak, enine hareket (eğime dik yönde) Eşitlik 15 ile ifade edilir.

$$B_i(d) = B_\alpha(0, d) = 0,145 \left(\frac{\lambda}{r_0} \right)^{5/3} \left(\frac{\lambda}{d} \right)^{1/3} \quad (15)$$

Enine hareket, “-1/3” ayırma gücü olarak her iki azalma ve boyuna hareketten tam olarak 1,5 kat daha büyüktür. Bu, Borgnino and Vernin (1978) tarafından deneysel olarak da doğrulanmıştır. Bu ifadeler, Kolmogorov spektrumunun sadece geliş gidiş aralığında geçerlidir. Orijindeki ayrılma, açık bir şekilde fiziksel değildir. Pratikte, merkezdeki değeri, ortalama açıklık ile sınırlıdır ve Tatarski (1971) ve Fried (1965,1975) tarafından elde edilen görüntü hareketinin varyansı için Eşitlik 16 ifadesi ile verilir.

$$B_\alpha(0,0) = 0,179 \left(\frac{\lambda}{r_0} \right)^{5/3} \left(\frac{\lambda}{D} \right)^{1/3} \quad (16)$$

Burada D, ölçülen eğimin açıklık çapıdır. Eşitlik 14 ve Eşitlik 15 ifadelerinde d mesafesinin “-1/3” gücü olarak hareketin yavaş azalmasından dolayı, ortalama açıklık, aşağıda gösterildiği gibi, iki kez açıklık çapı uzaklığı aşar aşmaz belirgin hareket fonksiyonunu değiştirmez. Bir d mesafesi üzerinde gözlenen diferansiyel görüntü hareketinin $\sigma^2(d)$ varyansı Eşitlik 17 ifadesiyle verilir.

$$\sigma^2(d) = 2[B(0) - B(d)] \quad (17)$$

Eşitlik 14 ve Eşitlik 16 ifadelerini Eşitlik 17’de yerine yazarsak, $d \geq 2D$ için diferansiyel enine hareketin σ_i^2 değişimi için yaklaşık Eşitlik 18 ifadesini verir.

$$\sigma_i^2 = 2[0,179D^{-1/3} - 0,0968d^{-1/3}] \lambda^2 r_0^{-5/3} \quad (18)$$

Eşitlik 16 ve Eşitlik 17 ifadelerini Eşitlik 18’de yerine yazarsak, $d \geq 2D$ için diferansiyel boyuna hareketin σ_i^2 değişimi için yaklaşık Eşitlik 19 ifadesini verir.

$$\sigma_i^2 = 2[0,179D^{-1/3} - 0,145d^{-1/3}] \lambda^2 r_0^{-5/3} \quad (19)$$

Bu değişimler, D çapının tek açıklık boyunca iki boyutlu hareket için toplam değişimi açısından, Eşitlik 20 ile ifade edilir.

$$\sigma^2 = 2B_\alpha(0,0) = 0,358 \left(\frac{\lambda}{r_0} \right)^{5/3} \left(\frac{\lambda}{D} \right)^{1/3} \quad (20)$$

Nokta dağılım fonksiyona karşılık gelen FWHM değeri, r_0 ve dalga boyunun bir fonksiyonu olarak Eşitlik 21 ile ifade edilir.

$$FWHM = 0,98 \frac{\lambda}{r_0} \quad (21)$$

Tokovinin DIMM Prensibi

Atmosferik görüş, Kolmogorov atmosferik çalkantı modeli çerçevesinde, atmosferik çalkantı integrali olan tek bir parametre tarafından ölçülür. Bu parametre, DIMM tarafından düzenli olarak ölçülebilir (Tokovinin and Kornilov 2007). Diferansiyel görüntü hareketi optik bölgede dalgaboyuna fazla bağımlı değildir. Görüş ölçümlerinde standart olarak dalgaboyu 0,5 mikro metre (μm) olarak tercih edilebilir (Tokovinin 2002a). Diferansiyel görüntü hareketinin varyansından (σ_m^2) Fried Parametresi'ne, Eşitlik 22 ile geçilebilir (Tokovinin 2002a).

$$r_0 = 2,384 \times 10^6 K^{3/5} \lambda^{6/5} D^{-1/5} (\sigma_m^2)^{-3/5} \quad (22)$$

Burada; λ dalgaboyu, K Hartmann maskesi deliklerini birleştiren doğruya paralel yöndeki Zernike Eğimi (Zernice Tilt), D Hartmann maskesinin delik çapı ve r_0 ise Fried Parametresi'dir. Diferansiyel görüntü hareketinin birimi açısanıyesi ("), diğer parametrelerin birimi ise tercihe göre bir uzunluk birimidir.

Zernike Eğimi olarak tanımlanan parametre, Hartmann maskesi deliklerini birleştiren doğrultuya paralel yöndeki görüntü hareketi için kullanılan K_l ve bu doğruya dik yöndeki görüntü hareketi için kullanılan K_t bileşenlerinden oluşur. Bu bileşenler, Eşitlik 23 ve Eşitlik 24 ile tanımlanır:

Boyuna görüntü hareketi için;

$$K_l = 0,364(1 - 0,798S^{-1/3} + 0,018S^{-7/3}) \quad (23)$$

ve dik görüntü hareketi içinde;

$$K_t = 0,364(1 - 0,532S^{-1/3} - 0,024S^{-7/3}) \quad (24)$$

ifadesi ile verilir (Tokovinin 2002a). Homojen bir atmosfer için bu iki K_l ve K_t değeri birbirine eşit çıkar. Burada kullanılan S, Eşitlik 25 ile verilen, Hartman maskesinin deliklerinin merkezleri arasındaki mesafenin (d), delik çapına (D) oranıdır (Sarazin and Roddier 1990).

$$S = \frac{d}{D} \quad (25)$$

Fried Parametresi, Eşitlik 22 bağıntısından hesaplandıktan sonra, odaktaki görüntünün büyüklüğü ile r_0 Fried parametresi arasındaki ilişki Eşitlik 26 ile hesaplanır.

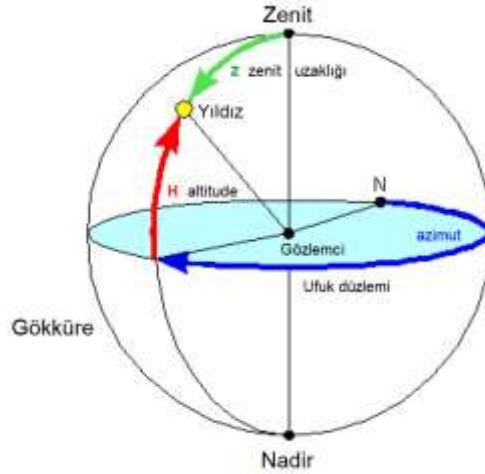
$$\theta_z = 0,98 \frac{\lambda}{r_0} = 0,98 \left(\frac{D}{\lambda} \right)^{0,2} \left(\frac{\sigma_m^2}{K} \right)^{0,6} \quad (26)$$

Eşitlik 26 işlemin sonucu radyan birimindedir ve yay saniyesine çevrilmesi gerekir. Burada “Z” indisi, görüş değerinin zenit uzaklığına bağlı olduğunu göstermektedir. Belli bir yerleşkede veya Dünya'nın farklı yerlerinde yapılan görüş gözlemleri sonuçlarının karşılaştırma yapılabilmesi için Eşitlik 27 verilen zenit düzeltmesi yapılır.

$$\theta = \theta_z (\sec z)^{-3/5} \quad (27)$$

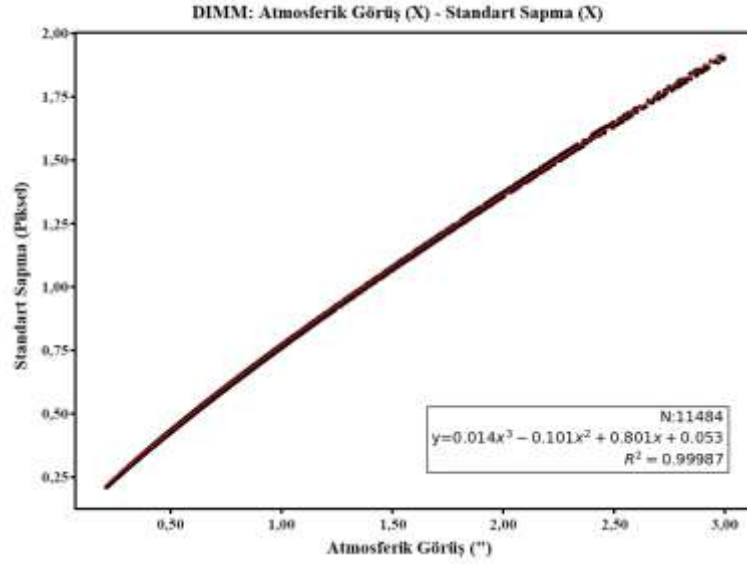
Burada; z, gözlenen yıldızın zenit uzaklığını göstermektedir (DAG Koordinat: 39° 47'N - 41° 14'E, Kutup yıldızı (Polaris, alf Umi) ICRS coord. (ep =J2000) : 02 31 49.09456 +89 15 50.7923 [1.14 0.97 90] Gal coord. (ep=J2000) : 123.28054438 +26.46139355 [1.14 0.97 90]).

Zenit uzaklığı gözlemcinin tam tepesindeki noktadan yıldızın açısız uzaklığıdır ve Şekil 12’de “z” ile gösterilmiştir.



Şekil 12. Zenit uzaklığı

Eşitlik 26’da görüldüğü gibi, atmosferik görüş ile hem standart sapma hem de Fried parametresi arasında ilişki vardır. Bu ilişki için, DIMM ile ölçümleri alınmış zenit atmosferik görüş değeri $\leq 3''$ olması durumundaki x yönündeki standart sapmanın değişimi (SciPy kütüphanesi yardımıyla çizilen 3.dereceden fit formülü) Şekil 13’de ve zenit atmosferik görüş değeri $\leq 5''$ olması durumundaki vektörel atmosferik görüşün Fried parametresine göre değişimi ise Şekil 14’de verilmiştir.

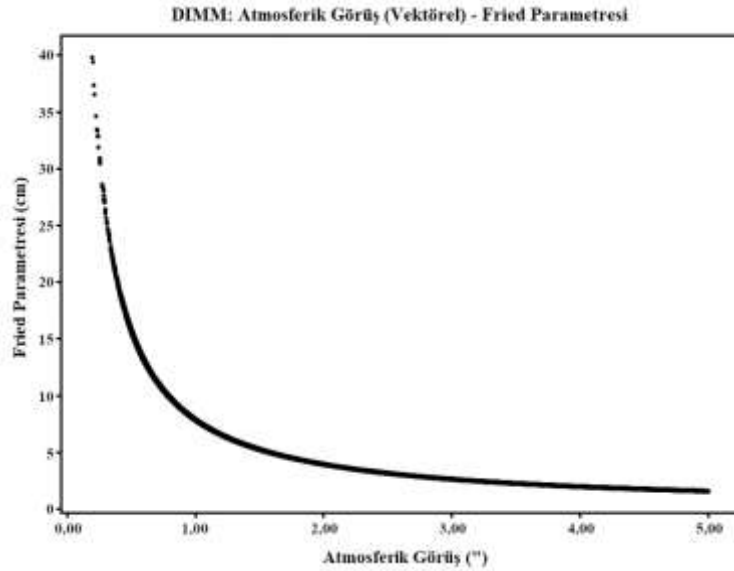


Şekil 13. DIMM: Atmosferik görüş - Standart sapma

Şekil 13'de görüldüğü gibi, atmosferik görüş arttığı zaman standart sapma da artmaktadır. Dolayısıyla, standart sapma ile atmosferik görüş arasında doğrusal bir ilişki vardır. Ayrıca, Şekil 14 incelendiği zaman, 11484 nokta kullanılarak %99 doğrulukla 3.dereceden fit denklemi Eşitlik 28 ile verilmiştir.

$$y = 0,014x^3 - 0,101x^2 + 0,801x + 0,053 \quad (28)$$

Burada, y standart sapmayı (piksel) ve x ise atmosferik görüşü (") göstermektedir.



Şekil 14. DIMM: Atmosferik görüş - Fried parametresi

Şekil 14'de görüldüğü gibi, Fried parametresi ile atmosferik görüş değeri ters orantılıdır. Fried parametresi arttığı durumda, atmosferik görüş değeri azalmaktadır. Fried parametresi büyük olduğunda atmosferik görüş iyi olmaktadır. Bundan dolayı, bir yerleşkede Fried parametresinin büyük olması istenmektedir. DAG Yerleşkesinde de Fried

parametresinin büyük olması, gözlemevi yerleşkesinin atmosferik görüş kalitesinin iyi olduğu anlamını taşımaktadır.

Ayrıca DIMM sisteminde kullanılan teleskobun çapı önemlidir. DIMM için kullanılacak teleskobun çapının 20 cm'den küçük olmaması önerilir (Sarazin and Roddier 1990). Aslında teleskop çapı ile ilgili sınırlama, $S = d/D$ oranı ile ilgili sınırlamadan kaynaklanmaktadır.

DIMM, Hartmann maskesi üzerindeki delik çapından (D) daha küçük ve delik merkezleri arasındaki mesafeden (d) daha büyük atmosferik çalkantı ölçeklerine duyarlı değildir. Görüş üzerinde etkili olabilecek çalkantı hücrelerinin boyutları birkaç cm'den onlarca metreye kadar olabilmektedir. Boyutu 10 - 20 m arasında değişen sonlu bir dış çalkantı ölçeğinin varlığı bilinmektedir (Martin et al. 2000; Linfield et al. 2001). Ancak, asıl görüş etkileri daha küçük ölçekli atmosferik çalkantılardan kaynaklanır. Sarazin and Roddier (1990)'e göre; $S = d/D > 2,5$ olmalıdır fakat bunun altındaki oranlarda çalışan DIMM'lerde vardır. Doğrusu, Hartman maskesinin delik çapı mümkün olduğunca küçük, delikler arasındaki mesafenin mümkün olduğunca büyük olmasına dikkat edilmelidir.

DIMM Hata Hesabı

Atmosferik görüş ölçümlerinin hataları, sadece görüntü hareketi varyansındaki ölçümün istatistik hatası ve atmosferik görüş hatasından kaynaklanmamaktadır. Sanal ve gerçek yıldızların hem merkezlerini hem de bu iki yıldız arasındaki uzaklığı bulmak için hata yapılmaktadır. Merkezinin görelî konumlarının belirlenmesindeki belirsizlik, gerçek hareket ile ilişkili olmadığı, standart sapmanın gürültüsü gibi görünen bir hata sunmaktadır (Ak vd. 2006).

Atmosferdeki görüntü hareketi, saniyede ortalama 100 kez titreşmektedir. Görüntünün yeri saniyede 100 kez değiştiğinden dolayı, poz süresi 10 ms'nin altında olması gerekmektedir. Bu yüzden, DIMM gözlemlerinde, birkaç mikron piksel boyutuna sahip (aynı zamanda çok geniş alana sahip) ve hızlı film kaydetme yeteneğine (en az saniyede 20 - 25 kare görüntü, yüksek hızda görüntü alan) sahip kamera kullanılmalıdır. Uzun poz süreleri ile yapılan gözlemlerden elde edilen atmosferik görüş değerleri, gerçek görüş değerinden daha düşük sonuç vermektedir. Örneğin; 20 ms ile yapılan gözlemlerde görüş 0,81₁₁ bulunurken, poz süresi 0 ms'ye ekstrapole edildiğinde görüş değeri 1,09₁₁ çıkmaktadır (Giovanelli et al. 2001).

Uygun poz süresinin hesaplanması rüzgâr hızına bağlıdır. Rüzgâr hızını V ile gösterirsek; poz süresi $\ll d/V$ olmalıdır (Sarazin and Roddier 1990). Örneğin; $d = 30$ cm ve

$V = 30$ m/s ise poz süresi 10 ms'nin altında seçilmelidir. Poz süresinden kaynaklanan hataları önlemek için birçok DIMM sistemi 5 - 20 ms'lik poz süresi kullanır (Tokovinin 2002). Bu durumda poz süresinden kaynaklanan hatalar ihmal edilebilir düzeyde olur.

Her ölçüm cihazı gibi DIMM'in de duyarlılık sınırları ve bunlara dayalı hataları bulunmaktadır. DIMM sisteminde, iki ana rastgele hata kaynağına duyarlıdır. Bunlar; kullanılan aygıt gürültüsü ve her bir atmosferik görüş hesabı için kullanılan görüntü sayısından kaynaklanan istatistiksel hatalardır (Sarazin ve Roddier 1989).

Sarazin and Roddier (1990)'in çalışmasında, görüntü hareketi varyansındaki ölçümün istatistik hatası Eşitlik 29 ile verilmiştir (Giovanelli et al. 2001).

$$\frac{\delta\sigma_i^2}{\sigma_i^2} \cong \sqrt{\frac{2}{N-1}} \quad (29)$$

Atmosferik görüş hatası Eşitlik 30 ile verilmiştir (Giovanelli et al. 2001).

$$\frac{\delta\theta}{\theta} \cong \frac{3}{5} \sqrt{\frac{2}{N-1}} \quad (30)$$

Burada; N bir değerin hesaplanması için toplanan görüntü sayısıdır.

Yapılan hata hesabı çalışmalarında görülmüştür ki, ne kadar çok görüntü kullanılırsa hata hesabı o kadar iyileşmektedir. Görüntü sayısı 50 ile 100 arasında olduğu zaman, atmosferik görüş ölçüm hatası yaklaşık %10 civarındadır. Bu yüzden, kısa poz süreleri ile görüntü alınabilecek alıcılar kullanılarak duyarlılık artırılabilir. N = 200 görüntü alınması halinde ölçüm hatası %6 mertebesinde olacaktır (Ak vd. 2006). Hesaplamalarda görüntü sayısının artırılması gerekmektedir.

DIMM tekniğinin içerdiği bütün parametreler, mükemmel ölçülebilir ve hiçbir referansa ihtiyaç yoktur. Ana kalibrasyon, sistem sınırlamaları ve aletsel gürültünün tahmininde yatmaktadır. Poz süresi, minimum poz süresi ve yeterli bir sinyal seviyesi aynı zamanda elde etmek için kontroller tarafından otomatik hesaplanmaktadır. Ağırlık merkezi hesaplama yöntemi, nokta kaynağa bağlı olmadığından dolayı, bu düzenleme aletsel hatayı etkilememektedir (Tokovinin 2002).

Çok Açıklıklı Kırpışma Alıcısı (The Multi - Aperture Scintillation Sensor, MASS)

Çok Açıklıklı Kırpışma Alıcısı (The Multi - Aperture Scintillation Sensor, MASS), gözlemevlerinde ve gözlemevi kurulması düşünülen yerler için atmosfer parametrelerinin sürekli izlenmesi amacıyla geliştirilmiş bir aygıttır. MASS, isokinetik ve isoplanatik açıları (θ_0) (iyi bir düzeltme bölgesini karakterize eden açısal yarıçap, Karekök Ortalama (Root

Mean Square, RMS) dalga ön faz hatasının 1 radyan arttığı açı olarak tanımlanan isoplanatik açıdır), serbest atmosfer tarafından üretilen toplam atmosferik görüş değerini, baskın atmosferik çalkantı katmanlarının karakteristik yüksekliklerini ve şiddetlerini yaklaşık $dh/h \sim 0,5$ saat çözünürlükle ölçmektedir. Bu teknoloji Dünya’da yaklaşık 15 alet (Şili, Cerro Tololo Gözlemevi gibi) tarafından kullanılmaktadır. Genellikle bölgenin test edilmesi, Adaptif Optik (Adaptive Optics, AO) sistemleri ve atmosferin atmosferik gözlemler üzerindeki etkisini daha iyi anlamak için, üst atmosferdeki verinin biriktirilmesini sağlamaktadır.

Günümüzde atmosferik görüş değerinin bilinmesi tek başına yeterli değildir. Adaptif optik ve interferometre gibi modern gözlem yöntemleri, isoplanatik açı ve zaman sabiti (τ_0) gibi atmosferik parametrelere de bağlıdır (Hardy 1998). Çalkantı/Türbülans Profili (Turbulence Profile, TP) gelişmiş adaptif optik sistemlerinin performansını değerlendirmek için bilinmelidir. Klasik astronomi için bile sadece atmosferik görüş ölçümü yeterli değildir, çünkü fotometri ve astrometrinin en keskin sınırı dikey atmosferik çalkantı profili ve rüzgâr hız profiline Kenyon et al. (2006) bağlıdır. Zaman sabiti ve düşük çözünürlüklü atmosferik çalkantı profili ölçümünün basit ve pratik yöntemi kırpışma analizi, MASS, Kornilov et al. (2003); Tokovinin et al. (2003a) ile uygulanmaktadır. MASS, DIMM ile tek bir alet olarak birleştirildiğinde yer seçimi ve izlenmesi için çok güçlü bir araç haline gelmektedir. Böyle birçok aygıt yapılmaktadır ve bu aletlerden kullanışlı sonuçlar elde edilmektedir.

Atmosferik görüş, Kolmogorov atmosferik çalkantı modeli çerçevesinde, atmosferik çalkantı integrali olan tek bir parametre tarafından ölçülür. Bu parametre, DIMM tarafından düzenli olarak ölçülebilir. MASS aleti, yer tabakasındaki atmosferik görüşü tahmin etmek için DIMM ile birlikte ve yaklaşık 0,5 km üzerindeki serbest atmosferde atmosferik görüşü ölçmek için izin verir. Her iki yöntemin mutlak doğruluğu, analitik, teori ve benzetim (simülasyon) deneyleri kullanarak incelenir. Kısmen doymuş kırpışmayı dengelemek için MASS veri işleme modifikasyonu, geliştirilmiştir. DIMM’in yayılma ve optik sapmalar (örneğin, odaksızlık) ile şiddetli eğilimlidir. MASS ve DIMM ile atmosferik görüş ölçümleri dikkatlice yapıldığında yaklaşık %10 mutlak hassasiyete ulaşabilir. Atmosferik görüşün kendisi, durağan olmayan rastgele sürecin sadece bir modele bağımlı bir parametre olmasından dolayı, %1’e bu sınırı iterek gerçekçi görünür (Kornilov 2007). Ölçülen atmosferik görüş, yeni yerlerin seçilmesi ve mevcut teleskopların çalışmasını desteklemek için yapılır. Son zamanlarda standart DIMM yöntemi MASS olan yeni bir teknik ile tamamlanır olmuştur (Martin 1987; Sarazin and Roddier 1990; Kornilov et al. 2003). Bu yeni aygıt, adaptif optik zaman sabiti ve isoplanatik açısı olan serbest atmosferdeki atmosferik görüş ölçümü için izinlerin ve kırpışmanın analizine dayanmaktadır. Hem MASS hem de

DIMM tek bir cihaz içinde birleştirilebilir ve sadece küçük bir teleskop gerektirir (Kornilov et al. 2007). MASS - DIMM yer monitörleri yavaş yavaş yeni bir standart haline gelmektedir (Kornilov 2007).

Optik atmosferik çalkantı boyunca ışığın yayılım teorisi iyi bir şekilde bilinmektedir (Tatarskii 1961; Roddier 1981). Atmosferik çalkantının yerel şiddeti, refraktif indeks yapı sabiti C_n^2 ile karakterize edilmektedir. Atmosferik çalkantı profili $C_n^2(h)$ gözlemevinin üstündeki yükseklik ile tanımlanır: $h = z \cos\gamma$; γ zenit açısı, z ise yayılım uzaklığıdır.

Atmosferik görüş kalitesi, Eşitlik 31 ile verilen J yayılım yolu üzerinden C_n^2 'in integrali ile ilişkilidir.

$$J = \int C_n^2(z) dz \quad (31)$$

Atmosferik görüş genellikle Eşitlik 32 ile verilen Fried parametresi (r_0) ile

$$r_0^{-5/3} = 0,423(2\pi / \lambda)^2 J \quad (32)$$

ya da teleskobun odak noktasındaki Noktasal Dağılım Fonksiyonunun (Point Spread Function, PSF) teorik FWHM (Travouillon 2004) değeri yani atmosferik görüş değeri Eşitlik 33 ile hesaplanır.

$$\varepsilon_0 = 0,98 \frac{\lambda}{r_0} \quad (33)$$

ε_0 ve r_0 değerlerinin her ikisi de dalgaboyuna (λ) bağlıdır. Karışıklığın önlenmesi için $\lambda = 500$ nm standart olarak alınır ve tüm parametreleri tepe noktası indirgemek için $r_0 \propto (\cos\gamma)^{3/5}$ olarak dikkate alınmalıdır. Adaptif optik ve interferometre için ek atmosferik parametreler olan atmosferik zaman sabiti $\tau_0 = 0,31r_0 / \bar{V}$ ve isoplanatik açı $\theta_0 = 0,31r_0 / \bar{H}$ eşitlikleri ile verilir. Buradaki \bar{V} ve \bar{H} değerleri sırasıyla C_n^2 ağırlıklandırılmış ortalama rüzgâr hızı ve seçilecek olan yerin üstündeki yüksekliği belirtmektedir (Roddier 1981).

Atmosferik görüş ile ilgili terim ve bağıntılar, Tablo 1'de verilmiştir. Kolmogorov istatistikleri ile rastgele faz ekranlar üretmek için Fourier yöntemi kullanılmaktadır.

Tablo 1. Atmosferik Görüş ile İlgili Miktarlar

Nicelik	Birimler	Formüller
Atmosferik Görüş (FWHM)	rad	$\varepsilon_0 = 0,98\lambda / r_0$
Atmosferik Çalkantı İntegrali	$m^{1/3}$	$J = \int C_n^2(z) dz$
Fried parametresi	m	$r_0 = [0,423(2\pi / \lambda)^2 J]^{-3/5} = 1,01\lambda / \varepsilon_0$
Güç faz spektrumu	m^2	$\phi_\varphi(f) = C f ^{-11/3}$ $C = 0,00969(2\pi / \lambda)^2 J = 0,0299r_0^{-5/3}$

Hem DIMM hem de MASS, Kolmogorov modeliyle iyi çalışıyor olan 1 m altında konumsal ölçeklerde faz bozulmalarına duyarlıdır. Küçük açıklıklarla DIMM, sonlu türbülansın dış ölçeği L_0 ($L_0 > 4m$ için varyansı yüzde 1 den az; Borgnino et al. (1992)) tarafından etkilenmez. Diğer yandan, 10 cm teleskopta mutlak görüntü hareketi, genelde yaklaşık yüzde 10 seviyesinde olan sonlu bir L_0 tarafından etkilenmiştir. Böylece, L_0 bilinmiyorsa, mutlak (diferansiyel olmayan) görüntü hareketine dayalı yer test aracı, bir r_0 eğimi verir. Pratikte, onlar ayrıca mekanik hatalar (rüzgâr titremesi, izleme) tarafından etkilenmesinden dolayı, böyle görüş ölçerler artık kullanılır. Aynı nedenler için, atmosferik görüş ölçümlerinin Dainty et al. (1975) teorik olarak mükemmel interferometrik yöntemi, yaygın olarak kabul olmamıştır.

Atmosferik görüş ölçümleri faz ve genlik dağılımlarının karışımını saf faz bozulmalarına dönüştüren ışık yayılımı tarafından etkilenmektedir. z uzaklığı üzerinde yayılma ve zayıf atmosferik çalkantılı tabaka içinden geçtikten sonra, χ genliğin logaritması ve ϕ ışık fazının uzaysal spektrumları Eşitlik 34 ve Eşitlik 35 ile verilir.

$$\phi_\varphi(f) = 0,0229r_0^{-5/3}|f|^{-11/3} \cos^2(\pi\lambda z|f|^2) \quad (34)$$

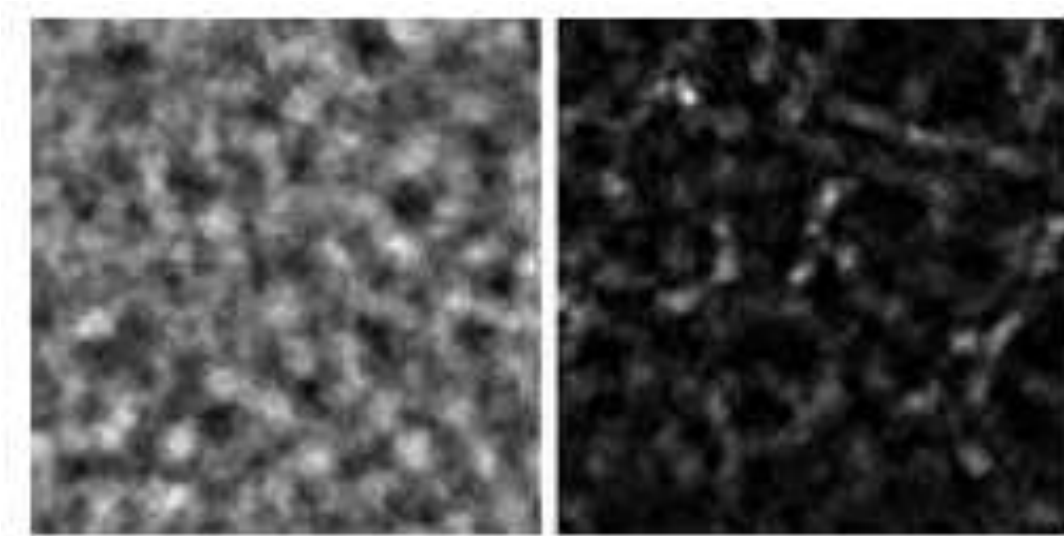
$$\phi_\chi(f) = 0,0229r_0^{-5/3}|f|^{-11/3} \sin^2(\pi\lambda z|f|^2) \quad (35)$$

Yoğunluk kırışma spektrumu, $\phi_I = 4\phi_\chi$ dir. Genlik ve faz, herhangi bir noktada ilişkili değildir fakat onların çapraz spektrumu, sinüs ve cos terimleriyle orantılı olan $f \neq 0$ da sıfır değildir.

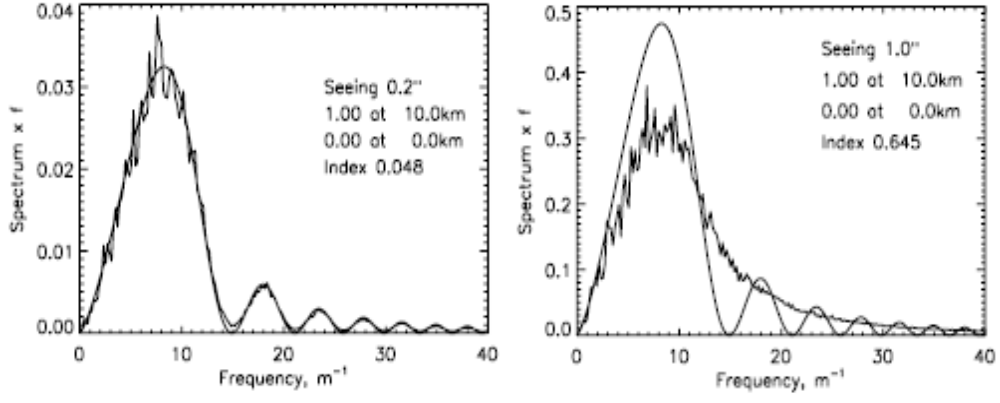
MASS aletinin temeli yıldız kırışmasının analizine dayanır. Kırışma indeksi (s_A^2), $s_A^2 = \langle \Delta I_A^2 \rangle / \langle I_A \rangle^2$ olarak tanımlanmaktadır. Buradaki I_A değeri, A açıklığı aracılığıyla alınan anlık ışık şiddeti, ΔI_A ise bu ışık şiddetindeki dalgalanmadır (kararsızlık). $s_2 \ll 1$ olan küçük

pertürbasyon rejiminde, $s_A^2 = \langle \Delta I_A^2 \rangle / \langle I_A \rangle^2$ formülü, $\log I = 2\chi$ 'nin varyansına eşdeğerdir. Kırpışma indeksi, daha sonra uygun bir diyafram (açıklık) filtre ile yayılma tayfı (2) entegrasyonu tarafından hesaplanır. Çeşitli atmosferik çalkantılı tabakaların etkisi, sadece bir katkı maddesidir.

Eşitlik 34 ve Eşitlik 35 gerçek atmosferik çalkantı için sadece yaklaşıktır. Hatta tam tepemize yakın yerlerde kırpışma indeksleri $s_2 > 1$ 'dir. Standart teoriden sapmalar, oldukça önemli hale geldiği zaman güçlü kırpışmanın bu rejimi, odaklama başlangıcına karşılık gelir. Şekil 15 (10 km yayılma ve tek bir atmosferik çalkantı tabakaları tarafından üretilen 1 m^2 boyutundaki yoğunluk ekranları - Dalga boyu: $0,45 \mu\text{m}$) ve Şekil 16, zayıf ve güçlü kırpışma için simüle edilmiş kırpışma sinyallerini ve uzaysal güç spektrumları gösterir. Bu son durumda, yüksek atmosferik çalkantı tarafından oluşturulan mercekleer tarafından ışığın odaklanmasından dolayı örnekte küçük sivrilikler etkindir. Bu sivriliğin boyutu, mercekleer boyutundan daha azdır ve buna bağlı olarak, yüksek uzaysal frekanslardaki güç, zayıf kırpışma spektrumu (2) ile karşılaştırıldığında artar, düşük frekanslarda bu azalır. İlave güç görünümü, şu şekilde açıklanır. Zayıf kırpışma altında, faz ekranının her sinüsoidal bileşeni, aynı frekansta yoğunluk modülasyonu oluşturur. Artan faz pertürbasyonu genliği olarak, faz ızgaralar, zeminde yoğunluk dağılımı çapraz harmonikler veya ikinci ve daha yüksek bir düzen üretmeye başlar. Bağımsız tabakalar, artık bağımsızdır fakat çapraz birbirine modüle eder. Faz, genlik olarak benzer bir şekilde doyum tarafından etkilenir.



Şekil 15. Zayıf kırpışma (atmosferik görüş $0,2''$) - Güçlü kırpışma (atmosferik görüş $1''$)



Şekil 16. Kırışmanın radyal olarak ortalama güç spektrumu

Kırışma ölçeği yaklaşık olarak Fresnel yarıçapı $\sqrt{\lambda z}$ kadardır. Örneğin; 10 km yayılım için ~ 10 cm'dir (Rodier 1981). D açıklık çapı, filtre görevi görmektedir ve sadece D den daha büyük ölçekteki dalgalanmaların girmesine izin vermektedir. Açıklık çapı, Fresnel yarıçapı ile karşılaştırıldığında, kırışmanın üretildiği yükseklik anlaşılabilir. Daha iyi bir yöntem ise Eşitlik 36'da verilen A ile B açıklığı arasındaki diferansiyel kırışma indeksinin s_{AB}^2 ölçülmesidir.

$$s_{AB}^2 = \left\langle \left(\frac{\Delta I_A}{\langle I_A \rangle} - \frac{\Delta I_B}{\langle I_B \rangle} \right)^2 \right\rangle \quad (36)$$

Normal ve diferansiyel kırışma indekslerinin her ikisi de s_k^2 , Eşitlik 37 ile verilen atmosferik çalkantı profiline $C_n^2(z)$ lineer olarak bağlıdır.

$$s_k^2 = \int W_k(z) C_n^2(z) dz \quad (37)$$

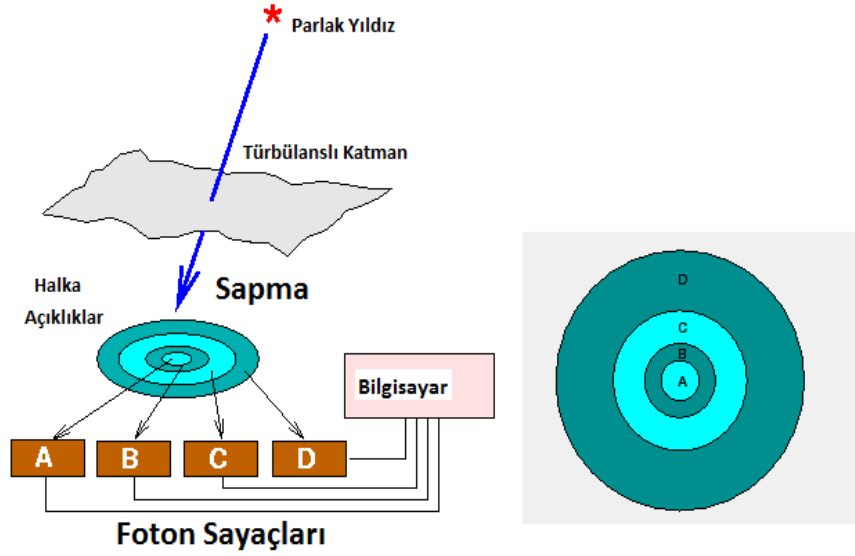
Burada ağırlık fonksiyonu (WF) $W_k(z)$ ile verilen bir açıklık ya da açıklık birleşimi k 'nın Tokovinin (2002b, 2003) yükseklik yanıtı olarak ifade edilir. Eğer sabit ise kırışma indeksi atmosferik çalkantının direk ölçümünü verir bu da sonuç olarak da atmosferik görüşü vermektedir.

MASS sisteminin çalışma prensibi

Yıldız ışığı atmosferik çalkantılı bir katmandan geçtiğinde ve aşağıya doğru ilerlediğinde, şiddetinde dalgalanmalar (kararsızlıklar) meydana gelir. Bu değişimlerin ölçeği katmana olan uzaklığa bağlıdır. Bu bağlılık, dört adet eş merkezli halkalar şeklindeki açıklıklara uygun filtre kullanılarak, farklı katmanlardan kaynaklanan katkıyı ayırmak için

kullanılır. Atmosferik çalkantı profili, 1 milisaniyelik foton sayım serilerinin istatistiksel işlemlerinden elde edilir.

Her bir açıklığa (A, B, C ve D) düşen ışığın şiddeti foton sayıcıları tarafından ölçülür. Her açıklıktaki kırpışma indeksi, ortalama şiddetin karesi alınarak normalize edilen, şiddetin varyansı (dağılımı) olarak hesaplanır. Bu yolla bulunan kırpışma indeksi, yıldızın parlaklığına bağlı değildir ve sadece atmosferik kırpışım şiddetini yansıtır (Tokovinin 2007). Parlak bir yıldızdan gelen ışığın atmosferik çalkantılı katmandan geçtikten sonra MASS'ın çalışma prensibi, Şekil 17'de verilmiştir. Foton gürültüsünün katkısı bu hesaplamadan dikkatli bir şekilde çıkarılır.



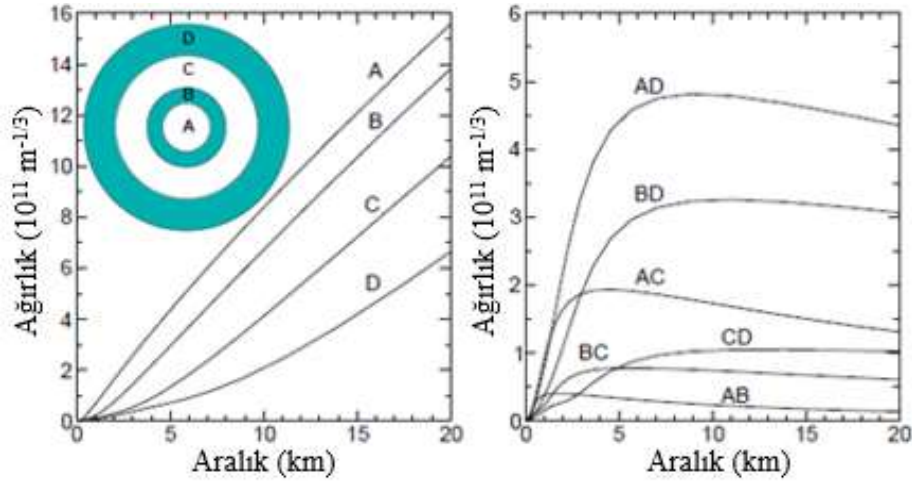
Şekil 17. MASS'ın çalışma prensibi

Benzer bir şekilde, bir açıklık çifti (örneğin A ve B) için diferansiyel kırpışım indeksi, A ve B açıklıklarındaki şiddetlerin oranının varyansı olarak tanımlanır.

Verilen bir atmosferik çalkantı katmanı tarafından üretilen normal ve diferansiyel kırpışım indekslerinin her ikisi de o katmanda üretilen atmosferik çalkantı şiddeti ($m^{1/3}$ de ölçülen C_n^e integrali) olarak hesaplanan bazı ağırlık fonksiyonları ile bulunur. Bu ağırlık fonksiyonları katmana olan uzaklığa bağlı olduğu kadar açıklığın boyuna ve şekline de bağlıdır.

MASS, 4 açıklığa sahiptir ve 4 tanesi normal, 6 tanesi diferansiyel olmak üzere 10 kırpışma indisi ölçebilmektedir. Bu veri vektörü, 0,5, 1, 2, 4, 8 ve 16 km yüksekliklerindeki 6 ince atmosferik çalkantı katman modeli ile (Şekil 18) (4 normal kırpışma indekslerine (sol taraftaki şekil) karşılık gelen, 6 diferansiyel ikili diyafram kombinasyonları indeksleri (sağ taraftaki şekil) ve MASS $W_k(z)$ nin ağırlık fonksiyonlarıdır. 1.9, 3.2, 5.6, 8 cm çapları ile 4 halka şeklindeki A, B, C, D açıklıklarının geometrisi sol panelde gösterilmiştir) uygun eğri

çizilebilir. Kırpışma, çoğunlukla yüksek katmanlar tarafından üretilir, bu nedenle, MASS'ın atmosferik çalkantı profili için en yüksek katmanlarda en doğru sonuçlar elde edilirken en düşük katmanlarda ise bu değer düşmektedir.



Şekil 18. MASS'ın kırpışma indekslerine karşılık diyafram kombinasyon indeksleri

Normal ve diferansiyel kırpışma indislerinin ölçümlerinden, farklı ağırlıklı atmosferik çalkantı katmanlarının farklı yüksekliklerde olduğu görülür. Katmanların şiddetleri, problemi tersten çözerek yeniden elde edilebilir. Dikey atmosferik çalkantı profili üzerindeki yaklaşık altı bağımsız noktanın elde edilmesi mümkündür.

DIMM sisteminde enine veya boyuna görüntü hareketi ölçülmesine rağmen, MASS sisteminde hem enine hem de boyuna görüntü hareketi ölçülür.

İsoplanatik açı (θ_0) belirlenen atmosferik çalkantı profilinden hesaplanabilir ya da kırpışma indisinden direkt olarak tahmin edilebilmektedir (Tokovinin et al. 2003a). En küçük açıklık olan A açıklığındaki ışık dalgalanmasının geçici analizi, zaman sabitinin bulunmasını sağlar (Tokovinin 2002b). Grafiklerden anlaşılacağı gibi, teleskop açıklığında tüm ağırlık fonksiyonları sıfır olmaktadır. Yere yakın türbülans katmanlarını anlamak için, iki en küçük MASS açıklığı 0.5 ya da 1 km negatif bir yüksekliğe birleştirilebilir. Bu tahmin tam olarak doğru değildir, çünkü atmosferin 0,5 km'nin altında kalan bölümünü kapsamaz. Fakat bu, DIMM gözlem verileri kullanılarak ya da yer katmanındaki rüzgâr hızının bilinmesiyle düzeltilbilir.

Bu durum, profil ve atmosferik görüş değerlerinin tüm ölçümlerinin yapılmasını ve ayrıca atmosferik zaman sabitinin (o andaki kırpışma davranışlarının analizinden) de ölçülmesini sağlar.

İlk MASS aleti

MASS aleti, fotoğraf - çarpanları kullanarak teleskop gözünün dört eş merkezli bölgelerinde tek yıldızın kırışımlarını ölçen bir aygıt birimi ve 14 cm eksen yansıtıcı teleskoptan oluşmaktadır. Aygıt kutusunun fotoğrafı Şekil 19'da gösterilmiştir.

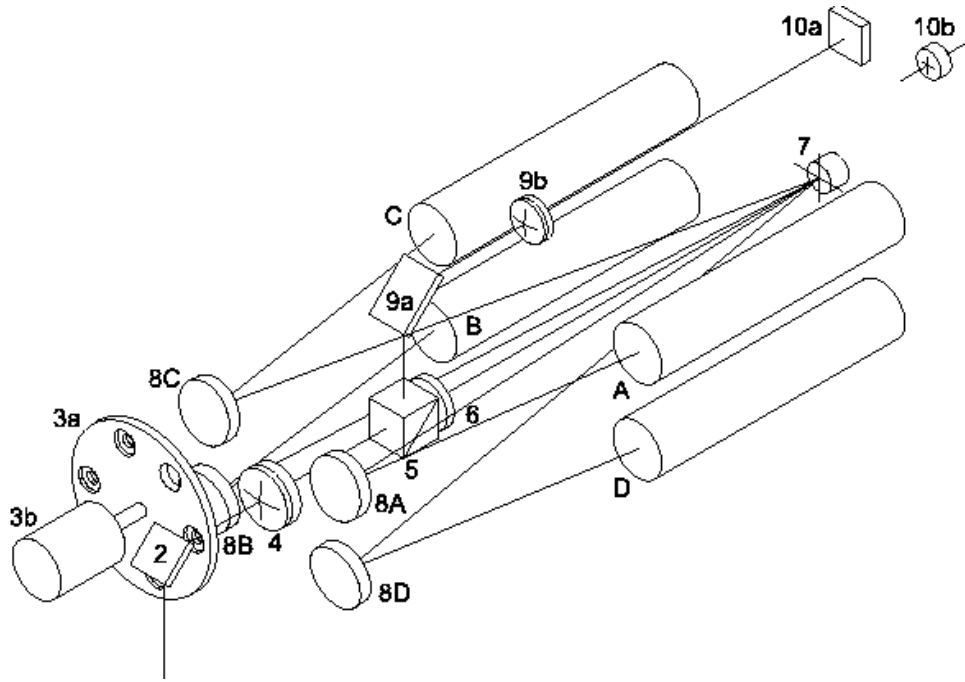


Şekil 19. MASS sisteminde kullanılan alıcı kutusunun fotoğrafı

Şekil 19'da, solda, TV kamera kılavuzu ve sağda, iki Foto Çoklayıcı Tüp (Photomultiplier Tubes, PMT) modülleri görülmektedir. Aygıt kutusunun uzunluğu, 21 cm dir.

Atmosferik çalkantı profil aleti olan MASS, optik ve elektronik olan 4 PMT' li aygıt, Lytkarino Optical Fabrikası'nda yapılan 14 cm açıklığa sahip Feeding teleskop ve verileri işleyen Türbina programı olan bir bilgisayar içerir.

Işık, Şekil 20'de gösterilen diyagonal ayna (2) tarafından yansıtılır ve diskin (3) olduğu düzlemde odaklanır. Bu düzlem değiştirilebilir odak açıklıklarının bulunduğu yerdir. Disk, bilgisayardan kontrol edilen step motor tarafından döndürülür. Işık, sonrasında segmentator (7) üzerindeki teleskop aynasında (exit pupil) görüntünün olduğu Fabry Lens (4) den geçer. Bu bölümler halka şeklinde aynalardan oluşmaktadır. Bu aynalar, açıklıktaki görüntünün dairesel kısımlarını (8A - 8D) küresel aynalarda yeniden odaklanması için saptırır. Böylece dört ışığı PMT'nin A, B, C, ve D foto katotlarına gönderir. Segmentatorun önünde bu iki renk katmanlı ışık bölücü (5), kırmızı dalgaboylarını başka yöne döndürerek birleştirir (ayna (9a), lens (9b), oküler (10a) küçük bir TV kamera ile yer değiştirebilir). Tayfın yeşil - mavi kısmı kırışma ölçümleri için kullanılır, filtre (6) ise tayfsal yanıt eğrisini belirtmektedir.

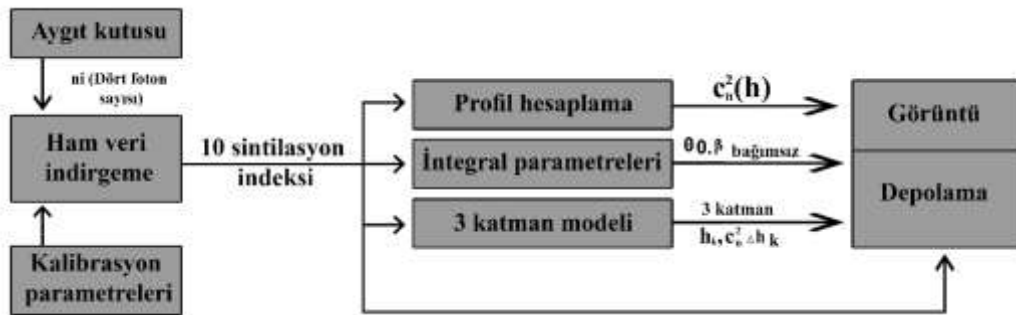


Şekil 20. MASS sisteminde kullanılan alıcının iç tasarımı

MASS aletinin veri biriktirme ve işleme süreci Linux altında çalışan TURBINA programı ile yapılmaktadır. “accumtime” 1 dakika boyunca alınan her bir ölçüm segmentlere ayrılır. Her bir segment, foton sayıcıların istatistiksel momentleri (varyanslar ve kovaryans) tüm 4 kanal ve onların kombinasyonları için hesaplanmaktadır. Bu momentlerin “accumtime” üzerinden ortalaması alınır.

Her bir birikim zamanından sonra kırpışma indisleri ve onların hataları MASS veri dosyasına kaydedilir. Bu dosya ayrıca türbülans profillerini, indisler ve veri kalite analizi için kullanışlı olan değişik ek niceliklerden elde edilen diğer atmosferik parametreleri de içermektedir. Her bir “basetime” için istatistiksel momentler ayrı bir dosyaya kaydedilir. Momentler, herhangi bir modelin ham verisi ve aletsel parametreleridir.

MASS yazılımı Sternberg Institute of the Moscow University’deki takım tarafından geliştirilmiş ve o takım tarafından desteklenmektedir. MASS verilerinin indirgenmesi Şekil 21’de gösterilmiştir.

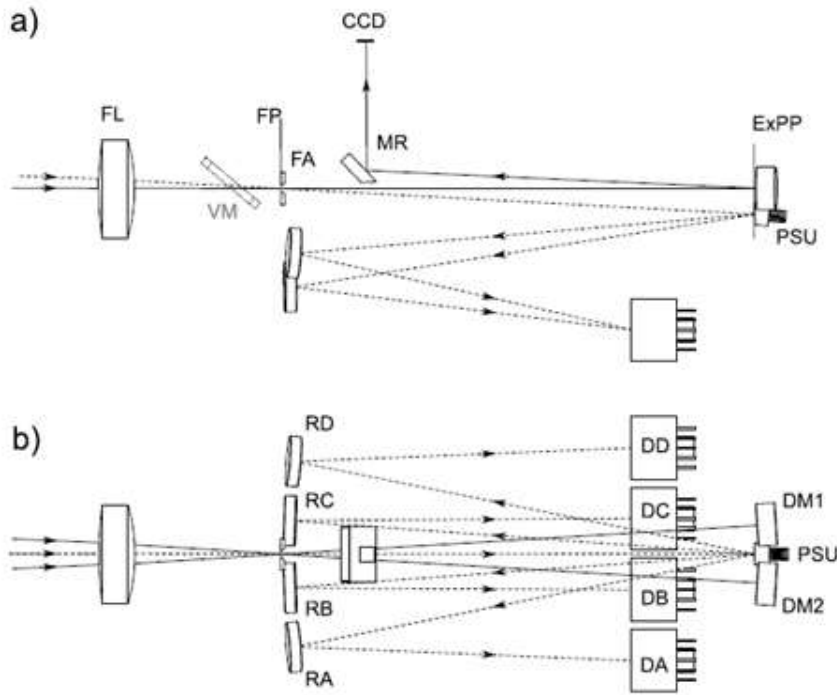


Şekil 21. MASS verilerinin indirgenmesi için algoritma

Çok Açıklıklı Kırpışma Alıcısı - Diferansiyel Görüntü Hareket Ölçer (The Multi Aperture Scintillation Sensor - Differential Image Motion Monitor, MASS - DIMM)

Çok Açıklıklı Kırpışma Alıcısı, Diferansiyel Görüntü Hareket Ölçer (The Multi - Aperture Scintillation Sensor, Differential Image Motion Monitor, MASS - DIMM) sistemi, MASS aleti içerisinde MASS ve DIMM aletlerinin optiklerinin birleştirilmesi ile oluşmaktadır.

Optimum açıklık boyutu ile ilgili bir çalışma Tokovinin et al. (2003a), 4 eş merkezli MASS açıklıklarının dış çapının 8 - 9 cm kadar küçük olabileceğini gösterir. Böyle açıklıklar, köşe taraması (vignetting) olmadan 25 - 30 cm Cassegrain teleskopun halka şeklinde bilinen bölgesi içine sığabilir. Tek bir cihazda MASS ve DIMM kombinasyonu, birkaç belirgin avantajları vardır. Her iki alet aynı optik yol üzerinde çalışır, böylece aynı atmosferik çalkantıdan etkilendiği için diferansiyel hata olmaz. MASS - DIMM aletinin optik düzeni, Şekil 22'de (a-yandan görünüm, b-üstten görünüm) gösterilmektedir.

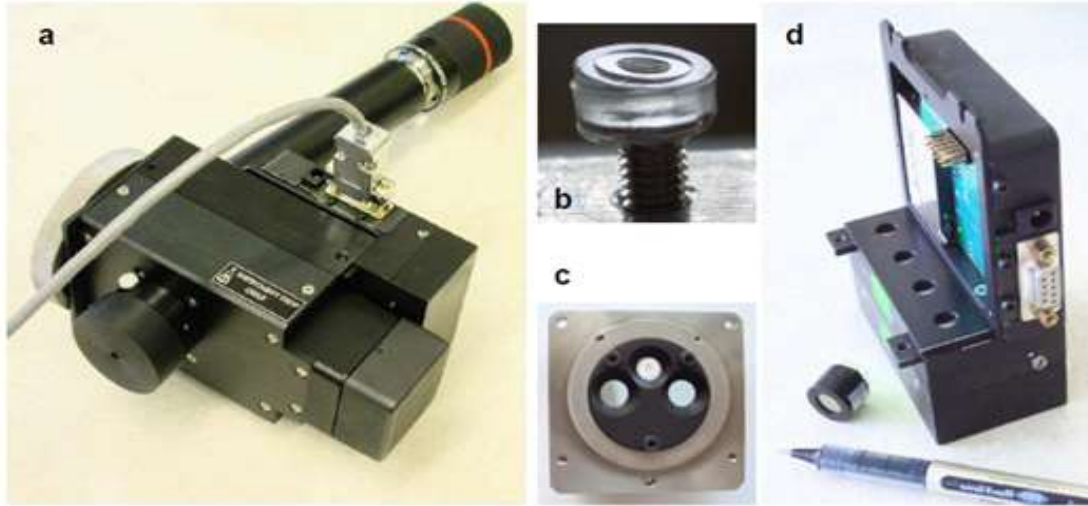


Şekil 22. MASS - DIMM aygıtının optik düzeni

FP, aletin odak düzlemini ve ExPP ise çıkış göz merceği düzlemini göstermektedir. Küçük Mercek (Fabry Lens, FL), Şekil 22'de gösterildiği gibi teleskop odağının önüne yerleştirilir. Bu biraz etkin teleskop odak uzunluğunu kısaltır ve aynı zamanda, odak düzlemi arkasında 125 mm'lik bir mesafede göz merceği ExPP gerçek bir görüntü oluşturur.

ExPP göz merceği görüntünün boyutu, teleskop ve mercek sisteminin optik büyütme faktörü k_{mag} 'e bağlıdır. 25 cm'lik Meade teleskop ve 125 nm Fabry mercekler için, büyütme $k_{mag} = 14,5$ 'dir, yani göz merceğindeki görüntü, 17,4 mm çapa sahiptir. Şekil 23, MASS -

DIMM aletinin detaylarını göstermektedir. Şekil 23’de (a) Koruyucu fincan ile monte edilmiş alet, Yük Çiftlenimli Aygıt (Charge Coupled Device, CCD) kamera yerine kurulmuştur. (b) Plastik segmentator, M3 vidanın üstüne çoğaltılmıştır. (c) Siyah maske ile göz merceği levha. (d) 4 minyatür PMT ve iç foton sayacı ile elektronik modül, bir PMT ve bir kalem ayrı ayrı göstermektedir.



Şekil 23. MASS - DIMM aygıtının detayları

Teleskop girişinde göz merceğinin birincil ayna üzerinde olmayan teleskop tüpünün üst ucunda yer alır. İki ayna teleskoplarda, göz merceğindeki görüntü ikincil aynanın arkasında oluşur ve birincil aynanın odak düzlemi yakınındadır. FL, ExPP düzlemi için tasarlanmıştır. FL'nin odak uzunluğu ve konumu, bu düzlemde k_{mag} için gerekli büyütme sağlamak için seçilmelidir. FL değiştirilmesiyle, biraz farklı optik parametrelerle teleskoplar için MASS - DIMM aygıtı adapte edilebilir. Tek bir mercekle, iki lens sistemi ile değiştirilirse, adaptasyon olasılığı neredeyse sınırsız olur. İki lens modülü, tek FL ile aynı işlevi yerine getirir, yani k_{mag} gerekli ölçek ile gerçek göz merceği üretir ve aynı zamanda açıklık üzerinde yıldız odaklanır.

Tablo 2’de MASS - DIMM için uygun bazı teleskopların optik parametrelerini göstermektedir. Her durumda, eşleşen Fabri lensi ve lensin odak düzleminde olan uzaklığını seçtikten sonra DIMM kanalına uygun geometriyi tanımlayan bir maske eşleştirmesi yapmaktadır. Büyütme faktörü k_{mag}, sırasıyla ExPP düzleminde göz merceğinde görüntü elde etmek için ayarlanmış olan FL eksen konumuna bağlıdır. FL, iki mercekle kombinasyonu olduğu zaman, büyütme, eksen konumu ve mercekler arasındaki mesafeyi değiştirerek ayarlanabilir. Odak uzunluğundaki küçük sapmalar merceklerle bağlıdır.

Tablo 2. Bazı Teleskoplar için MASS - DIMM Optik Parametreleri

Teleskop	D (mm)	F (mm)	FFL (mm)	kmag	dmask (mm)	bmask (mm)
Meade LX - 200	252	2500	125	14,5	5,5	12,0
TMT - Halfmann	350	2800	140	15,6	6,4	15,5
Meade RCX - 400	305	2438	1051	16,9	5,5	12,5
Celestron C11	280	2800	1202	16,0	5,5	12,1

MASS - DIMM kullanımı

MASS - DIMM doğru kullanılmadığı zaman yanlış veya hatalı veri sağlayabilir.

MASS parametreleri ayarlama

MASS, temelde hızlı fotometredir, onun sinyali sadece teorik dalga cephesi alıcısı (Wavefront Sensor, WFs) kullanılarak atmosferik görüş açısından yorumlanır. Ancak, aygıtsal parametreler WFs ve indekslerin doğru hesaplanmasını sağlamak için doğru belirtilmiş olması gerekir.

Yüksek gerilim ve ayırt edici eşik değerleri

MASS aygıtları ve elektroniklerinin her seti için, yüksek gerilim ve ayırt edici eşiklerinin bir fonksiyonu olarak karakteristik sayımı, montaj ve test esnasında ölçülür. Her cihaz için önerilen eşik değerleri ve yüksek gerilim değerleri düşük gürültü sağlamak için belirlenir. Elektronik modüller veya aygıtları değiştirildiğinde, yapılandırma dosyalarının da güncelleştirilmesi gerekir.

Poisson dağılımı olmayan parametre

$p \approx 1$ parametresi sapmayı ifade eder (Tokovonin et al. 2003a). Sapma sadece birkaç yüzde olmakla birlikte, yanlış p değeri, özellikle A ve B küçük açıklıklarını içerenlerde foton gürültüsüne ve dolayısıyla hesaplanan indekslerdeki kara akımlarda aşırı veya eksik tahmine yol açar. Etkisi sadece S_{AB}^2 değerini $\approx 0,02$ olduğunda iyi atmosferik görüş altında önemli hale gelmeye başlar. Bunun anlamı, eğer yıldız akısı ölçülen sinyal varyansının yarısından fazlası entegrasyon başına 50 sinyalden küçük ise aşırı gürültü nedeniyle doğru tahmin kritik hale gelir. Doğru p değeri sonuçların bağımlılığını azaltmak için parlak yıldız tercih edilir. Tipik olarak $V \approx 2''$ olan bir yıldız, A açıklığında ms de 50, B de 100, C de 300 ve D de 400 sinyalden oluşur. P parametresindeki istatistiksel hata Eşitlik 38 ile ifade edilir.

$$\varepsilon_p^2 = \frac{2}{N} \left(1 + \frac{1}{F} \right) \quad (38)$$

Burada N, mikro pozlamanın toplam sayısıdır. F, p yaklaşık %0,5 i görelî hassasiyet elde etmek için mikro pozlama başına düşen ortalama sayıdır. P parametresi sıcaklığa bağılıdır ve hava açıldıktan sonra yavaş yavaş yerleşir. Yani hava açıldıktan yaklaşık 1 saat sonra gece boyunca p ölçümü yapmak önerilir. P parametresinin doğruluk ayarını kontrol etmek için bir başka yol ise ışık kaynağı modüle edildiğinde istatîsel test yapmaktır. P parametresi özellikle AB açıklık çiftlerinde sıfırdan farklı olacaktır.

Ölü zaman

Doğrusal olmayan parametre τ (ölü zaman) sadece $V = 1^m$ den büyük parlaklıklara sahip hedef yıldız seçildiğinde rol oynar. D ve C açıklıklarında atmosferik çalkantı indeksini etkiler.

Büyütme

MASS açıklıklarının boyutu D, k_{mag} faktörünün optik büyütme faktörüne bağılıdır. Yaklaşık olarak analitiktir. Sayısal hesaplamalar yaklaşık hata değerinin %3 civarında olduğunu doğrulamaktadır.

Kenarlarda kararırma

MASS açıklıkların parlaklığını azaltmadan ne pahasına olursa olsun kaçınılmalıdır. Parlaklık azaltma etkisi ve diğêr nedenlerle açıklık şekli değışikliğı WFS etkiler. Bu etki birkaç yüzde içinde sabit kalmalıdır, çünkü MASS, kanallar arasındaki akış oranını ancak belli bir dereceye kadar kontrol eder. Daha fazla ışık toplamak için teleskopun açıklığı tarafından izin verilen MASS açıklıkları (yani maksimum k_{mag}) maksimum öngörülen boyutu seçmek ve daha sağlam bir profil seçmek için gerekir. Yanlış hizalamadaki olumsuz tolerans küçük hale geldikçe, parlaklık azaltma etkisini kontrol etmek esastır. MASS teleskop kurulup, FL hizalandığında, elektronik modül ayrılır ve görsel parlaklık izleri D kanalında incelenir. Değışikliklerden sonra bu etki her zaman kontrol edilmelidir.

Spektral davranış

MASS aygıtının $F(\lambda)$ spektral tepkisi, WFs'nin (Tokovonin 2003) tayfsal yanıtını etkiler. MASS bileşenlerinin (aygıt, optik) özelliklerini tespit etmek için tayfsal enerji dağılımı bilinen bir tayf türündeki yıldız seçilir.

MASS, parametreler doğru belirtildiğinde doğru sonucu verir. Veri kalitesini değerlendirmek için en iyi şey ölçüm esnasında aygıt parametrelerini kontrol etmektir.

SBIG Görüş Ölçer

Atmosferik görüş, kütle veya uzunluk gibi iyi tanımlanmış fiziksel nicelik değildir, bu yüzden Görüş Ölçerlerin gerçek doğruluğu rastgele yüksek olamaz. Atmosferik görüş, bu kadar yüksek bir doğrulukta tanımlanabilir olmadığından dolayı, %1'den daha iyi göreceli doğruluğu beklemek gerçekçi değildir (Kornilov 2007).

SBIG Görüş Ölçer (SBIG Seeing Monitor), gece boyunca atmosferik görüş ölçmek için geliştirilmiş otomatik bir sistemdir. SBIG Görüş Ölçer, temelde zaman gecikmesi ve entegrasyonu modunda (Time Delay and Integration mode, TDI) özel optik bir tasarımı ve yazılımı ile ST-402ME kamera elektronikleri kullanır. SBIG Görüş Ölçer, yaz ve kış ayları için ayrı ayrı süresiz olarak bir kez kurulur ve açık havada çalıştırılmak üzere tasarlanmıştır. Şekil 24, SBIG Görüş Ölçer otomatik ünitesi ve görüntüsünü göstermektedir.



Şekil 24. SBIG Görüş Ölçer otomatik ünite görüntüsü

SBIG Görüş Ölçer sistemi, tüm hava koşullarına dayanıklı kutusu içerisinde bulunan ST-402 elektroniği içine monte edilmiş 150 mm çapa ve f/5,3 odak oranına sahip merceklerden oluşur. Sistem 12 VDC güç kaynağı ve bilgisayar ile iletişime geçmesini sağlayan USB ile çalışmaktadır. Kutunun üst kısmında kameranın dış alanı görebileceği küçük bir pencere bulunmaktadır. Pencerede, dış yoğunlaşmayı önlemek için iki adet ısıtıcı bulunmaktadır.

SBIG Görüş Ölçer'in görüş penceresi (mercek ve kutu), kullanıcı tarafından kutup yıldızına yönlendirilir. Kutup yıldızının seçilmesinin sebebi, kutup yıldızının gece boyunca gözlenebilecek olması, yerinin değişmemesi, takibinin kolay olması ve zenit düzeltmesinin kolayca yapılabilmesidir. SBIG Görüş Ölçer, hareketli mekanizmaların ve zemini etkileyecek mekanizmaların yanına kurulmaması gerekir. Çünkü meydana gelebilecek küçük sarsıntılar SBIG Görüş Ölçer'in yaptığı ölçümleri etkileyecektir.

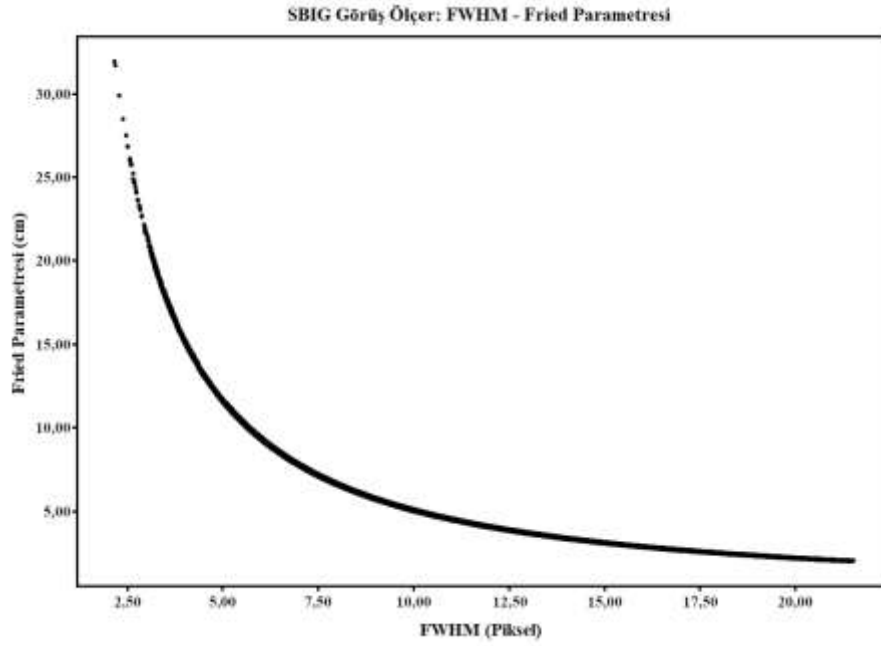
SBIG Görüş Ölçer'de kullanılan CCD kamera özellikleri Tablo 3'de gösterilmiştir.

Tablo 3. SBIG Görüş Ölçer'de Kullanılan CCD Kameranın Özellikleri

CCD	Kodak KAF 0402ME
Piksel dizisi	765 x 510 piksel
CCD boyutu	6,9 x 4,3 mm
Odak uzunluğu	2032 mm
Satürasyon seviyesi	65535
Açıklık alanı	32429,28 mm ²
Toplam Piksel	390000
Piksel boyutu	9,0 x 8,4 mikron
FoV	2,6° x 1,7°
Açıklık çapı	28 mm
Tam kapasite	100000 elektron
Okuma gürültüsü	13,8 elektron
Kara akım	0 °C de 1 elektron/saniye
Tam frame indirme	<1 saniye
Kazanç (elektron/ADU)	1,5 – 2,0
Kuantum etkinliği	%85
Hızlı okuma oranı	Saniyede yaklaşık 2 Mega piksel
Shutter	Mekanik
Pozlama	0,04 den 3600 saniyeye 10 ms çözünürlük
A/D dönüştürücü	16 bit
Binning modu	1x1, 2x2, 3x3, 1xn
Piksel sayısallaştırma oranı	> Saniyede 1 milyon piksel
Standart soğutma	-30 °C düzenlenmiş
Sıcaklık düzenleme	± 0,1 °C
Güç	2 Amperde 12 VDC
Bilgisayar arayüzü	USB 2.0
Bilgisayar uyumluluğu	Windows 7 (32 bit ve 64 bit) Mac OSX 10.5 Linux (3.parti)
Kamera gövdesi	50 x 100 x 127 mm
Ağırlık	~ 800 gr
Arka odak	17,5 mm
Link	https://diffractionlimited.com/wp-content/uploads/2016/03/st402man.pdf http://www.sbig.de/sbig-history/download/katalog/catalog.pdf

DIMM sisteminde olduğu gibi SBIG Görüş Ölçer sisteminde de atmosferik görüş ile Fried parametresi arasında ters orantılı bir ilişki vardır. Ayrıca Fried parametresi ile FWHM arasında da ilişki vardır. Bu ilişki için, SBIG Görüş Ölçer ile ölçümleri alınmış zenit

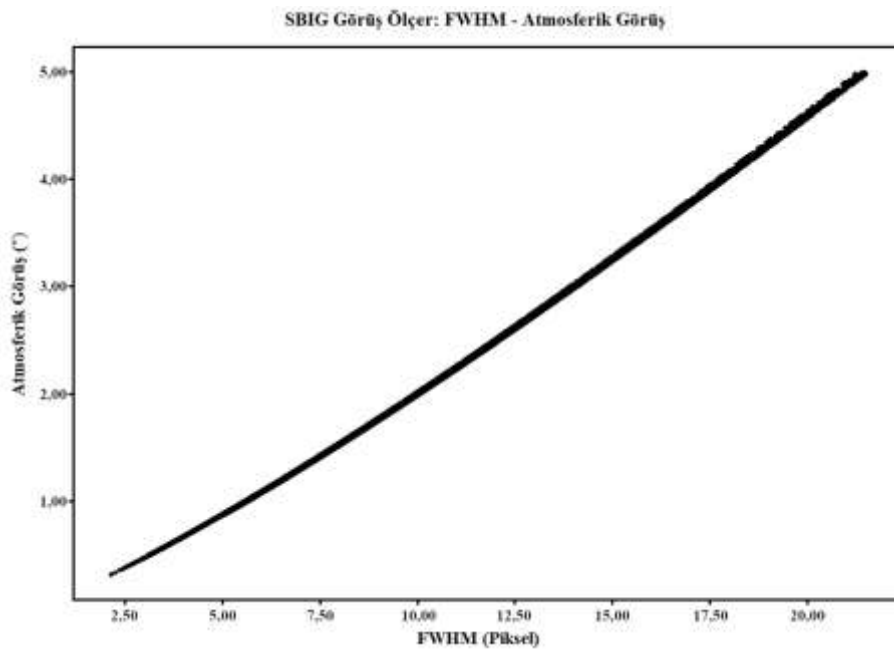
atmosferik görüş değeri $\leq 5''$ olması durumundaki FWHM değerinin Fried parametresine göre değişimi Şekil 25’de verilmiştir.



Şekil 25. SBIG Görüş Ölçer: FWHM - Fried parametresi

Şekil 25’de görüldüğü gibi, FWHM değeri arttığında Fried parametresi değeri azalmaktadır. Fried parametresi ile FWHM arasında ters orantılı bir ilişki olduğu görülmektedir.

Kutup yıldızının FWHM değeri, atmosferik görüşü vermektedir. Şekil 26’da görüldüğü gibi, atmosferik görüş değeri arttığında FWHM değeri de artmaktadır. Dolayısıyla atmosferik görüş ile FWHM arasında doğrusal bir ilişki vardır.



Şekil 26. SBIG Görüş Ölçer: FWHM - Atmosferik görüş

CYCLOPE Görüş Ölçer

Herhangi bir kubbe veya barınak ihtiyacı olmadan, tamamen hava şartlarına dayanıklı bir şekilde tasarlanmıştır. 25o Kuzey enleminden büyük coğrafi konumlarda, Kutup yıldızına yönlendirilerek (<0,2° Polaris yönlenmesiyle ~20 piksel) tüm yıl boyunca (yaz - kış ayarına ihtiyaç duymadan) ölçümler alınabilir. Diğer yerler için, başka bir yıldız yönelmek gerekir ve takip açık olmalıdır. Gözlem yapılmak için seçilen yıldız, zenitden çok uzakta olduğu zaman değiştirilmelidir. Başka yıldızlara hizalandığı zaman, yıldız çok sönük olacaktır. Kameranın görüş alanı içerisinde çok uzun süre kalmaz ve yanlış/eksik ölçümlere neden olabilmektedir. Kutup yıldızı ile ölçü almanın iki avantajı vardır: Birincisi, 0,75o çapına sahip bir daire etrafında hareket etmesidir. İkincisi, hiçbir takibe gerek kalmadan gece boyunca görüntü içerisinde kalmasıdır. Kutup yıldızı, V bandında ~2m olduğundan dolayı, yeterince parlaktır.

CYCLOPE Görüş Ölçer (CYCLOPE Seeing Monitor), giriş penceresi yüzeyinde oluşabilecek dış yoğunlaşmayı giderebilen ısıtıcıya sahiptir. Sistemde, ayrıca 4 tane sıcaklık ve 2 tane bağıl nem alıcısı bulunmaktadır. Sistemin sıcaklık ve nem değerlerini gösteren örnek görüntü Şekil 27’de gösterilmektedir.



Şekil 27. CYCLOPE Görüş Ölçer sıcaklık ve nem değeri göstergesi

CYCLOPE Görüş Ölçer tarafından kullanılan “DMK 23GP031” kamera görüntüsü Şekil 28’de ve özellikleri Tablo 4’de verilmiştir.

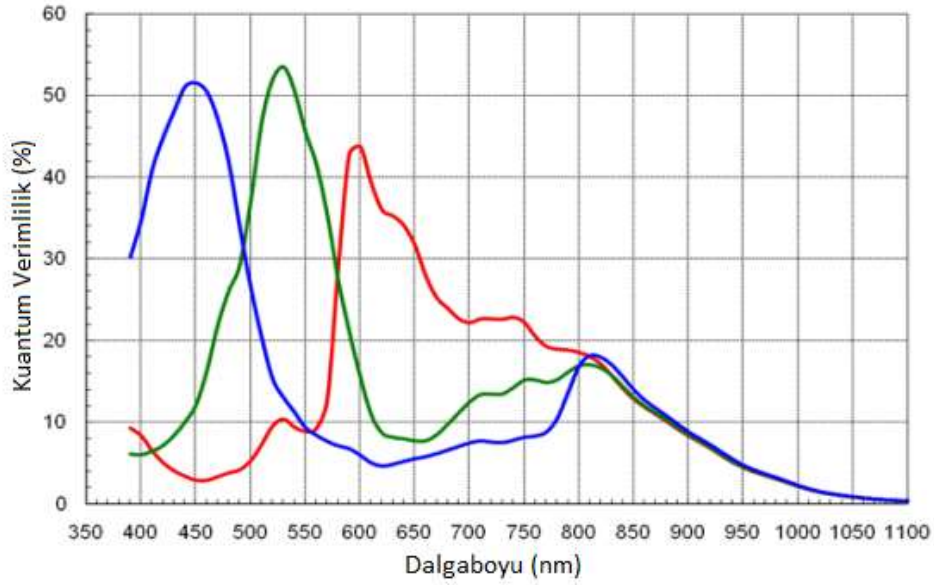


Şekil 28. CYCLOPE Görüş Ölçer tarafından kullanılan kamera

Tablo 4. DMK 23GP031 Alıcı Özellikleri

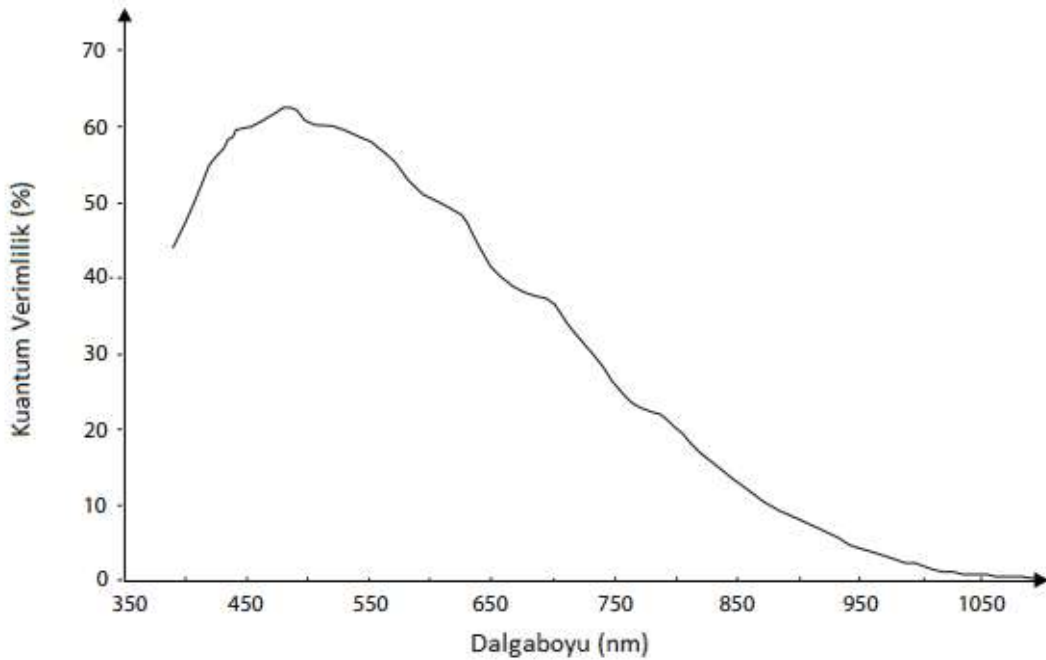
Alıcı Tipi	CMOS
Alıcı Özellikleri	Aptina MT9P031
Dinamik Aralık	8/12 bit
Piksel Sayısı	2592 x 1944 piksel
Piksel Boyutu	2,2 x 2,2 µm
FoV	3,6° x 2,5°
Poz süresi	50 – 60 fps (1/125 s)
Aralık	<1,5"
Güç Kablosu	12 VDC 400 mA
Shutter	1/20000 s - 30 s
Renk Filtresi	RGB
Kazanç	0 dB - 12 dB
Sıcaklık (Kullanımda)	-5 °C – 45 °C
Sıcaklık (Saklamada)	-20 °C – 60 °C
Nem (Kullanımda)	%20 - %80 (Yoğunlaşmayan)
Nem (Saklamada)	%20 - %95 (Yoğunlaşmayan)
Link	https://www.theimagingsource.com/products/industrial-cameras/gige-monochrome/dmk23gp031/ https://s1-dl.theimagingsource.com/api/2.5/packages/publications/sensors-cmos/mt9p031/bf1d60cb-e460-5c33-a560-a6e26b5def56/mt9p031_1.2.en_US.pdf

CYCLOPE Görüş Ölçer tarafından kullanılan “MT9P031” alıcısının farklı renklerde dalgaboyuna karşılık kuantum verimliliği Şekil 29’da verilmiştir.



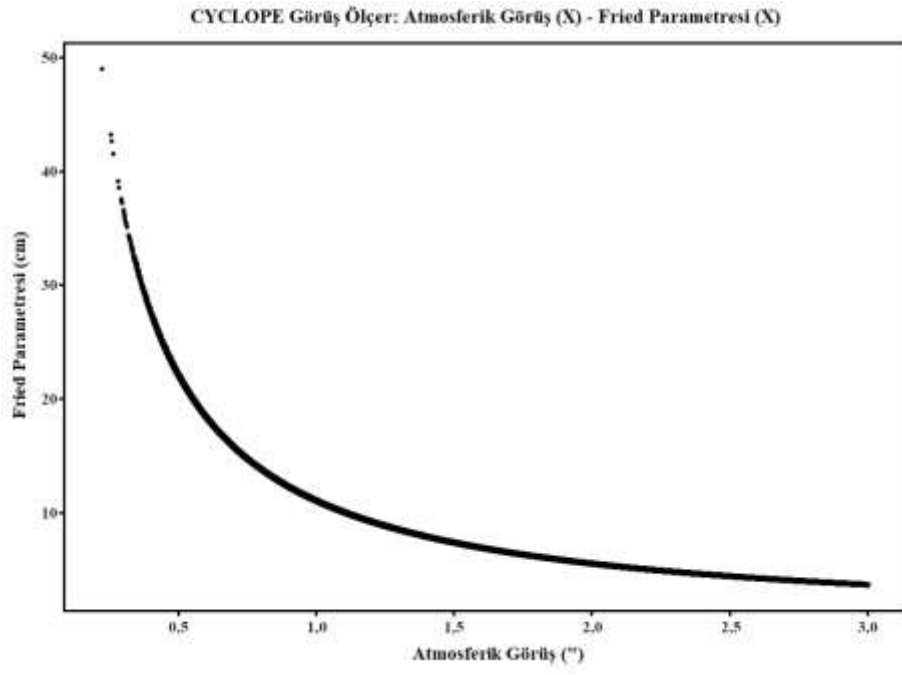
Şekil 29. CYCLOPE Görüş Ölçer alıcının dalgaboyu - kuantum verimliliği

CYCLOPE Görüş Ölçer 550 nm dalgaboyunda çalışmaktadır. “MT9P031” alıcısının yeşil renkte dalgaboyuna karşılık kuantum verimliliği Şekil 30’da verilmiştir.



Şekil 30. CYCLOPE Görüş Ölçer alıcının dalgaboyu - kuantum verimliliği (yeşil renk)

Diğer sistemlerde (DIMM ve SBIG) olduğu gibi atmosferik görüş ile Fried parametresi ters orantılıdır. Fried parametresinin büyük olduğu yani atmosferik görüşün küçük olduğu gözlemsel veriler görülmüştür. Bu durum, Şekil 31’de, CYCLOPE Görüş Ölçer ile ölçümleri alınmış zenit atmosferik görüş değeri $\leq 3''$ olması durumundaki x yönündeki atmosferik görüşün Fried parametresine göre değişiminde verilmiştir.



Şekil 31. CYCLOPE Görüş Ölçer: Atmosferik görüş - Fried parametresi

MATERYAL VE YÖNTEM

Materyal

Gözlemevi yer seçimi ve mevcut gözlemevleri çalışmalarında atmosferik görüş kalitesinin takibi oldukça önemlidir. Bu amaçla tez kapsamında, Erzurum'da (Konaklı, Karakaya Tepeleri, 3170 m) kurulum aşamasında olan Doğu Anadolu Gözlemevi (DAG) projesi kapsamında farklı sistemler (DIMM, SBIG ve CYCLOPE Görüş Ölçer) kullanılarak, atmosferik görüş gözlemleri yapılmış ve elde edilen verilerden çıkan sonuçlar diğer gözlemevleri ile karşılaştırılmıştır. Atmosferik görüş gözlemleri, farklı yöntemler ve yıldızlarla yapılmaktadır. Tez kapsamında, 2 adet atmosferik görüş sistemi (SBIG Görüş Ölçer ve CYCLOPE Görüş Ölçer) ve Manual DIMM sistemi, Kutup yıldızına hizalandırılmış ve ölçümler alınmıştır.

Zeminden yükseğe çıktıkça atmosferik çalkantı hızla düşmektedir (Ak vd. 2006). Bu nedenle, DAG Yerleşkesinde atmosferik görüş ve astronomik ölçümler için yapılmış olan 7 metre yüksekliğe sahip gözlem kulesi üzerine sistemlerin kurulumu yapılmış ve platform yüksekliğine bağlı olarak da diğer gözlemevleri ile karşılaştırılmıştır.

Ayrıca bu sistemlerden alınan ölçümler, meteoroloji ile karşılaştırılmıştır. Bunun için Automated Weather Station (AWS), Vaisala (WXT536) ve DAVIS Vantage Pro2 meteorolojik sistemleri kullanılmıştır.

DIMM

DIMM gözlemlerinde kullanılan Meade 12'' LX200 ACF (Advanced Coma - Free) teleskobu Şekil 32'de ve teleskobun özellikleri ise Tablo 5'de verilmiştir.



Şekil 32. DIMM ölçümlerinde kullanılan teleskop sistemi

Tablo 5. DIMM Gözlemlerinde Kullanılan Teleskobun Özellikleri

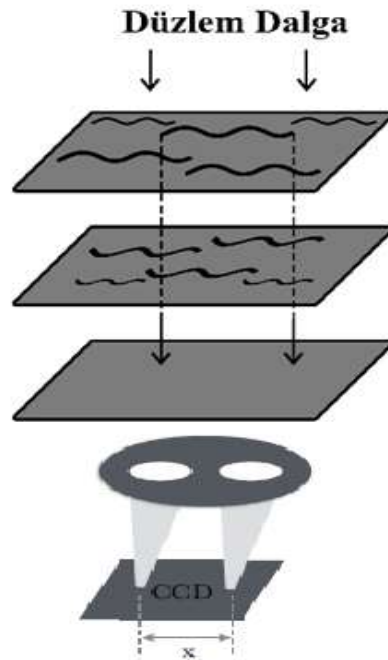
Çapı (D)	30,48 cm
Odak Oranı	f / 10
Odak Uzunluğu (f)	3048 mm
Çözünürlük Gücü	0,38"
Güç Kablosu	12 VDC, 5 Amper
Link	http://www.meadeuk.com/Meade-LX200-ACF-telescopes.html

DIMM gözlemlerinde teleskobu koruyacak, açılır - kapanır kubbe/çatı sistemi, Şekil 33’de verilmiştir.

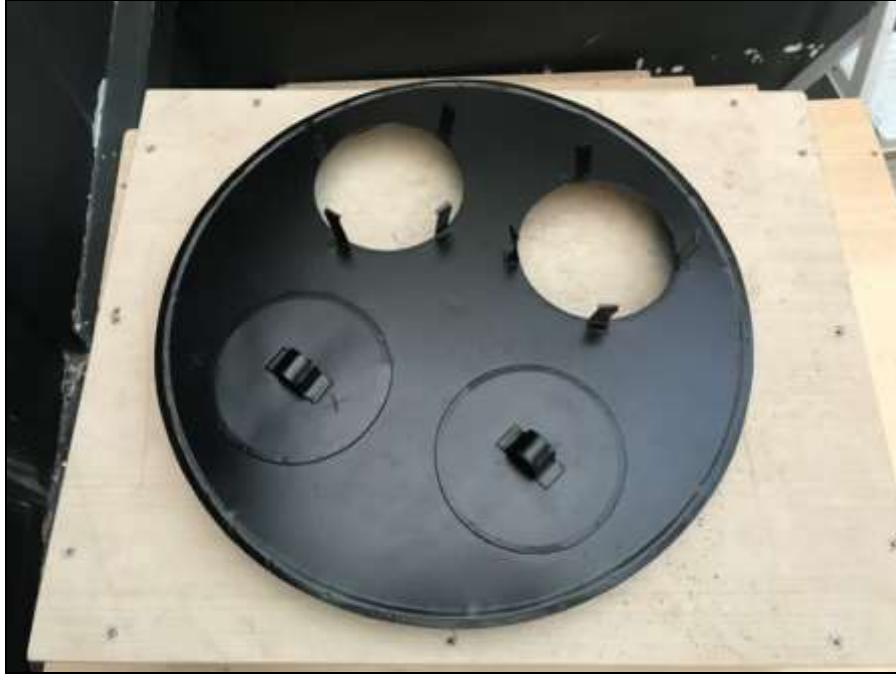


Şekil 33. DIMM sisteminde kullanılan açılır - kapanır çatı sistemi

Şekil 34’de gösterildiği gibi, atmosfer tarafından bozulan düzlem dalga cepheleri, ışığı x uzaklığı kadar iki noktaya odaklayan, teleskobun önüne yerleştirilen Hartmann maskesi (Şekil 35) aracılığıyla CCD tarafından algılanır.



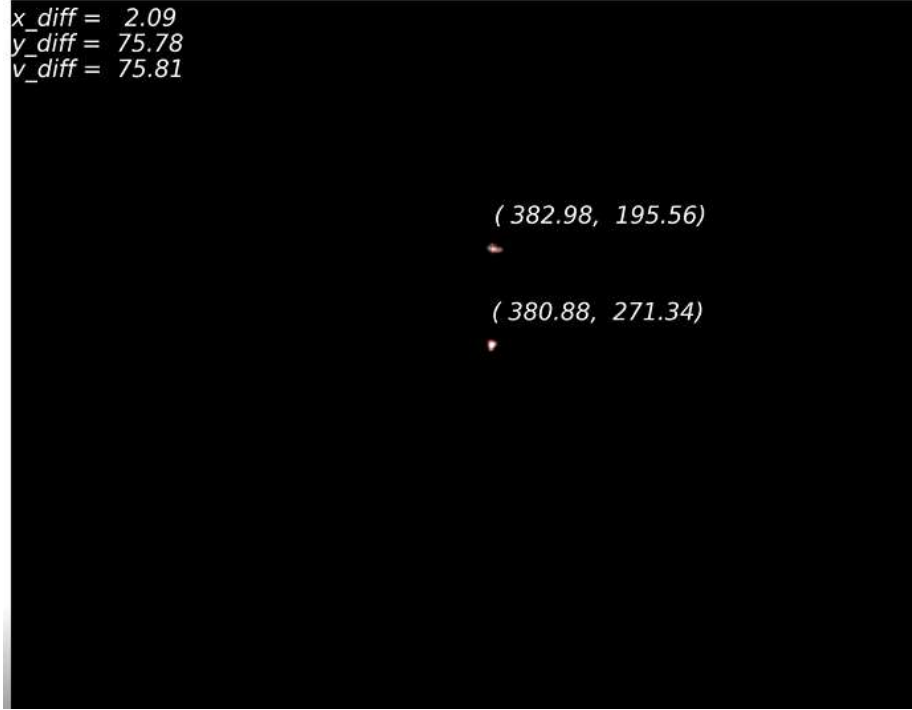
Şekil 34. DIMM sistemi tasarımı



Şekil 35. DIMM sistemi Hartmann maskesi

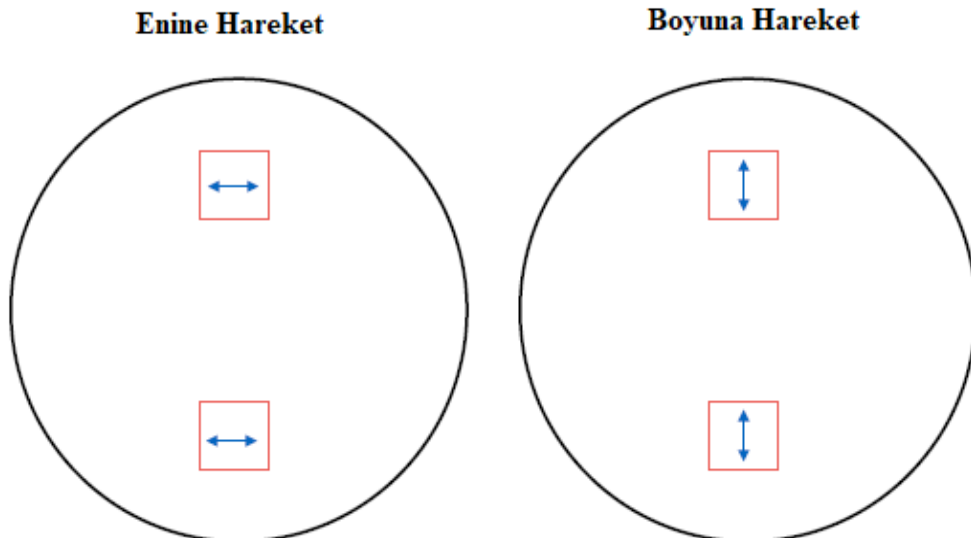
Maskenin üzerinde dört delik vardır. Bu deliklerden iki tanesine hiçbir şey takılmazken bir tanesine optik kama takılır. Hartmann maskesi üzerindeki deliklere yerleştirdiğimiz optik kama, Rusya’da özel imalat olarak yaptırılmıştır. Bu kama teleskobun odak düzleminde diğer tarafından oluşturulan görüntülerden farklı olarak, gözlenen yıldız görüntüsünün bir miktar kaymasını sağlar ve aynı yıldızın bir gerçek bir sanal görüntüsü elde edilir. Hartman maskesinin delik çapı (D) 100 mm ve delikler arasındaki mesafe (d) 203 mm’dir. d/D oranı 2,03’dür.

Hartmann maskesi ile oluşturulan sanal ve gerçek yıldız örnek görüntüsü Şekil 36'da verilmiştir.



Şekil 36. DIMM sistemi örnek görüntüsü

Şekil 36 incelendiği zaman hem x yönünde hem de y yönünde hareket olduğu görülmektedir. Kutup yıldızı, zamanla döndüğü için Zernike eğimlerini hesaplamamız gerekmektedir. Bundan dolayı, enine ve boyuna hareket için ayrı ayrı işlem yapılmalıdır. Şekil 37, enine ve boyuna yönlerin nasıl tanımlandığını göstermektedir. Hartmann maskesi deliklerini birleştiren doğrultuya paralel yöndeki görüntü hareketi için kullanılan boyuna ve bu doğruya dik yöndeki görüntü hareketi için kullanılan enine hareket olarak kabul edilmektedir.



Şekil 37. DIMM sistemi enine ve boyuna yönler arasındaki farkın gösterimi

Homojen bir atmosfer için enine ve boyuna Zernike eğimleri eşit çıkması gerekirken, kullandığımız sistem parametreleri ile boyuna hareket için Zernike eğimi 0,14 ve enine Zernike eğimi 0,21 hesaplanmıştır. Bundan dolayı, x, y, ortalama ve vektörel uzaklıklar bulunarak hesaplamalar yapılmıştır. Uzaklıklar bulunduktan sonra, istenilen aralıkta standart sapma hesaplanmıştır ve Fried parametresi elde edilmiştir. Hesaplanan Fried parametresinden sonra atmosferik görüş elde edilmiş ve zenit düzeltmesi yapılmıştır.

DIMM gözlemlerinde, birkaç mikron piksel boyutuna sahip (aynı zamanda çok geniş alana sahip) ve hızlı film kaydetme yeteneğine (en az saniyede 20 - 25 kare görüntü, yüksek hızda görüntü alan) sahip kamera kullanılmalıdır. DIMM gözlemlerinde kullanılan “Stellacam III” kamera özellikleri Tablo 6’da verilmiştir.

Tablo 6. DIMM Gözlemlerinde Kullanılan Stellacam III Özellikleri

İmalatçı	AstroVid
Video Format	NTSC/PAL (NTSC: 720 x 480 @ 30 fps, PAL: 720 x 576 @ 25 fps)
Soğutma	TEC
Boyutlar (mm)	L - 65, W - 65, H - 48
Kütlesi (g)	170
Alıcı (Yonga)	Sony ICX418ALL

Kamera yongasının (Sony ICX418ALL) özellikleri Tablo 7’de verilmiştir.

Tablo 7. DIMM Gözlemlerinde Kullanılan Kamera Yonga Özellikleri

Çip Boyutu	8 mm
Piksel Sayısı	811 x 508 piksel
Etkin Çözünürlük	768 x 494 piksel
Piksel Boyutu	8,4 x 9,8 mikrometre
Renk Matrisi	Monokromatik
Bildirilen Tipik	1100 mV
Hassasiyet	

DIMM gözlemleri genellikle video modunda ya da bu modda çalışabilen sayısal video CCD kameralar kullanılarak yapılmaktadır. DIMM gözlemlerinde kullandığımız video yakalama kartlarının özellikleri Tablo 8 ve Tablo 9’da verilmiştir.

1) USB Video Yakalama Kartı

Tablo 8. Pinnacle Video Yakalama Kartı Özellikleri

Marka	Pinnacle
Model	DVC (Dazzle Video Capture) 107 rev.1.1
Link	http://eridanera.ru/pinnacle-dazzle-dvc-170-driver.html

2) USB 2.0 Video Yakalama Kartı

Tablo 9. Logilink Video Yakalama Kartı Özellikleri

Marka	LogiLink
Model	VG0001A
Video Format	NTSC: 720 x 480 piksel @ 30 fps PAL: 720 x 576 piksel @ 25 fps
Link	http://www.logilink.org/USB_20_Audio_and_Video_Grabber_VG0001A.htm?seticlanguage=en

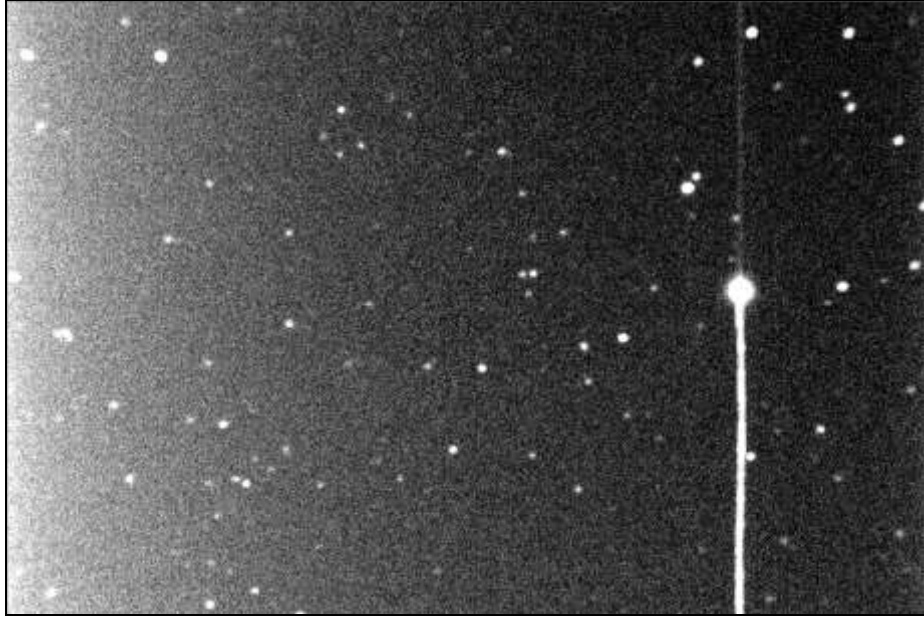
SBIG Görüş Ölçer

DAG Yerleşkesinde 7 metrelik kule üzerine kurulmuş olan SBIG Görüş Ölçer'in görüntüsü Şekil 38'de verilmiştir.



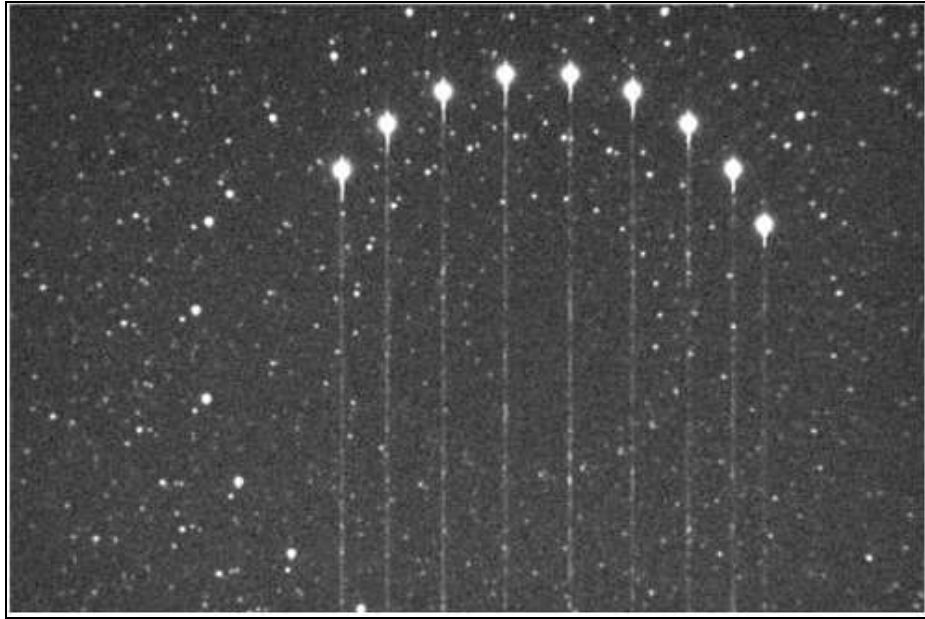
Şekil 38. SBIG Görüş Ölçer'in DAG Yerleşkesindeki görüntüsü

SBIG Görüş Ölçer verileri için bağlı bulunduğu bilgisayara ilgili yazılımlar (CCDOps ve Seeing Monitor) kurularak ve kutup yıldızına hizalandırılarak veri alımı yapılmıştır. Görüş Ölçer, düzgün olarak kurulduğunda ve kutup yıldızına hizalandığında, Şekil 39'da gösterildiği gibi bir görüntü elde edilmektedir.



Şekil 39. SBIG Görüş Ölçer'in kutup yıldızına hizalanmasıyla alınan görüntü

Kutup yıldızı tam olarak kuzey kutup noktasında olmadığı için gece boyunca yerin hareketi, kutup yıldızını kuzey kutup noktası etrafında hareket ediyormuş gibi Şekil 40'da gösterildiği gibi görmemizi sağlar. Yapılan bu dairesel hareketin görüş açısı, Görüş Ölçer'de algılayacak boyutta imal edilmiştir.



Şekil 40. SBIG Görüş Ölçer kutup yıldızının bir gece boyunca dairesel hareketi

Kutup yıldızının altındaki çizgiler, kamera kapaksız (shutter) olduğu için, okuma sırasında kutup yıldızının CCD kameraya maruz kalmasından dolayıdır. Alınan görüntülerde parlak yıldızın okuma yönü doğrultusunda okuma süresi kadar çizgiler meydana gelir. Bu çizgiler görüşün hesaplanması noktasında etkisi yoktur. Ayrıca, Görüş Ölçer'de kısa süreli poz süresi ile alınan görüntülerde kara akım (dark) görüntüleri almaya da gerek yoktur. Görüş

kalitesi ölçümleri, kutup yıldızının yatay doğrultudaki titreşimleri temel alınarak gerçekleştirilmiştir.

Sarazin and Roddier (1990) tarafından ifade edilen boyuna hareket, Eşitlik 39 ile verilmektedir.

$$\sigma_L^2 = 0,179 \left(\frac{\lambda}{r_0} \right)^{5/3} \left(\frac{\lambda}{D} \right)^{1/3} \quad (39)$$

Eşitlik 39'dan r_0 ifadesi, Eşitlik 40 ile ifade edilmektedir.

$$r_0 = \lambda \left[\frac{\sigma_L^2}{0,179 \left(\frac{\lambda}{D} \right)^{1/3}} \right]^{-3/5} \quad (40)$$

Burada λ , dalga boyu ve D ise açıklık çapıdır. SBIG Görüş Ölçer için açıklık çapı 28 mm'dir. Eşitlik 41'de FWHM değeri verilmektedir.

$$FWHM = \frac{0,98\lambda}{r_0 4,85 \times 10^{-6}} \quad (41)$$

$4,85 \times 10^{-6}$ değeri ile verilen değer, yarıçapın yay saniyesine dönüşümünü vermektedir. Atmosferik görüş, Eşitlik 42 ile verilen hava kütleğine göre değişmektedir.

$$\text{Seeing}_{\text{airmass}A} = \text{Seeing}_{\text{zenit}} \cdot A^{0.6} \leftrightarrow \text{Seeing}_{\text{zenit}} = A^{-0.6} \text{Seeing}_{\text{airmass}A} \quad (42)$$

Hava kütleği yaklaştırılması, Eşitlik 43 ile verilmektedir.

$$\text{Airmass} = \frac{1}{\cos(90^\circ - \text{enlem})} \quad (43)$$

Bu hesaplamalar için, $\lambda = 500$ nm alınmıştır. Sonuç, dalgaboyu için oldukça duyarsızdır, bu yüzden çok fazla hata yansımamaktadır. Gözlem alınan, her satırın merkezi için, arka plan üzerindeki yaklaşık 3σ noise veri kullanılmaktadır. Aksi takdirde, arka plan gürültü dalgalanmaları sonucu olumsuz etkilemektedir. RMS dalgalanmaları için, veri setinde en uygun düz çizgi (fit) çizilir ve değerlerin toplamı, Eşitlik 44 ifadesiyle verilmektedir.

$$rms_{\text{toplama}} = \sum_{j=1}^{1024} \left(\text{merkez}(\text{dizi}_j) - \text{düzçizgideğeri} \right)^2 \quad (44)$$

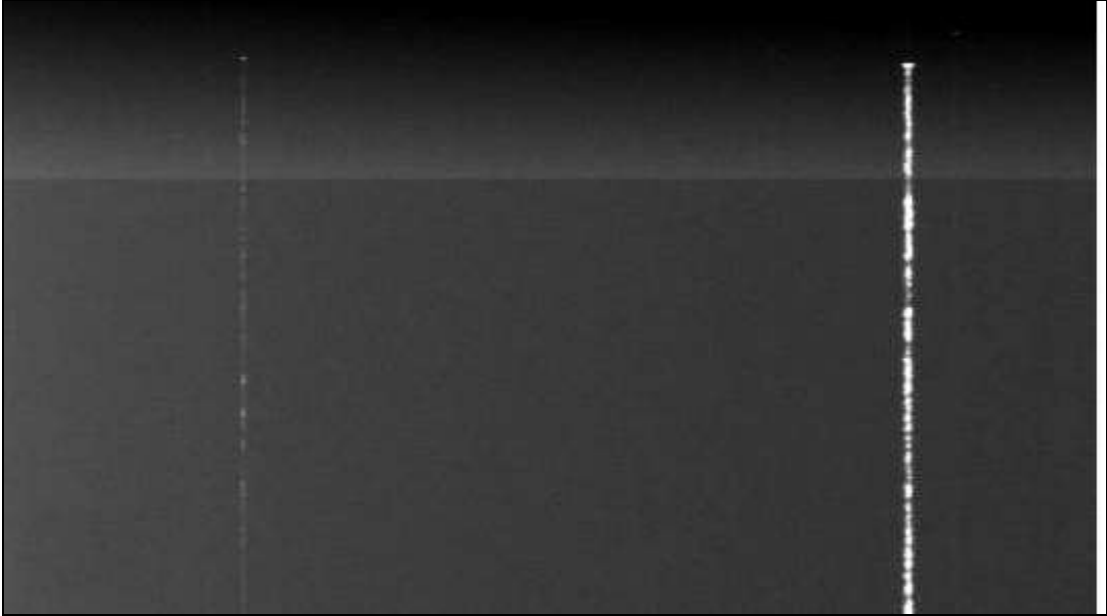
σ_x standart sapma için değer, Eşitlik 45 ifadesi ile verilmektedir.

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{rms_{toplam}}{1024}} \quad (45)$$

σ_x (piksellerde), daha sonra RMS açısal dalgalanma olan σ_L 'yi elde etmek için piksel başına açısanıyesi cinsinden görüntü ölçęi ile çarpılır.

Kutup yıldız görüntüsünün FWHM değeri Eşitlik 46 ile hesaplanır ve zenit düzeltmesi yapılarak Şekil 41'de gösterilen örnek elde edilir.

$$FWHM = 0,98 \frac{\lambda}{r_0} \quad (46)$$



Şekil 41. SBIG Görüş Ölçer ile indirgeme yapıldıktan sonraki görüntü

Şekil 41'de görüldüğü gibi kutup yıldızı görüntü üzerinde parlak bir çizgi oluşturur. Görüş Ölçer'in CCD kamerası, dikey doğrultuda 4 piksellik davranışı 1 piksel olarak göstermektedir. Poz süresi, özel bir amaç olmadığı sürece 0,01 saniye seçilmelidir. Uzun poz süreleri, görüş alanında sadece çok sönük yıldızlar olduğunda kullanılabilir.

CYCLOPE Görüş Ölçer

DAG Yerleşkesinde 7 metrelik kule üzerine kurulmuş olan CYCLOPE Görüş Ölçer'in görüntüsü Şekil 42'de verilmiştir.



Şekil 42. CYCLOPE Görüş Ölçer'in DAG Yerleşkesindeki görüntüsü

Bu sistemle, yeşil filtre (550 nm) ile 0,008 s poz süresi kullanılarak saniyede 50 ölçüm yapılabilmektedir. CYCLOPE Görüş Ölçer, atmosferik görüşü hesaplamak için gömülü bir yazılıma sahiptir. Programa coğrafi konum girildikten sonra sistem, Sunset, Sun rise ve diğer astronomik parametreleri hesaplar. CYCLOPE Görüş Ölçer, Kutup yıldızına doğru yönlendirildiği zaman, atmosferik görüş ölçümleri, Güneş'in yüksekliği -5° olduğu zaman gece boyunca otomatik olarak çalışacaktır ve yeniden başlayacaktır.

CYCLOPE Görüş Ölçer kutup yıldızına hizalandırılarak veri alımı yapılabilmektedir. Sistem, saniyede, 50 görüntü alarak 3000 ölçümde, atmosferik görüş hesaplayacak şekilde ayarlanmıştır. Bu değer altındaki ölçüm sayılarında (Örneğin; 1000 ölçümde) gürültü ölçümü sorunu ortaya çıkmaktadır.

Kaydedilen txt dosyasının örnek çıktısı Şekil 43'de gösterilmiştir. Bu çıktı içerisinde, soldan sağa doğru, biten ölçümün tarihi UTC zamanı, biten ölçümün yerel tarihi, biten ölçümün Jülyen gününü, ADU olarak yıldız kısmını ve yay saniyesiyle ifade edilen zenit atmosferik görüşü ve son sütun atmosferik görüş Fried zenit parametresini göstermektedir. Son ölçümlerin örnek çıktısı Şekil 44'de gösterilmiştir.

Line	Date	Time	Time	Value 1	Value 2	Value 3
1	12/06/2015	01:17:31	12/06/2015 03:17:31	2457185.5538405	8710.5	1.23
2	12/06/2015	01:18:28	12/06/2015 03:18:28	2457185.5544924	8699.1	0.08
3	12/06/2015	01:19:24	12/06/2015 03:19:24	2457185.5551450	8700.2	0.05
4	12/06/2015	01:20:20	12/06/2015 03:20:20	2457185.5557970	8699.3	0.05
5	12/06/2015	01:21:17	12/06/2015 03:21:17	2457185.5564490	8700.1	0.04
6	12/06/2015	02:00:39	12/06/2015 04:00:39	2457185.5837898	8702.9	0.25
7	12/06/2015	02:01:35	12/06/2015 04:01:35	2457185.5844417	8683.4	0.04
8	12/06/2015	02:02:32	12/06/2015 04:02:32	2457185.5850937	8680.1	0.04
9	12/06/2015	02:03:28	12/06/2015 04:03:28	2457185.5857458	8677.9	0.04
10	12/06/2015	02:04:24	12/06/2015 04:04:24	2457185.5863976	8678.1	0.04
11	12/06/2015	02:05:21	12/06/2015 04:05:21	2457185.5870496	8678.6	0.04
12	12/06/2015	02:06:17	12/06/2015 04:06:17	2457185.5877016	8678.7	0.04
13	12/06/2015	02:07:13	12/06/2015 04:07:13	2457185.5883536	8676.1	0.04
14	12/06/2015	02:08:10	12/06/2015 04:08:10	2457185.5890055	8677.1	0.04

Şekil 43. CYCLOPE Görüş Ölçer ile kaydedilen örnek veri seti

Line	Date	Time	Time	Value 1	Value 2	Value 3
1	19/07/2015	00:34:15	19/07/2015 02:34:15	2457222.5237936	11173.7	0.48 235.9
2						

Şekil 44. CYCLOPE Görüş Ölçer ile kaydedilen son örnek veri seti

3000 ölçümde bir hesaplanan atmosferik görüşün örnek çıktısı Şekil 45’de gösterilmektedir. Dosya içerisindeki ilk sütun tarihten itibaren saniyede farklıdır. İkinci sıra, aygıtın içindeki yıldızın x konumu, üçüncüsü y konumunu ve sonuncu sütun yıldızın x ve y yönünde ortalama FWHM değerlerini göstermektedir.

Line	Value 1	Value 2	Value 3	Value 4
0.0000000000000E+0000	1.26239535277989E-0001	-8.20388578811020E-0001	3.64995372604615E+0000	
1.50000443682075E-0002	-3.31219350294305E-0001	-1.29085157210108E+0000	3.42875133734535E+0000	
3.40001424774528E-0002	-7.42047395869122E-0001	-1.25398976328461E+0000	3.45494118127943E+0000	
6.19998900219798E-0002	-8.21871684405323E-0001	-6.02706401942555E-0001	3.95999941189980E+0000	
7.90002755820751E-0002	-5.88307186868633E-0001	-1.19176681457134E-0003	3.77426093241720E+0000	
9.30001493543386E-0002	-5.20710759846907E-0001	6.58209352773270E-0001	3.53171430850274E+0000	
1.09999906271696E-0001	-4.82867128747898E-0001	1.30949395037237E+0000	3.64413451561089E+0000	
1.27000291831791E-0001	-4.70547820811930E-0001	1.74218387769619E+0000	3.54213981821126E+0000	
1.57000380568206E-0001	4.72255111809545E-0002	1.27087869715194E+0000	3.54621005658617E+0000	
1.74000137485564E-0001	4.56685140251921E-0001	3.56320701170091E-0001	3.77244153870315E+0000	
1.90000352449715E-0001	9.44271495047815E-0001	-5.08022892346304E-0001	3.80491641255739E+0000	
2.19000270590186E-0001	9.08874359571769E-0001	-5.25410756534995E-0001	3.90270140598498E+0000	

Şekil 45. CYCLOPE Görüş Ölçer ile atmosferik görüşün örnek çıktısı (motion)

Sonuç dosyası, RMS x ve y motion, x ve y atmosferik görüş ile beraber total atmosferik görüş değerlerini vermektedir. Atmosferik görüşün örnek çıktısı, Şekil 46’da gösterilmektedir.

```
2017-08-23-19h19m29s_results - Notepad
File Edit Format View Help
Rms X motion (pixels) : 1.485
Rms Y motion (pixels) : 1.508
X seeing (arcsec)      : 21.829
Y seeing (arcsec)      : 22.233
Total seeing (arcsec)  : 22.031
```

Şekil 46. CYCLOPE Görüş Ölçer ile atmosferik görüşün örnek çıktısı (results)

Meteorolojik aletler

Atmosferik görüş ölçümlerinde meteorolojik karşılaştırma yapmak için, ilk önce daha yüksek hassasiyetle ölçüm yapılan Automated Weather Station (AWS), veri sıklığı durumuna bağlı olarak Vaisala, en son DAVIS Vantage Pro2 kullanılmıştır. Kullanılan meteorolojik aletlerin özellikleri sırayla verilmiştir.

Otomatik Hava İstasyonu (Automated Weather Station , AWS)

AWS meteoroloji sisteminin görüntüsü, Şekil 47’de, özellikleri ise Tablo 10’da gösterilmiştir. Sistem, sıcaklık, nem, rüzgâr hızı ve yönü, güneşlenme, çığ noktası, basınç, toprak nemi gibi değerleri vermektedir. AWS, 5 dakikalık periyotlarla ölçü almaktadır.



Şekil 47. AWS meteoroloji aletinin görüntüsü

Tablo 10. AWS Özellikleri

Alıcı	Ölçüm Aralığı (Hassasiyet)
Sıcaklık (°C)	-40 / 60 ($\pm 0,1$ °C)
Nem (%)	0 / 100 ($\pm 1,5$ %)
Basınç (hPa)	800 / 1100 ($\pm 0,5$ hPa)
Rüzgâr Hızı (m/s)	0 / 60 (± 2 m/s)
Rüzgâr Yönü (°)	0 / 360 ($\pm 2^\circ$)
Link	https://www.lsi-lastem.com/it/casi-studio/sistema-di-monitoraggio-ambientale-nel-sito-produttivo-laminam-pr/

Vaisala Meteoroloji Sistemi (WXT536)

Vaisala meteoroloji aletinin görüntüsü Şekil 48’de, özellikleri Tablo 11’de gösterilmiştir. Vaisala, 1 dakikalık periyotlarla ölçü almaktadır.



Şekil 48. Vaisala meteoroloji aletinin görüntüsü

Tablo 11. Vaisala Özellikleri

Alıcı	Ölçüm Aralığı (Hassasiyet)
Sıcaklık (°C)	-52 / 60 ($\pm 0,3$ °C)
Nem (%)	0 / 100 (± 3 %)
Basınç (hPa)	600 / 1100 (± 1 hPa)
Rüzgâr Hızı (m/s)	0 / 60 (± 3 m/s)
Rüzgâr Yönü (°)	0 / 360 ($\pm 3^\circ$)
Link	https://www.vaisala.com/en/products/weather-environmental-sensors/weather-transmitter-wxt530-series

Vaisala, hem rüzgâr hızını hem de rüzgâr yönü değerlerini 0,25 s periyotla ortalama, maksimum ve minimum değerler olarak vermektedir.

DAVIS Vantage Pro2 Sistemi

DAVIS Vantage Pro2 meteoroloji sisteminin görüntüsü Şekil 49’da, özellikleri Tablo 12’de gösterilmiştir. Sistem, sıcaklık, nem, rüzgâr hızı ve yönü, güneş ışınması, çığ noktası, Ultraviyole (Ultraviolet, UV) gibi değerleri vermektedir. DAVIS, 5 dakikalık periyotlarla ölçü almaktadır.



Şekil 49. DAVIS Vantage Pro2 meteoroloji sisteminin görüntüsü

Tablo 12. DAVIS Vantage Pro2 Özellikleri

Alıcı	Ölçüm Aralığı (Hassasiyet)
Sıcaklık (°C)	-40 / 65 ($\pm 0,3$ °C)
Nem (%)	0 / 100 (± 2 %)
Basınç (hPa)	540 / 1100 (± 1 hPa)
Rüzgâr Hızı (m/s)	0 / 89 (0,9 m/s)
Rüzgâr Yönü (°)	0 / 360 (± 1 °)
Link	https://www.davisinstruments.com/vantage-pro2/

Yöntem

Veri istatistiği, “Microsoft Office Excel” paket programıyla incelenmiştir. Veri sonuçlarının grafikleri Matplotlib¹ yardımıyla çizilmiştir.

DIMM’in çalışma prensibi

DIMM gözlemlerinin akış diyagramı Şekil 50’de verilmiştir. DIMM gözlemlerinde Pinnacle ve Logilink video yakalama kartı ile alınan Ses Görüntü Birleşimi (Audio Video

¹ Mathplotlib (<https://matplotlib.org/>)

Interleave, AVI) formatındaki videolar, Python²'in opencv³ (Open Source Computer Vision) açık kaynak kodlu görüntü işleme kütüphanesi kullanılarak videolar karelere ayrılmıştır. Karelere ayrılan videolar, astropy kütüphanesi kullanılarak FITS⁴ (Flexible Image Transport System) dosyaları olarak kaydedilmiştir. Kaydedilen FITS verilerinin başlığında (Header), videonun başlangıç zamanı ve kare hızı (frame rate) bilgileri eklenmiştir. Bu bilgiler kullanılarak FITS verilerine astropy yardımıyla zaman bilgisi (Julian Date) eklenmiştir.

Görüntülerde, sep⁵ kütüphanesi ve SExtractor⁶ (Source - Extractor) (Bertin and Arnouts 1996) yazılımı yardımıyla, eliptiklik, gauss profili ve parlaklık bilgileri kullanılarak sanal ve gerçek Kutup yıldızının konumu tespit edilmiştir. Konum bilgileri yanında *sep.extract* metodu kullanılarak x, y konumları ve *errx2*, *erry2* hata değerleri alınmıştır. Python betik dili kullanılarak, kaynaklar arasında vektörel ve xy ortalama uzaklıkları hataları ile birlikte hesaplanmıştır. İki kaynak arasındaki uzaklık, ortalama uzaklıktan 3σ 'dan daha yakın veya uzak olması durumunda veriler dışlanmıştır. Her görüntü için bütün verilerden hesaplanan zaman bilgisi de kullanılarak 1, 5, 12,5, 15, 20, 30, 60 ve 300 saniyelik veri grupları hazırlanmıştır. Veri gruplarını kullanarak, Tokovonin (2002) ve Sarazin (1990) yöntemi ile atmosferik görüş hesaplanmıştır. Hesaplanan atmosferik görüş değerlerine, DAG Yerleşkesinin konumu ve gözlem zamanı dikkate alınarak, zenit düzeltmesi uygulanmıştır.

Hesaplama yapılacak veri gruplarına karşılık gelen görüntü sayısı (frame number, fn) ve veri grubunda kullanılabilen görüntü sayısının, fn ye oranı geçerli veri (valid data, vd) olarak isimlendirilmiştir. Ayrıca, Astroquery⁷ kullanılarak, veri grubunun orta zamanı için, Kutup yıldızı, Güneş ve Ay'ın ufuk koordinat sisteminde konumu hesaplanmış ve açılma uzaklıkları elde edilmiştir.

Elde edilen veriler kullanılarak; x eksenini, y eksenini, vektörel ve ortalama (x ve y) atmosferik görüş değerleri hesaplanmıştır. Veriler, Yapılandırılmış Sorgu Dili (Structured Query Language, SQL) veri tabanında işlenmiştir.

Atmosferik görüş değerleri, SQL sorgular kullanılarak, meteorolojik verilerle (zamanda en fazla 1 dakika uzaklıkta) eşleştirilmiştir.

² Python (<https://www.python.org/>)

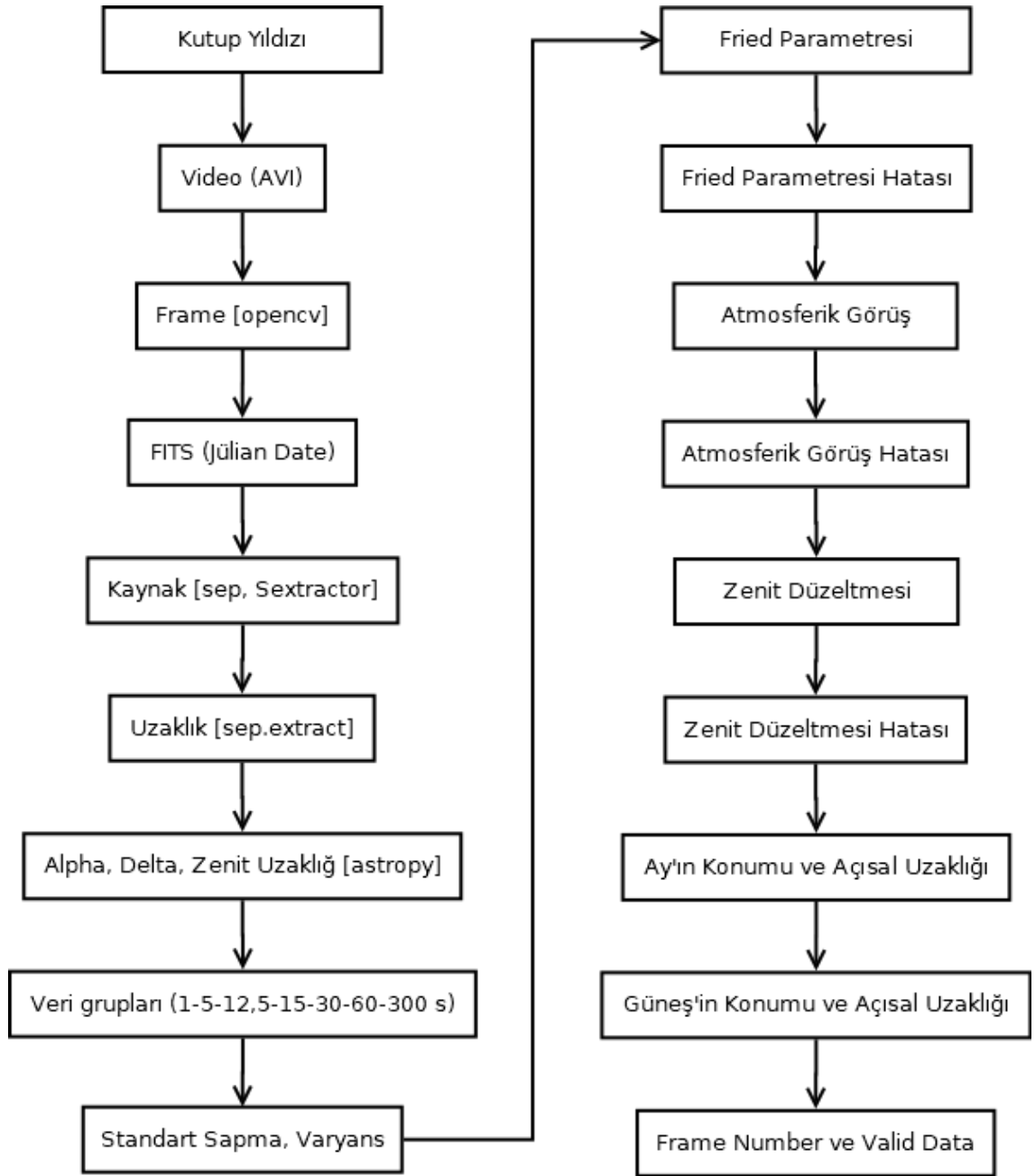
³ OpenCV (<https://opencv.org/>)

⁴ FITS (<https://fits.gsfc.nasa.gov/>)

⁵ Sep (<https://sep.readthedocs.io/en/v1.0.x/>)

⁶ SExtractor (<https://sextractor.readthedocs.io/en/latest/Introduction.html>)

⁷ Astroquery (<https://astroquery.readthedocs.io/en/latest/>)



Şekil 50. DIMM gözlemi akış diyagramı

SBIG Görüş Ölçer'in çalışma prensibi

SBIG Görüş Ölçer görüntülerine, FITS verilerinin başlığından (Header), zaman damgası ve poz süresi bilgisi alınmıştır. Bu bilgiler kullanılarak Python'un astropy⁸ kütüphanesi yardımıyla zaman bilgisi (Julian Date) hesaplanmıştır. sep kütüphanesi kullanılarak kaynak tespiti yapılarak, parlaklık (Mag) ve parlaklık hatası (MErr) değerleri ile birlikte Kutup yıldızının konumu tespit edilmiştir. Konum bilgileri yanında *sep.extract* metodu kullanılarak Kutup yıldızının x, y konum değerleri alınmıştır ve alipy⁹ kullanılarak FWHM değeri bulunmuştur.

CYCLOPE Görüş Ölçer'in çalışma prensibi

CYCLOPE Görüş Ölçer sonuç dosyalarının başlığındaki tarih bilgisi kullanılarak astropy paketiyle zaman bilgisi (Julian Date) hesaplanmıştır. Ayrıca, sonuç dosyalarından RMS x ve y motion, x ve y atmosferik görüş ile beraber toplam atmosferik görüş değerleri alınmıştır.

⁸ Astropy (www.astropy.org)

⁹ Alipy (<https://pypi.org/project/alipy/>)

ARAŞTIRMA BULGULARI

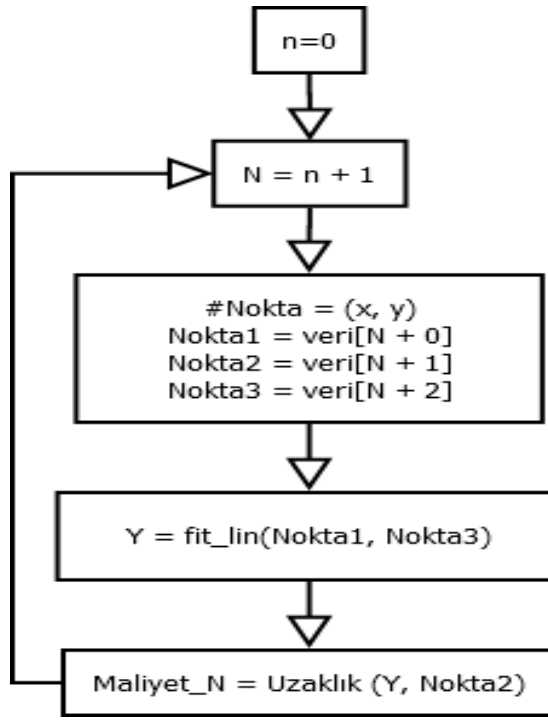
DIMM Sisteminden Elde Edilen Bulgular

DIMM ile ölçümleri alınmış verilerin görüntü sayılarına göre, Giovanelli *et al.* (2001) tarafından verilen hata hesabı formülü kullanılarak atmosferik görüş hesaplanmasında yapılan hata değerleri, Tablo 13’de verilmiştir.

Tablo 13. DIMM: Görüntü Sayısına Bağlı Olarak Yüzde Hata

N (Görüntü sayısı)	Hata (%)
25	14,20
145	6,47
312	4,52
375	4,15
500	3,62
1500	2,13
7500	0,97

Tablo 13’de, yapılan hata hesabı çalışmalarında görülmüştür ki, ne kadar çok görüntü kullanılırsa hata oranı o kadar iyileşmektedir. Görüntü sayısı 50 ile 100 arasında olduğu zaman, atmosferik görüş ölçüm hatası yaklaşık %15 civarında olmasına rağmen, N = 200 görüntü alınması halinde ölçüm hatası %6 mertebesinde olmaktadır (Ak vd. 2006). Hesaplamalarda görüntü sayısının artırılması gerekmektedir fakat zaman çözünürlüğü dikkate alınarak, kaybedilen görüntü sayısına karşılık kazanılan hata miktarının anlamlı olması gerekmektedir. En iyi görüntü sayısının tespiti için bir Maliyet fonksiyonu (Cost function) tanımlanmıştır. Maliyet fonksiyonu, görüntü sayısı ve hesaplanan hata göz önünde bulundurularak, değişimin en düşük olduğu görüntü sayısının tespit edilmesi için gerekli akış diyagramı Şekil 51’de verilmiştir.



Şekil 51. DIMM: Maliyet fonksiyonu akış diyagramı

Şekil 51 incelendiği zaman, Tablo 13’de verilen bir değer (N inci) ile (N+2) noktalarından geçen doğrusal fit yapılmıştır. Yapılan fit fonksiyonu ile (N+1) noktası arasındaki dik uzaklık, N. maliyet değeri olarak hesaplanmıştır.

İlk değerın maliyeti için (25;14,2) ve (312;4,52) noktalarından geçen doğrunun denklemi, Eşitlik 47’de verilmiştir.

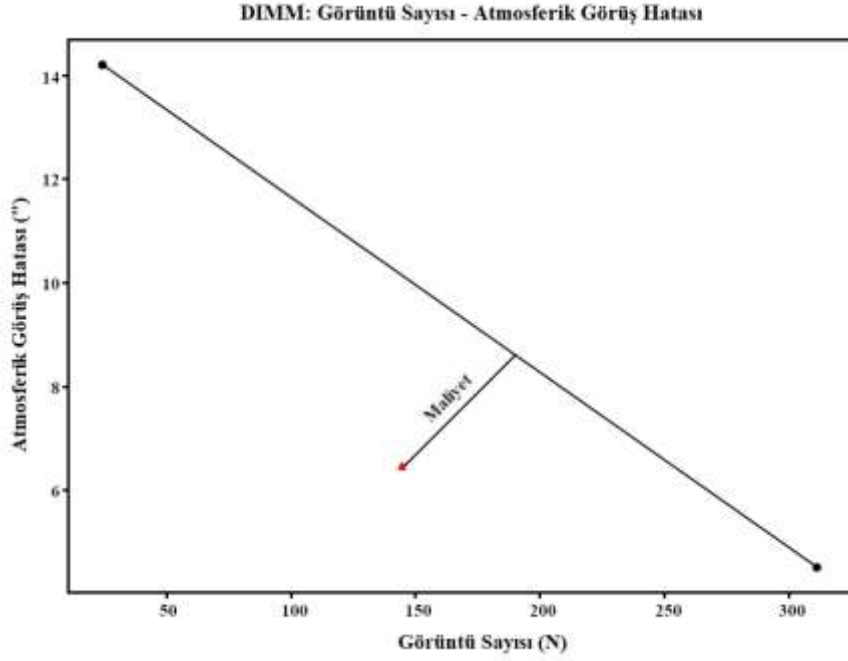
$$y = -0,034x + 15,043 \quad (46)$$

Burada, y, görüntü sayısını ve x ise hatayı göstermektedir. Eşitlik 47 kullanılarak (145;6,47) noktası arasındaki dik uzaklık Eşitlik 48 ile hesaplanmıştır.

$$Uzaklik = \frac{|ax_1 + by_1 + c|}{\sqrt{a^2 + b^2}} \quad (48)$$

Eşitlik 48 ile hesaplanan, 1. noktanın maliyet değeri Eşitlik 49 ve Şekil 52’de verilmiştir.

$$Maliyet = \frac{|-0,034(145) - 1(6,47) + 15,043|}{\sqrt{(-0,034)^2 + (-1)^2}} = 3,64 \quad (49)$$



Şekil 52. DIMM: İlk noktanın maliyeti

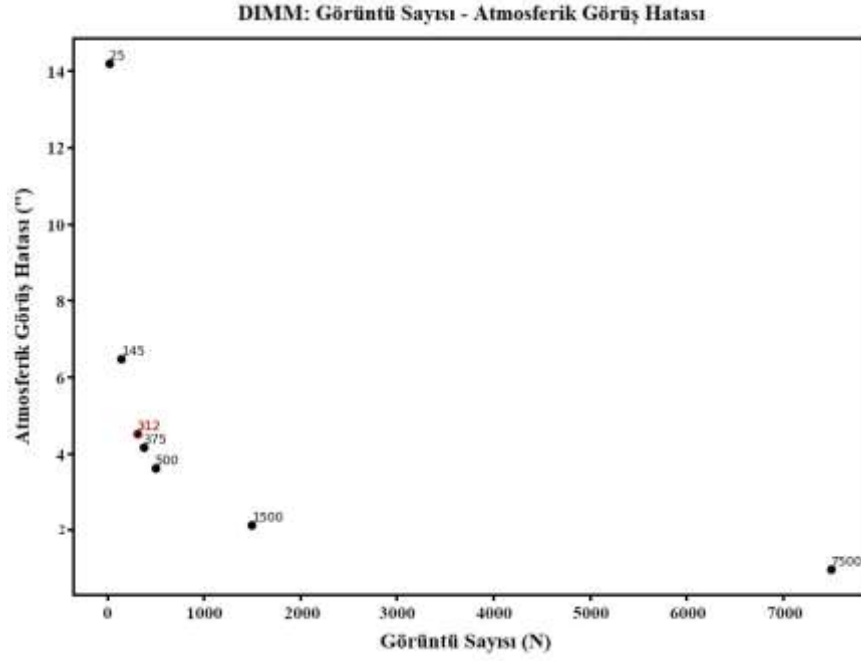
Diğer noktalar için de tespit edilen maliyet değerleri Tablo 14’de verilmiştir.

Tablo 14. DIMM: Görüntü Sayısına Bağlı Olarak Maliyet Değerleri

(N; Hata)	Maliyet
(25; 14,20)	3,64
(145; 6,47)	0,27
(312; 4,52)	0,07
(375; 4,15)	0,31
(500; 3,62)	1,11
(1500; 2,13)	-
(7500; 0,97)	-

Tanımladığımız maliyet yöntemi ile son iki noktanın maliyeti hesaplanamayacağından Tablo 14’da verilen son iki değer maliyeti verilmemiştir. Kullanmayacağımız 1500 ve 7500 veri grupları (görüntü sayısı - hata grafiği değiştirmeyeceğini bilerek) rastgele seçilmiştir. Maliyet değerinin en küçük olduğu değerle görüntü sayısının en uygun değer olduğuna karar verilmiştir.

Kullandığımız sistem ile ortalama 312 görüntü (12,5 saniyede atmosferik görüş hesaplayarak) kullanarak %4,5 mertebesinde hata yapılarak ölçümler yapılmıştır ve bu ölçümler kullanılmıştır. Görüntü sayısına bağlı olarak hata değerlerinin grafiği ve en uygun değer Şekil 53’de (yuvarlak içerisine alınan, 312, en uygun değer) verilmiştir.



Şekil 53. DIMM: Görüntü sayısı - Atmosferik görüş hatası

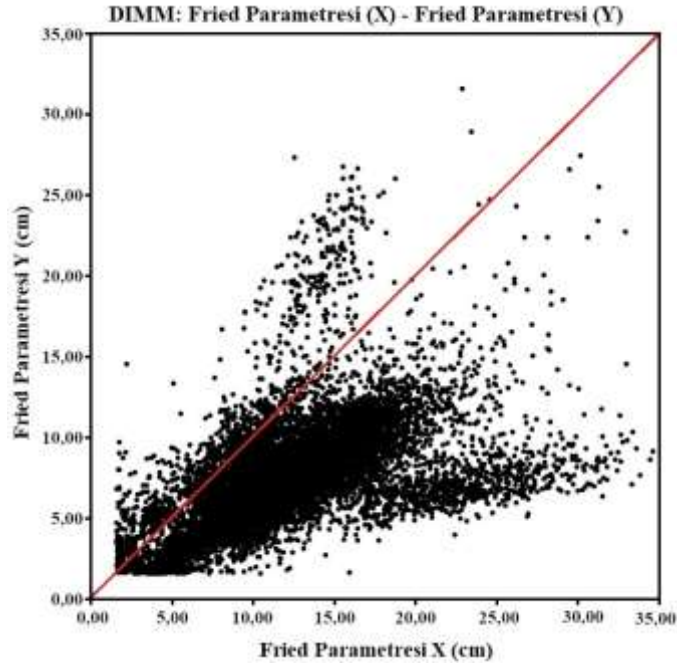
DAG Yerleşkesinde kurulan DIMM sistemi ile 2017 - 2018 yılları arasında 63 gün ~30 Milyon görüntü alınıp her 12,5 s (312 görüntü) için atmosferik görüş değeri hesaplanmıştır. Geçerli veri (vd) $\geq 0,7$ (%70) ve görüntü sayısı (fn) ≥ 218 olan atmosferik görüş değerleri alınıp istatistiksel analizi yapılmıştır. Yapılan istatistiksel analiz sonuçlarından örnek bir gün Tablo 15’de verilmiştir.

Tablo 15. DIMM: 07 Kasım 2018 Tarihindeki İstatiksel Sonuçlar

Minimum	0,56
Ortalama <3	0,97
Medyan <3	0,81
Ortalama <5	1,03
Medyan <5	0,81
Toplam Veri	559
0-1 Veri Sayısı	333
1-2 Veri Sayısı	103
2-3 Veri Sayısı	23
3-4 Veri Sayısı	7
4-5 Veri Sayısı	3
Toplam <3	459
3 < Toplam <5	10
Toplam <5	469
< 3 %	%82
(<3 & <5) %	%2
< 5 %	%84

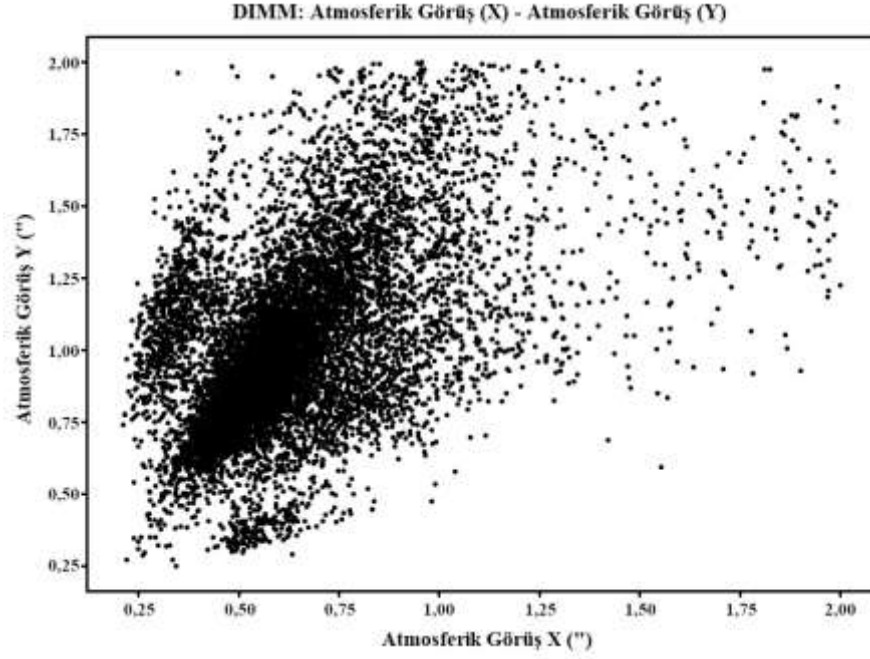
Tablo 15 incelendiği zaman, verilen tarihte 0,56" olarak ölçülen en küçük atmosferik görüş değeri ve verilerin büyük bir çoğunluğunun 0 - 1" arasında olduğu görülmektedir. Gözlem boyunca en az 60 dakika, astronomik olarak yüksek ayırma gücü gerektiren gözlemler için ideal bir gözlem zamanı olduğunu göstermektedir.

DIMM ile ölçümleri alınmış Kutup Yıldızının sanal ve gerçek görüntülerinin merkez koordinatları bulunarak, x ve y yönündeki zenit atmosferik görüş değeri $\leq 5''$ olması durumunda Fried parametrelerinin karşılaştırılması Şekil 54’de verilmiştir.



Şekil 54. DIMM: Fried parametresi (X) - Fried parametresi (Y)

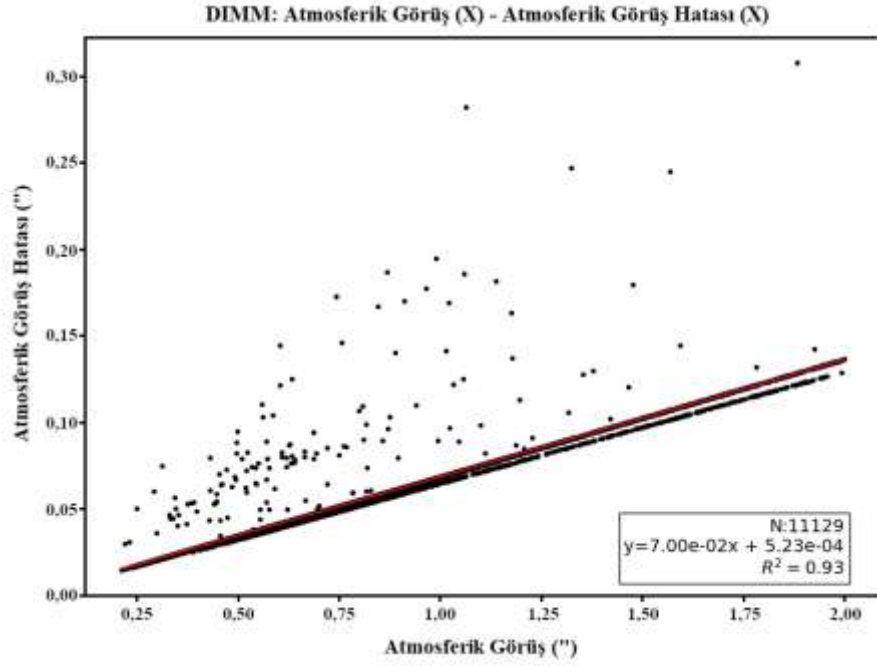
Şekil 54’deki kırmızı çizgi ile belirtilen boyuna ve dikine Fried parametrelerinin birbirine eşit olması beklenmektedir. Ancak Şekil 54 incelendiği zaman, x ve y yönündeki değişimlerin ve buna bağlı olarak Fried parametrelerinin değerlerinin eşit olmadığı görülmüştür. Bunun nedeni, kullanılan CCD boyutunun tam kare olmaması ve atmosferin homojen olmamasından dolayıdır. Özellikle rüzgârlı havalarda bu değerlerin birbirinden farklı olmaktadır (Tokovinin 2002a, Giovanelli *et. al.* 2001, Sarazin and Roddier 1990). X yönündeki Fried parameteleri y yönündeki ölçümlerden daha büyüktür. DIMM gözlemlerinde, Fried parametresinin azaldığı iyi atmosferik koşullarında (Fried parametresinin yükseldiği durumda) x ve y yönündeki atmosferik görüş değerleri, Şekil 55’de verildiği gibi farklılaşmaktadır.



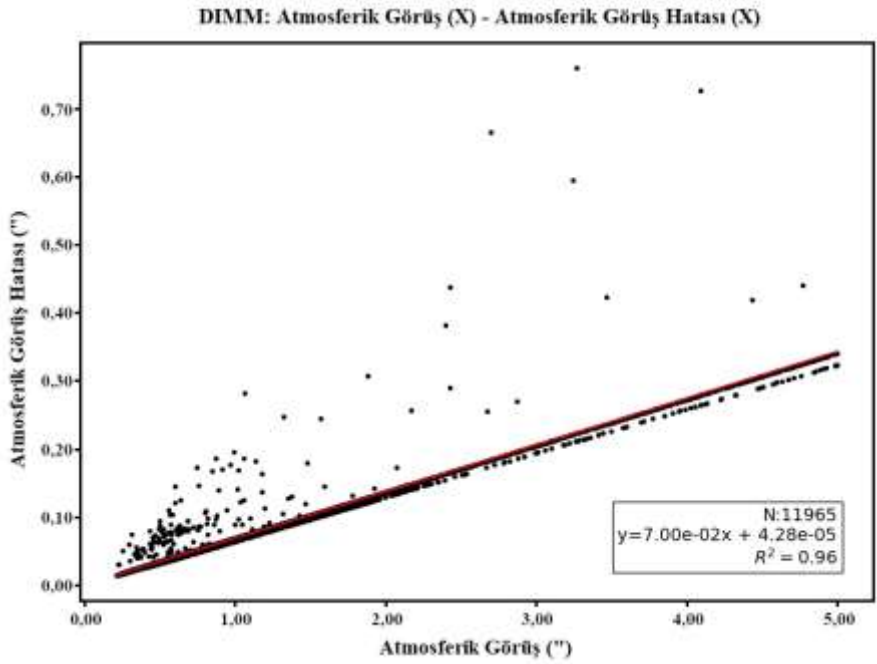
Şekil 55. DIMM: Atmosferik görüş (X) - Atmosferik görüş (Y)

Her iki yöndeki (enine ve boyuna) görüntü hareketinin dikkate alınması gerektiğinden, x, y, ortalama ve vektörel değerler hesaplanarak, astronomik açıdan anlamlı olan atmosferik değerlerin 2", 3" ve 5" değerlerinden küçük olması durumları incelenmiştir. Her iki yöndeki görüntü hareketinden bulunan atmosferik görüş değerlerinin ortalaması alındığından, bu durumun sonuçlar üzerindeki olumsuz etkisi beklenen hata mertebeleri içindedir (Ak vd. 2006).

DIMM ile ölçümleri alınmış zenit atmosferik görüş değeri $\leq 2''$ ve zenit atmosferik görüş değeri $\leq 5''$ olması durumundaki x yönündeki atmosferik görüşün, Giovanelli *et al.* (2001) tarafından verilen hata formülüyle hesaplanan atmosferik görüş hatalarına göre değişimi ve 1.dereceden doğrusal fit, Şekil 56 ve Şekil 57'de verilmiştir.



Şekil 56. DIMM: Atmosferik görüş ($\leq 2''$) - Atmosferik görüş hatası



Şekil 57. DIMM: Atmosferik görüş ($\leq 5''$) - Atmosferik görüş hatası

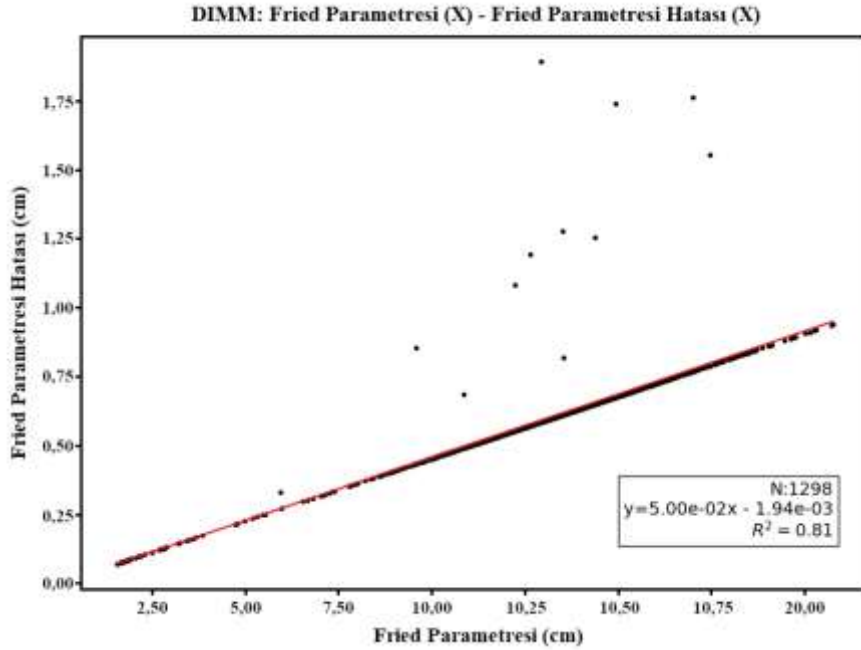
Şekil 56'da çizilen 1.dereceden fit denklemi Eşitlik 50 ve Şekil 57 için çizilen 1. dereceden fit denklemi Eşitlik 51 ile verilmektedir.

$$y = 7,00e-02x + 5,23e-04 / R^2 = 0,93 \quad (50)$$

$$y = 7,00e-02x + 4,28e-05 / R^2 = 0,96 \quad (51)$$

Burada, y atmosferik görüş hatasını (") ve x ise atmosferik görüşü (") göstermektedir. Eşitlikler incelendiği zaman, zenit atmosferik görüş değeri $\leq 5''$ olması durumundaki doğruluk biraz daha iyi olmakla beraber, eğimlerin birbirine eşit olduğu ve denklemlerde sadece

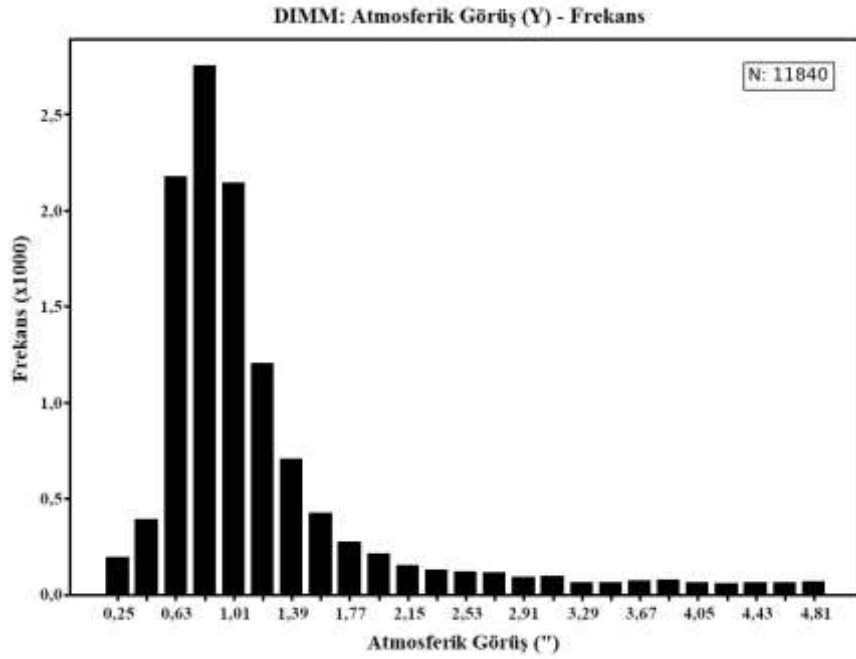
sabitlerin değiştiği görülmüştür. Aynı işlem, örnek bir gün (JD: 2458172) için 1298 veri kullanılarak yapıldığı zaman, %99 gibi bir doğrulukla aynı eğimde doğrusal bir denklem elde edilmiştir. Aynı gün (JD: 2458172) için Fried parametresi ve Fried parametresinde yapılan hata da incelenmiş olup Şekil 58'de verilmiştir.



Şekil 58. DIMM: Fried parametresi - Fried parametresi hatası (fit) (JD: 2458172)

Şekil 58 incelendiği zaman, %81 doğrulukla doğrusal fit çizilmiştir. Atmosferik görüş değeri $\leq 3''$ olması durumundaki y yönündeki Fried parametresinin, Fried parametresi hatasına göre değişimi incelendiğinde, iyi bir gözlemevinde yaklaşık 25 cm civarında olan Fried parametresi değerini, DAG Yerleşkesinde bu değer (yaklaşık 1 cm hata ile) gördüğümüz gözlemler vardır.

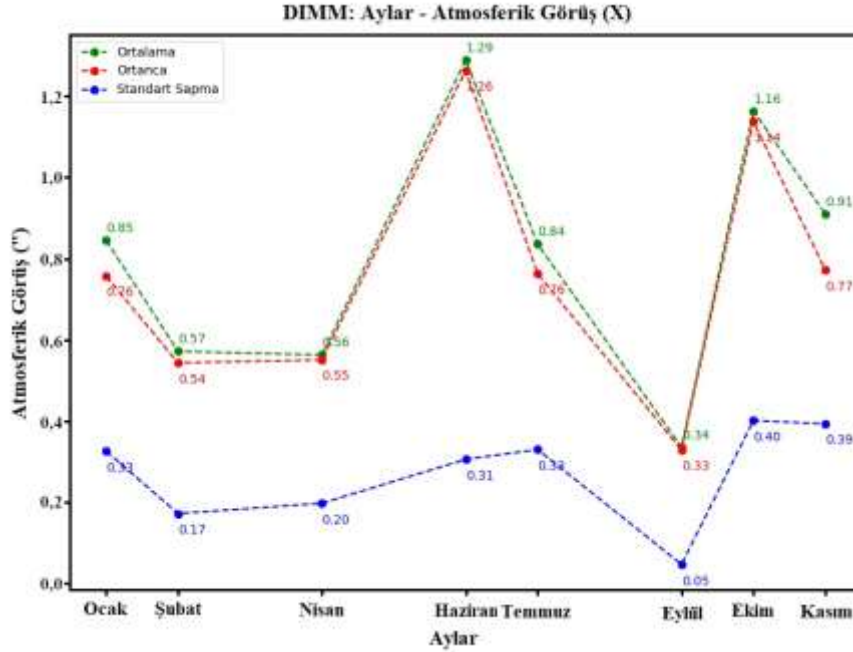
DIMM ile ölçümleri alınmış zenit atmosferik görüş değeri $\leq 5''$ olması durumundaki y yönündeki histogram grafiği Şekil 59'da verilmiştir.



Şekil 59. DIMM: Atmosferik görüş - Frekans

Şekil 59 incelendiğinde, verilerin çoğunluğu 0,63" ile 1,01" arasında dağılmıştır. En fazla 0,82" aralığında veriler gözlenmiştir. En çok görülen bu değer, toplam verilerin yaklaşık %35'i civarındadır. Dolayısıyla, gözlem verilerinin en az %35'i gözlem kalitesi olarak çok iyi değere sahip verilerden oluşmuştur.

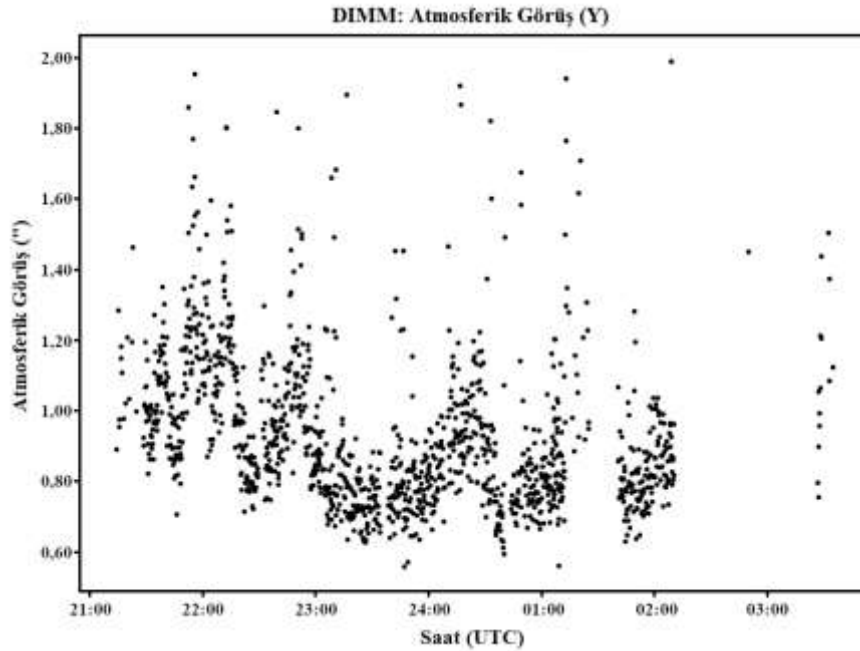
DIMM ile ölçümleri alınmış zenit atmosferik görüş değeri $\leq 2''$ olması durumundaki x yönündeki atmosferik görüşün (Ortalama, Ortanca ve Standart sapmanın) aylara göre değişimi Şekil 60'da verilmiştir.



Şekil 60. DIMM: Aylar - Atmosferik görüş

Şekil 60'de görüldüğü gibi, ortalama ve ortanca atmosferik görüş değerleri birbirine yakın olarak ölçülmüşken, standart sapma değerinin düşmesi ile ortalama ve ortanca atmosferik görüş değerleri de düşmektedir. Ölçülen standart sapmanın küçük olması durumunda, ortalama ve ortanca atmosferik görüş değerleri neredeyse eşit çıkmaktadır. Standart sapma, ölçümlerimizin ne kadar tutarlı veya güvenilir olduğunu göstermektedir. Yerleşkenin atmosferik görüş kalitesi zamana ve mevsimlere göre değişiklik gösterir (Travouillon 2004). Kış aylarında sıcaklığın düşük olmasından dolayı, ortalama ve ortanca atmosferik görüş değerleri en düşüktür. İlkbahar ve Sonbahar mevsimlerinde birbirine yakın değerler gözlenirken, yaz aylarında daha büyük atmosferik görüş değerleri ile karşılaşılmıştır.

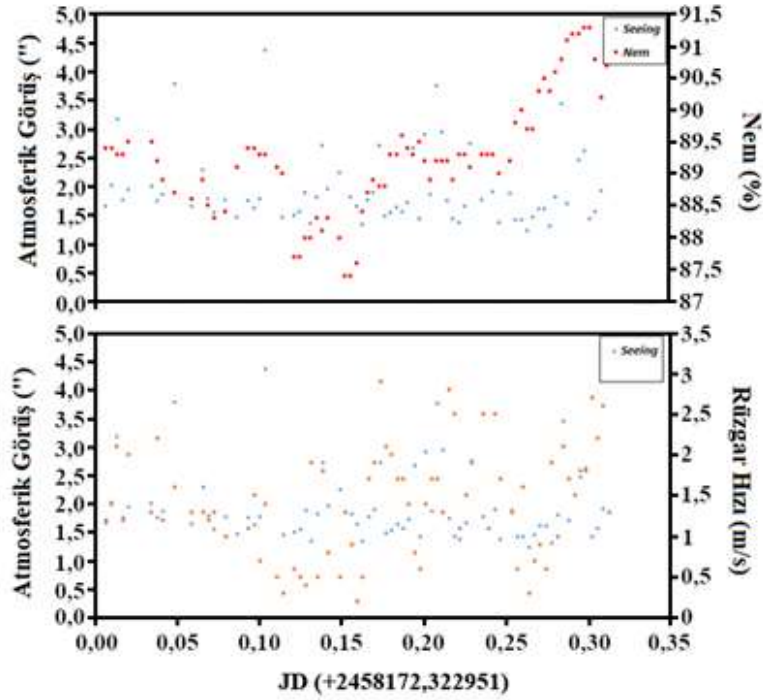
DIMM ile ölçümleri alınmış zenit atmosferik görüş değeri $\leq 2''$ olması durumundaki y yönündeki günlük atmosferik görüşün (JD: 2458172) zamana göre değişimi Şekil 61'de verilmiştir.



Şekil 61. DIMM: Atmosferik görüş (JD: 2458172)

Şekil 61 incelendiği zaman, her ne kadar atmosferik görüş değeri $2''$ ile sınırlandırılmış olsa bile, atmosferik görüş değerleri çoğunlukla $0,6'' - 1,4''$ arasında dağılmıştır. DIMM ile ölçümleri alınmış zenit atmosferik görüş değeri $\leq 5''$ olması durumundaki vektörel atmosferik görüşün zamana göre değişimi incelendiğinde iyi günlerde atmosferik görüş değeri $2''$ kadar değiştiği gözlenmişken, kötü günlerde üst sınırimız olan $5''$ kadar değiştiği görülmüştür. Aynı şekilde, Fried parametresi de kötü günlerde 5 ile 12 cm aralığında değiştiği görülmüştür. Örnek bir gün (JD:2458172) için zenit atmosferik görüş değeri $\leq 3''$ olması durumunda vektörel Fried parametresi, gözlem uzunluğunun ($6,24$ saat) büyük bir çoğunluğunda yüksek Fried parametresi gözlenmiştir. Fried parametresinin yüksek olması da atmosferik görüş değerinin iyi olduğu anlamını taşımaktadır.

DIMM ile ölçümleri alınmış örnek bir gün (22.02.2018 tarihinde) için atmosferik görüş sonuçlarının nem ve rüzgâr hızı ile karşılaştırılması sırasıyla Şekil 62’de verilmiştir.



Şekil 62. DIMM: Atmosferik görüş – Rüzgar Hızı ve Nem (JD:2458172)

Şekil 62’de mavi renkler atmosferik görüşü ("), kırmızı renkler nem (%) ve turuncu renkler ise rüzgar hızı (m/s) değerini göstermektedir. Noktasal olarak baktığımızda, nem değeri arttıkça atmosferik görüş değeri olumsuz etkilenmektedir. Rüzgâr hızı arttıkça, atmosferik görüş hesaplamasında kullandığımız görüntü sayısı içerisindeki geçerli veri (vd) sayısı azalmaktadır. Bunun nedeni, kutup yıldızının görüntüden çıkmasına neden olmasından dolayıdır.

SBIG Görüş Ölçer Sisteminden Elde Edilen Bulgular

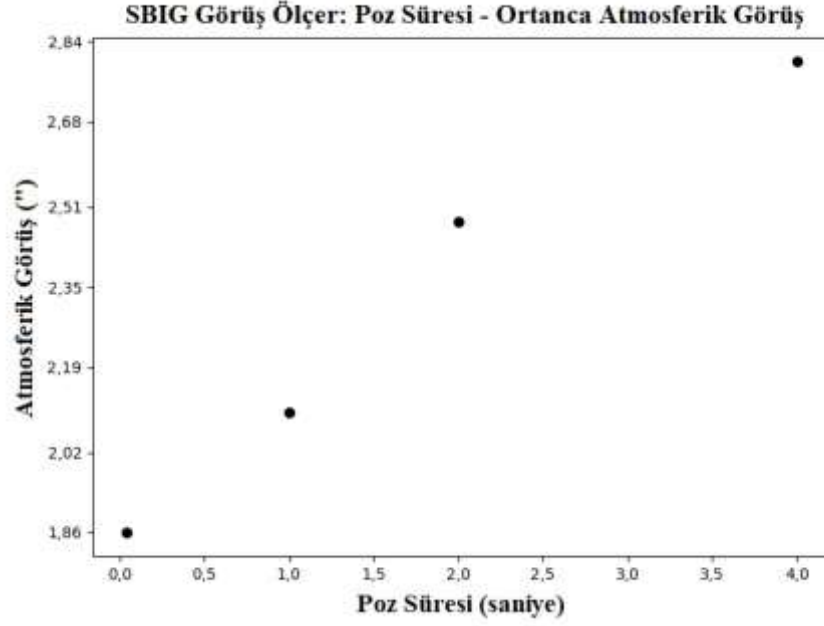
DAG Yerleşkesinde kurulan SBIG Görüş Ölçer sistemi ile 2013 - 2018 yılları arasında 115 gün 30000 görüntü alınıp her görüntü için (merkezi bulunan yıldız) atmosferik görüş değeri hesaplanıp istatistiksel analizi yapılmıştır. Yapılan istatistiksel analiz sonuçlarından örnek bir gün Tablo 16’da verilmiştir.

Tablo 16. SBIG Görüş Ölçer: 20 Şubat 2018 Tarihindeki İstatiksel Sonuçlar

Mod	1,46
ModSayi	10
Minimum	0,92
Ortalama <3	
Ortalama <3	1,90
Medyan <3	1,77
Ortalama <5	2,21
Medyan <5	1,93
ToplamVeri	1639
0-1 VeriSayisi	
0-1 VeriSayisi	1
1-2 VeriSayisi	795
2-3 VeriSayisi	429
3-4 VeriSayisi	191
4-5 VeriSayisi	68
Toplam <3	
Toplam <3	1225
3 < Toplam <5	259
Toplam <5	1484
< 3 %	
< 3 %	%75
(<3 & <5) %	
(<3 & <5) %	%16
< 5 %	
< 5 %	%91

Tablo 16 incelendiği zaman, %3 oranının altında gözlem verilerine çokça rastlanmaktadır. Toplam 1639 verinin yaklaşık %75'i 3" küçük verilerdir. Minimum 0,92" atmosferik görüş değeri elde edilmiştir. Toplam verinin yaklaşık %50'si 1" - 2" arasındadır. Bu sistem ile örnek günde ölçülen verilerin büyük çoğunluğu bu aralıkta ölçülmüştür.

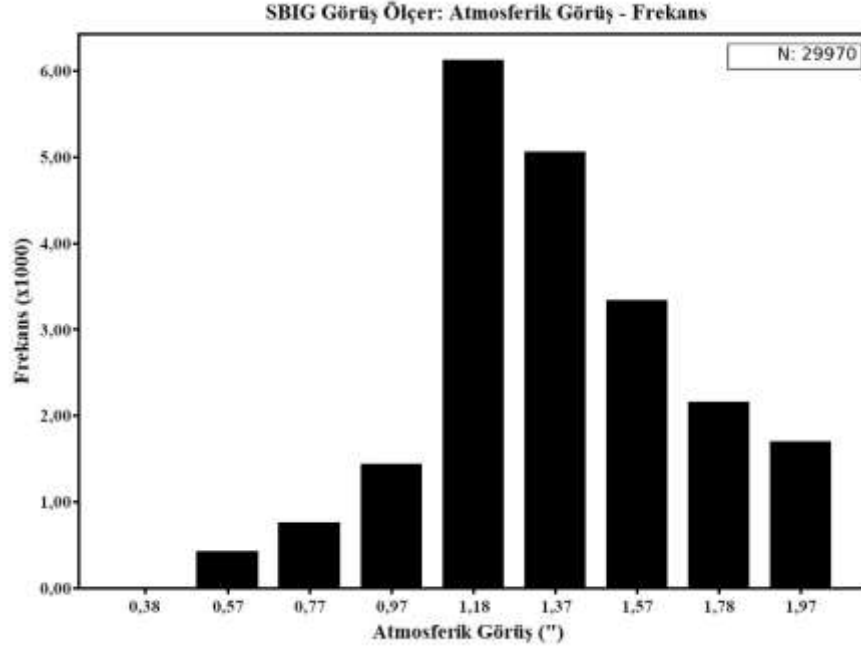
SBIG Görüş Ölçer ile ölçümleri alınmış ortanca zenit atmosferik görüş değerinin poz süreleri ile değişimi Şekil 63’de verilmiştir.



Şekil 63. SBIG Görüş Ölçer: Poz süresi - Atmosferik görüş

Şekil 63’de görüldüğü gibi, ortanca atmosferik görüş değeri 40 ms poz süresinde 1,86" olurken, 1 s poz süresi için bu değer 2,10" ve 4 s poz süresi için 2,80" olmaktadır. Kısa poz süreleri ile yapılan gözlemlerde hem ortanca hem de ölçülen en küçük atmosferik görüş değeri düşmektedir. Poz süresinin azalması ile ölçülen atmosferik görüş değeri de azalmaktadır. Poz süresi ne kadar küçük olursa ölçülen atmosferik görüş değerleri doğruluğu o kadar iyileşmektedir.

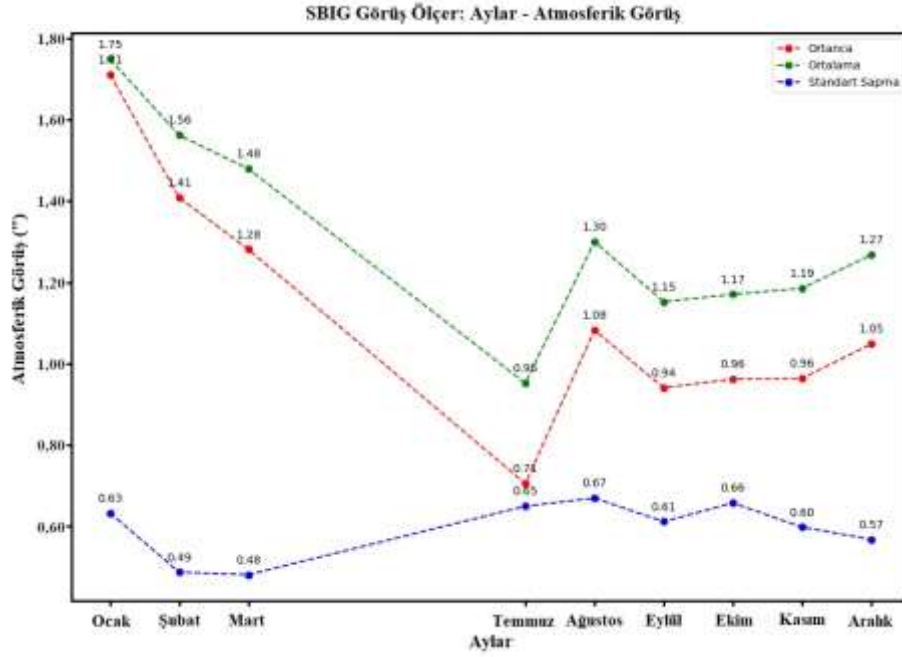
SBIG Görüş Ölçer ile ölçümleri alınmış zenit atmosferik görüş değeri $\leq 2''$ olması durumundaki histogram grafiği Şekil 64’de verilmiştir.



Şekil 64. SBIG Görüş Ölçer: Atmosferik görüş - Frekans

Şekil 64 incelendiğinde, 29970 gözlem verisinden atmosferik görüş değeri en fazla sıklıkla 1,18" civarında olduğu görülmektedir. Bu değer, kullanılan toplam verilerin yaklaşık %20’si civarındadır. En fazla sıklıkla görülen ikinci değer 1,37" dir. Bu değerde yaklaşık %17 civarındadır. Toplam verilerin %37’lik kısmı bu iki değer aralığında değişmektedir.

SBIG Görüş Ölçer ile ölçümleri alınmış zenit atmosferik görüş değeri $\leq 3''$ olması durumundaki atmosferik görüşün (Ortalama, Ortanca ve Standart sapmanın) aylara göre değişimi Şekil 65’de verilmiştir.

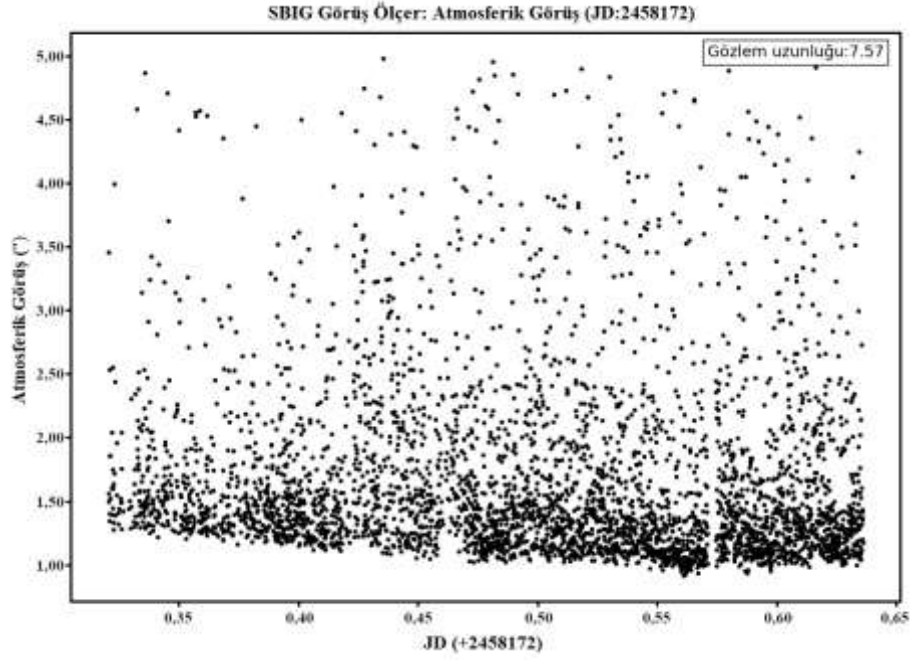


Şekil 65. SBIG Görüş Ölçer: Aylar - Atmosferik görüş

Şekil 65’de görüldüğü gibi, ortanca atmosferik görüş değerleri Temmuz, Eylül, Ekim ve Kasım aylarında 1" altında gözlemlenmiştir. Şubat ve Mart aylarında standart sapma 0,01 değişmesine rağmen, ortanca değerde 0,13 değişim olmuştur. Aynı şekilde, Ağustos ve Eylül aylarında standart sapma 0,06 değişmesine rağmen, ortanca değerde 0,14 değişim olmuştur. SBIG Görüş Ölçer ile ölçümleri alınmış zenit atmosferik görüş değeri $\leq 5''$ olması durumundaki atmosferik görüşün (Ortalama, Ortanca ve Standart sapmanın) mevsimlere göre değişimi incelendiğinde, yaz mevsimindeki ortanca atmosferik değeri İlkbahar mevsiminden daha düşük ölçülmesine rağmen, Yaz mevsiminde ölçülen ortalama atmosferik değeri İlkbahar mevsimine göre yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Bunun dışındaki diğer mevsimlerde böyle bir durum söz konusu olmadığı gözlemlenmiştir.

SBIG Görüş Ölçer ile ölçümleri alınmış zenit atmosferik görüş değeri $\leq 3''$ olması durumunda, gözlem yapılan örnek günler dikkate alındığında, Fried parametresi çoğunlukla 20 cm ye kadar değiştiği görülmüştür.

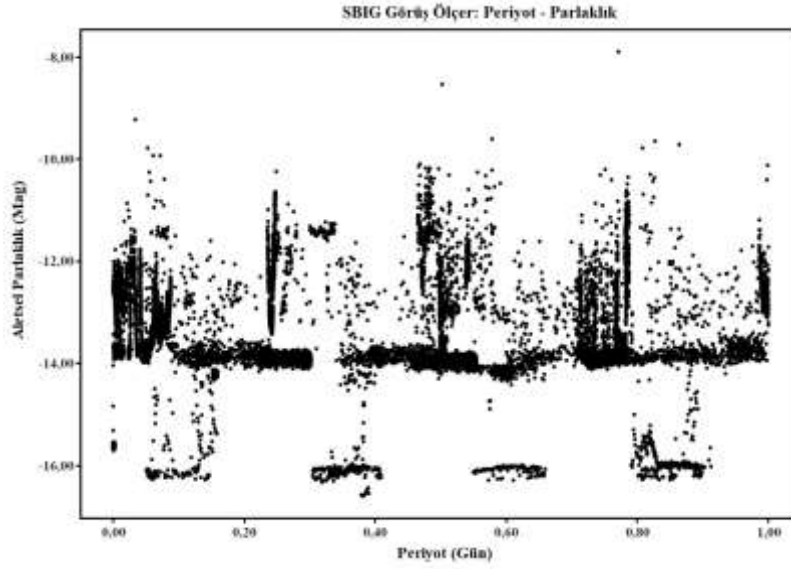
SBIG Görüş Ölçer ile ölçümleri alınmış atmosferik görüş değeri $\leq 5''$ olması durumundaki günlük atmosferik görüşün (JD: 2458172) zamana göre değişimi Şekil 66'da verilmiştir.



Şekil 66. SBIG Görüş Ölçer: Atmosferik görüş (JD: 2458172)

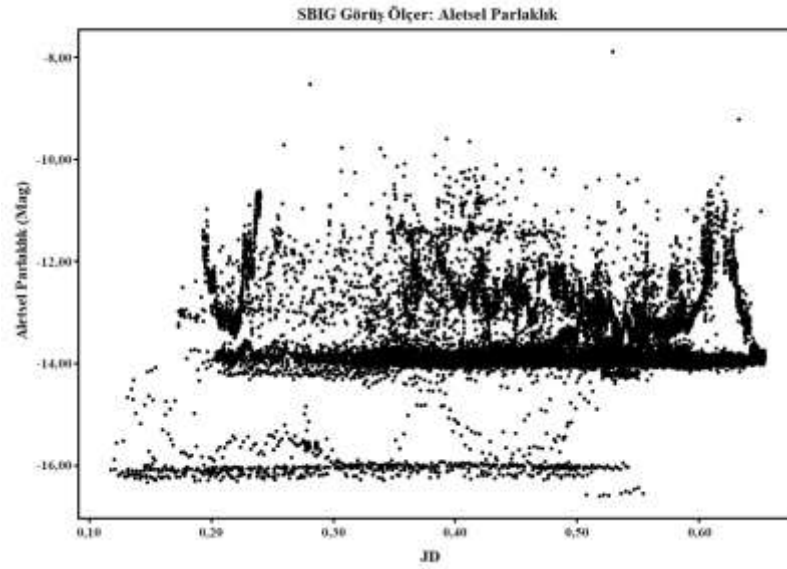
Şekil 66 incelendiği zaman, her ne kadar atmosferik görüş değeri 5" ile sınırlandırılmış olsa bile, atmosferik görüş değerleri çoğunlukla 1" - 2,5" arasında dağılmıştır. Yaklaşık 8 saatlik gözlem verisinin büyük çoğunluğu bu aralıkta değişmektedir.

SBIG Görüş Ölçer ile ölçümleri alınmış zenit atmosferik görüş değeri $\leq 2''$ olması durumunda Header bilgisinden Kutup yıldızının parlaklığı dikkate alındığında Kutup yıldızının ışık eğrisi incelenmiş ve Şekil 67’de verilmiştir.



Şekil 67. SBIG Görüş Ölçer: Işık eğrisi

SBIG Görüş Ölçer ile ölçümleri alınmış zenit atmosferik görüş değeri $\leq 2''$ olması durumunda zamanla aletsel parlaklık değişimi Şekil 68’de verilmiştir.

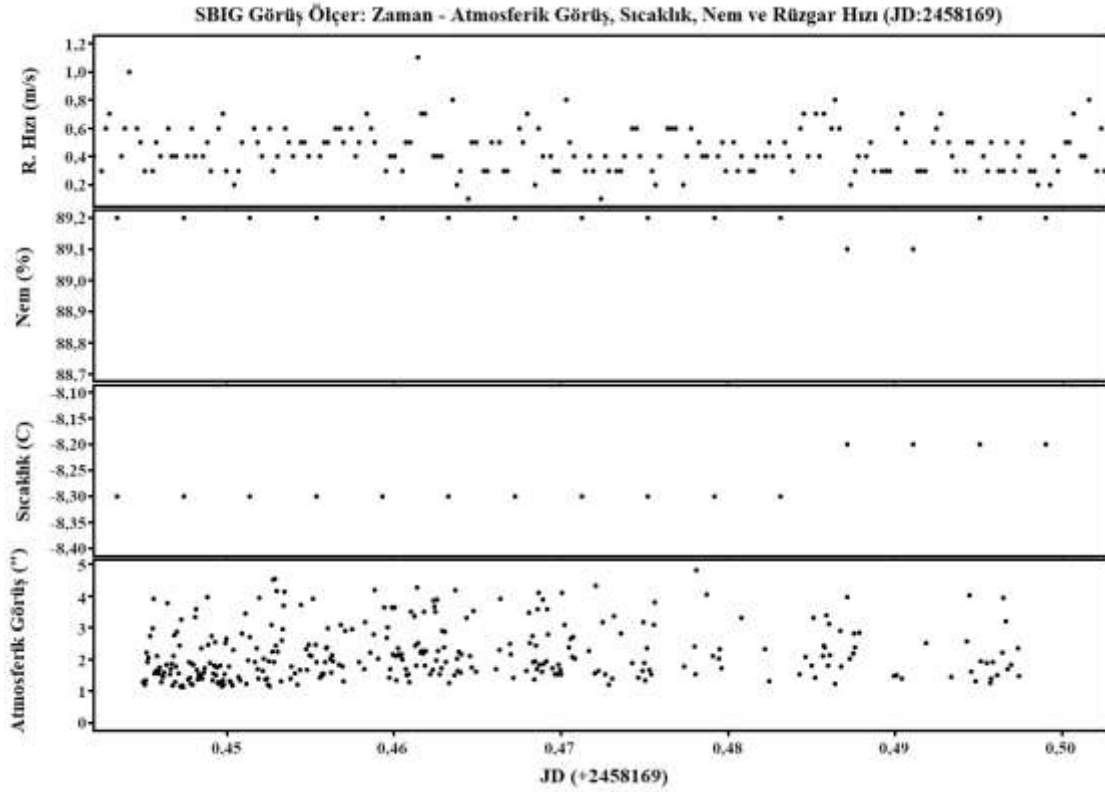


Şekil 68. SBIG Görüş Ölçer: Aletsel parlaklık

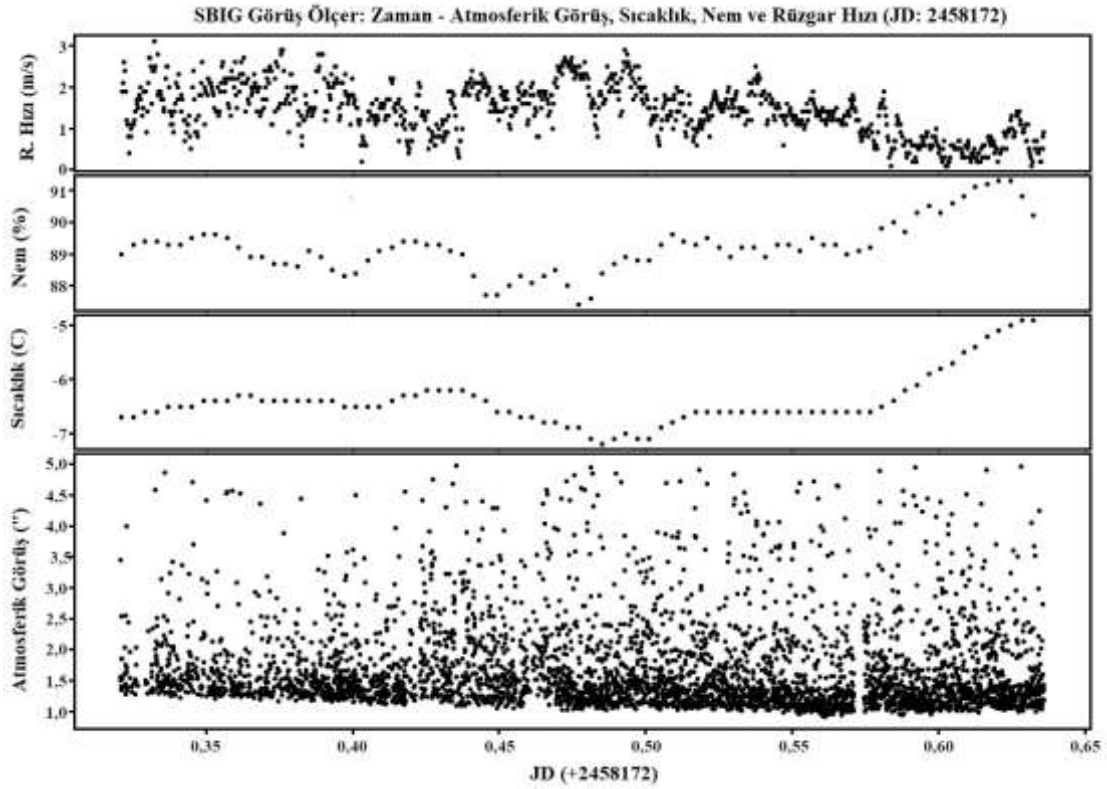
Şekil 67 ve Şekil 68 incelendiği zaman, ışık eğrisi ve aletsel parlaklıkla ilişkili herhangi bir bağıntı bulunmamıştır.

SBIG Görüş Ölçer ile ölçümleri alınmış atmosferik görüş değeri $\leq 5''$ olması durumunda zamanla atmosferik görüşün meteorolojik değerlerle (Sıcaklık, Nem ve Rüzgâr

Hızı) değişimi örnek günler (JD:2458169) ve (JD:2458172) için değişimi Şekil 69 ve Şekil 70'de verilmiştir.



Şekil 69. SBIG Görüş ler: Zaman - Atmosferik görüş, Sıcaklık, Nem ve Rüzgar hızı (JD:2458169)



Şekil 70. SBIG Görüş ler: Zaman - Atmosferik görüş, Sıcaklık, Nem ve Rüzgar hızı (JD:2458172)

Şekil 69 ve Şekil 70 incelendiği zaman, meteoroloji ile atmosferik görüş arasında herhangi bir ilişki görülmemiştir. SBIG Görüş Ölçer, kuzey – güney doğrultusunda sabitlenmiştir. Bu nedenle aygıt, kuzey – güney yönündeki rüzgarlara direnme kapasitene sahiptir. Doğu – batı yönünden esen rüzgarın olması durumunda, SBIG Görüş Ölçer rüzgardan daha fazla etkilenmektedir. Aygıt, rüzgardan kaynaklanan titreşimleri ortadan kaldıramayacağından dolayı, ölçüm alınırken hem rüzgardan kaynaklanan titreşimleri hem de kameradan kaynaklanan titreşim ve FWHM değerlerini içermektedir.

CYCLOPE Görüş Ölçer Sisteminden Elde Edilen Bulgular

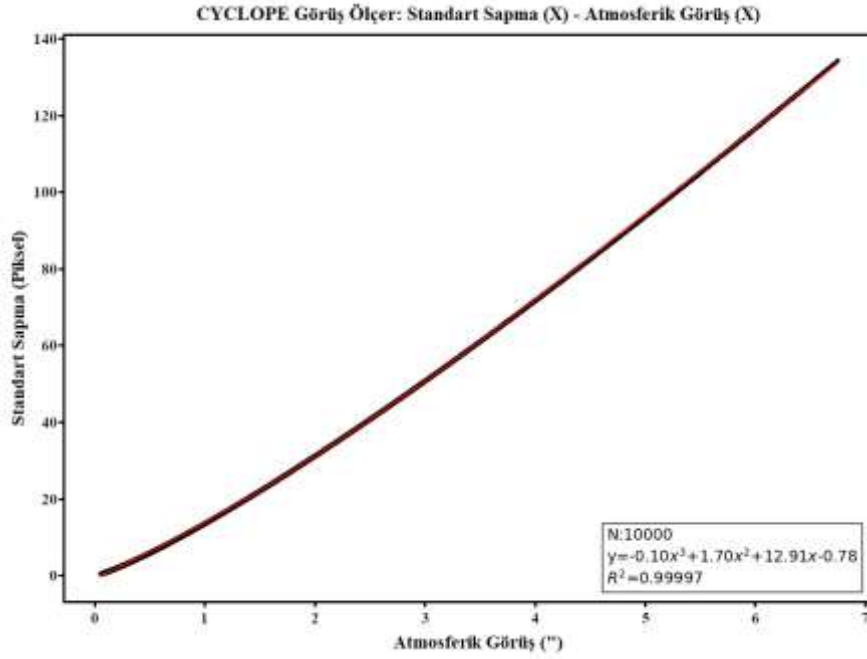
DAG Yerleşkesinde kurulan CYCLOPE Görüş Ölçer sistemi ile 2017 - 2018 yılları arasında 61 gün ~884000 veri alınıp istatistiksel analizi yapılmıştır. Yapılan istatistiksel analiz sonuçlarından örnek bir gün Tablo 17’de verilmiştir.

Tablo 17. CYCLOPE Görüş Ölçer: 25 Eylül 2017 Tarihindeki İstatistiksel Sonuçlar

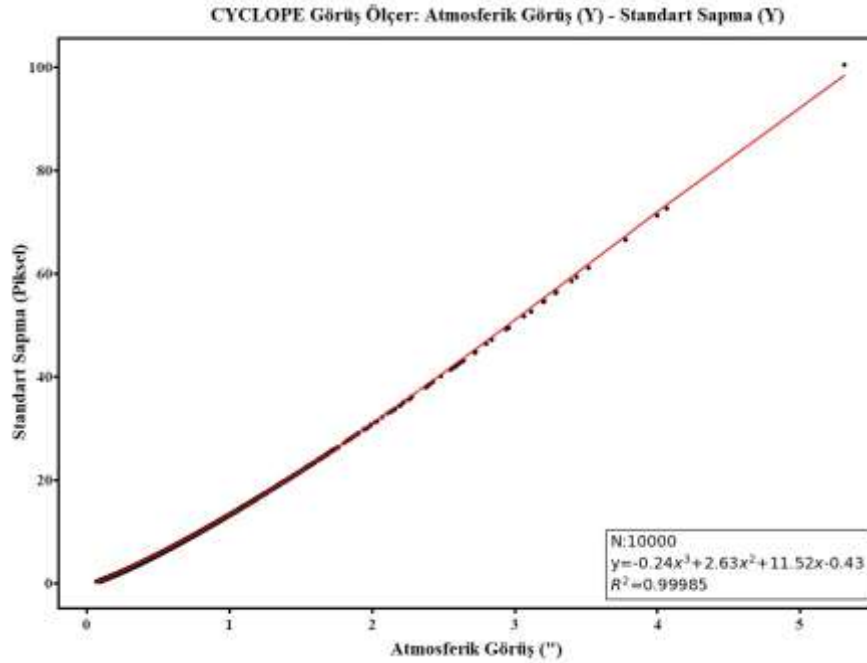
Mod	0,78
ModSayı	21
Minimum	0,52
Ortalama <3	
	1,35
Medyan <3	
	1,14
Ortalama <5	
	1,63
Medyan <5	
	1,28
ToplamVeri	
	12836
0-1 VeriSayısı	
	4605
1-2 VeriSayısı	
	4647
2-3 VeriSayısı	
	2055
3-4 VeriSayısı	
	1083
4-5 VeriSayısı	
	446
Toplam <3	
	11307
3 < Toplam <5	
	1529
Toplam <5	
	12836
< 3 %	
	%88
(<3 & <5) %	
	%12
< 5 %	
	%100

Tablo 17 incelendiği zaman, toplam 12836 verinin yaklaşık %88’i 3" ’den küçük veriler, %12’si 3" ile 5" arasındadır. Örnek gecenin bütün sonuçları 5" altındadır. Minimum 0,52" atmosferik görüş değeri elde edilmiştir. Yapılan atmosferik görüş gözlemlerindeki verilen örnekte 0,52" atmosferik görüş kalitesi açısından iyi sayılan bir görüş değerinin elde edilmesi, astronomik gözlemler için çok iyi koşulun sağlandığını göstermektedir.

CYCLOPE Görüş Ölçer ile ölçümleri alınmış standart sapmanın x yönündeki zenit atmosferik görüşe göre değişim formülü Şekil 71’de ve y yönündeki değişim formülü ise Şekil 72’de verilmiştir.



Şekil 71. CYCLOPE Görüş Ölçer: Atmosferik görüş - Standart sapma (x yönünde) (fit)



Şekil 72. CYCLOPE Görüş Ölçer: Atmosferik görüş - Standart sapma (y yönünde) (fit)

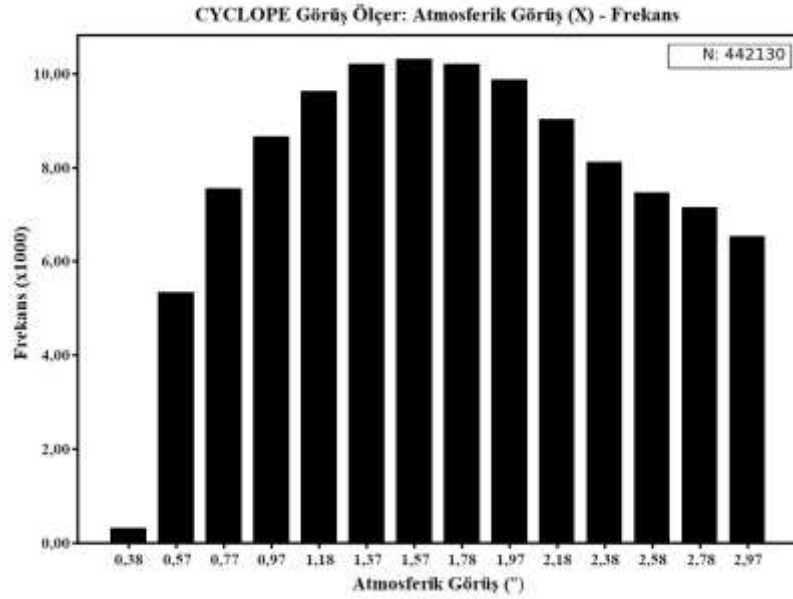
Şekil 71 ve Şekil 72’de rastgele seçilmiş 10000 veri grubu için, SciPy kütüphanesi yardımıyla, çizilen 3. dereceden x yönündeki fit Eşitlik 52’de ve y yönündeki fit ise Eşitlik 53’de verilmiştir.

$$y = -0,10x^3 + 1,70x^2 + 12,91x - 0,78 \quad (52)$$

$$y = -0,24x^3 + 2,63x^2 + 11,52x - 0,43 \quad (53)$$

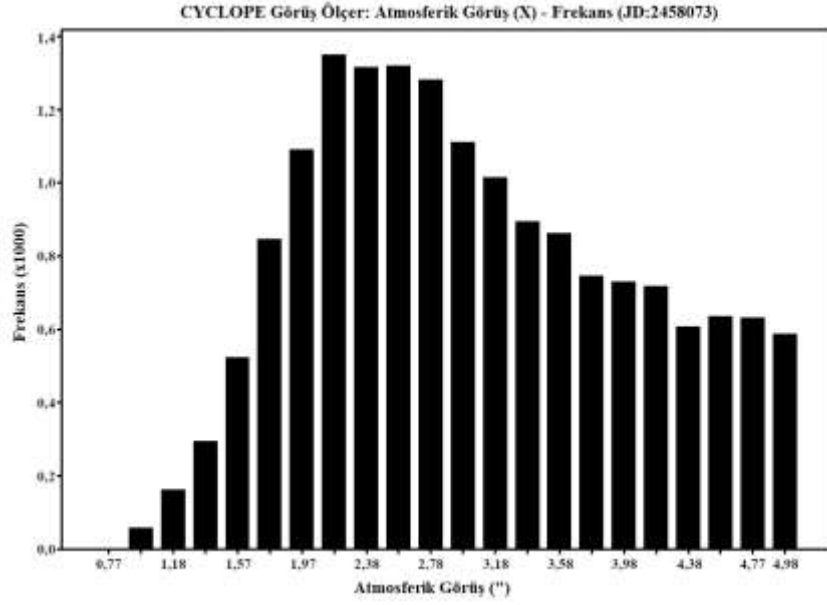
Eşitlik 52 ve Eşitlik 53'deki y ifadesi standart sapmayı (piksel) ve x ise sırasıyla atmosferik görüş (x) (") ve atmosferik görüş (y) (") göstermektedir.

CYCLOPE Görüş Ölçer ile ölçümleri alınmış zenit atmosferik görüş değeri $\leq 3''$ olması durumundaki x yönündeki histogram grafiği Şekil 73'de verilmiştir.



Şekil 73. CYCLOPE Görüş Ölçer: Atmosferik görüş - Frekans

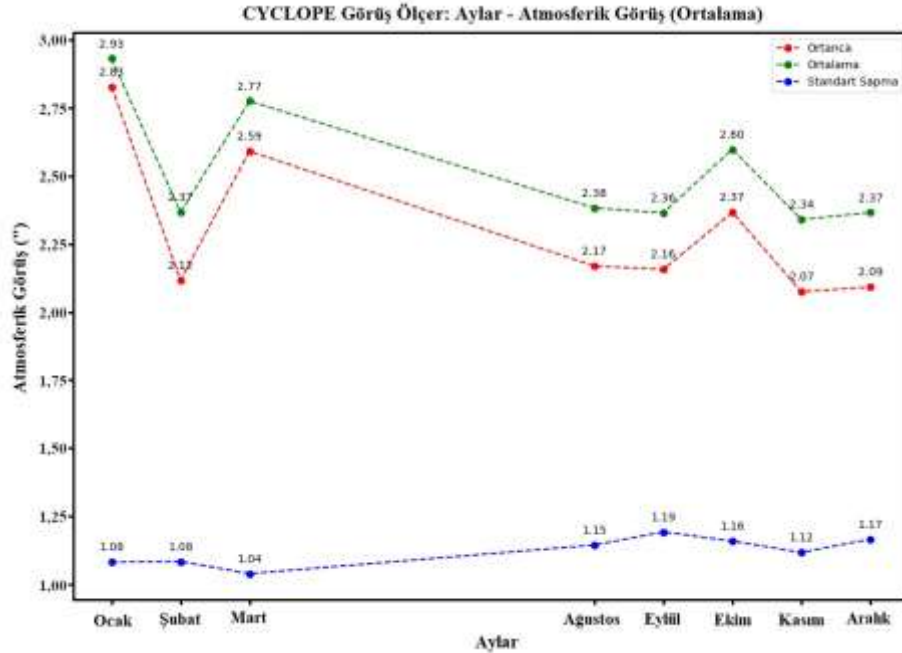
Şekil 73 incelendiğinde, 442130 gözlem verisinden verilerin dağılımı birbirine oldukça yakındır. Daha az gözlem verisi kullanılarak daha anlamlı sonuçlar elde etmek için, herhangi bir tarihteki (JD:2458074) zenit atmosferik görüş değeri $\leq 5''$ olması durumundaki histogram grafiği Şekil 74'de verilmiştir.



Şekil 74. CYCLOPE Görüş Ölçer: Atmosferik görüş - Frekans (JD:2458073)

Şekil 74 incelendiği zaman, örnek tarihteki veriler çoğunlukla 1,97" ile 3,18" arasında dağılım göstermiştir. En fazla 2,18" atmosferik görüş değeri görülmüştür.

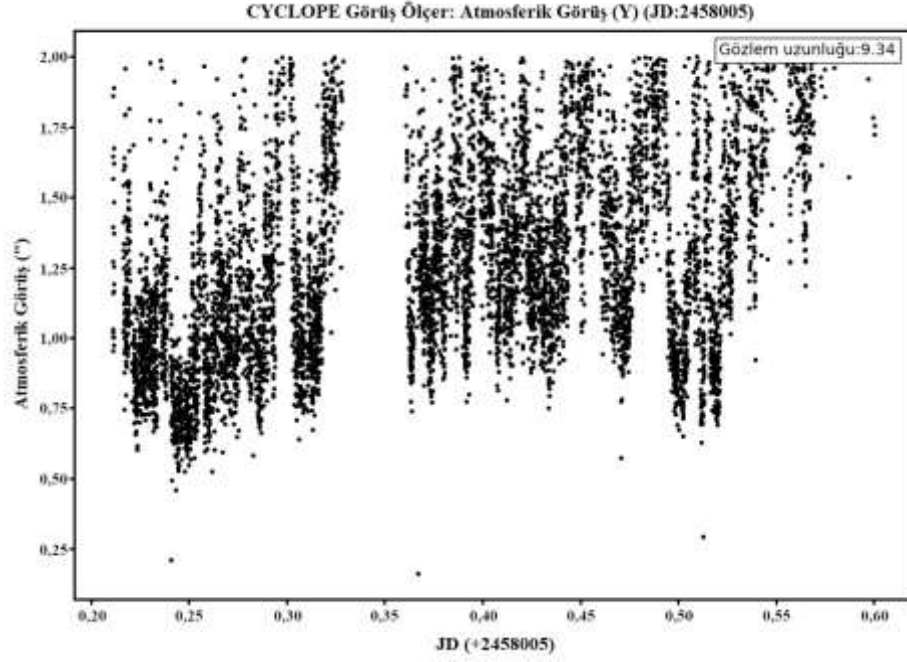
CYCLOPE Görüş Ölçer ile ölçümleri alınmış zenit atmosferik görüş değeri $\leq 5''$ olması durumundaki ortalama atmosferik görüşün (Ortalama, Ortanca ve Standart sapmanın) aylara göre değişimi Şekil 75’de verilmiştir.



Şekil 75. CYCLOPE Görüş Ölçer: Aylar - Atmosferik görüş

Şekil 75’de, ortalama, ortanca ve hatta standart sapma değerlerinin bile kendi içlerinde birbirine çok yakın olduğu görülmüştür.

CYCLOPE Görüş Ölçer ile ölçümleri alınmış zenit atmosferik görüş değeri $\leq 2''$ olması durumundaki y yönündeki günlük atmosferik görüşün (JD: 2458005) zamana göre değişimi Şekil 76'da verilmiştir.

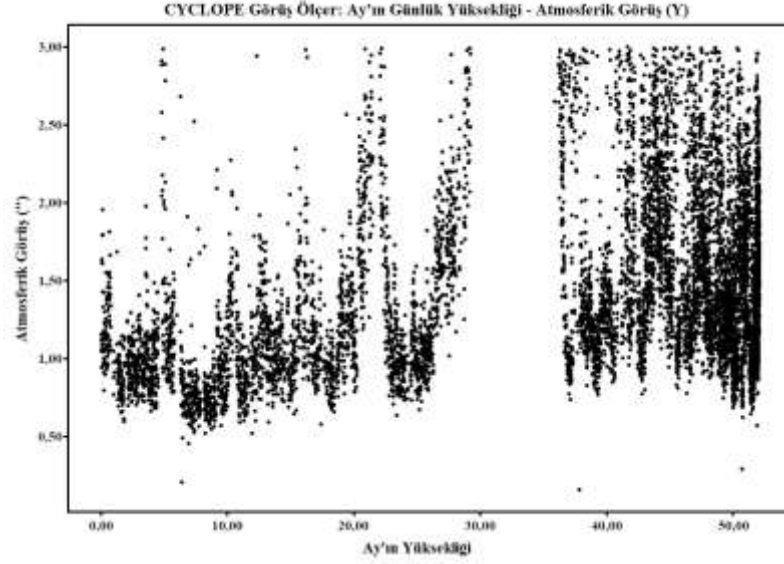


Şekil 76. CYCLOPE Görüş Ölçer: Atmosferik görüş (JD: 2458005)

Şekil 76 incelendiği zaman, yaklaşık 10 saatlik gözlemlerde atmosferik görüş değerleri 0,5" - 2,0" arasında dağılmıştır.

CYCLOPE Görüş Ölçer ile ölçümleri alınmış zenit atmosferik görüş değeri $\leq 5''$ olması durumunda, gözlem yapılan örnek günler dikkate alındığında, x yönündeki Fried parametresi, iyi günlerde 30 cm ye kadar değiştiği ve kötü gözlem günlerinde ise 10 cm civarında değiştiği görülmüştür.

Atmosferik görüş değerinin Ay ve Güneş'in durumuna göre (yükseklik, açısız yükseklik ve açısız uzaklıklar) nasıl değiştiği incelenmiştir. CYCLOPE Görüş Ölçer ile ölçümleri alınmış zenit atmosferik görüş değeri $\leq 3''$ olması durumundaki y yönündeki günlük atmosferik görüşün (JD: 2458005) Ay'ın günlük yüksekliğine göre değişimi şekil 77'de verilmiştir.



şekil 77. CYCLOPE Görüş Ölçer: Ay'ın günlük yüksekliği - Atmosferik görüş

şekil 77 dikkate alındığında, CYCLOPE Görüş Ölçer ile Ay'ın yüksekliği, Ay'ın açısız yüksekliği ve Ay'ın açısız uzaklığı arasında herhangi bir ilişkiye rastlanmamıştır. Güneş ile ilgili de benzer grafikler çizildiğinde Güneş'in durumu ile ilgili de herhangi bir ilişkiye rastlanmamıştır. Aynı işlemler SBIG ve DIMM sistemleri ile yapıldığında bu sistemlerle de arasında herhangi bir ilişkiye rastlanılmamıştır.

DIMM - SBIG Görüş Ölçer Sonuçlarının Karşılaştırılması

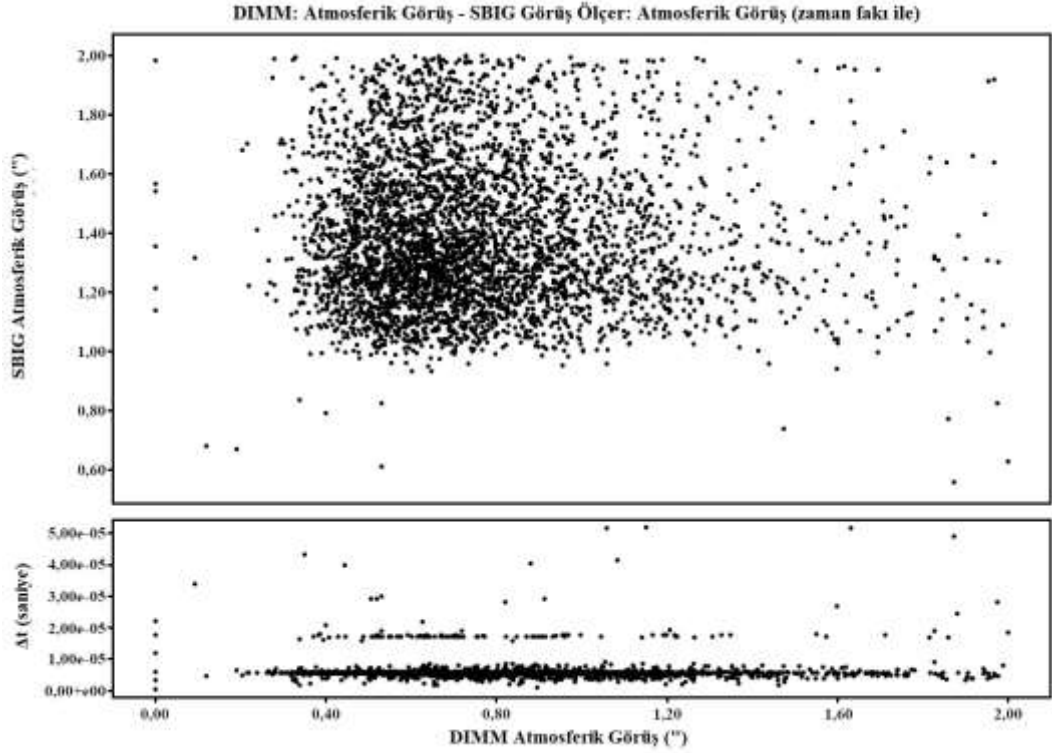
DIMM ile SBIG Görüş Ölçer sistemlerinin örnek ortak günlerinin karşılaştırılması Tablo 18'de verilmiştir.

Tablo 18. DIMM - SBIG Görüş Ölçer: 24 Şubat 2018 Tarihindeki Karşılaştırmalı İstatiksel Sonuçlar

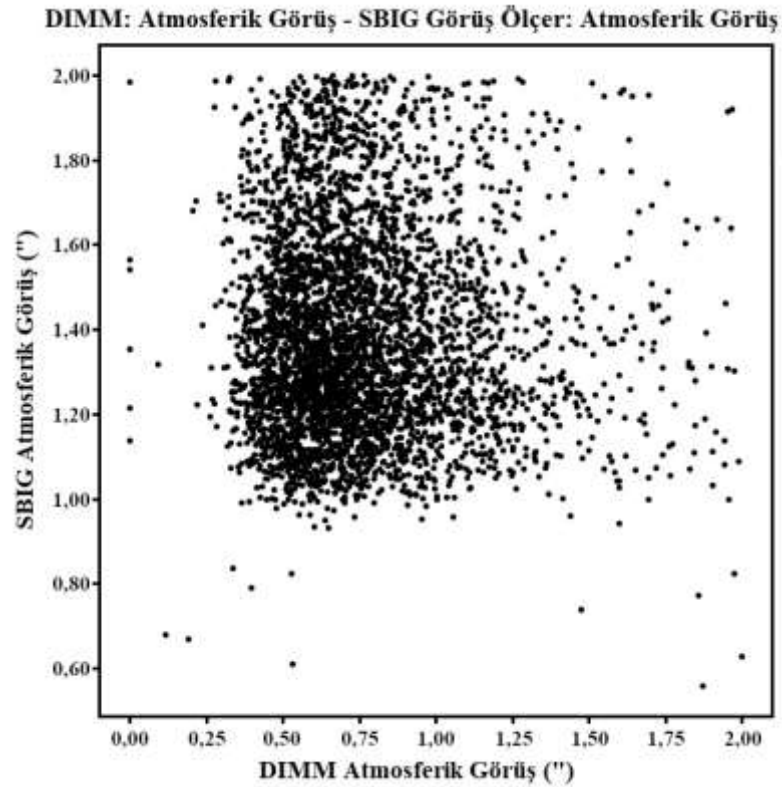
	DIMM	SBIG
Minimum	0,42	1,37
Ortalama <3	0,71	1,88
Medyan <3	0,68	1,76
Ortalama <5	0,88	2,16
Medyan <5	0,69	1,83
Toplam Veri	646	1735
0-1 Veri Sayısı	471	0
1-2 Veri Sayısı	13	958
2-3 Veri Sayısı	5	333
3-4 Veri Sayısı	12	151
4-5 Veri Sayısı	15	78
Toplam <3	489	1291
3 < Toplam <5	27	229
Toplam <5	516	1520
< 3 %	%76	%74
(<3 & <5) %	%4	%13
< 5 %	%80	%88

Tablo 18 incelendiği zaman, 3" küçük atmosferik görüş değere sahip verilerin yüzdeleri birbirine yakın olmasına rağmen, 0 - 1" arasında ölçülen verilerin sayısı DIMM sisteminde 471 ve SBIG Görüş Ölçer'de bu değer 0'dır. DIMM sisteminde ölçülen minimum değer 0,42" iken SBIG Görüş Ölçer'de minimum değer 1,37" olarak ölçülmüştür.

DIMM ve SBIG Görüş Ölçer ile ölçümleri alınmış zenit atmosferik görüş değeri $\leq 2''$ olması ve gözlem verileri arasında maksimum 5 saniye fark olması durumunda, atmosferik görüşün zaman farkı ile Şekil 78’de ve birbirlerine göre grafiği ise Şekil 79’da verilmiştir.



Şekil 78. DIMM: Atmosferik görüş - SBIG Görüş Ölçer: Atmosferik görüş (zaman farkı ile)



Şekil 79. DIMM: Atmosferik görüş - SBIG Görüş Ölçer: Atmosferik görüş

Şekil 78 ve Şekil 79’da görüldüğü gibi, DIMM atmosferik görüş değerleri yaklaşık 0,4" - 1,5" arasında birikmişken, SBIG Görüş Ölçer atmosferik görüş değerleri yaklaşık 1,0" - 2,0" aralığında birikmiştir.

DIMM - CYCLOPE Görüş Ölçer Sonuçlarının Karşılaştırılması

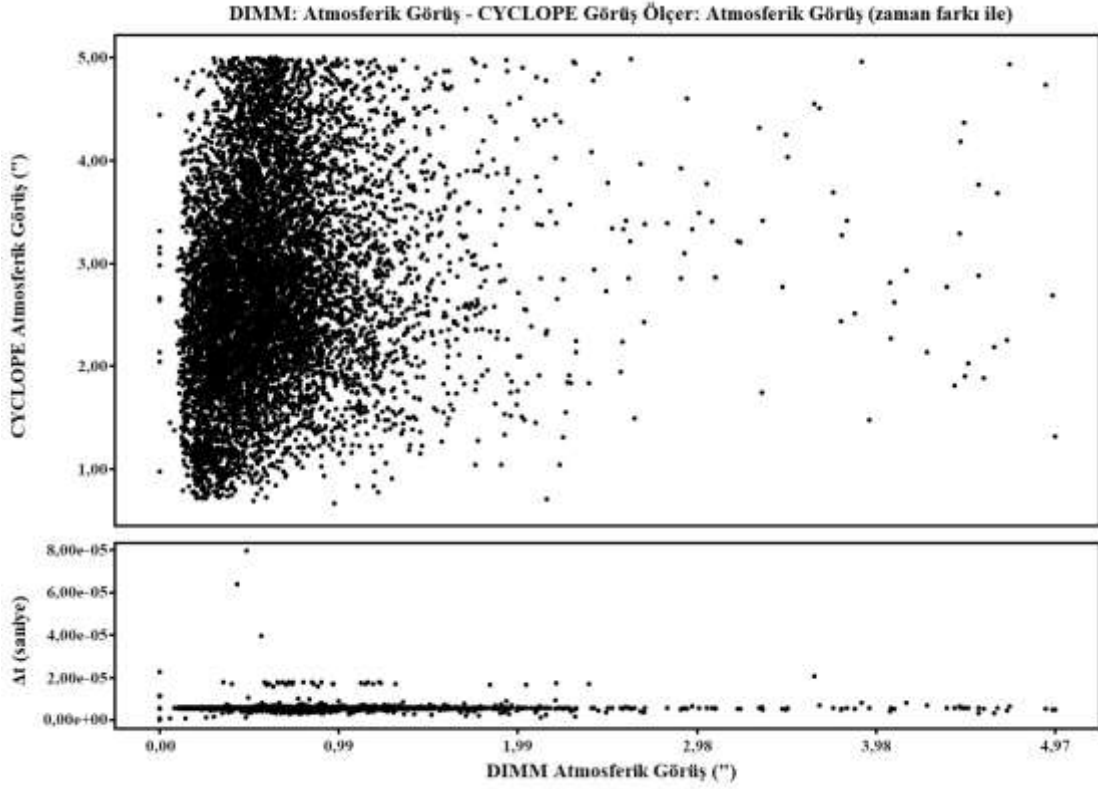
DIMM ile CYCLOPE Görüş Ölçer sistemlerinin örnek ortak günlerinin karşılaştırılması Tablo 19’da verilmiştir.

Tablo 19. DIMM - CYCLOPE Görüş Ölçer: 07 Ocak 2018 Tarihindeki Karşılaştırmalı İstatiksel Sonuçlar

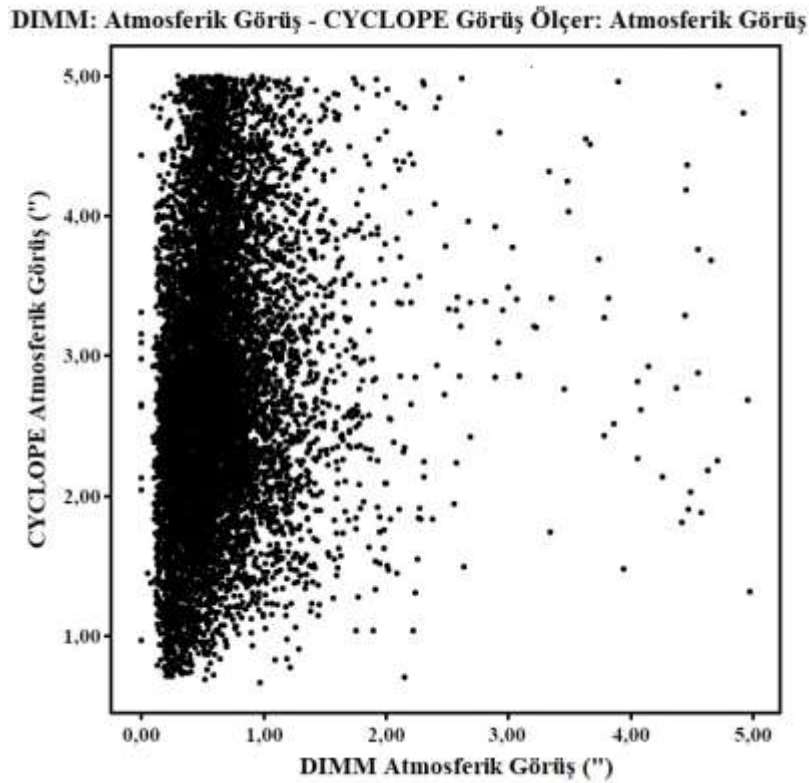
	DIMM	CYCLOPE
Minimum	0,47	0,57
Ortalama <3	0,94	2,06
Medyan <3	0,84	2,07
Ortalama <5	1,16	2,81
Medyan <5	0,83	2,65
Toplam Veri	730	23704
0-1 Veri Sayısı	306	99
1-2 Veri Sayısı	98	1911
2-3 Veri Sayısı	13	2463
3-4 Veri Sayısı	17	1720
4-5 Veri Sayısı	15	1339
Toplam <3	417	4473
3 < Toplam <5	32	3059
Toplam <5	449	7532
< 3 %	%57	%19
(<3 & <5) %	%4	%13
< 5 %	%62	%32

Tablo 19 incelendiği zaman, DIMM ile ölçümleri alınmış tüm verilerin yaklaşık %62’si 5" küçük atmosferik görüş değere sahiptir. Bu değer, CYCLOPE Görüş Ölçer için %32’dir. 3"’den küçük verilerin ortalaması da CYCLOPE Görüş Ölçer de oldukça büyük değere sahiptir.

DIMM ve CYCLOPE Görüş Ölçer ile ölçümleri alınmış zenit atmosferik görüş değeri $\leq 5''$ olması ve gözlem verilerinin maksimum 10 saniye fark olması durumunda, atmosferik görüşün zaman farkı ile Şekil 80’de ve birbirlerine göre grafiği ise Şekil 81’de verilmiştir.



Şekil 80. DIMM: Atmosferik görüş - CYCLOPE Görüş Ölçer: Atmosferik görüş (zaman farkı ile)



Şekil 81. DIMM: Atmosferik görüş - CYCLOPE Görüş Ölçer: Atmosferik görüş

Şekil 80 ve Şekil 81'de görüldüğü gibi, DIMM atmosferik görüş değerleri yaklaşık 0,3" - 1,0" arasında birikmişken, CYCLOPE Görüş Ölçer atmosferik görüş değerleri yaklaşık 0,5" - 5,0" aralığında birikmiştir.

SBIG - CYCLOPE Görüş Ölçer Sonuçlarının Karşılaştırılması

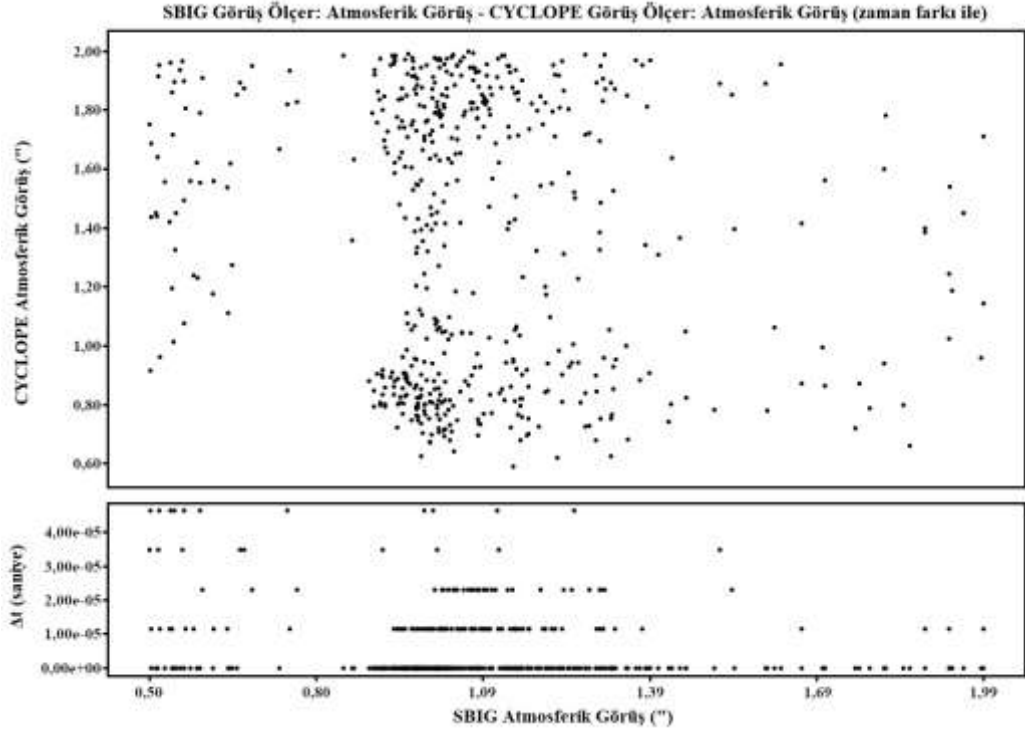
SBIG ile CYCLOPE Görüş Ölçer sistemlerinin örnek ortak günlerinin karşılaştırılması Tablo 20'de verilmiştir.

Tablo 20. SBIG - CYCLOPE Görüş Ölçer: 17 Mart 2018 Tarihindeki Karşılaştırmalı İstatiksel Sonuçlar

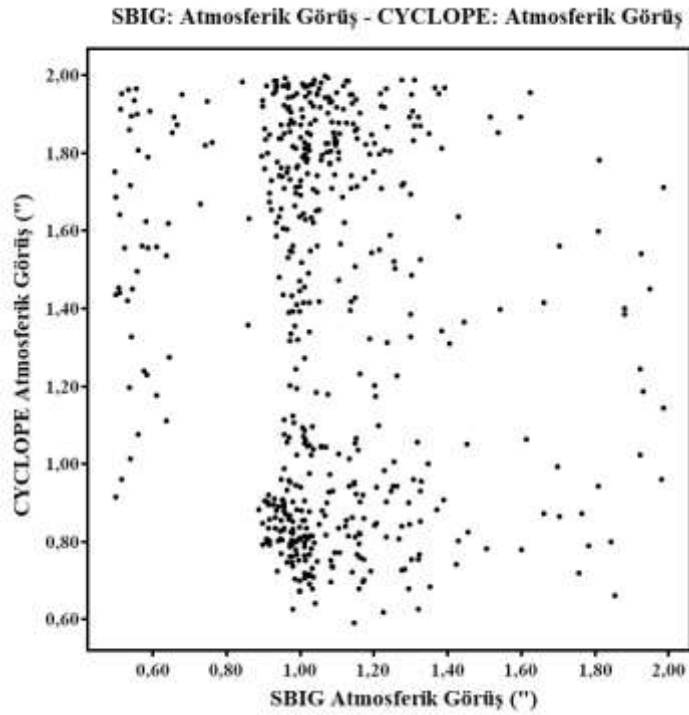
	SBIG	CYCLOPE
Minimum	1,23	0,42
Ortalama <3	1,62	2,06
Medyan <3	1,49	2,01
Ortalama <5	1,69	2,77
Medyan <5	1,50	2,81
Toplam Veri	3332	6479
0-1 VeriSayisi	0	2
1-2 VeriSayisi	2831	738
2-3 VeriSayisi	355	762
3-4 VeriSayisi	93	556
4-5 VeriSayisi	27	398
Toplam <3	3186	1502
3 < Toplam <5	120	954
Toplam <5	3306	2456
< 3 %	%96	%23
(<3 & <5) %	%4	%15
< 5 %	%99	%38

Tablo 20 incelendiği zaman, minimum ölçülen atmosferik görüş değerleri CYCLOPE Görüş Ölçer'de küçük olmasına rağmen, 3" den küçük atmosferik görüş değerleri, SBIG Görüş Ölçer sisteminde %96 ve CYCLOPE Görüş Ölçer de ise %23 civarındadır. SBIG Görüş Ölçer'de bütün verilerin yaklaşık %99'u 5" den küçük olmasına rağmen, bu değer CYCLOPE Görüş Ölçer'de %38 civarındadır.

SBIG ve CYCLOPE Görüş Ölçer ile ölçümleri alınmış zenit atmosferik görüş değeri $\leq 2''$ olması ve gözlem verilerininin maksimum 5 saniye fark olması durumunda, atmosferik görüşün zaman farkı ile Şekil 82’de ve birbirlerine göre grafiği ise Şekil 83’de verilmiştir.



Şekil 82. SBIG Görüş Ölçer: Atmosferik görüş - CYCLOPE Görüş Ölçer: Atmosferik görüş (zaman farkı ile)



Şekil 83. SBIG Görüş Ölçer: Atmosferik görüş - CYCLOPE Görüş Ölçer: Atmosferik görüş

Şekil 82 ve 83'de görüldüğü gibi, SBIG atmosferik görüş değerleri yaklaşık 0,9" - 1,5" arasında birikmişken, CYCLOPE Görüş Ölçer atmosferik görüş değerleri yaklaşık 0,6" - 2,0" aralığında birikmiştir.

DIMM - SBIG - CYCLOPE Görüş Ölçer Sonuçlarının Karşılaştırılması

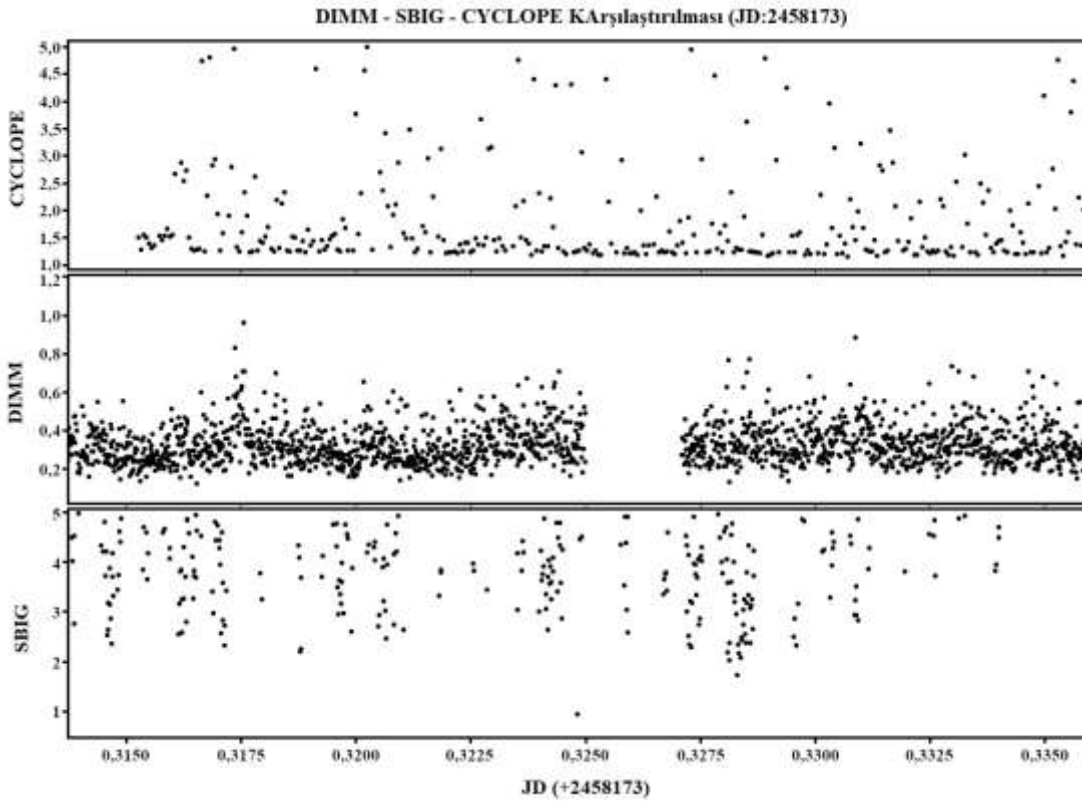
SBIG, CYCLOPE Görüş Ölçer ve DIMM sistemlerinin örnek ortak günlerinin karşılaştırılması Tablo 21'de verilmiştir.

Tablo 21. DIMM - SBIG - CYCLOPE Görüş Ölçer: 23 Şubat 2018 Tarihindeki Karşılaştırmalı İstatiksel Sonuçlar

	SBIG	CYCLOPE	DIMM
Minimum	1,23	0,28	0,45
Ortalama <3	2,01	1,84	0,75
Medyan <3	1,93	1,83	0,69
Ortalama <5	2,29	2,21	0,81
Medyan <5	2,07	1,97	0,69
Toplam Veri	3727	9505	1182
0-1 Veri Sayısı	0	207	909
1-2 Veri Sayısı	1561	1451	91
2-3 Veri Sayısı	1264	1087	12
3-4 Veri Sayısı	403	406	10
4-5 Veri Sayısı	167	232	8
Toplam <3	2825	2745	1012
3 < Toplam <5	570	638	18
Toplam <5	3395	3383	1030
< 3 %	%76	%29	%86
(<3 & <5) %	%15	%7	%2
< 5 %	%91	%36	%87

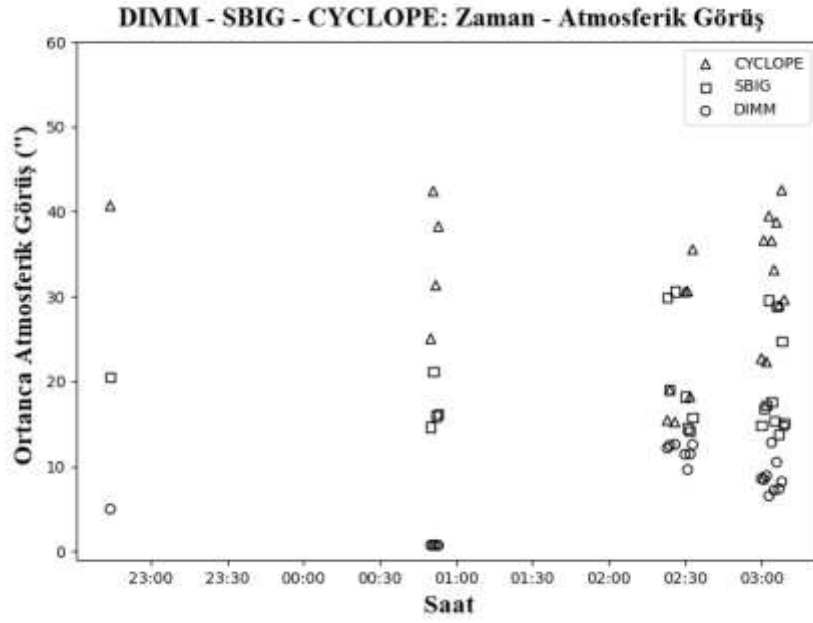
Tablo 21 incelendiği zaman, aynı gece için en küçük değeri CYCLOPE Görüş Ölçer ölçmesine rağmen, 3" küçük atmosferik görüş değerlerinin ortalaması CYCLOPE Görüş Ölçerde 1,84" iken DIMM sisteminde bu değer 0,75" ve SBIG Görüş Ölçer'de 2,01" dir. Ayrıca, DIMM sistemi ile ölçüm alınan verilerin yaklaşık %87'si 5" nin altında olmasına rağmen, CYCLOPE Görüş Ölçerde bu değer %36 civarında ve SBIG Görüş Ölçer'de ise %76 civarındadır. SBIG Görüş Ölçer'de 0 - 1" arasında hiç değer görülmezken, DIMM sisteminde toplam verilerin yaklaşık %75'i 0 - 1" arasında ölçülmüştür.

Bütün sistemlerin, 24.02.2018 (JD:2458173) gününe ait karşılaştırılması, Şekil 84'de verilmiştir.

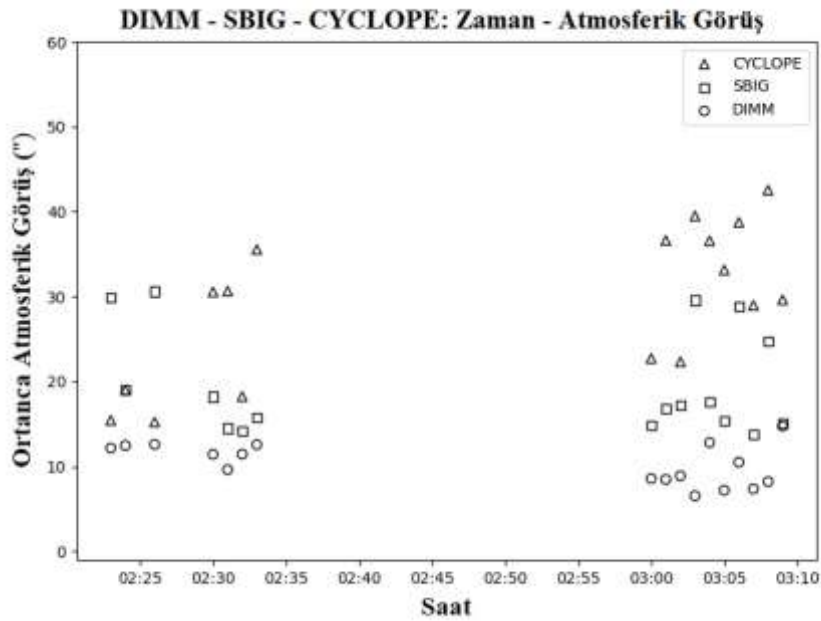


Şekil 84. DIMM - SBIG - CYCLOPE karşılaştırılması (JD:2458173)

DIMM sistemi yaklaşık 0,4" - 0,8" aralığında ölçülen en küçük atmosferik görüş değerlerini, CYCLOPE Görüş Ölçer'de 2" - 5" aralığında ve SBIG Görüş Ölçer'de ise 1,5" - 5,0" aralığında ölçtüğü Şekil 84'de görülmektedir. Ayrıca, üç sistemin aynı anda, 22.02.2018 (JD:2458172) gününe ait bir dakika boyunca alınmış gözlem verilerinin ortanca atmosferik görüş değerlerinin karşılaştırılması, Şekil 85'de ve başka bir örnek güne ait karşılaştırılması ise Şekil 86'da verilmiştir.



Şekil 85. DIMM - SBIG - CYCLOPE: Zaman - Ortanca Atmosferik görüş (JD:2458172)

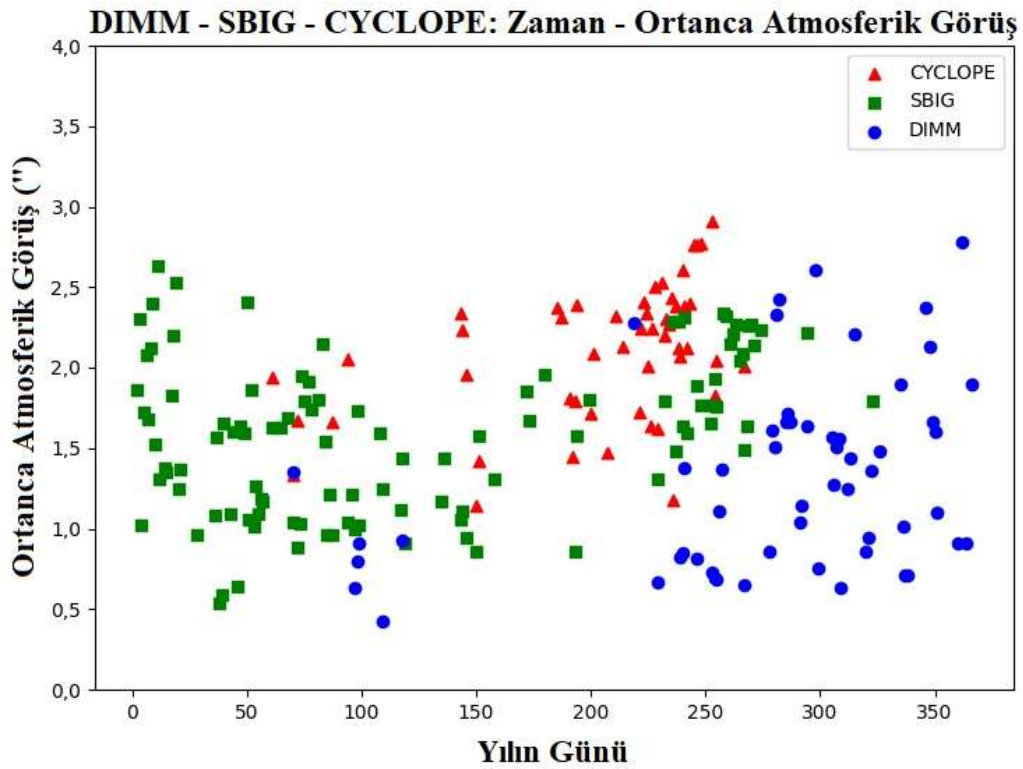


Şekil 86. DIMM - SBIG - CYCLOPE: Zaman - Ortanca Atmosferik görüş

Şekil 85 ve Şekil 86'da, daire simgesi DIMM sistemi tarafından ölçülen atmosferik görüş değerini, kare simgesi SBIG Görüş Ölçer sistemi tarafından ölçülen atmosferik görüş değerini ve üçgen simgesi ise CYCLOPE Görüş Ölçer sistemi tarafından ölçülen atmosferik görüş değerini göstermektedir. DIMM sistemi tarafından ölçülen atmosferik görüş değerleri, CYCLOPE ve SBIG Görüş Ölçer tarafından ölçülen atmosferik görüş değerlerinden daha düşük olduğu görülmektedir. Üç sistemin ortak özellikleri, Kutup yıldızına hizalandırılarak ölçüm almasıdır. Sistemlerin birbirinden farklılıkları ise, kullandıkları algoritmalar ve poz süreleridir. DIMM sisteminde kullanılan Video Yakalama Kartlarına bağlı olarak Pinnacle

Video Yakalama Kartı ile yapılan gözlemlerin poz süreleri 16 ms ve Logilink Video Yakalama Kartında video formatına bağlı olarak (NTSC, PAL) poz süresi 33 - 40 ms dir. SBIG Görüş Ölçer sisteminde poz süresi 40 ms ve CYCLOPE Görüş Ölçer sisteminde ise 8 ms'dir. Ayrıca, özellikle SBIG Görüş Ölçer sistemi, rüzgarın neden olduğu titreşimden kolayca etkilenmektedir. DIMM sistemi, diferansiyel görüntü hareketi yöntemini kullanmasından dolayı, rüzgardan etkilenmemektedir.

Üç sistemle ölçümleri alınmış ortanca zenit atmosferik görüş değeri $\leq 3''$ olması durumundaki atmosferik görüşün yılın günlerine göre değişimi Şekil 87'de verilmiştir. Burada 2013 - 2018 yılları arasında toplanan veriler kullanılmıştır.



Şekil 87. DIMM - SBIG - CYCLOPE: Yılın günlerine göre ortanca Atmosferik görüş

Şekil 87'de, mavi daireler DIMM sistemi, yeşil kareler SBIG Görüş Ölçer ve kırmızı üçgenler ise CYCLOPE Görüş Ölçer sistemiyle ölçülmüş atmosferik görüşü göstermektedir. Aynı günler için ortanca atmosferik görüş değeri en düşük DIMM sistemi ile daha sonra SBIG Görüş Ölçer sistemi ve en fazla CYCLOPE Görüş Ölçer sistemi yardımıyla ölçülmüştür.

TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışma kapsamında, Erzurum Karakaya Tepelerinde kurulmakta olan Doğu Anadolu Gözlemevi (DAG) Yerleşkesinin (3170 m rakım) atmosferik görüş kalitesini belirlemek amacıyla, 7 m yüksekliğe sahip kule üzerine kurulan üç farklı sistemle (klasik DIMM metodu, SBIG ve CYCLOPE Görüş Ölçer) Kutup yıldızı gözlemleri yapılmıştır. Yapılan gözlemler ve alınan ölçümler sonucunda, Yerleşkenin atmosferik görüş değerlerinin astronomik amaçlı gözlemler için uygun olup olmadığı belirlenmiştir.

DIMM aygıtı, 2017 yılının Ağustos ayında, 7 m yüksekliğindeki platforma kuruldu. Meade 12" LX200 ACF teleskobu kullanılarak DIMM gözlemlerine 23 Ağustos 2017 tarihinde başlandı ve 9 Kasım 2018 tarihine kadar gözlemler devam etti. DAG Yerleşkesinde atmosferik görüş ölçümleri DIMM aygıtı ile toplamda 63 gecelik veri seti elde edilerek yapıldı. Hava şartlarına bağlı olarak bir gecede en az ~50000 ile en fazla ~1,8 Milyon gözlem verisi alınarak her 312 görüntü de atmosferik görüş değeri elde edildi. DAG Yerleşkesindeki gözlemler, 500 nm dalga boyu için hesaplandı ve zenit düzeltmesi yapılarak sonuçlar zenite indirildi. Analizler sonucunda Tablo 22'de belirtilen değerler elde edildi.

SBIG Görüş Ölçer aygıtı, 2013 yılının Kasım ayında, 7 m yüksekliğindeki platforma kuruldu. SBIG Görüş Ölçer gözlemlerine 18 Kasım 2013 tarihinde başlandı ve 28 Mart 2018 tarihine kadar gözlemler devam etti. DAG Yerleşkesinde atmosferik görüş ölçümleri SBIG Görüş Ölçer aygıtı ile toplamda 116 gecelik veri seti elde edilerek yapıldı. Hava şartlarına bağlı olarak bir gecede en az ~25 ile en fazla ~4200 gözlem verisi alınarak her görüntü de atmosferik görüş değeri hesaplandı. Analizler sonucunda Tablo 22'de verilen değerler elde edildi.

CYCLOPE Görüş Ölçer aygıtı, 2017 yılının Ağustos ayında, 7 m yüksekliğindeki platforma kuruldu. CYCLOPE Görüş Ölçer gözlemlerine 20 Ağustos 2017 tarihinde başlandı ve 18 Mart 2018 tarihine kadar gözlemler devam etti. DAG Yerleşkesinde atmosferik görüş ölçümleri ile toplamda 61 gecelik veri seti elde edilerek yapıldı. Hava şartlarına bağlı olarak bir gecede en az ~40 ile en fazla ~34000 gözlem verisi alınarak her görüntü de atmosferik görüş değeri hesaplandı. Analizler sonucunda Tablo 22'de verilen değerler elde edildi.

DAG Yerleşkesinden farklı sistemlerle alınan gözlemlerin istatistiksel analizi, Tablo 22'de verilmiştir. Bu tabloda, atmosferik görüş ölçümlerinde kullanılan her bir sistem için gözlem sayısı (gün), en küçük değeri, atmosferik görüş değerinin 3" den ve 5" den küçük olması durumundaki ortalama ve ortanca değerleri gösterilmektedir. En küçük ölçülen atmosferik görüş değeri 0,24" ve 0,25" olarak CYCLOPE Görüş Ölçer ve DIMM sistemi ile

ölçülmüştür. Ölçülen en küçük atmosferik görüş değerleri birbirine çok yakın olmasına rağmen, 3"den küçük atmosferik görüş değerlerinin ortalama ve ortanca değeri, DIMM sisteminde daha düşüktür. Bunun nedeni; CYCLOPE Görüş Ölçer her 3000 görüntü de atmosferik görüş hesaplarken, ani bir şekilde çıkan rüzgâr ile birlikte yarım kalan ölçümlerin üzerine gözlem yaparak önceki verileri de kullanarak atmosferik görüş hesaplamasından kaynaklanmaktadır. Aynı şekilde, SBIG Görüş Ölçer sisteminde de bu değerlerin büyük olmasının nedeni, ölçülen FWHM değeri, kameranın titreşimini barındırdığından dolayı, SBIG Görüş Ölçer her zaman gerçek atmosferik görüş değerinden daha büyük değer vermektedir. Bundan dolayı, aslında ölçülen gerçek atmosferik görüş değeri, hesaplanandan daha azdır.

Tablo 22. Sistemlerin Genel Atmosferik Görüş İstatiksel Sonuçları

Sistem	SBIG	CYCLOPE	DIMM
Gözlem Sayısı (Gün)	116	61	63
Minimum (")	0,41	0,24	0,25
Ortalama <3"	1,80	1,79	0,93
Ortanca <3"	1,91	1,76	0,81
Ortalama <5"	2,10	2,39	1,09
Ortanca <5"	1,91	2,15	0,82

DAG Yerleşkesinde üç farklı aygıtla ölçüm alınan sistemlerde hesaplanan Fried parametreleri değerleri Tablo 23'de verilmiştir. Burada en büyük ölçülen Fried parametresi CYCLOPE Görüş Ölçer'de olmasına rağmen, ortalama ölçülen değer en küçük bu sistem için bulunmuştur. SBIG Görüş Ölçer'de ortalama Fried parametresi değeri iyi olmasına rağmen, en büyük değer, diğer sistemlerle karşılaştırıldığında küçüktür. DIMM sistemi ile ölçülen Fried parametresi değeri için en büyük değer 1,45 cm, ortalama da 0,30 cm ve standart sapmada ise 0,25 cm hata payları ile hesaplanmıştır.

Tablo 23. Sistemlerin Genel Fried Parametresi İstatiksel Sonuçları

Sistem	SBIG	CYCLOPE	DIMM
En Büyük (cm)	19,02	41,13	32,10
Ortalama (cm)	4,07	2,68	6,71
Standart Sapma	1,91	3,20	5,53

Sistemlerin kendi aralarında korelasyon olup olmadığı araştırılmıştır. Bu kapsamda, sistemlerin ortak çalıştığı iyi gözlem gecelerinden örnek bir günde aynı zaman diliminde alınmış verilerin (her gözlem dakikası için o sürede alınmış dataların ortanca değerleri alınarak) istatistiği, Sosyal Bilimler için İstatistik Programı (Statistical Package for the Social Sciences, IBM SPSS) kullanılmıştır. Kolmogorov - Smirnov (K - S test) ve Shapiro - Wilk (Shapiro and Wilk (1965)) testleri ile Normallik Testi yapılmıştır. Yapılan Normallik Testi sonucu Tablo 24'de verilmiştir.

Tablo 24. Sistemlerin Normallik Analiz Sonuçları

	CYCLOPE / SBIG	CYCLOPE / DIMM	CYCLOPE / DIMM
Veri Sayısı (N)	352 / 352	170 / 170	175 / 175
Kolmogorov - Smirnov (p)	.000 / .000	.000 / .000	.000 / .000
Shapiro - Wilk (p)	.000 / .000	.000 / .000	.000 / .000

Normallik test edilirken genellikle küçük örneklem için Shapiro - Wilk ve büyük örneklem için Kolmogorov - Smirnov testi tercih edilir. Tablo 24’de, CYCLOPE/SBIG arasındaki Normallik testi için 352 veri, CYCLOPE/DIMM arasındaki Normallik testi için 170 veri ve CYCLOPE/DIMM arasındaki Normallik testi için 175 veri kullanıldığından dolayı, bu orta düzey bir örneklemdir. Örneklem sayısı 30 ve 30’dan büyük olması durumunda Kolmogorov - Smirnov testlerinin kullanılması önerilmektedir. Bundan dolayı, Kolmogorov testini göz önünde bulundurduğumuzda, her üç sistemin kendi aralarındaki istatistiksel anlamlılık (statistical significance, p) seviyesi <0,05 olduğundan dolayı, veriler normal dağılmamıştır. Datalar normal dağılıma uymadığı için parametrik test yapılmayıp parametrik olmayan korelasyon (Nonparametric Correlation) test yapılmış ve Spearman korelasyon katsayısı (Spearman’s rho) (Spearman 1904) kullanılmıştır. Kullanılan Spearman korelasyon katsayısı sonuçları Tablo 25’de verilmiştir.

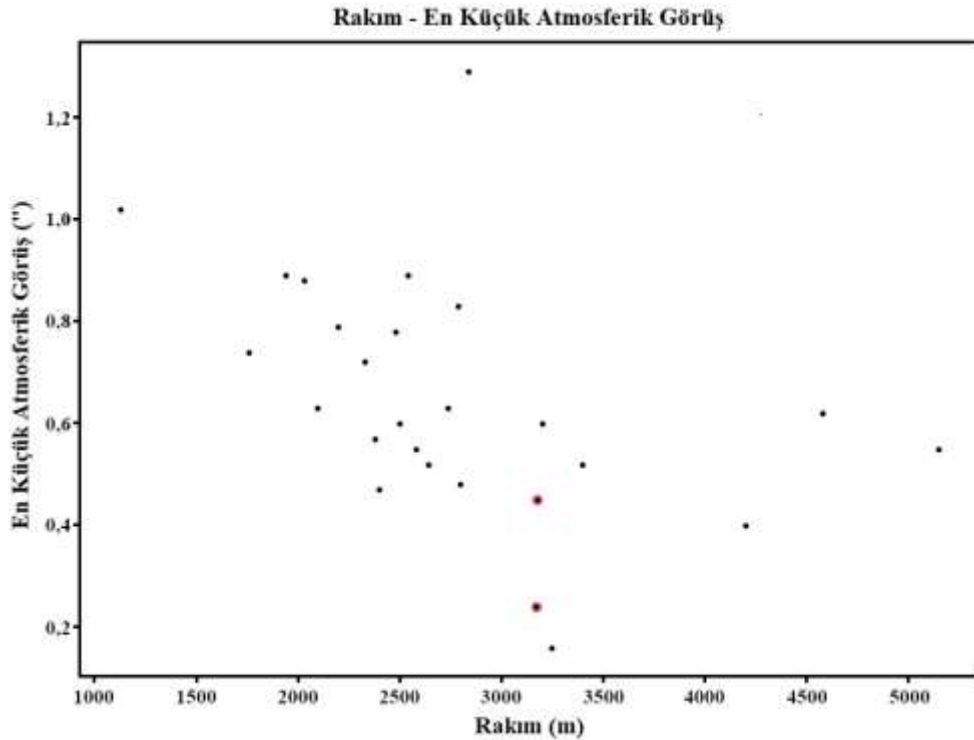
Tablo 25. Sistemlerin Spearman Korelasyon Katsayısı Sonuçları

	CYCLOPE / SBIG	CYCLOPE / DIMM	CYCLOPE / DIMM
Veri Sayısı (N)	352 / 352	170 / 170	175 / 175
r	.484	-.262	-.009
p	.000	.000	.905

Tablo 25 incelendiği zaman, CYCLOPE/DIMM arasında anlamlılık değeri $p = 0,905 > 0,05$ olduğundan dolayı, CYCLOPE/DIMM arasında korelasyon olmadığı gözükmemektedir. CYCLOPE/SBIG arasında anlamlılık değeri $p = 0,000 < 0,05$ olduğundan dolayı, aralarında bir korelasyon varmış gibi gözükse de korelasyon katsayısı (Correlation Coefficient, r) 0,484 olmasından dolayı, pozitif korelasyon (yani CYCLOPE Görüş Ölçer ile ölçülen atmosferik görüş değeri artarken SBIG Görüş Ölçer ile ölçülen atmosferik görüş değeri de artmaktadır.) görülmektedir fakat korelasyon katsayısı değeri 0,4 - 0,6 arasında olmasından dolayı, orta şiddette korelasyon görülmektedir. Aynı şekilde, CYCLOPE/DIMM arasında anlamlılık değeri $p = 0,000 < 0,05$ olduğundan dolayı, aralarında bir korelasyon varmış gibi gözükse de, r değeri - 0,262 olmasından dolayı, negatif korelasyon görülmektedir. Yani CYCLOPE Görüş Ölçer ile ölçülen atmosferik görüş değeri artarken DIMM sistemi ile ölçülen atmosferik görüş değeri azalmaktadır. Fakat korelasyon katsayısı değeri 0,2 - 0,4 arasında olmasından dolayı, zayıf korelasyon görülmektedir. Aynı işlemler, her bir sistemle (CYCLOPE Görüş Ölçer, SBIG Görüş Ölçer ve DIMM sistemi) Meteorolojik aletlerindeki (AWS, DAVIS ve Vaisala) parametreler arasında (Sıcaklık, Nem, Rüzgar Hızı / Yönü) yapıldığı zaman, aralarında korelasyon görülmemiştir.

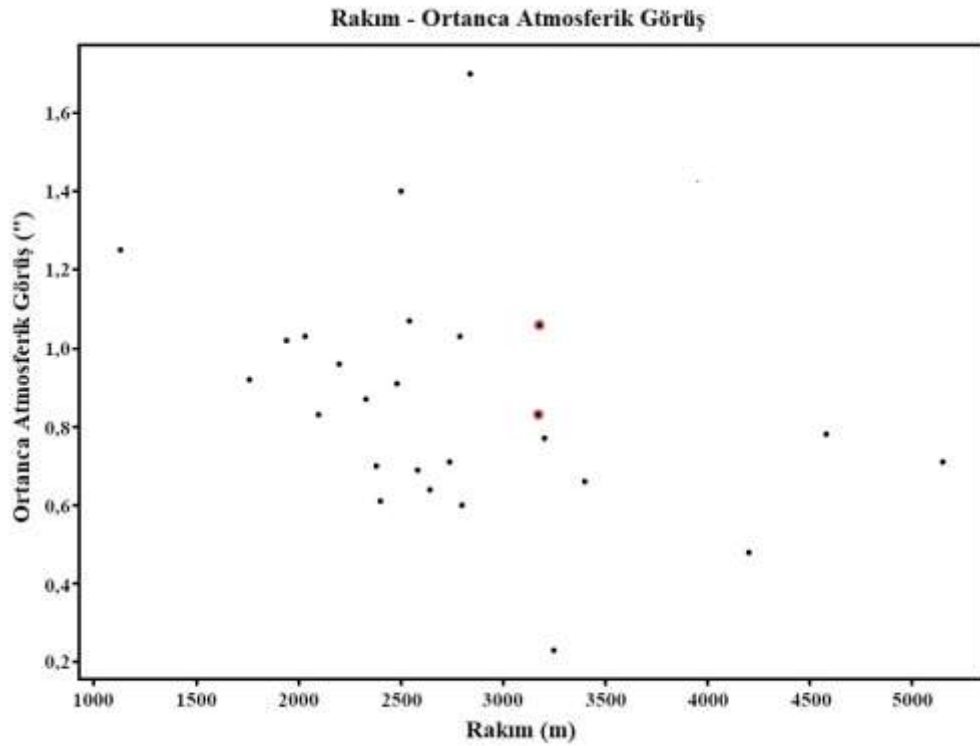
Racine (2005) tarafından verilen Dünyadaki büyük gözlemevlerinin, DAG Yerleşkesi'nin ve Türkiye'de bulunan TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi (TÜBİTAK National Observatory, TUG) rakıma göre, en küçük ve ortanca atmosferik görüş değerleri Ek 1'de verilmiştir. Atmosferik görüş değerini hesaplamak için farklı yöntemler (SCIDAR, DIMM, GSM vb.) kullanılmaktadır. Dünyadaki gözlemevleri de farklı gözlemler kullanarak atmosferik görüşü hesaplamışlardır.

Atmosferik çalkantı, hava yoğunluğu ve kırılmaya bağlı olduğundan dolayı, yere yakın bölgelerde atmosferik çalkantı daha fazla olmaktadır (Coulman 1985). Bu etkileri en aza indirmek için teleskop binaları yüksek yapılması gerekmektedir. DIMM gözlemleri, genelde zeminden yükseğe kurulmuş platformlar üzerinden yapılmaktadır. Bunun sebebi, zeminden yükseğe çıktıkça atmosferik çalkantının hızla düşmesinden dolayıdır (Ak vd. 2006). Dünyadaki diğer gözlemevleri de bu çalışmada yaptığımız gibi farklı yükseklikteki platformlar üzerinden gözlem yapmışlardır. Rakıma karşı, en küçük ve ortanca atmosferik görüş, Şekil 88 ve Şekil 89'da, platform yüksekliğine bağlı olarak en küçük ve ortanca atmosferik görüşün değişimi ise Şekil 90 ve Şekil 91'de verilmiştir. Şekillerde yuvarlak içine alınan noktalar, bu tez kapsamında DAG Yerleşkesinde ölçtüğümüz ve Demirci (2010) tarafından Palandöken Dağı'nda DIMM yöntemi ile bulunmuş atmosferik görüş değerlerini göstermektedir.



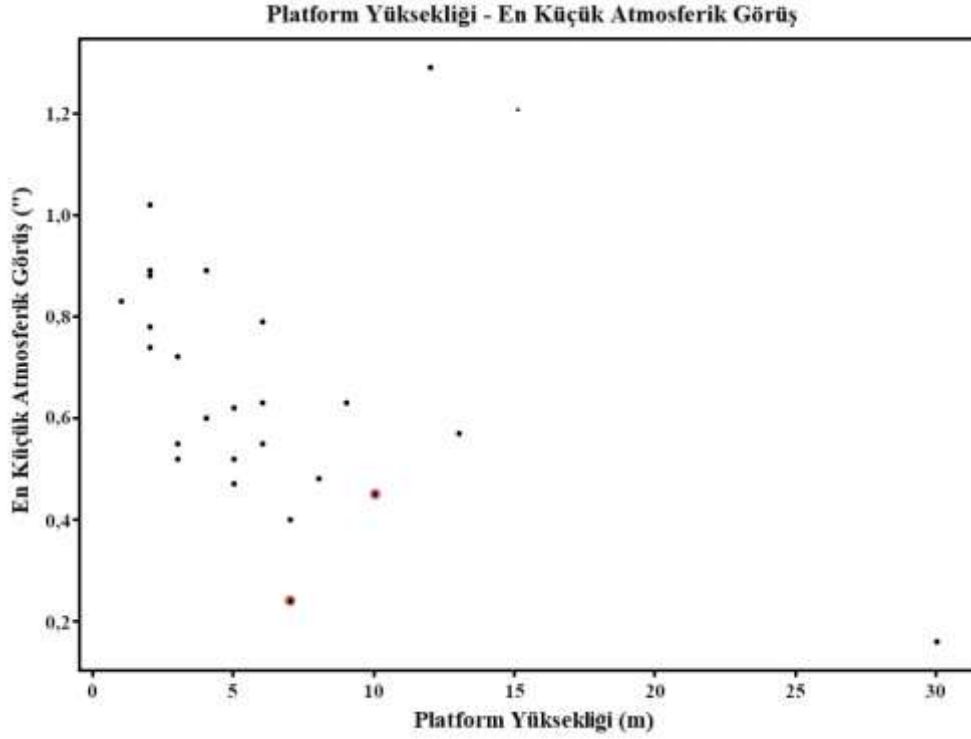
Şekil 88. Rakım - En küçük atmosferik görüş

Şekil 88 incelendiği zaman, DAG Yerleşkesi, Dome C (Antartika) dışında Dünyadaki diğer gözlemevleri içerisinde ölçülen en küçük atmosferik değere sahiptir. Dome C Yerleşkesinde MASS/SODAR yöntemi ile atmosferik görüş hesaplanmıştır. DAG Yerleşkesinin de farklı yöntemlerle veya daha uzun süre gözlem yapılarak atmosferik görüş hesaplanması durumunda bu değerlerin ölçülebileceği düşünülmektedir. Hava olayları genel olarak troposferin (troposfer: Atmosferin en alt katmanı ve kalınlığı yeryüzünden itibaren zenit de yaklaşık 12 km'dir.) 3 - 4 km'lik alt kısmında gerçekleştiği için, Şekil 88'de görüldüğü gibi, yüksek rakımda bulunan gözlemevleri, alt taraftaki troposferin optik atmosferik çalkantısından daha az etkilenmektedir.

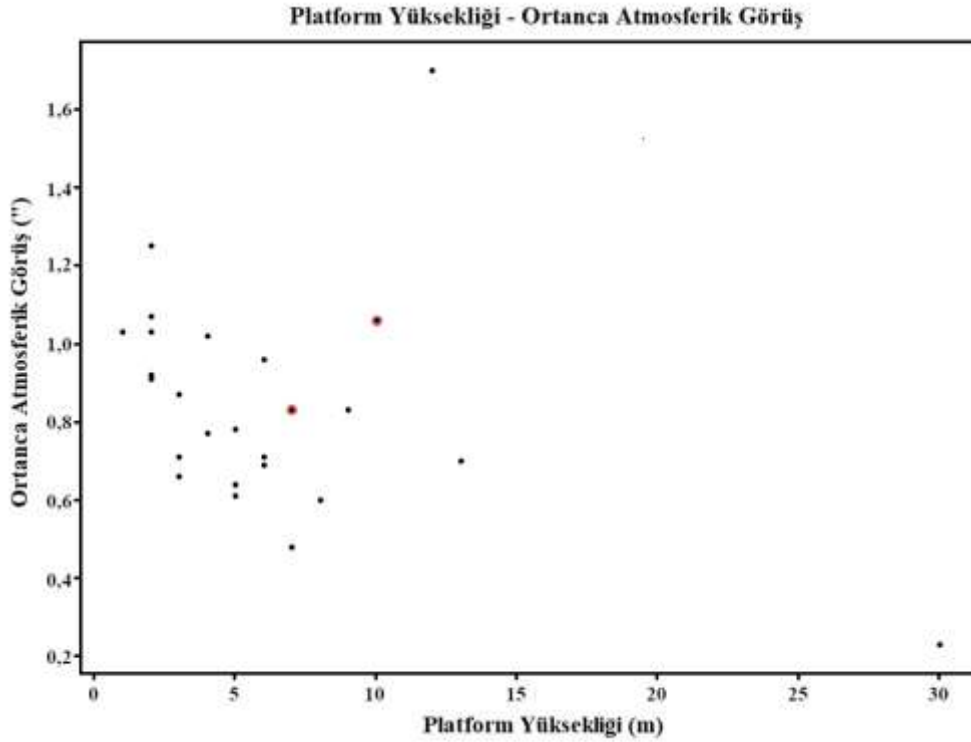


Şekil 89. Rakım - Ortanca atmosferik görüş

Şekil 89 incelendiği zaman, ortanca atmosferik görüş değerleri ile DAG Yerleşkesi, uluslararası gözlemevleri sıralamasında atmosferik koşullar olarak iyi konumda olduğunu göstermektedir. Atmosferik görüş kalitesi bakımından, birçok iyi gözlemevi yerleşkesi kadar iyi gözlem şartlarına sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 90. Platform yüksekliği - En küçük atmosferik görüş



Şekil 91. Platform yüksekliği - Ortanca atmosferik görüş

Zeminden yükseğe kurulan platformlar üzerinde gözlem yapıldığı zaman, ölçülen atmosferik görüş değeri hızlı bir şekilde azalmaktadır. Şekil 90 ve Şekil 91 incelendiği zaman, platform yüksekliği ile en küçük ve ortanca atmosferik değerleri bakımından, DAG Yerleşkesi de diğer gözlemevleri ile aynı trend içerisinde olduğu görülmektedir.

Atmosferik görüş gözlemlerinde, poz süresi önemlidir. Atmosferdeki görüntü hareketi, saniyede ortalama 100 kez titreşmektedir. Görüntünün yeri saniyede 100 kez değiştiğinden dolayı, atmosferik görüş gözlemlerinde poz süresi 10 ms'nin altında olması gerekmektedir. Poz süresinin azalması ile atmosferik görüş değeri de azalmaktadır. Poz süresi ne kadar küçük olursa ölçülen atmosferik görüş değerleri doğruluğu o kadar iyileşmektedir. Bu amaçla, DIMM sisteminde hızlı görüntü kaydeden video kameralar kullanılmaktadır. CYCLOPE Görüş Ölçer'de 8 ms poz süresi kullanılmaktadır. SBIG Görüş Ölçer sistemi yardımıyla farklı poz süreleri (40 ms, 0,2 s, 1 s, 2 s ve 4 s) ile ölçümler alınıp incelendiğinde, en küçük atmosferik görüş değeri 40 ms ile elde edilmiştir. Atmosferik görüş gözlemlerinde rüzgar hızı da oldukça önemlidir. Atmosferik görüş, rüzgâr hızı ile ilişkilidir. Rüzgâr hızı, özellikle hem SBIG ve CYCLOPE Görüş Ölçer sistemlerini olumsuz etkilemekte hem de poz süresini doğrudan etkilemektedir. Rüzgar hızı arttığı zaman, SBIG ve CYCLOPE Görüş Ölçer sistemi, rüzgarın neden olduğu titreşimden kolayca etkilenmektedir. DIMM sistemi, diferansiyel görüntü hareketi yöntemini kullanmasından dolayı, rüzgardan etkilenmemektedir. Poz süresi $\ll d/V$ (d: Teleskop çapı, V: Rüzgâr hızı) olmalıdır. Poz süresi, satüre olmayan piksel sayısına ve atmosferik titreşim frekansına bağlı olarak verilir. Bir diğer önemli parametre ise sıcaklıktır. Hem sistemde kullanılan aletlerin sıcaklığı hem de ortamın sıcaklığı oldukça önemlidir. Sistemde kullanılan aletlerin sıcaklığı belli bir seviyenin altında olmadığı zaman ölçülen atmosferik görüş değeri büyük çıkacaktır. Ortamın sıcaklığı ise yükselip ani bir şekilde düştüğünde atmosferik çalkantı artmaktadır. Nem değeri arttığında ise, kutup yıldızının merkezini bulmak güçleşecek ve atmosferik görüş değeri olumsuz yönde etkilenecektir. Ayrıca atmosferik çalkantı, hava yoğunluğu ve kırılmaya bağlı olduğundan dolayı, yere yakın bölgelerde atmosferik çalkantı daha fazla olmaktadır (Coulman 1985). Bu etkileri en aza indirmek için DIMM gözlemleri, genelde zeminden yükseğe kurulmuş platformlar üzerinden yapılmaktadır.

DIMM sistemi ile atmosferik görüş gözlemleri yapılırken, kullanılan teleskobun çapının 20 cm'den büyük olmasına (Sarazin and Roddier 1990), Hartmann maskesinin delik çapının (D) mümkün olduğunca küçük, delikler arasındaki mesafenin (d) mümkün olduğunca büyük olmasına ve $S = d/D > 2,5$ olmasına (Sarazin and Roddier (1990)) dikkat edilmelidir. Ayrıca yapılan hata hesabı çalışmalarında görülmüştür ki, ne kadar çok görüntü kullanılırsa hata hesabı o kadar iyileşmektedir. Görüntü sayısı 50 ile 100 arasında olduğu zaman, atmosferik görüş ölçüm hatası yaklaşık %10 civarındadır. Bu yüzden, kısa poz süreleri ile görüntü alınabilecek alıcılar kullanılarak duyarlılık artırılabilir. $N = 200$ görüntü alınması halinde ölçüm hatası %6 mertebesinde olacaktır (Ak vd. 2006). Hesaplamalarda görüntü sayısının artırılması gerekmektedir. Bir diğer önemli parametre de hesaplamalarda

kullanılacak veri gruplarına karşılık gelen görüntü sayısı (frame number, fn) ve veri grubunda kullanılabilen görüntü sayısının, fn ye oranı olan geçerli veri (valid data, vd) değeridir. Sanal ve gerçek yıldızların hem merkezlerini hem de bu iki yıldız arasındaki uzaklığı bulmak için hata yapılmaktadır.

SBIG Görüş Ölçer ve CYCLOPE Görüş Ölçer gibi, Kutup Yıldızı gözlemi yapan otomatik görüş ölçüm cihazları ile ölçümler yapılabilmesi için Kutup Yıldızı'nı görüş alanında tutmak gerekmektedir. Kutup Yıldızı'nın önünden bulut geçmesi durumunda, atmosferik görüş değeri etkilenecektir. Bütün sistemlerdeki, atmosferik görüş değerlerinde zenit düzeltmesi yapılmasından ve kısa poz süreleri verilmesinden dolayı, parlak alternatif yıldızlarla, atmosferik görüş gözlemleri yapılabilmelidir.

Büyük teleskoplarla yapılan gözlemlerde, özellikle de görüntüleme ve spektroskopi amaçlı gözlemlerde atmosferik görüş değeri önem taşımaktadır. Bir gözlemevi kurulurken yapılmış olan atmosferik görüş ölçümleri yeterli olmamaktadır. Yerleşkedeki atmosferik görüş düzenli olarak takip edilmeli ve gözlem sırasında ve öncesinde bilinmelidir. Gözlem gecelerinin az olması nedeniyle, tam bir sonuca varmak mümkün değildir. Mevsimsel değişikliklerin nedenlerini bulmak için atmosferik görüş parametresinin sürekli izlenmesi gerekir. Atmosferik görüş değerine bağlı olarak, yüksek ayırma gücü gerektiren gözlemler, uygun hava koşullarında yapılmalıdır. Yerleşkenin atmosferik koşullarındaki uzun dönemli veya mevsimlik değişimi atmosferik görüş gözlemleri ile ortaya konulmaktadır. Uzun süreli gözlemlerle hem Yerleşke için daha ayrıntılı atmosferik görüş gözlemleri yapılabilir hem de astronomik gözlem açısından çok iyi olarak bilinen 1" altında gözlemlenen atmosferik görüş değerinin doğruluğu kanıtlanmış olacaktır. Farklı ekipmanlar kullanılarak, poz süresi, plak ölçeği küçültülebilir ve Kutup Yıldızı'nın sürekli görüş alanında tutulması sağlanabilir. Ayrıca, yazılımla otomatik olarak görüş hesaplaması yapılabilir. Tez kapsamında elde edilen sonuçlar, DAG Yerleşkesinin atmosferik görüş kalitesinin, gözlemevi yerleşkesi için uygun olduğunu göstermektedir.

KAYNAKLAR

- Ak, T., Ozişik, T., Yelkenci, K., Girgin, C.B. ve Başturk, O. 2006. Tubitak Ulusal Gözlemevi'nin Robotik Gözlem Gözlemi düzeni TUG-DIMM: Son durum ve ilk gözlemler. XV. Ulusal Astronomi Kongresi, 41-53, İstanbul.
- Aslan, Z., Parmaksızoğlu, M., Keskin, V., Selam, O.S., Yeşilyaprak, C., Şahin, T., Khamitov, İ., Özişik, T., 2004. TUG Gözlem koşulları istatistigi, XIV Ulusal Astronomi Kongresi, Kayseri.
- Anonymous , Alipy, <https://pypi.org/project/alipy/> (17.01.2018).
- Anonim, Atmosfer Optiği, <https://web.itu.edu.tr/~kkocak/optik.htm> (10.01.2018).
- Anonymous , Astropy, www.astropy.org (16.01.2018).
- Anonymous, Astroquery, <https://astroquery.readthedocs.io/en/latest/> (03.03.2018).
- Anonymous, AWS, <https://www.lsi-lastem.com/it/casi-studio/sistema-di-monitoraggio-ambientale-nel-sito-produttivo-laminam-pr/> (31.07.2018).
- Anonymous, CYCLOPE Seeing Monitor, <http://www.alcor-system.com/new/SeeingMon/Cyclope.html> (05.07.2017).
- Anonymous, DMK 23GP031, <https://www.theimagingsource.com/products/industrial-cameras/gige-monochrome/dmk23gp031/> (05.07.2017).
- Anonymous, Davis Vantage Pro2, <https://www.davisinstruments.com/vantage-pro2/> (05.07.2018).
- Anonymous, FITS, <https://fits.gsfc.nasa.gov/> (16.01.2018).
- Anonymous, Logilink, http://www.logilink.org/USB_20_Audio_and_Video_Grabber_VG0001A.htm?seticlanguage=en (15.02.2019).
- Anonymous, Matplotlib, <https://matplotlib.org/> (11.08.2018).
- Anonymous, Meade, <http://www.meadeuk.com/Meade-LX200-ACF-telescopes.html> (30.05.2014).
- Anonymous, Multi Aperture Scintillation Sensor(MASS). http://sitedata.tmt.org/Available_data/instruments.html#mass (05.04.2014).
- Anonymous, OpenCV, <https://opencv.org> (17.01.2018).
- Anonymous, Pinnacle, <http://eridanera.ru/pinnacle-dazzle-dvc-170-driver.html> (09.01.2018).
- Anonymous, Python, <https://www.python.org/> (12.01.2018).
- Anonymous, Seeing Monitor. SBIG Astronomical Instruments, <https://www.sbig.com/products/cameras/specialty/seeing-monitor/> (03.08.2014).
- Anonymous, Seeing Monitor. <https://diffractionlimited.com/wp-content/uploads/2016/03/st402man.pdf> (03.08.2014).
- Anonymous, Sep, <https://sep.readthedocs.io/en/v1.0.x/> (16.01.2018).
- Anonymous, SExtractor, <https://sextractor.readthedocs.io/en/latest/Introduction.html> (28.02.2018).
- Anonymous, SciPy, <https://www.scipy.org/scipylib/> (05.09.2018).
- Anonymous, SPSS, <https://www.ibm.com/tr-tr/analytics/spss-statistics-software> (20.06.2021).

- Anonymous, Vaisala, <https://www.vaisala.com/en/products/weather-environmental-sensors/weather-transmitter-wxt530-series> (30.05.2018).
- Avila, R., Masciadri, E., Vernin, J., Sanchez, L.J., 2004. Generalized SCIDAR Measurements at San Pedro Martir. I. Turbulence Profile Statistics. Publications of the Astronomical Society of the Pacific, 116, 682-692.
- Aytekin, E., 2019. Başucu Noktası Gözlemleriyle Atmosferik Görüş Ölçümü. Y.Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- Azouit, M. and Vernin, J., 1980. Remote investigation of tropospheric turbulence by two – dimensional analysis of stellar scintillation. J.Atm.Sci.,37,1550.
- Bally, J., Thail, D., Billawala, Y., Potter, D., Loewenstein, R.F., Mrozek, F. and Llyayd, J.P., 1996. A Hartmann Differential Image Motion Monitor (H-DIMM) for atmospheric turbulence characterization, PASP, 13(1), 22-27.
- Barker, E.S., Adams, M.T., Deglman, F., Riley, V., George, T., Booth, J.A., Rest, A., Robinson, E.L., 2003. Determination of the Intrinsic Site Seeing for the Hobby-Eberly Telescope. Proceeding of the SPIE, 4837, 225-236.
- Boccas, M., 2005. In LSST Sites, 2nd Data Report, ed. J.Sebag (Tucson: LSST Corp.), A1,18.
- Borgnino, J. and Vernin, J., 1978. Experimental verification of the inertial model of atmospheric turbulence from Solar Limb Motion. J.Opt.Soc.Am.55,1056-1062.
- Borgnino, J., Martin, F., Ziad, A., 1992. Effect of finite outer scale on the covariances of angle-of-arrival fluctuations. Opt. Commun, 91(1), 267-269.
- Carrasco, E., Carraminana, A., Aviles, J.L., Yam, O., 2003. Optical Seeing at Sierra Negra. PASP, 115, 879.
- Chun, M., Jacobson, J., Harakeyama, A., 2002. Mauna Kea Site Testing. Sites Workshop II (Tucson: NOAO).
- Conan, R., Avila, R., Sanchez, L.J., Ziad, A., Martin, F., Borgnino, J., Harris, O., Gonzales, S.I., Michel, R., Hiriart, D., 2002. Wavefront outer scale and seeing measurements at San Pedro Martir Observatory. Astronomy & Astrophysics, 396 (2). 723-730.
- Cowie, L.L., Songaila, A., 1988. Atmospheric isoplanatism and astronomical image reconstruction on Mauna Kea. Journal of the Optical Society of America A, 5(7), 1015-1022.
- Cromwell, R., Haemmerle, V., Woolf, N., 1988. Seeing on Mt. Graham: Discoveries and Site-to-Site Variations. ESO Conference and Workshop Proceedings, 30, 917-927.
- Dainty, J.C., Scaddam, R.J., 1975. Measurements of the atmospheric transfer function at Mauna Kea, HAWAII. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society (MNRAS), 170(1), 519-532.
- Demirci, H., 2010. Palandöken dağı ve çevresinin atmosferik görüş kalitesinin belirlenmesi. Y.Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, Türkiye.
- DiVittorio, M., 1996. Mauna Kea: General info on Observing Conditions (ESO), <http://www.eso.org/gen-fac/pubs/astclim/espas/maunakea/maunakea.html> (15.03.2018).
- Dunlop, C.N., Hamam, Y.A., Major, J.V., 1989. The use of Polaris seeing monitor to measure atmospheric seeing at La Palma. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 236, 875-884.

- Echevarria, J., Tapia, M., Costero, R. Salas, L., Michel, Rm., Michel, R1, Rojas, M.A., Munoz, R., Valdes, J., Ochoa, J.L., Palomares, J., Harris, O., Cromwell, R.H., Woolf, N.J., Persson, S.E., Carr, D.M., 1998. Site Testing at Observatorio Astronomico Nacional in San Pedro Martir. *Revista Mexicana de Astronomia y Astrofisica*, 34, 47-60.
- Erasmus, D.A., 2000. *South African J. Sci*, 96, 475.
- ESO, 2002. Forecasts of Observing Conditions on ESO Sites, <http://www.eso.org/gen-fac/pubs/astclim> (ESO 2002) (02.03.2018).
- Fatoohi, L.J., Stephenson, F.R., Al-Dargazelli, S., 1998. The Danjon limit of first visibility of the lunar crescent. *The Observatory*, 118, 65-72.
- Fried, D.L., 1965. Statics of a geometric representation of wavefront distortion. *J. Opt. Soc. AM55*, 11, 1427.
- Fried, D.L., 1975. Differential angle of arrival: Theory, evaluation, and measurement feasibility. *Radio Science*, 10(1), 71-76.
- Giovanelli, R., Darling, J., Sarazin, M., Yu, J., Harvey, P., Henderson, C., Hoffman, W., Keller, L., Barry, D., Cordes, J., Etkenberry, S., Gull, G., Harrington, J., Smith, J.D., Stacey, G. and Swain, M., 2001. The optical/infrared astronomical quality of high Atacama Sites. I. Preliminary result of optical seeing, *PASP*, 113, 789-802.
- Hardy, J.W., 1998. *Adaptive optics for astronomical telescopes*. Oxford Univ. Press, 448, Oxford.
- Ilyasov, S., 2002., *Astronomical site evaluation in the visible and radio range*. Astronomical Society of the Pacific, San Francisco.
- Instituto Nacional de Astrofisica, Optica, y Electronica, 2002. The Sky at the Cananea Site, <http://www.inaoep.mx/~astrofi/cananea/oagh-sky.html> (INAOE 2002) (02.03.2018).
- Kenyon, S.L., Lawrence, J.S., Ashley, M.C.B., Storey, J.W.V., Tokovinin, A., Fossat, E., 2006. Atmospheric scintillation at Dome C, Antarctica: Implications for Photometry and Astrometry. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific (PASP)*, 118(844), 924-932.
- Kolmogorov, A., 1941. The Local Structure of Turbulence in Incompressible Viscous Fluid for Very Large Reynolds' Numbers. *Doklady Akademii Nauk SSSR*, 30, 301-305.
- Kornilov, V., Tokovinin, A., Vozyakova, O., Zaitsev, A., Shatsky, N., Potanin, S.F., Sarazin, M.S., 2003. MASS: a monitor of the vertical turbulence distribution. *The international society for optics and photonics (SPIE)*, 4839(1), 837-845.
- Kornilov, V., 2007. Accurate seeing measurements with MASS and DIMM. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society (MNRAS)*, 800(1), 1-13.
- Kornilov, V., Tokovinin, A., Shatsky, N., Voziakova, O., Potanin, S., Safonov, B., 2007. Combined MASS - DIMM instrument for atmospheric turbulence studies. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society (MNRAS)*, 382(343), 1268-1278.
- Kornilov, V., Voziakova, O., Shatsky, N., Safonov, B., Potanin, S., 2009. Results of astroclimate parameters measurements at the caucasus highland observatory of Sternberg Institute of Moscow University (KGO SAI) in 2007-2008. *Moscow State University Sternberg Astronomical Institute*, <http://curl.sai.msu.ru/mass/download/doc/res2009eng.pdf> (12.05.2014).
- Lawrence, J.S., Ashley, M.C., Kenyon, S., Storey, J.W., Tokovinin, A., Lloyd, J.P., Swain, M.R., 2004. A robotic instrument for measuring high altitude atmospheric turbulence

- from Dome C, Antarctica. The international society for optics and photonics (SPIE), 5489(1), 174-179.
- Lawrence, J.S., Ashley, M.C.B., Tokovinin, A., Travouillon, T., 2004. Exceptional astronomical seeing conditions above Dome C in Antarctica. *Nature*, 431, 278-281.
- Linfield, R.P., Colavita, M.M. and Lane, B.F., 2001. Atmospheric turbulence measurements with the Palomar testbed interferometer. *APJ.*, 554, 505.
- Loewenstein, R.F., Bero, C., Lloyd, J.P., Mrozek, F., 1998. Astronomical Seeing at the South Pole. *ASP Conference Series*, 141, 296-302.
- LSST, 2004a. LSST Sites, First Data Report. J.Sebag (Tucson: Large Synoptic Survey Telescope Corp., 23.
- LSST, 2004b. LSST Sites, First Data Report. J.Sebag (Tucson: Large Synoptic Survey Telescope Corp., 30.
- Mahoney, N.O., 2010. MASS. Isaac Newton Group of Telescopes, <http://www.ing.iac.es/engineering/mass.htm> (15.04.2014).
- Martin, H.M., 1987. Image motion as a measure of seeing quality. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific (PASP)*, 99(1), 1360-1370.
- Martin, F., Conan, R., Tokovinin, A., Trinquet, H., Borgnino, J., Agabi, A. and Sarazin, M., 2000. Optical parameters relevant for High Angular Resolution at Paranal from GSM instrument and surface layer contribution. *Astronomy & Astrophysics Supplement Series*, 114, 39-44.
- MASS group, About MASS Project. Moscow State University Sternberg Astronomical Institute, <http://curl.sai.msu.ru/mass/> (14.07.2014).
- Merrill, K. M., Forbes, F., 1987. Comparison study of astronomical site quality of Mount Graham and Mauna Kea. *Suppl. to NNTT Technology Development report 10*, NOAO.
- Michel, R., Echevarria, J., Costero, R., Harris, O., Magallo'n, J., Escalante, K., 2003. Seeing measurements at san pedro martir observatory using the DIMM method. *Revista Mexicana de Astronomia y Astrofisica (RMxAA)*, 39(1), 291-301.
- Miller, M.G. and Kellen, P.F., 1975. Astronomical Differential, Angle of Arrival Measurements, *Top. Meet. On Imaging in Astronomy*, 18-21.
- Miyashita, A., Takato, N., Usuda, T., Uruguchi, F., Ogasawara, R., 2004. Statistics of the weather data, environment data, and the seeing of the Subaru Telescope. *Proc. SPIE*, 5489, 207.
- Munoz-Tunon, C., Vernin, J., Verela, A.M., 1997. Night-time image quality at Roque de los Muchachos Observatory. *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.*, 125(1), 183-193.
- Murtagh, F., Sarazin, M., 1993. Nowcasting Astronomical Seeing: A Study of ESO La Silla and Paranal. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific (PASP)*, 105, 932-939.
- Nickola, M., 2012. Astronomical seeing conditions as determined by turbulence modelling and optical measurement. Master Thesis, University of Pretoria, Pretoria, South Africa.
- Philips, M., 2003. Thirty Meter Telescope Sites Workshop (Tucson: NOAO).
- Qian, T., Qiu, C., Cen, X., Wang, J., Xu, J., Wang, C., 2001. *Chinese Astron. Astrophys*, 25, 371.

- Racine, R., Salmon, D., Cowley, D., Sovka, J., 1991. Mirror, Dome, and Natural Seeing at CFHT. Publications of the Astronomical Society of the Pacific, 103, 1020-1032.
- Racine, R., 2005. Altitude, Elevation, and Seeing. PASP, 117, 401-410.
- Rocca, A., Roddier, F., Vernin, J., 1974. Detection of atmospheric turbulent layers by spatiotemporal and spatioangular correlation measurements of stellar-light scintillation. Journal of Optics Soc. America, 64, 1000-1004.
- Rest, A., 2002. Event rate prediction for the Supermacho Project. American Astronomical Society, 201 st AAS Meeting, 34, 1277.
- Roddier, C., 1976. Measurements of the atmospheric attenuation of the spectral components of astronomical images. J.Opt.Soc.Am.,66,478-482.
- Roddier, F., 1981. The effects of atmospheric turbulence in optical astronomy. Progress in optics, 19, 281-376.
- Roddier, C., Roddier, F., 1987. Seeing measurements with a pupil-plane rotation shearing interferometer. Proc. of the Int. Conf. On "Identification, optimization and protection of Optical telescope sites", 58, 77-81. Arizona.
- Roddier, F.J., Cowie, L.L., Graves, J.E., Songaila, A., McKenne, D.J., Vernin, J., Azouit, M., Caccia, J.L., Limburg, E.J., Roddier, C.A., Salmon, D.A., Beland, S., Cowley, D.J., Hill, S., 1990. Seeing at Mauna Kea: a joint UH-UN-NOAO-CFHT study. Proc. SPIE, 1236, 485.
- Rösch, J., 1963. Le Choix des Sites d'observatoires Astronomiques (site testing), IAU Symposium No. 19.
- Saavidra, P., 2018. SHIMM: A Low-Cost Portable Seeing Monitor for Astronomical Observing Sites. Doctoral Thesis. The University of Durham, United Kingdom.
- Sagar, R., Stalin, C.S., Pandey, A.K., Uddin, W., Mohan, V., Sanwal, B.B., Gupta, S.K., Yadav, R.K.S., Durgapal, A.K., Joshi, S., Kumar, B., Gupta, A.C., Joshi, Y.C., Srivastava, J.B., Chaubey, U.S., Singh, M., Pant, P., Gupta, K.G., 2000. Evaluation of Devasthal site for optical astronomical observations. Astron. Astrophys. Suppl. Ser. 144(2), 349-362.
- Sarazin, M., Roddier, F., 1990. The ESO differential image motion monitor. Astronomy & Astrophysics (A&A), 227(1), 294-300.
- Sarazin, M., 2001. Single star Cn2 profiler. ESO, <http://www.eso.org/gen-fac/pubs/astclim/paranal/asm/mass/> (01.08.2014).
- Shapiro, S.S. and Wilk, M., 1965. An analysis of variance test for normality. Biometrika, 52(3-4), 591-611.
- Spearman, C., 1904. The proof and measurement of association between two things. American Journal of Psychology, 15(1), 72-101.
- Stock, J. and Keller, G., 1960. Astronomical Seeing, in stars and stellar systems, eds. G.P. Kuiper, B.M. Middlehursts, Chicago University Press, 1, 138.
- Tatarskii, V.I., 1961. Wave propagation in turbulent medium. Dover Press, New York.
- Tatarski, V.I., 1971. The effect of Turbulent Atmosphere on Wave Propagation, I.P.S.T., Jerusalem.
- Tokovinin, A., 2002a. From Differential Image Motion to Seeing. Publications of the Astronomical Society of the Pacific (PASP), 114(800), 1156-1166.

- Tokovinin, A., 2002b. Measurement of seeing and atmospheric time constant by differential scintillations. *Applied Optics*, 41(6), 957-964.
- Tokovinin, A., Baumont, S., Vasquez, J., 2003. Statistics of turbulence profile at Cerro Tololo. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society (MNRAS)*, 340, 52-58.
- Tokovinin, A., Kornilov, V., Shatsky, N., Voziakova, O., 2003a. Restoration of turbulence profile from scintillation indices. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society (MNRAS)*, 343(3), 891-899.
- Tokovinin, A., Kornilov, V., 2007. Accurate seeing measurements with MASS and DIMM. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society (MNRAS)*, 381(3), 1179-1189.
- Tokovinin, A., 2008. Multi Aperture Scintillation Sensor. Moscow State University Sternberg Astronomical Institute, <http://www.ctio.noao.edu/~atokovin/profiler/> (07.06.2014).
- Travouillon, T., 2004. Optical turbulence on the Antarctic plateau, Doctoral Thesis, School of Physics, University of New South Wales, Australia.
- Vernin, J. and Munoz – Tunon, C., 1992. Optical seeing at La Palma Observatory. 1–General guidelines and preliminary results at the Nordic Optical Telescope. *Astronomy and Astrophysics (A&A)*, 257(2), 811-816.
- Vernin, J. and Munoz – Tunon, C., 1994. Optical seeing at La Palma Observatory. 2-Intensive site testing campaign at the Nordic Optical Telescope. *Astronomy and Astrophysics (A&A)*, 284(1), 311-318.
- Vernin, J., Munoz-Tunon, C., 1995. Measuring astronomical seeing: The DA/IAC DIMM. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific (PASP)*, 107(709), 265-272.
- Vernin, J., 2000. 1998 Gemini Site Testing Campaign: Cerro Pachon and Cerro Tololo (Gemini RPT-AO-G0094; Washington, DC: AURA, Inc.
- Wilson, R.W., Mahony, N.O., Packham, C., Azzaro, M., 1999. The seeing at the William Herschel Telescope. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society (MNRAS)*, 309, 379-387.
- Wood, P.R., Rodgers, A.W., Russell, K.S., 1995. Seeing Measurements at Freeling-Heights and Siding-Spring Observatory. *Publ. Astron. Soc. Aust.*, 12, 97-105.
- Ziad, A., Martin, F., Conan, R., Borgnino, J., 1999. Generalized seeing monitor (GSM): a dedicated monitor for wavefront optical parameter measurements. *Proc. SPIE*, 3866.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	: Yavuz GÜNEY
Doğum tarihi	:
Doğum Yeri	:
Uyruğu	:
Adres	:
Tel	:
E-mail	:
Eğitim	
Lise	: Mehmet Akif Ersoy Lisesi / Erzurum
Lisans	: Atatürk Üniversitesi Fen Fakültesi
Yüksek lisans	: Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Doktora	: Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Yabancı Dil Bilgisi	
İngilizce	: İyi
Üye Olunan Mesleki Kuruluşlar	
Türk Astronomi Derneği	
Tezden Üretilmiş Yayınlar	
<p>1. J.L. Ortiz, P. Santos – Sanz, B. Sicardy,..., Y. Güney, ..., The size, shape, density and ring of the dwarf planet Haumea from a stellar occultation (Volume: 550, Issue: 7675, Page: 219-+, doi: 10.1038/nature24051, published: 12.10.2017)</p> <p>2. E. Doğan, H. İ. Çelik, E. E. Özbaldan, Y. Güney, C. Yeşilyaprak, IV. Workshop on Robotic Autonomous Observatories, Torremolinos - Spain, 28 September – 02 October 2015, The Dome Automations of ATA50 and MASS-DIMM Telescopes for DAG Project (Revista Mexicana da Astronomia y Astrofísica (RevMexAA) (Serie de Conferencias), Vol. 48, pp. 27-28 (2016)).</p> <p>3. Y.Güney, C. Yesilyaprak, S.K. Yerli, Poster, IPCAP2016, Erzurum – Türkiye, 25 – 27 Şubat 2016, The First Astronomical Seeing Measurements from ATA50 Telescope Site</p> <p>4. Y.Güney, C. Yesilyaprak, S.K. Yerli, Poster, IPCAP2016, Erzurum – Türkiye, 25 – 27 Şubat 2016, The First Astronomical Seeing Measurements from ATA50 Telescope Site</p>	