

TÜBİTAK ULUSAL GÖZLEMEVİ'NİN ROBOTİK GÖRÜŞ GÖZLEMİ DÜZENEGİ TUG-DIMM : SON DURUMU VE İLK GÖZLEMLER

T. AK¹, T. ÖZİŞİK², K. YELKENCİ³, C. B. GİRGIN¹, Ö. BAŞTÜRK³

Özet

TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi'nde (TUG) sürekli olarak gece görüş niteliği gözlemleri yapmak üzere, DIMM (Differential Image Motion Monitor) kısaltmasıyla anılan bir gözlem düzeneği geliştirilmiştir. Bu çalışmada TUG-DIMM'in tasarımı ve çalışma yöntemi anlatılmış, henüz yeni başlayan gözlemlerin sonuçları sunulmuştur. TUG'da kurulacak 1 m çaplı T100 teleskobu için düşünülen Güney Tepe'de çalışan TUG-DIMM'den elde edilen ilk sonuçlar, söz konusu yerde medyan görüş değerlerinin çoğu gece 1" nin altında olduğunu göstermiştir. Gelecekte bu sistemin TUG yerleşkesinde robotik görüş gözlemleri yapmak üzere kalıcı olması planlanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Yerleşke Seçimi: Görüş: DIMM

Abstract

A DIMM (Differential Image Motion Monitor) was constructed at the TÜBİTAK National Observatory (TUG) in order to make night-time seeing observations. In this study, the design and working principles of the TUG-DIMM are described and first results are presented. TUG-DIMM was placed at the top of the South Peak of TUG site where a one-meter telescope will be installed in the near future. First results show that the nightly median seeing is better than 1" during most of observing nights. TUG-DIMM is planned to move to a permanent location as the robotic seeing monitor of the TUG site.

KeyWords: Site Testing: Seeing: DIMM

1. Giriş

Bir gök cisminin gelen ışınım dalga cephesinin Yer atmosferini geçerken uğradığı bozulmaların tümüne birden 'görüş' adını veriyoruz. Bozulmalara yol açan atmosferik olgu, ışık ışınının yolu boyunca karşılaştığı çalkantılı (turbulent) hava akımları ile ilişkili ısısal salınımlar sonucu kırılma indisinin değişmesidir. Bu değişimlerin gözlenen sonuçlarının en önemlileri sintilasyon ve görüntü hareketidir. Sintilasyon, gözlenen cismin ışık şiddetinde sürekli ve hızlı salınımlar meydana gelmesidir, ancak büyük teleskoplar için önemli değildir. Büyük çaplı teleskoplarda astronomik görüşün en etkili, hatta neredeyse tek bileşeni görüntü hareketidir. Görüntü hareketi neticesinde cismin, örneğin bir yıldızın görünen yeri tipik

¹ İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, 34119, Üniversite, İstanbul. (tanselak@istanbul.edu.tr), (canbugragirgin@gmail.com)

² TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi, Akdeniz Üniversitesi Yerleşkesi, 07058, Antalya. (tuncay@tug.tug.tubitak.gov.tr)

³ Ankara Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, 06100, Tandoğan, Ankara. (mumisigi2002@yahoo.com), (ozbasturk@yahoo.com),

olarak saniyede 100 defa değişir. Uzun poz süresi kullanılan bir gözlemler elde edilen yıldız görüntüsü, görüntü hareketinin alıcı üzerinde dolaştırdığı yıldız görüntülerinin bir bileşimidir. Alıcıdan elde edilen yıldız görüntüsü, bir nokta kaynaktan beklenenden uzaktır. Yani görüşün astronomik açıdan etkisi, teleskopların ayırma gücünün sınırlanmasıdır. Öyle ki teleskop çapı ne olursa olsun gözlemevinin üzerindeki atmosferik koşulların izin verdiğinden daha yüksek bir ayırma gücü ile gözlem yapılamaz. Optik teleskopların özel yerlere, deniz seviyesinden yükseklerle, hatta Yer çevresindeki yörüngelere yerleştirilmelerinin asıl sebebi de zaten atmosferin bu olumsuz etkisinden mümkün olduğunca uzaklaşmaktır. Gözlemevi üzerindeki atmosfer tabakası kalınlaştıkça genel olarak görüş etkilerinde de bir artış beklenir. Öyleyse görüşü, atmosferik koşulların gözlem yapılmasına izin verdiği ayırma gücü olarak nicel bakımdan tanımlamak da mümkündür.

Gelişen teknoloji sayesinde, görüş etkilerinin gözlem sırasında veya görüntü işleme yöntemleri ile sonradan giderilmesini/azaltılmasını sağlayan özel teleskoplar ve yöntemler geliştirilmiştir. Halbuki bu gözalcı gelişmelerin uygulandığı gözlemevlerinin de tıpkı diğer gözlemevleri gibi görüş koşulları bakımından iyi yerlere kurulmuş olmaları beklenir. Gözlemevi kurulması için aday olarak belirlenen yerlerde yıllar süren görüş çalışmalarının temelinde de kuşkusuz bu düşünce vardır. Aday yerler için durum böyleyken, kurulu gözlemevlerinde görüş koşullarının uzun sürelerle takibi de beklenir.

Fried parametresi (r_0) tüm görüş etkilerini tanımlar ve küçük bir teleskopla ölçülen görüntü hareketinden hesaplanabilir [1] [2] [3]. Fried parametresi, belli bir andaki görüş değeri ile aynı miktarda kuramsal ayırma gücüne sahip teleskobun çapıdır. Öyleyse, görüntü hareketi ölçümlerinden itibâren görüş değerini belirlemek mümkündür. Gerçekten de on yıllar boyunca alıcı olarak insan gözü, fotoğraf plakları [4] ya da fotoelektrik fotometreler [5] kullanılarak görüntü hareketi ölçümleri yapılmış, ve pek çok önemli gözlemevi yerleşkesi bu ölçümler de gözönüne alınarak belirlenmiştir. Ancak, bir teleskobun odağındaki görüntü hareketinin doğrudan ölçümlerine takip hataları ve rüzgarla sallantılardan kaynaklanan sahte hareketler karışır. Fotoğrafik alıcılar ise ancak uzun dönemli ortalamaları verebilir. Eğer aynı bir takip düzeneği üzerine iki teleskop yerleştirir ve bunların aynı yıldız için oluşturdukları relatif görüntü hareketini yeterince hızlı bir şekilde takip edebilirsek, görüntü hareketi ölçümleri teleskop titreşimlerinden etkilenmez ve kısa zaman ölçekli görüş değişimlerini bile ölçebiliriz. İlk kez Stock ve Keller [6] tarafından ortaya atılan relatif görüntü hareketi ölçümü fikri, gerekli kuramın ve bu tür ölçüme uygun alıcıların henüz gelişmemiş olması sebebiyle yaklaşık 30 yıl boyunca yeterince etkin bir şekilde uygulanamadı. Relatif görüntü hareketi ölçümleri yapabilen ilk gözlem cihazı 1990 yılında Sarazin ve Roddier [7] tarafından geliştirildi ve cihaza Differential Image Motion Monitor (DIMM) adı verildi. İlerleyen yıllarda pek çok gözlemevi birer DIMM sahibi oldu ve bu cihazla yapılan ölçümler gerek gözlemevi yer seçimi çalışmalarının, gerekse mevcut gözlemevlerinde görüş niteliğinin takibi amaçlı çalışmaların başlıca dayanağı oldu [7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22].

TUG'da gündüz görüş koşullarının belirlenmesi amacıyla yürütülmüş olan bir projede geliştirilen S-DIMM'den (Solar-Differential Image Motion Monitor) [23] kazanılan deneyimlerin yardımıyla, gece boyunca gözlemci güdümü gerektirmeksizin çalışacak bir DIMM'in yapılmasına bir süre önce başlanmış olup ilk gözlemler gerçekleştirilmiştir. Bu bildiride son hâli ile TUG-DIMM'in çalışma prensibi, tasarımı ve veri indirgeme yöntemi tanıtılacak, ilk gözlemlerin sonuçları sunulacaktır.

2. DIMM

2.1. Temel Prensip

DIMM esas olarak, bir teleskobun açıklığına yerleştirilmiş Hartmann maskesinin iki deliği arasındaki dalga cephesi eğim farklarını ölçer [2, 7]. DIMM prensibinde yıldızdan

gelen ışık bir Hartmann maskesinin iki deliğinden geçerek teleskoba girer. Ancak deliklerden birinde bulunan bir optik kama bu delikten geçen yıldız ışığını optik eksenenden bir miktar saptırır. Bu işlem odak düzleminde aynı yıldızın iki ayrık ve net görüntüsünü oluşturur. Böylece teleskop sallantıları her görüntüyü aynı şekilde etkilerken, atmosferik çalkantıdan kaynaklanan etkiler görüntülerin farklı evrelerde göreceli hareketlerine sebep olur [20]. İki yıldız görüntüsünün arasındaki mesafenin değişimine diferansiyel görüntü hareketi denir ve bu mesafenin ölçümünden Fried parametresi hesaplanabilir.

Diferansiyel görüntü hareketinin varyansı σ_m^2 , dalga boyu λ , Hartmann maskesinin delik çapı D ve Fried parametresi r_0 arasındaki ilişki aşağıdaki şekilde verilir :

$$r_0 = 2.384 \times 10^6 K^{3/5} \lambda^{6/5} D^{-1/5} (\sigma_m^2)^{-3/5} \quad (1)$$

Burada diferansiyel görüntü hareketinin birimi yay saniyesi, diğer parametrelerin birimi ise tercihe göre bir uzunluk birimidir. Diferansiyel görüntü hareketi maskenin deliklerini birleştiren doğrultuya paralel yönde (boyuna) ve buna dik yönde (dikine) ayrı ayrı ölçülebilir. (1) denkleminde K ile gösterilen Zernike eğimi, boyuna görüntü hareketi için

$$K_L = 0.364 \left(1 - 0.532 S^{-1/3} - 0.024 S^{-7/3} \right) \quad (2)$$

formülü ile verilirken, dikine görüntü hareketi için de

$$K_T = 0.364 \left(1 - 0.798 S^{-1/3} + 0.018 S^{-7/3} \right) \quad (3)$$

formülü ile verilir [2]. Burada $S = d/D$ Hartmann maskesinin deliklerinin merkezleri arasındaki d mesafesinin delik çapı D'ye oranıdır [7]. Hemen belirtmek gerekir ki diferansiyel ve mutlak görüntü hareketi aslında dalga boyundan bağımsızdır. Dolayısı ile kullanılan alıcının dalga boyu duyarlılığı ve ölçümde kullanılan yıldızın spektral tipinin görüntü hareketi ölçümlerinde bir önemi yoktur [2]. Fried parametresi (1) formülünden bir kez hesaplandıktan sonra, görüş değerinin aşağıdaki bilinen formülden hesaplanması mümkündür:

$$\theta_z = 0.98 \frac{\lambda}{r_0} \quad (4)$$

Bu formülün sonucunun radyan olduğu açıktır. 'z' indisi, görüş değerinin zenit uzaklığına bağlı olduğunu göstermektedir. Belli bir yerleşkede farklı zamanlarda veya Dünya'nın farklı yerlerinde yapılan görüş ölçümlerinin karşılaştırılabilmesi için, bu ölçümlere aşağıdaki işlemle zenit düzeltmesi yapılır:

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

Burada z, görüş gözlemi sırasında gözlenen yıldızın zenit uzaklığıdır.

2.2. Sınırlamalar ve ölçüm duyarlılığı

Her ölçüm cihazı gibi DIMM'in de duyarlık sınırları ve bunlara dayalı hataları bulunmaktadır. Öncelikle, küçük teleskoplarla görüş gözlemi yapılmasını sağlayan bir cihaz olma iddiası ile ortaya çıkmasına rağmen, DIMM için kullanılacak teleskobun çapının 20 cm'den küçük olmaması önerilmektedir [7]. Halen çalışan bazı DIMM'lerde teleskop çapı 40 cm'ye yaklaşmaktadır. Aslında teleskop çapı ile ilgili sınırlama, aşağıda bahsedilecek olan $S=d/D$ oranı ile ilgili sınırlamadan kaynaklanmaktadır.

DIMM, Hartmann maskesinin üzerindeki delik çapından (D) daha küçük ve delik merkezleri arasındaki mesafeden (d) daha büyük çalkantı ölçeklerine duyarlı değildir. Görüş

üzerinde etkili olabilecek çalkantı hücrelerinin boyutları birkaç cm'den onlarca metreye kadar olabilmektedir. Boyutu 10-20 metre arasında değişen sonlu bir dış çalkantı ölçeğinin varlığı bugün bilinmektedir [24, 25]. Ancak asıl görüş etkileri çok daha küçük ölçekli hücrelerden kaynaklanır. Sarazin ve Roddier'e [7] göre $S=d/D > 2.5$ olmalıdır. Fakat bunun altındaki oranlarla çalışan DIMM'ler de vardır. Doğrusu, Hartmann maskesinin delik çapının mümkün olduğunca küçük, delikler arasındaki mesafenin mümkün olduğunca büyük olmasına dikkat edilmelidir.

Görüntü hareketinin tipik frekansı 100 Hz civarında olduğundan, görüntü hareketinin 'dondurulması' için poz süresinin 10 ms'nin altında olması gerektiği açıktır. Üstelik, yapılan çalışmalar göstermiştir ki uzun poz süreleri ile yapılan gözlemlerde elde edilen görüş değerleri, gerçek görüş değerinin daha altında sonuçlar vermektedir. Örneğin 20 ms poz süresi ile yapılan gözlemlerde görüş 0.81" bulunurken, poz süresi 0 ms'ye ekstrapole edildiğinde görüş değeri 1.09" çıkmaktadır [18]. Aslında uygun poz süresinin hesaplanması mümkündür; eğer görüşe hâkim atmosferik tabakadaki rüzgar hızı w ile gösterilirse, poz süresi $\ll d/w$ olmalıdır [7]. Örneğin $d = 20$ cm ve $w = 20$ m/s ise, poz süresi 10 ms'nin altında seçilmelidir. Ekstrapolasyon yapılmasının sakıncası, iki farklı poz süresi ile çalışırken, nispeten uzun bir süre için görüş koşullarının aynı olduğunun varsayılmasıdır. Poz süresinden kaynaklanan hataları önlemek için en az ekstrapolasyon yapmak kadar güvenli bir yol daha vardır: maskenin delik çapları uygun şekilde ayarlanarak ve daha duyarlı bir alıcı kullanılarak poz süresi 1-5 ms mertebesinde tutulur. Bu durumda hatalar ihmal edilebilir düzeyde kalır.

Sistemin duyarlılığını etkileyen bir diğer unsur, bir görüş değeri hesaplanması için toplanan görüntü sayısıdır. Sarazin ve Roddier [7] görüntü hareketi varyansındaki ölçümün istatistik hatâsını

$$\frac{\delta\theta}{\theta} \approx \frac{3}{5} \sqrt{\frac{2}{N-1}} \quad (6)$$

ile vermektedir. Burada N , bir görüş değeri hesaplanması için toplanan görüntü sayısıdır. Bu hatâ formülü, Fried parametresini ifade eden formülden hareketle görüş için,

$$\frac{\delta\theta}{\theta} \approx \frac{3}{5} \sqrt{\frac{2}{N-1}} \quad (7)$$

ifadesine dönüştürülebilir [18]. Bu tür çalışmalarda görüntüleme CCD'leri ile genelde $N=50-100$ civarında görüntü toplanır ki bu durumda görüş ölçüm hatâsı yaklaşık %10'dur. Daha kısa sürede daha çok görüntü toplayabilecek bir alıcının kullanılması ile duyarlılığın artırılması mümkündür. $N=200$ civarında görüntü toplanması halinde görüş için ölçüm hatâsı %6 mertebesinde olacaktır. Sonuç olarak, daha duyarlı görüş çalışmaları için, tek bir görüş değerinin hesaplanmasında kullanılan görüntü sayısının artırılması gerekmektedir.

Tabii ki DIMM'le yapılan görüş ölçümlerinin hatâları sadece istatistik hatâlardan ibâret değildir. Yöntemin özü yıldız görüntüleri arasındaki mesâfenin ölçümüne dayandığına göre, kullanılan yazılımın yıldız kesitinin merkezini bulmaktaki başarısı da sonuçlara bir miktar hatâ yüklemelidir. Ancak gerek bilgisayarda ürettiğimiz mükemmel yıldız görüntülerini bozarak yaptığımız denemelerden, gerekse başka araştırmacıların laboratuvarlarda laser ışınları ile ürettikleri suni yıldız görüntülerinden yaptıkları denemelerden görülmüştür ki, yıldız kesitlerinin merkezlerinin bulunmasında kullanılan algoritmalar son derecede başarılıdır. Denemeler, en çok bozulmaya uğratılmış ve netliği bozulmuş yıldız görüntülerinden yapılan görüş hesaplarında bile hata mertebelerinin %2'yi geçmediğini göstermektedir. Dolayısı ile tüm hatâ kaynakları gözönüne alındığında, 20-30

cm'lik bir teleskopla üretilmiş bir DIMM'den bulunan görüş değerindeki toplam hatâ mertebesinin %10-12'yi geçmesi beklenmemektedir.

Strehl oranını hesaplayarak yıldız kesitlerinin bozulma miktarını tâkip etmek mümkündür. I_{\max} bir yıldız görüntüsündeki maksimum piksel şiddeti, I_{tot} ise toplam şiddet olmak üzere, Strehl oranı

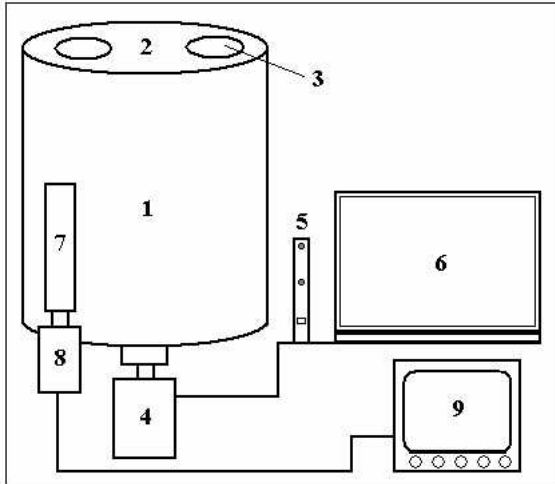
$$St = \frac{I_{\max}}{I_{\text{tot}}} \frac{4}{\pi} \left(\frac{\lambda_{\text{ccd}}}{D\Delta x} \right)^2 \quad (8)$$

ifâdesinden hesaplanabilir [2]. Burada Δx radyan olarak piksel ölçeği, ve λ_{ccd} de kullanılan CCD yongasının maksimum duyarlı olduğu dalgaboyudur. Odak ayarının bozulması veya hava koşullarının net görüntü elde edilmesini engellemesi durumunda Strehl oranı düşmektedir. İdeâl koşullarda, yani görüş değerinin 1" nin altına inmesi hâlinde Strehl oranı da 1'e yaklaşır. Aslında deneysel değerler 0.3-0.7 aralığının dışına ender olarak çıkar [2]. Tokovinin ESO için hazırladığı bir raporda, simülasyonlara dayanarak Strehl oranının 0.5'in altına inmesi halinde yapılan görüş gözlemlerinin değerlendirmeye katılmamasını önermektedir. Zirâ O'na göre bu durumda yıldız kesitlerinin merkezleri başarılı bir şekilde bulunamaz. Halbuki, gerek ürettiğimiz suni yıldız profillerini bozarak, gerekse görüş gözlemlerinden, Strehl oranı 0.3 olduğunda dahi algoritmaların gayet başarılı bir şekilde çalıştıklarını belirledik. Bu sebeple TUG-DIMM için Strehl oranına bir sınır konmamıştır; çünkü zaten amacımız kötü görüş koşullarını da belirlemektir.

Görüş değerlerinin kullanılacağı istatistik çalışmalarda güvenilir sonuçlara ulaşılabilmesi için gözlem sıklığının yüksek tutulması gereklidir. Literatüre bakıldığında kabaca 4-15 dakikada bir görüş değeri elde edildiği görülmektedir [17, 23]. Açık ki gözlem noktaları ne kadar sık olursa o kadar güvenilir istatistik sonuçlar elde edilir.

3. TUG-DIMM

Robotik DIMM'lerde genelde mevsime göre gözlenebilecek en parlak yıldızlardan bir gözlem programı önceden bilgisayar yazılımlarına tanıtılır ve sistem bu yıldızları gözler. Ancak TUG-DIMM için kullanabildiğimiz teleskobun elektronik yapısı ve tâkip düzeneği bu şekilde bir kullanıma uygun değildir. TUG-DIMM ile şimdilik bir gözlemci eşliğinde gözlem



Şekil 1. TUG-DIMM'in bileşenleri. (1) Teleskop, (2) Hartmann Maskesi, (3) Optik Kama, (4) Video CCD kamera, (5) Video yakalama kartı, (6) Bilgisayar, (7) Arayıcı dürbün, (8) Alıcı, (9) Video monitörü.

yapılmaktadır. Robotik kullanıma uygun teleskop ve kubbe sistemi temin edildikten sonra, TUG-DIMM'in yerleşkede sürekli olarak çalışması planlanmaktadır. TUG-DIMM'in sadece kutup yıldızını gözlemesi düşünülmektedir.

3.1. Bileşenler

TUG-DIMM'in prensip şeması ve başlıca donanım elemanları Şekil 1'de verilmiştir. Aşağıda herbiri ayrıntılı şekilde anlatılmıştır.

Teleskop: TUG'da bulunan 235 mm çaplı f/10 odak oranlı Celestron marka teleskop TUG-DIMM için kullanılmıştır. TUG AR-GE laboratuvarında teleskobun uzaktan yönlendirilebilmesi için PC Paralel Portu ile haberleşebilecek bir elektronik düzenek geliştirilmiştir. Teleskobun odak eşeli 88"/mm'dir.

Hartmann Maskesi: Teleskop açıklığının önüne yerleştirilen ve üzerinde aynı çapta karşılıklı iki dairesel delik bulunan bir düzenektir. Teleskop açıklığının ve poz süresi ile ilgili sınırlamaların gözönüne alınmasıyla, delik çapı $D = 69$ mm ve delik merkezleri arasındaki mesafe $d = 165$ mm olarak seçilmiştir. Bu durumda $S = d/D = 2.39$ olmaktadır. Yukarıda maskenin delik çapı ve delikler arasındaki mesafenin getirdiği sınırlamalardan bahsedilmişti. Buna göre, kutup yıldızı gözlenir ve zenit düzeltmesi yapılırsa TUG-DIMM ile kabaca $0.5'' \leq \theta \leq 2''$ aralığındaki görüş değerleri belirlenebilir. Rüzgar hızının nispeten yüksek olduğu gözlemler sırasında bu sınırların biraz dışına çıkılması da mümkündür. TUG-DIMM'in duyarlık aralığını genişletmek için daha büyük çaplı bir teleskopla daha parlak yıldızlar gözlenmelidir.

Optik Kama: Optik kama, deliklerden birinin odak düzleminde oluşturduğu yıldız görüntüsünün, diğer delik tarafından oluşturulan görüntüden farklı yere kaymasını sağlar. TUG-DIMM için bu amaçla yaptırılan optik kamanın sapma açısı $50''$ dir.

Alıcı: DIMM'lerde kullanılan alıcılar CCD alıcılardır. Bilinen görüntüleme CCD'lerinden daha ucuz olan, yüksek kuantum etkinlikleri ve çok hızlı veri aktarım oranları ile aslında DIMM prensibine tümüyle uygun yapılara sahip video CCD'ler bir süredir bazı DIMM'lerde kullanılmaktadır. Video CCD'lerin çoğunda poz süreleri $1/100000$ saniyeye kadar düşürülebilmektedir. TUG-DIMM'de de interline transfer SONY ICX419ALL yongalı (7.40×5.95 mm) ve etkin piksel sayısı 752×582 olan 8 bit dinamik aralıklı siyah beyaz 'Neptune 100 Watec' (CCIR) [26] marka bir video CCD kullanılmıştır. Bu video CCD'nin yongasının kuantum etkinliği 500 nm'de maksimum olup, görüş alanı 9.5×7.1 yay dakikasıdır. Kısa poz süreleri kullanıldığında video CCD'lerin kara akımları sıfır ve okuma gürültüleri çok düşük olduğundan, bunların sonuçlara etkisi ihmal edilebilir düzeydedir.

Yonganın pikselleri kare olmadığından ($8.6 \times 8.3 \mu$), piksel ölçeğinin belirlenmesinde çok dikkâtlı olmak gerekmektedir. TUG-DIMM için kuramsal piksel ölçeği 0.755×0.729 yay saniyesidir. Ancak, video CCD'den çıkan PAL formatındaki analog video sinyali video yakalama kartı vasıtasıyla kare piksellere çevrilerek 768×576 piksel çözünürlüğünde kaydedilir. Bu da CCD yongasının etkin piksel formatına (752×582) çok yakın olduğundan, teorik piksel ölçeği kullanılsa dahi, piksel ölçeğindeki bu farklılıktan kaynaklanabilecek relatif görüş hatâsı %3'den fazla değildir. Gene de aralarındaki açısal uzaklıkları bilinen yıldız çiftlerinin gözlemlerinden video sinyalindeki piksel ölçeğinin hem yatayda hem de dikeyde $0.75''$ olduğu belirlenmiş ve hesaplarda bu ölçek kullanılmıştır. Zâten bir DIMM'in kalibrasyonu da bundan ibârettir.

Arayıcı dürbün: Daha geniş bir görüş alanı olduğu için, teleskobun arayıcı dürbününe de bir video CCD bağlanmış ve bununla alınan görüntü bir monitör yardımıyla gözlem odasına indirilmiştir. Böylece tâkip hatâsı sonucu ana odadaki video CCD'nin görüş alanından çıkan yıldız bu arayıcı ile tekrar bulunabilmektedir.

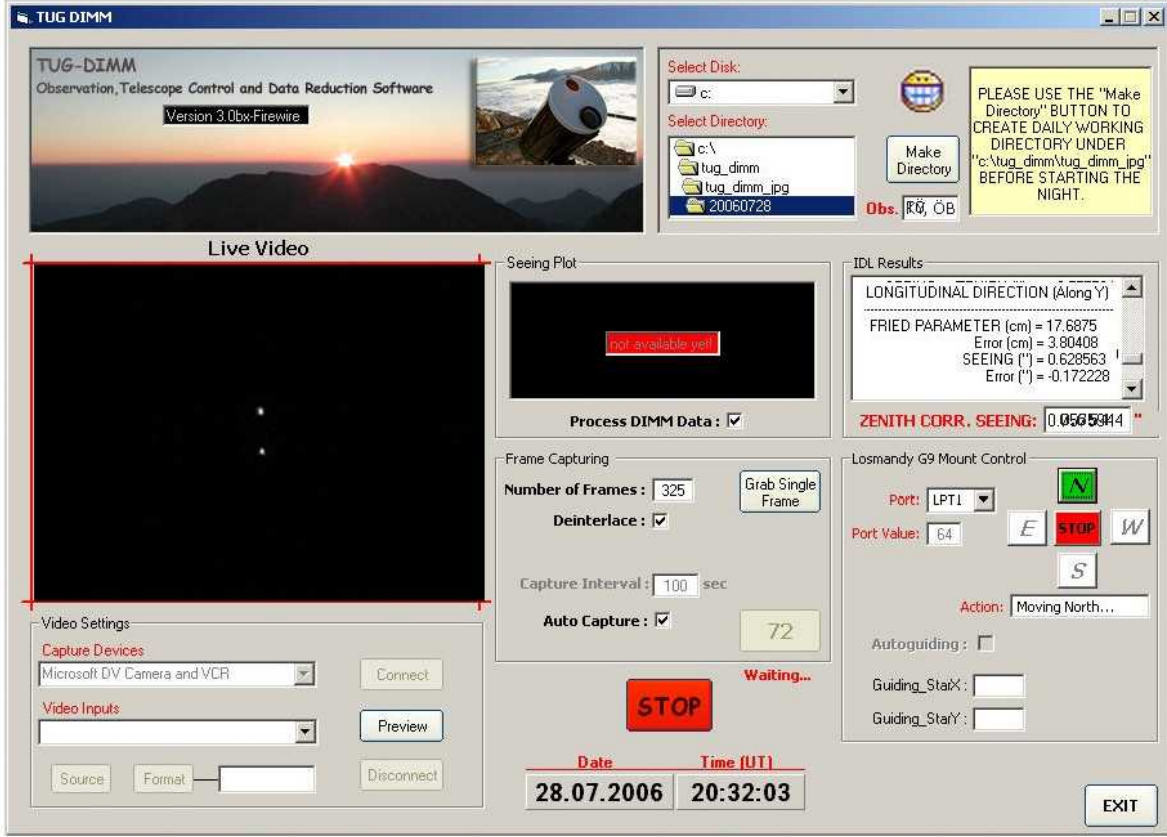
Bilgisayar: Video CCD sinyalinden görüntü yakalanması, gözlemlerin indirgenmesi, sonuçların arşivlenmesi ve teleskop kontrolünde bir dizüstü bilgisayar kullanılmaktadır.

Video yakalama kartı: Video CCD'den gelen video sinyalinin sayısal video şekline dönüştürülerek (Firewire) TUG-DIMM yazılımı tarafından bilgisayarda kaydedilmesini sağlar.

TUG-DIMM Gözlem yazılımı: Visual Basic ve VideoCapX video kütüphanesi kullanılarak hazırlanan bu yazılım, teleskop kontrol, otomatik takip, görüntü yakalama ve veri indirgeme yazılımının çalıştırılmasından sorumludur. Yazılımın arayüzünün bir görüntüsü Şekil 2'de verilmiştir.

Veri İndirgeme Yazılımı: IDL'de hazırlanan bu yazılım TUG-DIMM gözlem yazılımı (Şekil 2) ile etkileşimli çalışarak görüntülerden yıldızların bulunmasını, merkez konumlarının PSF (Point Spread Function) ile belirlenmesini, boyuna ve dikine görüntü hareketlerinin varyanslarının hesaplanmasını ve sonuçta Fried parametresi ile görüş değerinin elde

edilmesini sağlar. Yazılım aynı zamanda Strehl Oranı ile atmosferik sintilasyonun bir ölçüsü olmak üzere görüntülerden kaba bir sintilasyon indeksi de hesaplar.



Şekil 2. TUG DIMM Gözlem yazılımı arayüzünün bir gözlem sırasındaki görünümü. Yazılım Visual Basic ile hazırlanmıştır ve veri indirmeye sırasında IDL ile etkileşimli çalışmaktadır.

3.2. Yerleşim ve TUG-DIMM Kulesi

TUG-DIMM özellikle, TUG'un yapımına başlanan yeni 100 cm çaplı teleskobunun (T100) yerleştirileceği TUG Misafirhanesi'nin karşısındaki Güney Tepe adlı tepeye çıkılırken düzleştirilmiş bir ara noktaya yerleştirilmiştir. GPS ölçümlerinden bu noktanın enlemi $36^{\circ}49'17''$ K, boylamı $38^{\circ}20'08''$ D ve yüksekliği de 2496 m bulunmuştur.

Teleskopların yer seviyesinden yükseğe yerleştirilmelerinin sebebi, yerel görüşün (local seeing) zeminden yükseklikle hızla düşmesidir. DIMM'ler de bir yerleşkedeki teleskoplarla elde edilebilecek en iyi görüş değerlerini temsil edecek ölçümleri yapmak üzere zeminden yükseğe yerleştirilmiş plâformlara kururlar. Bu sebeple gözlemevlerinde kafes yapılı DIMM kuleleri inşa edilir. DIMM, bu kulenin üzerinde ve tamâmen açık havada çalışır. TUG-DIMM için de sözkonusu tepede galvaniz elektrik direği malzemelerinden 5 m yükseklikte bir kule ve kulenin üzerine de bir teleskop platformu inşa edilmiştir. DIMM Kulesi'nin yanına çalışma ortamı olarak kullanılabilir bir kulübe yerleştirilmiştir (Şekil 3). Birçok TUG personelinin özverili çalışmalarıyla altyapısı ve inşası kısa sürede tamamlanan kulenin yapım aşamaları ve TUG-DIMM ile ilgili bazı resimler

<http://www.tug.tubitak.gov.tr/~tuncay/tug-dimm/> adresinden izlenebilir.



Şekil 3. TUG-DIMM kulesinin, gözlem kulübesinin ve TUG-DIMM'in çeşitli görüntüleri.

3.3. Sintilasyon ölçümü

Gökcisminin ışık şiddetinde atmosferik etkilerle meydana gelen değişimleri tanımlayan sintilasyonun büyüklüğü, aşağıdaki şekilde tanımlanan sintilasyon indeksi ile verilmektedir [27] :

$$SI = \frac{\sigma_F^2}{\langle F \rangle^2} \quad (9)$$

Burada σ_F^2 yıldız kesitindeki akının varyansı, $\langle F \rangle$ ise ortalama akıyı temsil etmektedir. TUG-DIMM'deki gibi 8 bitlik bir video CCD kullanılarak sintilasyon indeksini ancak kabaca temsil eden bir büyüklük elde edilebilir. Gene de TUG-DIMM ile görüş ölçümü için toplanan görüntülerden böyle bir sintilasyon indeksi hesaplanmaktadır. Bunun için, optik kama kullanılmadan elde edilen yıldız görüntüsünün merkezinden itibaren belli bir yarıçap içindeki piksellerin yoğunluk değerleri okunarak (9) numaralı formül yardımı ile bir sintilasyon indeksi ölçülmektedir..

3.4. Meteorolojik Ölçümler

TUG yerleşkesindeki RTT150 teleskop binasının üzerinde sabit bir meteoroloji sistemi olmasına rağmen Güney Tepe'nin oldukça farklı bir konumda bulunması nedeniyle burada da meteorolojik gözlemlerin yapılmasına karar verilmiştir. Bu amaçla TUG-DIMM kulesine kurulan Davis Instruments Vantage Pro2 modeli bir meteoroloji sistemi bu tepede sürekli ölçümler yapmakta, web üzerinden yayınlamakta (<http://www.tug.tubitak.gov.tr/~TUG-DIMM/img/>) ve veriler arşivlenmektedir. Meteoroloji sisteminin kuledeki ünitesi Güneş enerjisi ile beslenmekte ve veriler radyo sinyalleri ile TUG Merkez Binasındaki sistem odasına aktarılmaktadır.

4. İlk sonuçlar ve tartışma

4.1. Gözlemler

Görüş gözlemleri için seçilen yıldız kutup yıldızıdır. Bu cismin seçilmesinin sebebi kullanılan teleskobun takip sisteminin yeterli olmaması ve kutup yıldızının zenit uzaklığının sabit olarak alınabilmesidir. Bu da gözlenen görüş değerlerine uygulanan zenit düzeltmelerinin kolayca yapılabilmesini sağlar. Gözlemler sırasında 2.5 dakikada bir alınan

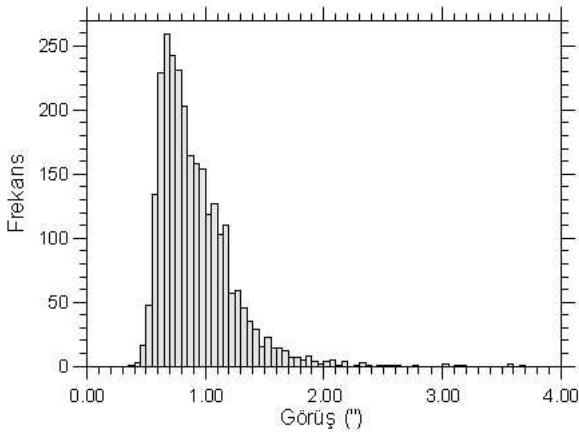
325 görüntülük her bir set üzerinden bir adet görüş değeri hesaplanmaktadır. Kuledeki platformun zeminden yüksekliği 5 m, fakat teleskobun açıklığı platformdan 1 m yukarıda bulunmaktadır. Dolayısıyla bu konudaki genel eğilime dayanarak görüş gözlemlerinin zeminden 6 m yükseklikte yapıldığı söylenebilir.

Gözlemler, gözlemcinin gece başlangıcında kuleye çıkarak gerekli kablo bağlantısı ve teleskop yönlendirilmesini yaptıktan sonra aşağıdaki gözlem kulübesinden yapılmaktadır. Gözlem sonunda gözlemci tekrar kuleye çıkarak teleskobu park konumuna almakta, yıldırım ve statik elektrik tehlikelerine karşı teleskoba ve CCD alıcılara giden kablo bağlantılarını tekrar sökerek kuledeki dağıtım panosu içine toplamaktadır.

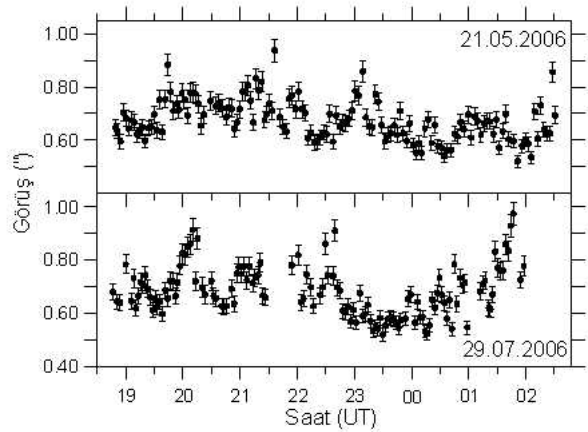
Kulenin yapılması, otomasyon ve yazılımın tamamlanmasının uzun sürmesi ve gözlemci sayısının azlığı sebebiyle TUG-DIMM gözlemleri ancak Mayıs 2006 dan itibaren sıklaşmıştır. Gözlem yapılan tarihler, gecelik gözlem süreleri ve gözlem noktası sayıları Tablo 1'de verilmiştir. Bu kısa süreçte dahi 31 gece boyunca yaklaşık 160 saat gözlem yapılmış ve toplam 3026 adet görüş değeri elde edilmiştir.

4.2. Sonuçlar

İlk gözlemlerde elde edilen gecelik medyan değerler Tablo 1'de verilmiştir. Hemen belirtmek gerekir ki bu çalışmada verilen tüm görüş değerlerine zenit düzeltmesi uygulanmıştır. Tüm gözlemler için medyan görüş değeri 0.86" olup, 1. ve 3. kartiller sırasıyla 0.70" ve 1.08" dir. Görüş ölçümlerinin Şekil 4'te verilen frekans dağılımından elde edilen sonuçlar, gözlemlerin %67'sinin 1" nin altında olduğunu göstermiştir. İlginçtir ki şimdilik



Şekil 4. Tüm görüş gözlemlerinin frekans dağılımı.

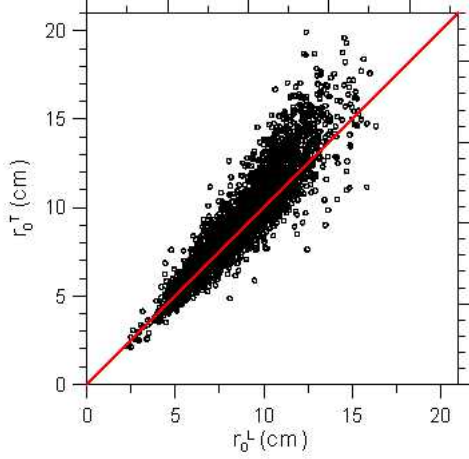


Şekil 5. "En iyi" gecelerden ikisinde görüş değerlerinin zamanla değişimi.

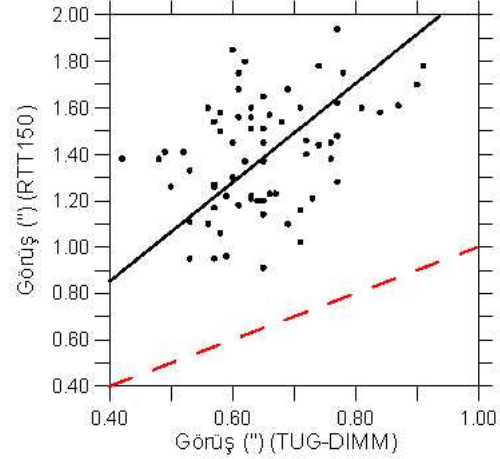
elimizde bulunan gözlemlerin çoğunluğu, TUG'da görüş koşullarının genelde nispeten kötü gittiği deneyimlerle tespit edilmiş Mayıs-Haziran-Temmuz döneminde yapılmıştır. Gerçekten de bu dönem içinde öyle gözlem geceleri olmuştur ki, görüş 1" nin üzerine neredeyse hiç çıkmamıştır (Bkz. Şekil 5).

Kuramsal bakımdan boyuna ve dikine görüntü hareketi varyanslarının birbirine eşit olması beklenir. Ancak uygulamada, özellikle rüzgarlı havalarda bunların birbirinden farklılaştığı görülmüştür [2, 7, 18]. Bunun yanısıra, dikine görüntü hareketi ile ilgili ölçümlerde son derece küçük piksel farklılıkları üzerinden hesaplar yapıldığı için, bunlardaki relatif hata mertebeleri boyuna görüntü hareketi ölçümlerinden genelde daha büyüktür. Ancak her iki yöndeki görüntü hareketinin dikkate alınması gerektiğinden, görüş hesabında boyuna ve dikine görüntü hareketi ölçümlerinin ortalamaları kullanılır. Gerçekten TUG-DIMM gözlemlerinde de görüntü hareketinin azaldığı iyi görüş koşullarında (Fried parametresinin yükseldiği haller) bu iki yöndeki Fried parametreleri farklılaşmaktadır. Şekil 6

sözkonusu durumu göstermektedir. Her iki yöndeki görüntü hareketinden bulunan görüş değerlerinin ortalaması alındığından, bu durumun sonuçlar üzerindeki olumsuz etkisi beklenen hata mertebeleri içindedir.



Şekil 6. Boyuna (r_0^L) ve dikine (r_0^T) Fried parametrelerinin karşılaştırılması. Çapraz çizgi eşit değerleri temsil eder.



Şekil 7. TUG-DIMM ve RTT150 ile eşzamanlı yapılan görüş ölçümlerinin karşılaştırılması. Kesikli çizgi eşit değerleri, düz çizgi ise $Y=aX$ fit denklemini temsil eder.

Görüş gözlemleri gözlemevi yerleşkelerinin seçiminde ve kurulu gözlemevlerinde görüş koşullarının takip edilmesinde olduğu kadar, bir yerleşkede bulunan büyük teleskoplarda elde edilebilecek görüş değerlerinin belli bir yaklaşıklıkla tahmin edilmesinde de kullanılır. Burada bir kesinlik olmamasının sebebi görüşün sadece genel atmosferik etkilere değil, hatta daha çok yerel ve kubbe içi koşullara bağlılığıdır. TUG-DIMM ölçümleri yerleşkedeki genel koşulları anlamak için tek başına yeterlidir. TUG yerleşkesinde mevcut 150 cm çaplı RTT150 teleskobunun kubbe içi ve yerel koşullarının görüş üzerindeki etkisini belirlemek için ise TUG-DIMM ve RTT150 ile 2 gece boyunca eşzamanlı gözlemler yapılmıştır. Bu gözlemlerde ölçülen görüş değerleri Şekil 7'de karşılaştırılmıştır. Şekil 7'deki verilere EKK yöntemi ile uygulanan $Y=aX$ formundaki uyum denkleminin katsayısı $a = 2.13 \pm 0.07$ bulunmuştur.

RTT150 ve TUG-DIMM görüş ölçümlerinin karşılaştırılması, RTT150'nin bulunduğu tepede herhangi bir zamandaki görüş koşullarının, TUG-DIMM'in bulunduğu Güney Tepe'dekinden ~2 kat daha kötü olduğu anlamına mı gelmektedir? Yerleşkedeki iki ayrı konum arasında görüş farklılığı olması beklenebilir (Şekil 8). Ancak RTT150 ve TUG-DIMM ile yapılan görüş ölçümleri arasındaki farkın büyük kısmının teleskopların buldukları ortamlardan kaynaklanması çok daha muhtemeldir. Çünkü bir teleskoptaki yerel görüşün en önemli kısmının teleskobun, hatta teleskop aynasının kendisinden kaynaklandığı ESO'da yapılan çalışmalardan anlaşılmıştır [28]. Gerçekten, yapılan gözlemler sırasında ve özellikle gecenin ilk saatlerinde ayna sıcaklığı ve kubbe içi sıcaklık ile dış ortam sıcaklığı arasındaki sıcaklık farklarının 4-5 °C'ın üzerinde olduğu gözlenmiştir. İlerleyen saatlerde sıcaklık farklarının azalması ile görüş koşullarının iyileşmekte olduğu da belirlenmiştir. Buna rağmen, RTT150'deki görüş değerleri her zaman TUG-DIMM'deki görüş değerlerinin üzerinde çıkmıştır. Bunun sebebinin de gene kubbe içi ısı kaynaklarından, binanın içi ile kubbeyi bağlayan kablo kanallarından, kubbe ortamının iyi havalandırılmamasından ve binanın kendisinden kaynaklanan yerel türbülans olduğu söylenebilir. Bu tür etkilerin TUG-DIMM

için var olmadıkları rahatlıkla söylenebilir; çünkü TUG-DIMM tümüyle açık ortamda ve zeminden 6 m yukarıdaki görüş değerlerini ölçmektedir.

Tablo 1. TUG-DIMM'de yapılan ilk gözlemlerin süreleri (Δt), gözlem sayıları (N) ve medyan görüş değerleri (θ). q_1 ve q_3 sırasıyla 1. ve 3. kartilleri göstermektedir. "*" işaretli gözlemler kule kurulmadan önce, zeminden 3 m yükseklikteki başka bir platformda yapılmıştır.

Tarih	Δt (saat)	N	q_1 (")	θ (")	q_3 (")
30.06.2005*	6.5	65	0.60	0.66	0.76
01.07.2005*	6.5	71	0.69	0.80	0.93
02.07.2005*	6.5	77	0.85	0.94	1.09
09.07.2005*	6.0	135	0.91	1.10	1.29
10.07.2005*	5.5	144	0.73	0.80	0.89
11.07.2005*	0.4	11	0.80	0.84	0.94
13.09.2005	6.6	72	0.62	0.67	0.77
14.09.2005	5.0	60	0.71	0.84	1.04
06.12.2005	4.0	73	0.92	1.02	1.18
20.05.2006	7.5	76	0.59	0.63	0.69
21.05.2006	7.2	133	0.62	0.67	0.73
22.05.2006	6.2	127	0.65	0.77	0.95
06.06.2006	6.6	141	0.65	0.70	0.75
16.06.2006	7.4	163	1.03	1.29	1.60
17.06.2006	6.5	138	0.98	1.16	1.42
18.06.2006	7.0	140	1.00	1.08	1.19
06.07.2006	4.2	74	0.91	1.02	1.18
07.07.2006	4.6	88	0.83	0.94	1.07
08.07.2006	6.9	142	0.65	0.68	0.76
09.07.2006	5.4	107	0.70	0.73	0.80
11.07.2006	1.4	30	0.80	0.87	0.99
12.07.2006	3.5	75	0.89	1.00	1.13
14.07.2006	3.5	73	0.81	0.90	1.06
16.07.2006	2.3	21	0.65	0.72	0.88
17.07.2006	4.4	83	1.06	1.13	1.20
18.07.2006	4.0	83	0.90	0.99	1.15
28.07.2006	6.3	124	0.58	0.70	0.82
29.07.2006	7.7	143	0.62	0.67	0.72
30.07.2006	5.3	104	0.56	0.65	0.82
12.08.2006	8.5	142	0.94	1.17	1.52
13.08.2006	6.7	111	0.85	1.14	1.58

Son olarak, Şekil 4'e dikkat çekerek bir noktayı daha belirtmeyi gerekli görüyoruz. Şekil 4'deki frekans dağılımının düşük görüş değerlerine karşılık gelen kısmında hemen hemen dik bir kesilme vardır. Bu durum Güney Tepe'deki görüş koşullarının doğasından kaynaklanabileceği gibi, Bölüm 3.1'de Hartmann maskesi ile ilgili olarak belirtilen ölçüm sınırlarından kaynaklanması da çok muhtemeldir. Yani Güney Tepe'deki görüş koşulları gözlemler sırasında $\sim 0.5''$ nin altına inmiş olsa dahi, TUG-DIMM'in yapısı gereği bu görüş değerinin belirlenebilmesi mümkün olmamıştır.



Şekil 8. TUG-DIMM ve RTT150'nin TUG yerleşkesindeki konumları.

Bu aşamada elimizde yeterli veri olmaması sebebiyle TUG'daki görüş koşullarının başka gözlemevi yerleşkelerindeki koşullarla karşılaştırılmasını yapmak yanıltıcı sonuçlara ulaşılmasına yol açabilir. Ancak gene de, TUG'daki görüş koşullarının genelde iyi olmadığı bilinen bir mevsimde yapılan ölçümlerin %67'sinin 1" nin altında çıkmasına dayanarak, TUG yerleşkesinin veya en azından Güney Tepe'nin orta-büyük çaplı teleskoplara gayet uygun gözlem koşulları sağlayacağı söylenebilir.

5. Son söz

TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi'nde sürekli görüş gözlemleri yapmak üzere robotik bir DIMM yapılması amacıyla başlayan çalışmalarda, mevcut imkanlar ile gözlemcinin ara sıra da olsa müdahalesini gerektiren bir gözlem sistemi üretilmiştir. TUG-DIMM'in gözlemci müdahalesi gerektirmesinin sebebi, kullanılan teleskobun otomatik yönlenmeye ve takibe uygun yapıda olmamasıdır. İstenen özelliklerde bir teleskobun temin edilmesi durumunda, sistem gözlemci güdümü gerektirmeksizin çalışabilecektir. Mevcut bazı birimlerinin daha yüksek verimli olanlarla değiştirilmesi ve daha büyük çaplı bir teleskop kullanılması halinde TUG-DIMM'in çok daha duyarlı ve hızlı bir gözlem sistemi olması mümkündür. Böylece hava koşullarının uygun olduğu hemen her gece sürekli görüş gözlemleri yapılabilir. Şu andaki yerine bir teleskop inşa edilmesi halinde TUG-DIMM başka bir yere taşınarak çalışmaya devam edebilir.

TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi'nin Güney Tepe olarak adlandırılan ve 1 m'lik teleskop kurulması tasarlanan noktasında TUG-DIMM ile yapılan ik gözlemler, buradaki ve genelde TUG yerleşkesindeki görüş koşullarının halen bulunanlardan daha büyük çaplı teleskoplar inşa edilmesine uygun olduğunu göstermektedir. Ancak eldeki veriler henüz tüm bir seneye yönelik yorum yapmak için yeterli olmadığından, nispeten daha güvenilir sonuçlar elde edilebilmesi için en az bir yıl daha meteorolojik verilerle beraber gözlem yapılması gerekmektedir.

Teşekkür

Sadece iki kişi ile başlayan ve zahmetli bir iş olan TUG-DIMM gözlemlerinin bu kadar az sayıda gözlemci ile yürütülebilmesi mümkün değildi. Bu sorunun giderilmesinde Korhan Yelkenci, Can Buğra Girgin, ve Özgür Baştürk son derece önemli katkılarda

bulunmuşlardır ve bu katkıları devam etmektedir. Elektronik AR-GE'den Uzm. Murat Koçak, Uzm. Kadir Uluç ve Uzm. Murat Parmaksızoğlu, Bilgi İşlem Sorumlusu İsmail Başlar ile Teknisyenler Davut Yıldız, Hakkı Yıldız, Remzi Sönmez ve diğer TUG çalışanlarına TUG-DIMM'in yapımı aşamasındaki katkılarından dolayı teşekkür ederiz. Bu çalışma İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yürütücü Sekreterliği tarafından desteklenmiştir; Proje No: BYP-738/07072005.

Kaynaklar

- [1] Fried, D.L., (1965), Statistics of a geometric representation of wavefront distortion, *J.Opt.Astr. Soc.*, 55, s.1427
- [2] Tokovinin, A., (2002), From differential image motion to seeing, *PASP*, 114, s.1156
- [3] Martin, H.M., (1987), Image motion as a measure of seeing quality, *PASP*, 99, s.1360
- [4] Harlan, E.A.; Walker, M.F., (1965), *PASP*, 77, s.246
- [5] Irwin, J.B., (1966), *AJ*, 71, s.28
- [6] Stock, J.; Keller, G., (1960), Astronomical Seeing, in Stars and Stellar Systems, Vol.1, Telescopes, ed. G.P. Kuiper ve B.M. Middelhurst, Chicago, Univ. Chicago Press, s.138
- [7] Sarazin, M.; Roddier, F., (1990), ESO differential image motion monitor, *A&A*, 227, s.294
- [8] Wood, P.R.; Rodgers, A.W.; Russell, K.S., (1995), Seeing measurements, at Freeling Heights and Sidin Spring Observatory, *PASA*, 12, s.97
- [9] Bida, T.A.; Dunham, E.W.; Bright, L.P.; Corson, C., (2004), SPIE Proceedings 54, s.89
- [10] Conan, R.; Avila, R.; Sanchez, L.J.; Ziad, A.; Martin, F.; Borgnino, J.; ve ark., (2002), Wavefront outer scale and seeing measurements at San Pedro Martir Observatory, *A&A*, 396, s.723
- [11] Muñoz-Tuñón, C.; Varela, A.M.; Mahoney, T., (1998), Homogeneity of image quality at the Roque de los Muchachos Observatory, *New Astr. Rev.*, 42, s.409
- [12] Michel, R.; Echevarria, J.; Costero, R.; Harris, O., (2003), The seeing at San Pedro Mártir Observatory as measured using the DIMM method, *Rev.Mex. AA. (Serie de Conferencias)*, 19, s.37
- [13] Mancini, D.; Auricchio, A.; Ortolani, S.; Porceddu, I.; Zitelli, V., (1993), The TNG differential image motion monitor (DIMM), <http://dns4.pd.astro.it/planets/tngproject/publications/news/12/12dim.html>
- [14] Beckers, J.M., (2001), A seeing monitor for solar and extended objects observations, *Experimental Astronomy*, 12, s.1
- [15] Erasmus, D.A., (2000), Meteorological conditions and astronomical observing quality ('seeing') at candidate sites for the Southern African Large Telescope, *South African Journal of Science*, 96, s.1
- [16] Carrasco, E.; Carraminana, A.; Aviles, J.L.; Yam, O., (2003), Optical seeing at Sierra Negra, *PASP*, 115, s.879
- [17] Ehgamberdiev, S.A.; Baijumanov, A.K.; Ilyasov, S.P.; Sarazin, M.; Tillayev, Y.A.; Tokovinin, A.A.; Ziad, A., (2000), The astroclimate of Maidanak Observatory in Uzbekistan, *A&A Suppl. Ser.*, 145, s.293
- [18] Giovanelli, R.; Darling, J.; Sarazin, M.; Yu, J.; Harvey, P.; Hemderson, C.; ve ark., (2001), The optical/infrared astronomical quality of high Atacama sites. I. Preliminary results of optical seeing, *PASP*, 113, s.789
- [19] Boumis, P.; Steiakaki, A.; Mavromatakis, F.; Patrakis, G.; Papamastorakis, J., (2001), Seeing measurements at Skinakas Observatory using the DIMM method, astro-ph/0111022
- [20] Bally, J.; Theil, D.; Billawala, Y.; Potter, D.; Loewenstein, R.F.; Mrozek, F.; Lloyd, J.P.; (1996), A Hartmann differential image motion monitor (H-DIMM) for atmospheric turbulence characterisation, *PASA*, 13, s.22
- [21] Vernin, J.; Munoz-Tunon, C., (1995), Measuring astronomical seeing: the DA/DIMM, *PASP*, 107, s.265
- [22] Rest, A.; Stubbs, C., (2002), <http://www.astro.washington.edu/rest/dimm/dimmtext.htm>
- [23] Özışık, T.; Ak, T., (2004), First day-time seeing observations at the TÜBİTAK National Observatory in Turkey, *A&A*, 422, s.1129 (<http://www.tug.tubitak.gov.tr/gozlemler/SDIMM/index.html>)
- [24] Martin, F.; Conan, R.; Tokovinin, A.; ve ark., (1999), *A&A Suppl. Ser.*, 144, s.39
- [25] Linfield, R.P.; Colavita, M.M.; Lane, B.F., (2001), *ApJ.*, 554, s.505
- [26] http://www.watec.net/english/bw/wat_100n.html
- [27] Tokovinin, A.; Kornilov, V.; Shatsky, N.; Voziakova, O., (2003), Restoration of turbulence profile from scintillation indices, *MNRAS*, 343, s.891
- [28] "The effect of local atmospheric environment on astronomical observations", Lorenzo Zago, PhD Thesis (in HTML), Feb. 1995. (http://www.eso.org/genac/pubs/astclim/papers/lz_thesis/h_thesis.html)

