

# Polarimetrik Gözlemler için RTT150 - TFOSC Uyumlu Polarimetre Tasarımı

Gizem Kahya<sup>1,★</sup>, Selçuk Helhel<sup>1</sup>, İrek Hamitoğlu<sup>2</sup>, Cevdet Bayar<sup>2</sup>, Oğuzhan Okuyan<sup>2</sup>, Süleyman Kaynar<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Akdeniz Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği, Antalya

<sup>2</sup> TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi, Antalya

## Özet

113F263 Nolu TÜBİTAK desteği ile yürütülen bu çalışma ile TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi (TUG)'da bulunan 1.5 m çapındaki (Rus-Türk Teleskobu) RTT150 için ışığı çift kırma özelliği ile bilinen WeDoWo (Wedge Double Wollaston) tipi prizma RTT150-TFOSC sistemine uygun olarak tasarlanmış ve sisteme entegre edilmiştir. Böylece, fotometri ve spektroskopi özelliklerine sahip olan RTT150 teleskopunun gözlem olanağı artırılmıştır. TFOSC-WP polarimetresi olarak adlandırılan polarimetre ile eş zamanlı olarak 0°, 45°, 90°, 135°'de görüntüler alınabilmektedir. Tasarımın polarimetrik özellikleri, güçlü polarize ve polarize olmayan standart yıldızlardan toplanan gözlemsel veriler ile incelenmiştir. Cihazsal polarizasyondan kaynaklanan polarizasyon derecesinin sistematik hatası ekvatorial koordinat sisteminde 1 x 5 yaydakı için 0.2% ve konum açısının hatası 1.9° olarak hesaplanmıştır. Sistemin parlaklık limiti ise 17 Kadir'dir. Bu sınırlamalar ve yetenekler RTT150 teleskobunun şu anki ve gelecekteki GAIA ve SRG projelerine bağlı astrofizik çalışmalarına katkı sağlaması açısından yeterlidir ve önem arz etmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** instrumentation: polarimeters, Gözlemevleri, Teleskoplar, Aletler, Yazılım

## 1 Giriş

Bu çalışma ile ışığın polarizasyon özelliğinden faydalanılarak Dünya'ya Yaklaşan Asteroitlerin (DYA) fiziksel parametrelerinin incelenmesi (albedo, taksonomi, çap, porozite vs.) hedeflenmiştir. RTT150 - TFOSC sistemine entegre edilebilir bir Wollaston prizma düzeneği tasarlanarak üretilmiştir. Entegrasyon işlemini takiben üç ayrı dönemde test gözlemleri yapılmıştır. Sunulan polarizörün yetenekleri güçlü polarize ve polarize olmayan standart yıldızlardan toplanarak elde edilmiştir (Helhel ve ark. (2015)).

## 2 TFOSC-WP (WeDoWo Polarimetresi) Optik Tasarım

RTT150'nin ana odak düzlemi aletlerinden biri olan TFOSC, Cassegrain odağında bulunur. TFOSC (TÜBİTAK National Observatory(TUG) Faint Object Spectrograph and Camera), spektroskopi ile fotometri arasında karşılıklı olarak çok hızlı geçiş yapabilme yeteneğine sahip olmasından dolayı hızlı değişim isteyen kaynakların araştırılmasında kullanılabilir. Bu nedenle, astrofizik kaynakların yer tabanlı gözlemleri ile günümüzdeki ve/veya gelecekteki GAIA ve Spektrum-X-Gamma benzeri astrofizik uzay programları için esnek ve güçlü bir üye olma imkanına sahiptir. TFOSC-WP için Wedge ve Wollaston prizmalarının boyut ve açı değerleri Oliva (1997) makalesi referans alınarak, ZEMAX optik tasarım programında bu değerler isterleri karşılayacak şekilde optimize edildi. Polarize olmuş görüntüler TFOSC odak düzleminde 60''(yay-sın) genişliğinde bir yarıktan geçirilerek birbiriyle çakışmaması sağlandı (Helhel ve ark. (2014)). Wollaston prizmasının optik kısımları Kalsit CaCO<sub>3</sub> malzemesi kullanılarak ELAN Ltd.'de üretildi. Stokes vektörünün ilk üç elemanı  $\vec{S}(I, Q, U)$  kaydedilen akı değerleri aracılığıyla Denklem 1'den elde edildi. Cihazın

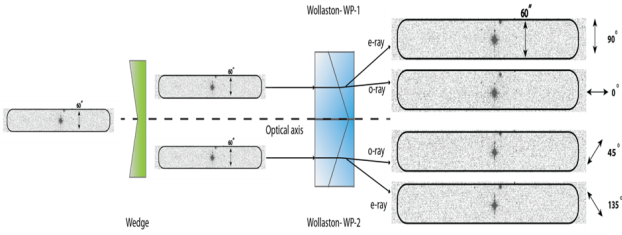
referans düzleminde lineer polarizasyon derecesi (P) ve polarizasyonun konum açısı ( $\Theta$ ) Stokes parametrelerinden Denklem 2 ve 3 aracılığıyla hesaplandı. Polarizasyon derecesinin ve polarizasyonun konum açısının hata değerleri Denklem 4 ve 5 aracılığıyla hesaplandı (Shakhovskoy ve Efimov (1972)). WeDoWo üzerine gelen ışığı lineer polarizeli dört parçaya böler ve CCD üzerinde ikisi optik eksenin üzerinde (0°, 90°) ve diğer ikisi optik eksenin altında (45°, 135°) olmak üzere dört görüntü oluşur. Bu görüntülerin polarizasyonları 0°, 45°, 90°, 135°'dir. Şekil 1'de görüldüğü gibi, kolimatörden gelen paralel gelen ışınlar Wedge tarafından ikiye ayrılır ve (Wollaston Prizması) WP -1 ve WP - 2 prizmalarına ulaşır. Wollaston prizmaları, gelen ışığı, 0°, 45°, 90°, 135° olarak dört görüntüye ayırır. Burada görüntüleri birbirinden WP-1,(optik eksenin üstünde olduğu için pozitif) 2 mm ve 6 mm olarak; WP-2 ise görüntüleri birbirinden (optik eksenin altında olduğu için negatif) -2 mm ve -6 mm olarak ayırır. Wollaston prizmalarının optik eksenleri arasındaki fark 45 derecedir ve birbirlerine simetriklerdir. Prizma, üzerine gelen polarize olmayan ışını, birbirlerine dik olacak şekilde lineer polarize olmuş ışına ayırır. Bu yüzden, teleskopun odak düzleminde oluşan her bir görüntü, CCD üzerinde birbirine dik iki görüntü oluşturur.

$$\vec{S}(I, Q, U) = \begin{bmatrix} I_0 + I_{90} & \text{yada} & I_{45} + I_{135} \\ I_0 - I_{90} \\ I_{45} - I_{135} \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$P = \frac{\sqrt{Q^2 + U^2}}{I} \quad (2)$$

$$\theta = 0.5 \arctan\left(\frac{U}{Q}\right) \quad (3)$$

★ gizem.kahya@tubitak.gov.tr



Şekil 1. WeDoWo optik şeması (Polarize olmayan standart yıldız BD+32d3739, V- bandı, 7 sn poz, 23 Ağustos 2014.)

$$\sigma_P = \frac{|Q\delta Q + U\delta U|}{P} \quad (4)$$

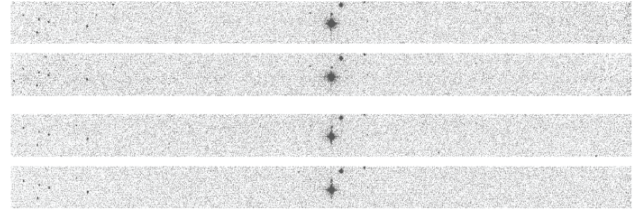
$$\sigma_\theta = \frac{28.65\sigma_P}{P} \quad (5)$$

### 3 RTT150'de Polarimetrik ve Fotometrik Gözlemler

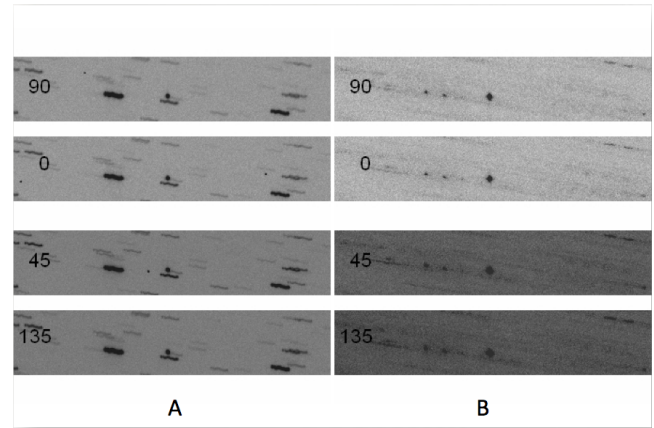
Tasarlanan TFOSC-WP'nin kaibrasyonunu yapmak ve polarize ve polarize olmayan standart yıldızların karakteristiklerini belirlemek amacıyla üç gözlem periyodunda gözlemler gerçekleştirildi. Düz-alan (flat-fielding) görüntüleri, polarizör kullanılarak ve ilgili optik bantlarda (*BVRI*) alındı. Gözlemler, ay ışığının güçlü polarizasyon özelliğinden kurtulmak için güneşten 90 derece ayrı olarak iki konumunda gerçekleştirildi. Bu gözlemlerde 60 yay-sn'lik bir sınırlayıcı slit, dört iletim kanalında oluşan görüntülerin üst üste binmesini önlemek için kullanıldı. Astronomik tan durumunda, teleskop, Güneş'in 45 derece zenith açısındaki koordinatlarına yönlendi ve bu adımlar, zıt azimuth'da aynı zenith uzaklığına yönlendirilerek yapıldı. Sabah tanı için, Güneş'in doğduğu yerdeki azimut değeri tercih edildi. Astronomik tan'da alınan flat görüntüleri, teleskop küçük adımlarla kaydırılarak alındı. Alınan bu görüntülere median (ortanca) filtre uygulanarak olası yıldız kaynaklarının temizlenmesi sağlandı. Ortanca alma (Median combining) işleminden önce polarize akı değerleri normalize edildi ve bu adımı takiben sıradan-ışın (ordinary-ray) ve sıradışı-ışınların (extraordinary-ray) median değerlerinin toplamı olarak gelen akılar belirlendi. Teleskobun iki farklı konumunda birleştirilen/toplanan görüntüler tekrar toplanarak polarize olmayan düz alan görüntüleri elde edildi. Tüm görüntülerde bias çıkarılması ve flat düzeltmesi işlemleri yapıldı. Şekil 2, dört adet lineer polarize ışının ( $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ) ve ( $45^\circ$ ,  $135^\circ$ )'lerde TFOSC - WP ile alınmış örnek görüntüsüdür. Görüntüler birbirinden 60 yay-sn ile ayrılmıştır. Farklı polarizasyon kanalındaki her bir yıldız görüntüsü ortalandı ve akılar 5 yay-sn açıklıklardan ölçüldü. Şekil 3a'da DYA 276049 için TFOSC-WP polarimetresi kullanılarak V Bandında 120 sn poz süresi verilerek ve birbirinden 60 yay-sn ile ayrılmış  $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$  ve  $135^\circ$ 'de gözlenen dört polarize ışın, B'de ise bu şekilde alınmış 5 görüntünün median(ortanca) ile birleştirilmiş son hali görülmektedir.

### 4 Sonuçlar ve Tartışma

Bu çalışmada, Dünya'ya yaklaşma döneminden seçilen 3 adet asteroidin polarimetrik gözlemleri yapılmıştır ve spektral sınıfları belirlenmiştir. Çizelge 1'de polarimetrik yolla elde edilen fizik parametreleri verilmektedir. Şekil 5'de [Belskaya ve ark. \(2009\)](#) makalesinden alınan, V- bandında gözlenmiş 3 asteroidin polar-



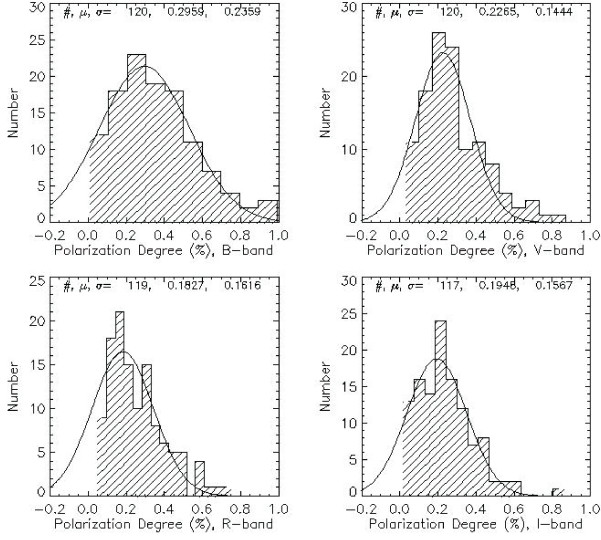
Şekil 2. Ön indirgenmiş TFOSC - WP görüntüsünün örneği (Polarize olmayan standart yıldız BD+32d3739, V-bandı, 7 sn poz, 23 Ağustos 2014)



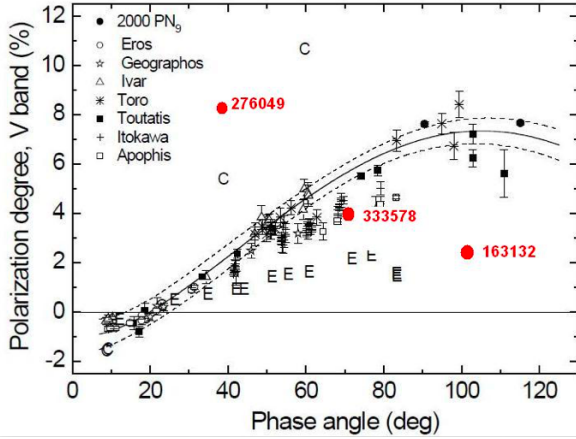
Şekil 3. DYA 276049 için TFOSC-WP polarimetresi kullanılarak alınmış beş görüntünün median ile birleştirilmesi.

izasyon derecesine bağlı faz açısı grafiği verilmektedir. Asteroid 163132 için albedo hesabında maksimum polarizasyon ulaştığı değer kullanıldı. Diğer iki asteroid için ise eğim parametreleri kullanıldı. Çap belirlenirken ise, fotometrik eğimin ortalama değeri kullanıldı ve fotometri yapıldı. Mutlak parlaklık ( $H$ ), V-bandında ölçüldü. Bu bilinen bilgiler ile ( $\rho_v$ ,  $H$ ) belirlendi. Kalibrasyon için polarize olmayan standart yıldızların (sıfır derece polarizasyona yaklaşan yıldızlar) polarizasyon dereceleri *BVRI* bantlarında gözlenmiştir (Şekil 4). Elde edilen sonuçlar polarizasyon derecesinin hatası yaklaşık 0.2% ve polarizasyon açısının hatası  $1.9^\circ$  olarak belirlenmiştir ([Helhel ve ark. \(2015\)](#)). Şekil 6'da içi dolu kırmızı halkalar ile gösterilen RTT150 TFOSC-WP ile *BVRI* bantlarında gözlenen polarize olmayan standart yıldızlardan elde edilen sonuçları göstermektedir. Çizelge 2'de güçlü polarize yıldızların V-bandında hesaplanan lineer polarizasyon derecesi ve polarizasyon açısı değerlerinin, tablanmış değerler ile karşılaştırılması verilmektedir ([Hsu ve Breger \(1982\)](#); [Schmidt ve ark. \(1992\)](#); [Dolan ve Tapia \(1986\)](#); [Clemens ve Tapia \(1990\)](#); [Turnshek ve ark. \(1990\)](#)). Hiltner 960ın kaydedilen polarimetrik verileri, tablanmış değerlerinden farklıdır ([Schmidt ve ark. \(1992\)](#)) bu durum onun polarimetrik olarak değişen bir yıldız olabileceğini göstermektedir.

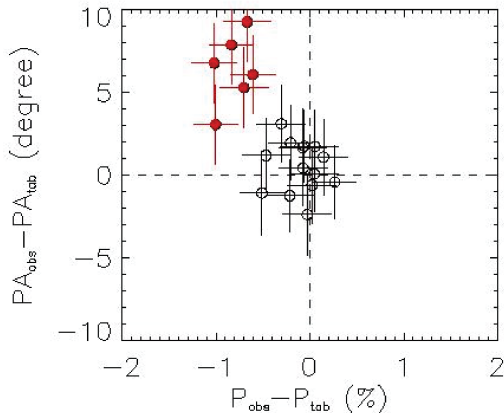
RTT150 teleskobunun fotometrik ve spektroskopik gözlem yetenekleri, geliştirilen polarimetrenin eklenmesi ile genişletilmiştir. TFOSC-WP'nin eklenmesi ile ESA'nın astrofizik amaçlı uzay görevi GAIA'ya ve RTT150 teleskobunun gelecek hedeflerinden biri olan Spetrum-X Gamma uydusuna, yer



Şekil 4. BVRI bandında gözlemlenmiş polarize olmayan standart yıldızların lineer polarizasyon derecesi ölçümlerinin dağılımı



Şekil 5. Faz açısına karşı V-bandında polarizasyon derecesi değişimi



Şekil 6. Faz açısına karşı V-bandında polarizasyon derecesinin değişimi

Çizelge 1. Polarimetrik Gözlemlerden Elde Edilen Fizik Parametreleri

Asteroit	Spektal Tip	Albedo ( $\rho_v$ )	Çap
163132	E - tipi (yüksek pV)	$0.5 \pm 0.19$	$0.306 \pm 0.08$
276049	C - tipi (düşük pV)	$0.043 \pm 0.005$	$3.106 \pm 0.29$
333578	S - tipi (orta pV)	$0.25 \pm 0.023$	$0.221 \pm 0.03$

Çizelge 2. Polarimetrik Gözlemlerden Elde Edilen Polarimetrik Sonuçlar

İsim	$P_{obs}$ (%)	$P_{tab}$ (%)	$P_{obs}$ (°)	$PA_{tab}$ (°)
BD+59d389	$6.53 \pm 0.2$	$6.70 \pm 0.20$	$98.45 \pm 1.2$	$98.10 \pm 0.1$
BD+64d106	$5.63 \pm 0.2$	$5.69 \pm 0.04$	$96.98 \pm 1.4$	$96.60 \pm 0.2$
HD236633	$5.52 \pm 0.1$	$5.49 \pm 0.02$	$94.20 \pm 0.7$	$93.76 \pm 0.1$
Hiltner960	$4.86 \pm 0.2$	$5.66 \pm 0.02$	$60.70 \pm 2.0$	$54.80 \pm 0.1$

tabanlı optik destek vermesiyle RTT150'nin gözlem yeteneklerini artırmıştır.

Bu çalışmada literatürden toplanan polarize ve polarize olmayan standart yıldızların bir listesi verildi (Hsu ve Bregler (1982); Schmidt ve ark. (1992); Dolan ve Tapia (1986); Clemens ve Tapia (1990); Turnshok ve ark. (1990)). Bu liste TFOSC-WP ile ilk olarak Ağustos 2014'te gözlemlendi. İkinci set Eylül'de ve son gözlem seti ise Nisan 2015'te gerçekleştirildi. Cihazın kendi polarizasyonunun lineer davranışı ekvatorial koordinat sisteminde  $1 \times 5$  yay-dk'lık uygun bir çalışma alanında astrofizik amaçlı yöntemlerle belirlendi. Cihazsal sistematik hatalar, polarizasyon derecesi için 0.2% ve polarizasyon açısı için  $1.9^\circ$  olarak hesaplandı. İdeal olmayan Wollaston prizmasının kendi/içsel iletim katsayısından dolayı, Wollaston prizmaları arasındaki tüm iletim katsayılarının oranı sabit olarak hesaplandı. Bu parametreler sabit olmasına rağmen, cihaz kalibrasyonu için bilimsel olarak ilgilenilen kaynakların polarimetrik naraştırmalarının yapıldığı her gözlem gecesinde onların kontrolü gerekmektedir. Polarimetride gerekli kalibrasyonların not edilmesi enstitü programlarının bilimsel hedeflerine bağlıdır ve kalibrasyon işlemleri standart yıldızlar için gereklidir (örneğin, iyi bilinen polarizasyon derecesine ve iyi bilinen polarizasyon açısına sahip astronomik kaynaklar).

### Teşekkür

Bu çalışmada, TFOSC-WP'nin tasarım ve üretim aşamaları TÜBİTAK (Proje No. 113F263) tarafından mali olarak; entegrasyon ve test aşamaları da TÜBİTAK TUG (Proje No:14BRTT150-665) tarafından ve bir tez çalışması olarak Akdeniz Üniversitesi BAP birimi tarafından desteklenmiştir.

### Kaynaklar

- Belskaya I.N., Fornasier S., Krugly Y.N.:  
Polarimetry and BVRI photometry of the potentially hazardous near-Earth Asteroid (23187) 2000 PN9. *Icarus* 201, (2009) 167-171.
- Clemens, D.P., Tapia, S.:  
Toward selection of intermediate-magnitude polarization standards, *Pub. Astron. Soc. Pac.* **102**,(1990) 179-182
- Dolan, J.F., Tapia, S.:  
Wavelength dependence of position angle in polarization standards, *Pub. Astron. Soc. Pac.* **98**, (1986) 792-802
- Helhel, S.; Kahya, G.; Khamitov, I. and Bayar, C.:  
Design of TFOSC Compatible Polarimeter for Polarimetric Observations, Progress In Electromagnetics Research Symposium Proceedings, Guangzhou, China, Aug. (2014) 25-8

- Helhel, S., Khamitov, I., Kahya, G., Bayar, C., Kaynar, S., Gumerov, R.:  
*Exp Astron*, DOI 10.1007/s10686-015-9468-8, (2015)
- Hsu, J.-C., Breger, M.: On standard polarized stars, *Astrophys. J.* **262**, (1982) 732–738
- Oliva, E.:  
Wedged double Wollaston, a device for single shot polarimetric measurements, *Astron. Astrophys.* **123**, (1997) 589–592
- Shakhovskoy, N.M. & Efimov, Yu. S.:  
Polarization observations of nonstable stars and extragalactic object. I: Equipment, method of observation and reduction. *Izv. Krymskoi Astrofiz. Obs.*, Tom 45, (1972) 90–110
- Schmidt, G. D.; Elston, R. & Lupie, O. L.:  
The Hubble space telescope Northern- hemisphere grid of stellar Polarimetric standarts , *Astron. J.* **104**, (1992) 1563–1567
- Turnshek, D. A.; Bohlin, R. C.; Williamson, R. L., II; Lupie, O. L.; Koornneef, J.; Morgan, D. H.: An atlas of Hubble Space Telescope photometric, spectrophotometric, and polarimetric calibration objects, *Astron. J.* **99**, (1990) 1243

**Eriřim:**

O21-1100: [UAK-2015 Program](#) — [UAK Bildiri](#) — [Turkish J.A&A.](#)