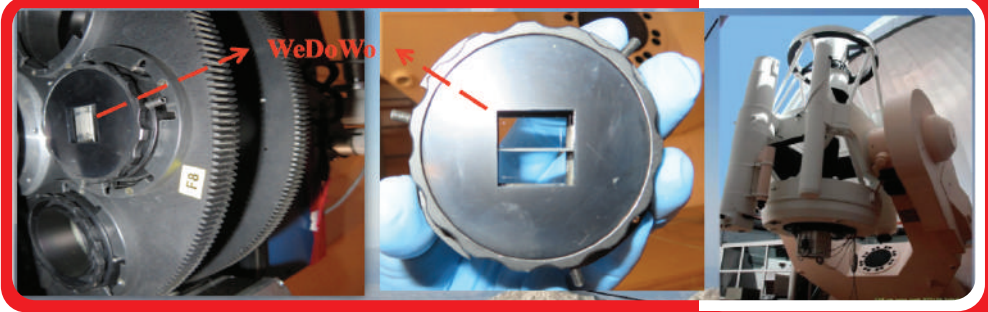




TÜBİTAK ULUSAL GÖZLEMEVİ

TFOSC - WP
POLARİMETRE
KILAVUZ

2015



TFOSC - WP POLARİMETRE KULLANIM KILAVUZU

**TÜRKİYE BİLİMSEL VE TEKNOLOJİK
ARAŞTIRMA KURUMU
TÜBİTAK ULUSAL GÖZLEMEVİ**

**2015
ANTALYA**

Akdeniz Üniversitesi Elektrik - Elektronik Mühendisliği öğretim üyesi Doç.Dr. Selçuk Helhel'in yürütücülüğü ve TUG mensubu Dr. İrek Hamitoğlu'nun danışmanlığında 113F265 numaralı TÜBİTAK 1001 projesi çerçevesinde tasarlanıp imalatı gerçekleştirilen TFOSC uyumlu WP polarimetre cihazı TUG RTT150 teleskobuna bağlanmış ve "test" gözlemleri yapılarak denenmiştir. Test gözlemlerinin başarılı sonuçları uluslararası bir dergide yayına dönüştürülmüştür.

Proje ekibi, Doç. Dr. Selçuk Helhel, Dr. İrek Hamitoğlu, Müh. Gizem Kahya, Uzman Cevdet Bayar başarılı geçen test aşamasından sonra polarimetreyi, TUG'a devrederek ülkemiz araştırmacılarının hizmetine sunmak için kullanım kılavuzunu hazırlanmıştır.

RTT150 teleskobunun gözlem yeteneğini artırıcı bir geliştirme olarak gördüğümüz bu cihazı ve kullanım kılavuzunu Türk astronomlarına ve TUG'a kazandıran, başta proje yürütücüsü Doç. Dr. Selçuk Helhel olmak üzere tüm proje ekibine teşekkür ederiz.

Polarimetre, RTT150 2016A dönemi ve sonrasında proje vermek isteyen tüm araştırmacıların kullanımına açılmıştır.

Prof. Dr. Halil Kırbıyık
TUG Müdür V.

İÇERİK

Özet

1. Giriş	1
2. TFOSC - WP (Wollaston Prizması)	2
2.1 Stokes Parametreleri, Polarizasyon Derecesi ve Hata Hesabı	2
3. Gözlemler ve Sinyal Elde Edilmesi	6
4. Cihaz Kalibrasyonu	8
4.1 İdeal Olmayan Wollaston Prizmasının Etkilerinin Düzeltilmesi	8
4.2 Cihazsal Polarizasyonun Düzeltilmesi	10
5. Sonuç	15
6. RTT150, TFOSC-WP Gözlem Kılavuzu	17
Kaynaklar	25
Polarimetre Çalışmalarından Çıkan Diğer Çıktılar	27

ÖZET

113F265 Numaralı TÜBİTAK desteği ile yürütülen, Akdeniz Üniversitesi, Elektrik – Elektronik Mühendisliği Öğretim Üyesi Doç. Dr. Selçuk HELHEL'in yürütücülüğü ve Dr. İrek Hamitoğlu'nun Danışmanlığı'ndaki proje kapsamında; 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 tasarlanmıştır 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 derecelerde 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 1×5 yay-dakika 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 Kelimeleri: WeDoWo. Polarimetre. RTT150. TFOSC-WP. TUG. Polarizasyon.

1. GİRİŞ

TFOSC (TUG Faint Object Spectrograph and Camera), RTT150 teleskobunun ana odak düzlemi aletlerinden biridir. Cassegrain odağında bulunan TFOSC ile hem düşük çözünürlüklü tayf ölçümü hem de görüntüleme yapılabilmektedir. TFOSC, spektroskopi ile fotometri arasında çabuk geçiş yapabilme yeteneğine sahip olmasından dolayı hızlı değişim gösteren karmaşık kaynakların araştırılmasında kullanılabilir. Böylece, astrofizik kaynakların yer tabanlı gözlemleri ile GAIA ve Spektrum-X-Gamma benzeri astrofizik uzay programlarının esnek ve güçlü bir üyesi olabilir. Astronomik kaynakların lineer polarizasyon derecesini ve polarizasyon konum açısını polarimetreler aracılığıyla ölçebilmek TFOSC'a güçlü bir yeni özellik kazandıracaktır. Dünya'daki gözlemlerindeki FOSC ailesi cihazlarda Wedge Double Wollaston (WeDoWo) tabanlı polarimetrelerin kullanıldığı bilinmektedir. 1.8 m'lik Asiago teleskopundaki AFOSC, NOT'daki ALFOSC, BTA'daki Scorpio, Subaru teleskopundaki FOCAS ve VLT'deki FORS1 en iyi bilinen örneklerdir [1, 2, 3, 4, 5, 6].

Şubat 2014'te başlayan TÜBİTAK destekli 113F263 nolu "Asteroitlerin Polarimetrik Gözlemleri İçin TFOSC Uyumlu Optik Polarimetre Tasarımı" projesi kapsamında bir elektromanyetik dalga olan ışığın polarizasyon özelliğinden faydalanılarak Dünya'ya Yaklaşan Asteroitlerin (DYA) fizik parametreleri incelenmesi [albedo (yansıtılabilirlik), taksonomi (sınıflandırma), çap, porozite (gözeneklilik) vs.] hedeflenmiştir. Bu amaç için doğada çift kırılma özelliği ile bilinen Kalsit ($CaCO_3$) malzemesi kullanılarak ZEMAX optik tasarım programı ile WeDoWo'nun üretimi gerçekleştirilmiş ve RTT150-TFOSC sistemine entegre edilmiştir. Bu çalışmada E. Oliva'nın (1997) makalesi düzeneğimize, iyileştirilerek ve optimize edilerek TFOSC sistemine uyarlanmıştır. Polarimetre ile Ağustos 2014'te ilk gözlem yapılmıştır.

Söz konusu tasarım ile astrofizik kaynakların sadece lineer polarizasyon bilgisi elde edilmekte olup, dairesel polarizasyon bilgisine mevcut sistem kullanılarak ulaşılamamaktadır.

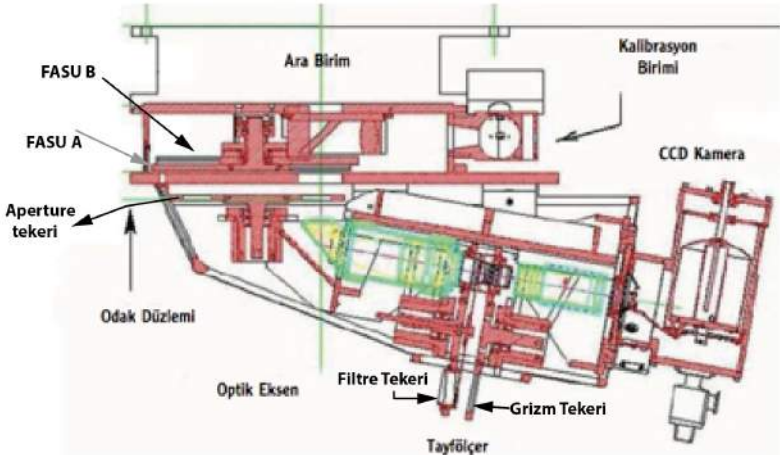
Bu çalışmada TFOSC-WP'nin (TFOSC-Wollaston Prizması) test ve kalibrasyonlar dahil tüm aşamaları, çalışma prensipleri, kalibrasyon adımları ve cihazsal karakteristiğinin belirlenmesi ele alınmaktadır. Tasarlanan polarizörün beceri ve kısıtları güçlü polarize ve polarize olmayan standart yıldızlardan toplanan gözlem verileri ile elde edilmiştir.

Bu kılavuz 2015 yılında, *Experimental Astronomy* dergisinde yayınlanan “Double-wedged Wollaston-type polarimeter design and integration to RTT150-TFOSC; initial tests, calibration and characteristics, 39:3 (595-604)” makalesi Türkçeye çevrilerek ve genişletilerek oluşturulmuştur.

Polarimetre ile gözlem yapacak olan araştırmacılar için hazırlanan TFOSC-WP gözlem kılavuzuna bu çalışmanın sonunda yer verilmiştir.

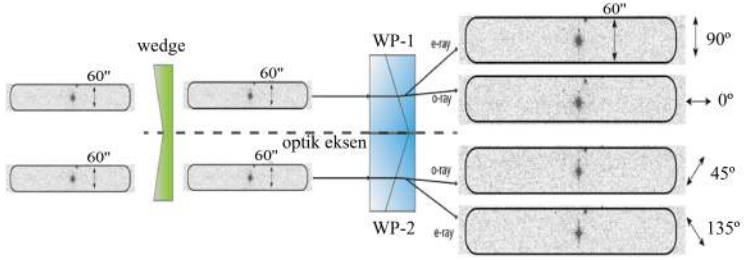
2. TFOSC - WP (Wollaston Prizması)

TFOSC'un yapısına genel olarak bakıldığında kalibrasyon birimi ile iki adet filtre tekeri (FASU A ve FASU B) teleskop odak düzleminde önce konumlanmış iken odak düzleminde ise bir adet açıklık (aperture) tekeri bulunmaktadır. Kolimator, filtre ve grizm tekerleri ile CCD kamera TFOSC sisteminde bulunan diğer elemanlardır. CCD 2048x2048 piksel ve görüntü ölçeği 0.39 yaysaniyesi/piksel'dir (Şekil 1).



Şekil 1. TFOSC sisteminin iç yapısı

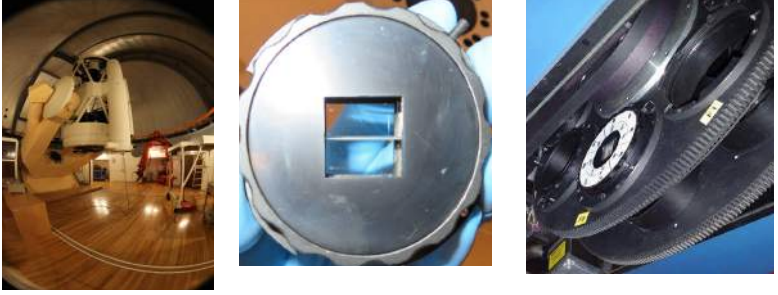
WeDoWo, üzerine gelen ışığı dört parçaya böler ve sonuçta CCD üzerinde dört ayrı görüntü oluşur. Bunlardan iki tanesi optik eksenin üzerinde, diğer ikisi ise optik eksenin altındadır. Bölünmüş ışınlar lineer polarizelidir ve polarizasyonları $(0^\circ, 45^\circ)$ ve $(90^\circ, 135^\circ)$ 'dir. Şekil 2'de görüldüğü gibi eşzamanlı olarak TFOSC - WP'den elde edilen görüntülerden optik eksenin üzerinde olanların lineer polarizasyon dereceleri $(0^\circ, 90^\circ)$ ve altındaki görüntülerin polarize dereceleri $(45^\circ, 135^\circ)$ 'tir.



Şekil 2. WeDoWo optik şeması

Şekil 2 ile verilen örnek gözlem verisi üzerinde de görüleceği üzere; ilk olarak, kolimatörden gelen paralel ışınlar Wedge tarafından Wollaston prizmalarına (WP-1 ve WP-2) ulaştırılır. WP'ler gelen ışığı, çift kırılma özelliğinden yararlanarak birbirlerine dik olacak şekilde ikiye ayırır. Burada ışınlar, optik eksenin altında iki adet ve optik eksenin üstünde iki adet olmak üzere toplamda dört ışın demetine ayrılmış olur. Wollaston prizmalarının optik eksenleri arasında 45 derece fark vardır. Şekil 2, TFOSC-WP ile alınmış polarize olmayan BD+32d3739 isimli standart yıldızın V bandında 7sn poz süresinde 23 Ağustos 2014 tarihinde alınmış görüntüsünü göstermektedir.

Şekil 3'te TFOSC-WP'nin TFOSC odak düzlemindeki açıklık tekerleğine özel bir yarık eklenerek uygulaması gösterilmektedir.



Şekil 3. RTT150 teleskobu (en solda), Wollaston prizması (ortada) ve TFOSC filtre tekerleğine yerleştirilmiş hali (en sağda)

2.1 Stokes Parametreleri, Polarizasyon Derecesi ve Hata Hesabı

Kaydedilen akı değerleri kullanılarak, Stokes'un ilk üç elemanı $\vec{S}(I, U, Q)$, Denklem 1'den elde edilebilir.

$$\vec{S} = \begin{bmatrix} I \\ Q \\ U \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_{0^0} + I_{90^0} \text{ veya } I_{45^0} + I_{135^0} \\ I_{0^0} - I_{90^0} \\ I_{45^0} - I_{135^0} \end{bmatrix} \quad 1$$

$$P_L = \frac{\sqrt{Q^2 + U^2}}{I} \quad 2$$

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

$$\sigma_p = \frac{|Q\partial Q + U\partial U|}{P} \quad 4$$

$$\sigma_\theta = \frac{28.65\sigma_p}{P} \quad 5$$

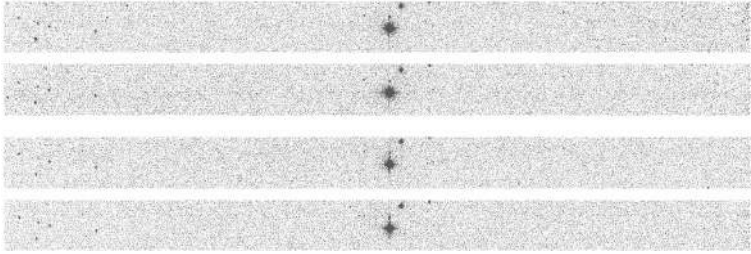
Lineer polarizasyon derecesi (P_L) Denklem 2'den ve cihazın referans düzleminde polarizasyonun konum açısı (θ) Denklem 3 aracılığıyla hesaplanabilir. Polarizasyon derecesinin (σ_p) ve polarizasyonun konum açısının (σ_θ) hata değerleri Denklem 4 ve Denklem 5 aracılığıyla hesaplanmıştır [7].

Wedge ve Wollaston prizmasının boyut ve açı değerleri hesaplanırken ana kısıt, görüntülerin birbiriyle örtüşme ihtimalidir. Bu nedenle TFOSC sisteminin odak düzlemine konulan 60 yay saniyesi genişliğinde bir yarık, görüntülerin CCD üzerinde üst üste binmesini önlemek için düşünülmüştür ve ZEMAX simülasyon adımlarında göz önünde bulundurulmuştur. Tasarlanan prizma $LiNbO_3$ malzemesi yerine Kalsit ($CaCO_3$) malzemesi tercih edilerek üretilmiştir [1].

3. Gözlemler ve Sinyal Elde Edilmesi

Polarize ve polarize olmayan yıldız gözlemleri, standart yıldızların karakteristiklerini belirlemek ve kalibrasyon yapmak amacıyla üç gözlem döneminde TFOSC - WP polarimetresi ile gerçekleştirildi. İlk gözlemler, 22 - 24 Ağustos 2014'te, ikincisi 30 Eylül - 02 Ekim 2014 tarihleri arasında gerçekleştirildi. Tüm gözlem gecelerinde Ay ışığının spektrofotometrik etkilerinden kaçınıldı. Son dönem, optiğin iletim parametresini belirlemek için planlanmış olup 28-30 Nisan 2015 tarihleri arasında gerçekleştirildi.

Düz-alan (flat-field) görüntüleri, ilgili optik bantlarda polarizör ve BVRI filtreler kullanılarak elde edilmiştir. Tan vaktinde gökyüzünün güçlü polarizasyon özelliği gösterdiği bilinmektedir. Bu etkiden kurtulmak için gözlemler Güneş'ten 90° ayrık olacak şekilde iki farklı konumda gerçekleştirilmiştir. Astronomik Tan vaktinde düz-alan görüntüleri, teleskop küçük adımlarla kaydırılarak alınmıştır. Alınan bu görüntülere median (ortanca) filtre uygulanarak olası yıldız kaynaklarının temizlenmesi sağlanmıştır. Ortanca alma (Median combining) işleminden önce polarize akı değerleri normalize edilmiş ve bu adımı takiben sıradan-ışın (ordinary-ray)¹ ve sıradışı-ışınların (extraordinary-ray)* median değerlerinin toplamı olarak gelen akılar belirlenmiştir. Teleskobun iki farklı konumunda birleştirilen/toplanan görüntüler tekrar üst üste eklenerek polarize olmayan düz alan görüntüleri elde edilmiştir. Tüm görüntülerde bias (temel-düzey) çıkarılması ve flat (düz-alan) düzeltme işlemleri yapılmıştır. Şekil 4'te ön indirgenmiş TFOSC-WP görüntüsünün örneği görülmektedir. Farklı polarizasyon kanalındaki her bir yıldız görüntüsü ortalananmış ve akılar 5 yay-sn açıklıklardan ölçülmüştür. Görüntüler birbirinden 60 yay saniyesi ile ayrılmıştır.



Şekil 4. Dört adet polarize olmuş ışının (0° , 90°) ve (45° , 135°)'lerde TFOSC - WP ile alınmış örnek görüntüsüdür (Polarize olmayan standart yıldız BD+32d3739, V-bandi, 7 sn poz, 23 Ağustos 2014).

¹ Bkz. Bölüm 4.1

4. Cihaz Kalibrasyonu

4.1 İdeal olmayan Wollaston prizmasının etkilerinin düzeltilmesi

Wollaston prizması tarafından gelen ışık sıradan-ışın (o-ray) ve sıradışı-ışın (e-ray) olmak üzere ikiye bölünür. Gelen ışık polarize değilse, ideal durumda bölünen ışınların akı değerleri eşit olur. Fakat, gerçekte, optiğin iletiminden dolayı bir fark oluşur, çıkıştaki sinyaller arasındaki bu farkın belirlenmesi gerekir. Optiğin bu davranışını hesaba katarak iletim katsayısı “t parametresi” belirlenmelidir [6]. Farklı kanallarda kaydedilen akı değerleri aracılığı ile Denklem 6 ve Denklem 7 kullanılarak ideal olmayan Wollaston’un etkileri doğrulanabilir.

$$I'_{0^\circ} = \frac{I_{0^\circ}}{2t_1}, \quad I'_{90^\circ} = \frac{I_{90^\circ}}{2(1 - t_1)} \quad 6$$

$$I'_{45^\circ} = \frac{I_{45^\circ}}{2t_2}, \quad I'_{135^\circ} = \frac{I_{135^\circ}}{2(1 - t_2)} \quad 7$$

Burada t_1 ve t_2 sırasıyla WP - 1 ve WP - 2'nin iletim katsayılarıdır (Şekil 2).

Polarize olmayan yıldızların doğrudan gözlemleri, cihazsal polarizasyonun varlığından dolayı t-parametresinin değerini vermediğinden, t-parametresini hesaplamak için, şu adımlar gerçekleştirilmiştir:

İlk olarak kaynağın konumuna bağlı olan cihazsal polarizasyonun, zaman ile önemli derecede değişmediği gerçeği ile yola çıkılmıştır. Bu yüzden, sistemin t-parametresini hesaplamak için, lineer polarizör 90 derecelik adımlarla döndürülerek (0, 90, 180 ve 270 derecelerde), iki farklı konumda dört adet polarizasyon kanalında sabit ışık

kaynağından gelen akı ölçümleri yapılmıştır. Bu durumda, o-ray ve e-ray birbiriyle değiş-tokuş yapacağından, Denklem 8 kolaylıkla yazılabilir.

$$\frac{I_{o,90^\circ}}{tF_{90^\circ}} = \frac{I_{e,0^\circ}}{(1-t)F_{0^\circ}} \quad 8$$

F_{0° ve F_{90° , sırasıyla 0 ve 90 derecelerde gelen akı değerleridir. Bu değerler t-parametresi kullanılarak Denklem 9 ve Denklem 10'dan elde edilebilir.

$$F_{0^\circ} = \frac{I_{o,0^\circ}}{t} + \frac{I_{e,0^\circ}}{1-t} \quad 9$$

$$F_{90^\circ} = \frac{I_{o,90^\circ}}{t} + \frac{I_{e,90^\circ}}{1-t} \quad 10$$

İkinci dereceden denklemin sadeleştirilmiş hali t-parametresini verir (Denklem 11):

$$\left(\frac{I_{o,0^\circ}I_{e,90^\circ}}{I_{o,0^\circ}I_{e,90^\circ}} - 1 \right) t^2 + 2t - 1 = 0 \quad 11$$

Denklemin çözümü, gereken t-parametresini verir. Açıkça, bu bir ideal durumdur, ikinci dereceden terim sıfıra gider ve $t = 0.5$ bulunur.

Teleskop optiği cihazsal polarizasyona, simetrik olmasından dolayı, etki yapmaz. Polarizörden önce dönebilen bir mekanizma kullanılması mümkün olmadığından polarizör mekanik olarak tutucunun (holder) içinde bulunan WP 90 derece adımlarla döndürülerek cihazsal polarizasyon etkisi ölçülmüştür. Polarize olmayan yıldızlar, polarizörün 0, 90, 45, 135 derecelerdeki dört konumda, 60x60 yay-

sn'lik CCD merkezindeki bir alanda gözlemlenmiştir. Bu bölgede cihazsal polarizasyonun önemli derecede değişmediği hesaba katılarak; (0, 90) ve (180, 270) derecelerde polarizör konumlarının 2 seti için t - parametresinin değeri hesaplanmıştır. Hassasiyeti artırmak için sonuçların ortalaması alınmıştır. Dört farklı açıda alınan görüntüler cihazsal polarizasyon derecesini ve polarizasyon açısını belirlemek için kullanılmıştır.

Tablo 1’de Wollaston prizmalarının, polarizasyon derecesinin (P), merkez bölgedeki polarizasyon açısının (PA) ve iletim parametresinin (t) farklı optik bantlardaki değerleri verilmiştir. Daha detaylı analizlere geçmeden önce, elde edilmiş tüm akı değerleri t-parametresi kullanılarak düzeltilmiş ve hatadan arındırılmıştır.

Tablo 1. İletim katsayısı, cihazsal polarizasyon derecesi ve ilgili açılar

Optik	B	V	R	I
WP-1	0.502	0.502	0.501	0.501
WP-2	0.502	0.503	0.504	0.500
P(%)	0.63	0.78	0.74	0.16
PA(°)	22.4	28.2	39.9	5.2

4.2 Cihazsal polarizasyonun düzeltilmesi

Optiğin cihazsal polarizasyonu, polarizasyon derecesinin $p(x,y)$ ve polarizasyon açısının $\varphi(x,y)$ konum bağımlılığına sahip olduğundan, gelen işareti bozmaktadır. Bu durum, dairesel polarizasyon ihmal edilerek, giriş Stokes parametrelerini $\vec{S}_i(I_i, Q_i, U_i)$ çıkış Stokes parametrelerine $\vec{S}_o(I_o, Q_o, U_o)$ Mueller matrisi $\|\vec{M}_t\|$ aracılığıyla dönüştüren Denklem 12 ile tanımlanabilir [6].

$$\vec{S}_i = \|\vec{M}_i\| \cdot \vec{S}_0 \quad 12$$

Burada Mueller matrisi Denklem 13'deki gibi tanımlanır.

$$\|\vec{M}_i\| = \frac{1}{1+p} \begin{pmatrix} 1 & p \cos 2\varphi & p \sin 2\varphi \\ p \cos 2\varphi & 1 - p \sin^2 2\varphi & p \sin 2\varphi \cos 2\varphi \\ p \sin 2\varphi & p \cos 2\varphi \sin 2\varphi & 1 - p \cos^2 2\varphi \end{pmatrix} \quad 13$$

Giriş Stokes parametrelerine bağlı çıkış Stokes parametreleri elde edilir (Bakınız Denklem 14).

$$\vec{S}_0 = \|\vec{M}_i\|^{-1} \cdot \vec{S}_i \quad 14$$

Buradaki gibi iki adet Wollaston prizması kullanılması durumunda, cihazsal polarizasyon $p(x,y)$ ve polarizasyon açısı $\varphi(x,y)$, çerçeve (frame) üzerindeki polarize olmayan bir yıldızın konum bağımlılığı ile cihazsal Stokes parametreleri ayırık uyumlandırma (separate fitting) yapılarak belirlenir. Çerçevenin merkez bölgesinde ($800 \text{ piksel} < x < 1600 \text{ piksel}$) Q_i ve U_i parametreleri lineer olarak değiştiğinden birinci dereceden bir polinom ile Denklem 15 ve Denklem 16 aracılığı ile belirlenerek türetilir.

$$Q_i = \begin{pmatrix} 1 \\ x \\ y \end{pmatrix} \cdot (a_0 \quad a_1 \quad a_2) \quad 15$$

$$U_i = \begin{pmatrix} 1 \\ x \\ y \end{pmatrix} \cdot (b_0 \quad b_1 \quad b_2) \quad 16$$

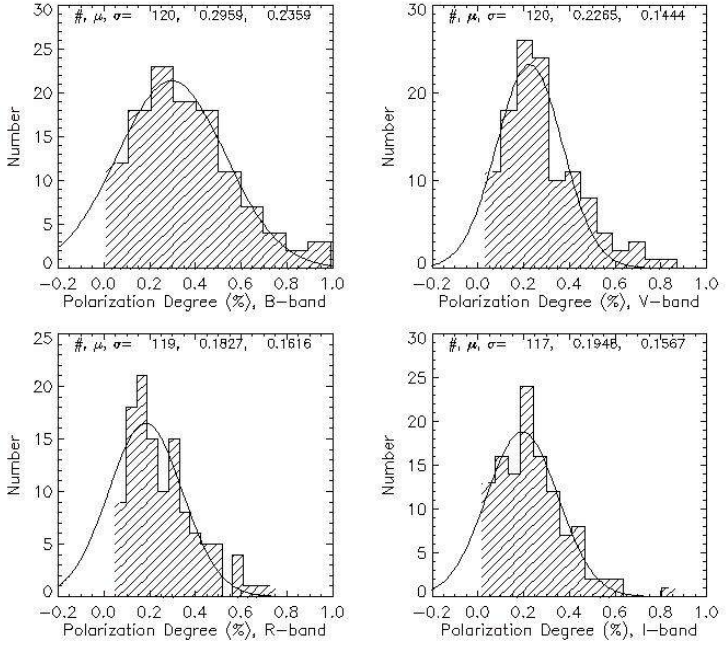
Astronomik kaynakların polarimetrik gözlemleri için tanımlanan çalışma alanı 1×5 yay-dakikadır. $(a_0 \quad a_1 \quad a_2)$, $(b_0 \quad b_1 \quad b_2)$ kalibrasyon vektörlerinden ve 1×5 yay dakikalık çalışma alanından elde edilen verilerin akı değerleri kullanılarak hesaplanabilir. Sıfır derece polarizasyona yaklaşan yıldızların polarizasyon derecelerinin dağılımı BVRI bantlarında gözlemlenmiş olup Şekil 5'te

gösterilmektedir. Tüm bantlar için sistematik hatalar polarizasyon derecesinin yaklaşık %0.2'sidir. Polarize olmayan kaynakların polarizasyon derecesinin % 0.2 - % 0.3 aralığındaki eşik değerleri sistematik hata ile aynı seviyede belirlenmiş olup bu değerlerin dağılımı, ölçülen Q_0 ve U_0 Stokes parametrelerinin normal dağılımı ile uyumludur. Polarizasyon derecesinin sistematik hatasını ve mutlak kalibrasyon katsayılarını belirlemek için iyi bilinen güçlü polarize standart yıldızlar gözlemlenerek, Denklem 17 aracılığı ile TFOSC - WP için cihazsal Stokes vektörü hesabı yapılmıştır.

$$\vec{S}_i(I_{45^\circ} + I_{135^\circ}), \quad (I_{0^\circ} - I_{90^\circ})R, \quad (I_{45^\circ} - I_{135^\circ}) \quad 17$$

İki Wollaston prizmasının (WP-1 ve WP-2) iletim katsayılarının oranı Denklem 18 aracılığıyla hesaplanmıştır.

$$R = \frac{I_{45^\circ} + I_{135^\circ}}{I_{0^\circ} + I_{90^\circ}} \quad 18$$

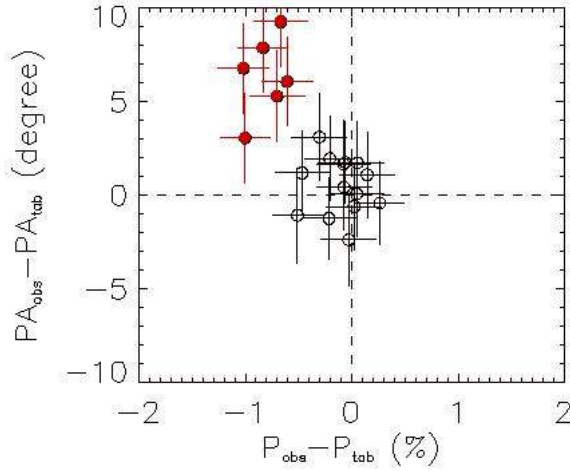


Şekil 5. BVRI bantlarında TFOSC-WP ile alınmış polarize olmayan standart yıldızların lineer polarizasyon derecelerinin dağılımı.

Güçlü polarize yıldızların hesaplanan lineer polarizasyon derecesi ve polarizasyon açısı değerlerinin, tablananmış değerler [9-13] ile karşılaştırılması ve gözlemlenen kaynaklar ile tablananmış değerler arasındaki farklar Şekil 6'da verilmektedir. V-bandındaki sonuçları ise Tablo.2'de verilmektedir. Elde edilen sonuçlar literatürdeki değerleri doğrulamaktadır [10]. Polarizasyon açısının sistematik hatası 1.9^0 olarak hesaplanmıştır.

Hiltner 960'ın (kırmızı renkli içi dolu daireler) kaydedilen polarimetrik parametreleri, tablananmış değerlerden farklıdır ve kayma/değişim

3σ 'dan fazladır. Literatürden elde edilen verilere göre [10] bu durum onun polarimetrik olarak değişen bir yıldız olabileceğini göstermektedir.



Şekil 6. Gözlenen ve tablolanmış değerlerin polarizasyon derecesi ve polarizasyon açısı arasındaki farklar (Hiltner 960 kırmızı renkli içi dolu dairelerle gösterilmektedir).

Tablo 2. V bandında güçlü polarize yıldızların gözlem sonuçları

İsim	P_{obs} (%)	P_{tab} (%)	PA_{obs} (°)	PA_{tab} (°)
BD+59d389	6.63 ± 0.2	6.70 ± 0.20	98.45 ± 1.0	98.10 ± 0.1
BD+64d106	5.63 ± 0.2	5.69 ± 0.04	96.98 ± 1.4	96.60 ± 0.2
HD236633	5.52 ± 0.1	5.49 ± 0.02	94.20 ± 0.7	93.76 ± 0.1
Hiltner960	4.86 ± 0.2	5.66 ± 0.02	60.70 ± 2.2	54.80 ± 0.1

5. Sonuç

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 Spectrum-X Gamma uydusuna, yer tabanlı optik destek vermesiyle RTT150'nin gözlem yeteneklerini artırmıştır. Bu çalışmada bahsedilen cihaz ile cihazsal polarizasyon oranının hatası 0.2% olan gök kaynaklarının lineer polarizasyon ölçümleri yapılabilmektedir. TFOSC-WP ile dairesel polarizasyon bilgisine ulaşamaz. Dairesel polarizasyon bilgisinin elde edilmesi için yeni bir polarizör tasarımı düşünülmekte olup, 2018 sonunda hazır olması planlanmaktadır.

Bu çalışmada literatürden toplanan polarize ve polarize olmayan standart yıldızların bir listesi verilmiştir [9-13]. Bu liste sırasıyla Ağustos 2014, Eylül 2014 ve Nisan 2015'te TFOSC-WP kullanılarak hazırlanmıştır.

Cihazın kendi/içsel polarizasyonunun lineer davranışı ekvatoryal koordinat sisteminde 1x5 yay dakikalık uygun bir çalışma alanında astrofizik amaçlı yöntemlerle belirlenmiştir. Cihazsal sistematik hatalar, polarizasyon derecesi için %0.2 ve polarizasyon açısı için 1.9^0 olarak hesaplanmıştır.

İdeal olmayan Wollaston prizmasının kendi/içsel iletim katsayısından dolayı, Wollaston prizmaları arasındaki tüm iletim katsayılarının oranı sabit olarak hesaplanmıştır. Bu parametreler sabit olmasına rağmen, cihaz kalibrasyonu için bilimsel olarak ilgilenilen kaynakların polarimetrik araştırmalarının yapıldığı her gözlem gecesinde onların kontrolü gerekecektir. Polarimetrede gerekli kalibrasyonların not edilmesi enstitü programlarının bilimsel hedeflerine bağlıdır. Polarizasyon derecesi ve polarizasyon açısı iyi bilinen astronomik kaynakların gözlemleri kalibrasyon amacıyla yapılmalıdır.

TEŞEKKÜR

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 desteklenmiştir. Bu çalışma bilimsel araştırmalar çerçevesinde Kazan Federal Üniversitesi tarafından ve bir tez çalışması olarak Akdeniz Üniversitesi tarafından desteklenmiştir.

TFOSC-WP kullanılarak yapılan araştırmaların yayınlarında çalışmanın ana makalesine (çıktılar, no:4) atıf yapılması beklenir.

RTT150, TFOSC-WP Gözlem Kılavuzu

Gözleme Başlama ve Standart Yıldız Gözlemleri

Flat alma aşaması;

Imaging için her zaman full frame alınmalıdır.

- Teleskop Güneş'in konumunun zıt yönüne doğru konumlandırılmalıdır. (Akşam doğu, sabah batı)
- Akşam üzeri BVRI, sabah RIVB sırasını takip etmek daha etkili bir yöntemdir.
- İlk görüntü alındığında sayımlar kontrol edilmeli, 10000'den fazla olduğundan emin olunmalıdır.
- Doğru kalibrasyon yapmak için flat görüntülerinde aynı filtre için her bir görüntüden sonra teleskobu bir miktar hareket ettirmek gereklidir. (shift + delete vb.)
- Her bir filtre için beş görüntü tavsiye edilmektedir, zaman kısıtlı ise en az üç görüntü alınmalıdır.

Polarimetre için uygun flatlar:

Polarimetrik görüntü için sub-frame (ybeg 700, ysize 800)

- Optik yolda: mask + polarimetre + filtre (asteroit/standart yıldız gözlemi ile aynı) olmalı.
- Gökyüzü polarize bir kaynaktır. Bunun için iki set iki yerden flatlerin alınması gerekmektedir. İki bölgelerin yönü arasında 90 derece fark olmalıdır. Önerilen bölge:

1. Meridyen

(HA_1=0^h, DEC_1=80°) , (HA_2=0^h, DEC=-10°).

Kubbe Güneyde.

Birinci bölgede uçar flat alıp hemen ikinci bölgeden üçer adet flat aynı filtrede alınmalıdır.

1. Batı-Doğu

(Azimut_1=90°, Yükseklik_1=45°)

(Azimut_2=270°, Yükseklik_2=45°)
Kubbe veya Batı veya Doğu tarafa açık.

Akşam ve sabah flatları Doğudan başlayıp Batıda bitirmelidir.

Gözleme başlama aşamasında öncelikle teleskop tam doğuya çevrilir ve Bessel filtrelerinin her birinden (B, V, R, I) 'dan 3'er adet alınarak başlanır. Alınan flatlerdeki değerler 10000 den fazla olmalıdır. Ardından binning değeri 2 olarak ayarlanıp 'bin2' komutu ile, her bir Bessel filtresinde tekrar görüntüler alınır. Full frame alma aşaması; mask, grism empty yapılarak FASU A'dan, B-filtresi seçilerek, bin1 komutu ile her bir filtreden birer tane daha görüntü alınır. Sonrasında bias alma aşamasına geçilir. HA seçilerek; H: (Alfa) 00 00 00, (Delta): 36 49 27 değerleri girilir.

Bias alırken; BIAS hem bin 1, hem bin 2 her zaman full frame olarak alınmaktadır.

Binning seçimi şu şekilde yapılır: 17^m'den daha sönük kaynaklar için Binning 2 alınır. Diğer kaynaklar için ise Binning 1 kullanılır.

Gözleme flat zamanından önce, flat almak için zaman yetecek şekilde bias alınarak başlanır:

1. bin1

mdark 0 10 (multiple dark sıfır saniye poz süresi 10 tane görüntü)

2. bin 2

mdark 0 10

```
> filename bias0001  
> object bias  
> imtype bias  
> bin1  
> mdark 0 10
```

Komutları verilir.

Ardından binning 2 için aynı işlem tekrarlanır.

```
> filename bias0001  
> object bias  
> imtype bias  
> bin2  
> mdark 0 10  
Bu işlemde bitince;  
> Bin1  
> ybeg 700  
> ysize 800  
make_polarimetry_images sa.prog
```

komutları verilir ve dome track aktif edilir. Ardından aşağıdaki komutu verilir.

```
>telescope_set_dfocus -0.02
```

Standart yıldız gözlemleri alınarak esas gözlemlere başlanır. UT (Universal Time) dikkate alınarak; Standart polarize olmayan ve polarize olan yıldızların gözlemleri yapılır.

Standart Yıldız Gözlem Tekniđi:

Standart yıldız gözlemleri, aşağıdaki standart yıldız tablosuna göre uygun yıldız seçilerek yapılır.

- Alanı tanıyabilmek için mask ve polarimetre optik yoldan çekilerek sadece filtre kalacak şekilde ayarlanır.
- Aladin vb. kataloglardan yararlanarak yıldız tespit edilir.
- Yıldızın yeri maskın ortasına gelecek şekilde ayarlanır.
- Yıldızın odağı yapılır.
- Mask ve WP optik yola alınır.
- SNR=100 olmasına dikkat edilir, maksimum 40000 ADU olmalıdır.
- WP'nin çalışma bölgesi $800 \text{ piksel} < X < 1600 \text{ piksel}$ 'dir.

Bunun için farklı Y koordinatı (kenardan 20-30 piksel uzaklıkta ve bölgenin merkezinde), $600 \text{ piksel} < X < 1800 \text{ piksel}$ alanda aynı standart yıldızın görüntüleri alınmaktadır.

DYA Asteroit Gözlemi:

- WP'ye uygun bölge ayarlanır: ybeg 700, ysize 800.
- Alanı tanıyabilmek için mask ve polarimetre optik yoldan çekilerek sadece filtre kalacak şekilde ayarlanır.
- NASA Horizon veya MPC yardımı ile asteroitin güncel koordinatları elde edilir.
- Aladin vb. kataloglardan yararlanarak asteroitin yeri tespit edilir.
- NASA Horizontan asteroitin alfa ve delta eksenlerindeki hareketi ayrı ayrı hesaplanır.
- Verilen yönde takip (VYT) hesaplanan değerlere göre ayarlanır ve aktif edilir (VYT kullanımı aşağıda anlatılmıştır). Hassasiyet 2000 ms olmalıdır.
- Görüntü alındığında asteroit nokta şeklinde yıldızlar ise iz yapmış olmalıdır.

- VYT devrede iken ince düzeltme yapılabilir. *Corr* alanın işareti kaldırılır ve *coord* komutunun X-Y-G tuşlarıyla kaynak gerekli yere getirilir. Sonra hemen *REFRESH* düğmesine basıp *Corr* alanı işaretlenir – teleskop VYT devreye girer.

Asteroit $1000 < X < 1200$, $490 < Y < 510$ bölgesine getirilmeye çalışılmalıdır.

- DYA asteroitlerin polarimetre gözlemlerinde V filtrede *Bin 2*'de 120 sn poz süresinde 5 tane görüntü alınır (parlaklık 16^m - 17^m).
- DYA asteroitlerin fotometre gözlemleri BVRI filtrelerde *Bin 2*'de 5 tane seri B120, V90, R60, I60. Beş tane aynı filtrede değil tam BVRI sırada yapılmalıdır. Asteroit dönüyorsa ve doğru renk çıkartılmak isteniyorsa BVRI sırasına uyulmalıdır.
- VYT devrede iken kesinlikle teleskop yeni bir kaynağa yöneltilmemelidir.
- Gözlem bitince VYT devreden çıkartılır, sonrasında teleskop yeni bir kaynağa yöneltilebilir.

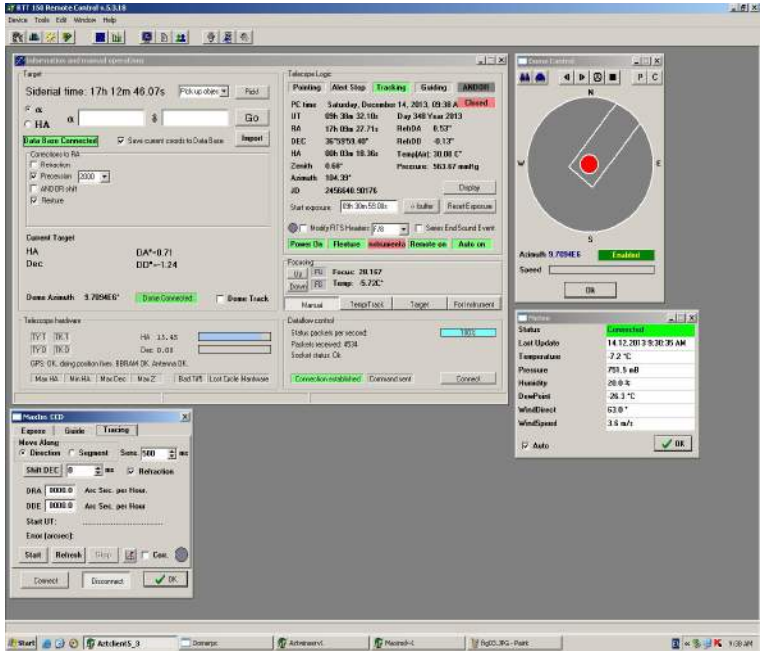
Fotometri yapılıyorsa gözlemden önce ve sonra Landolt standardında aynı hava kütesinde BVRI görüntüler alınmalıdır (SNR>100 olmalıdır).

Aynı durumlar Polarimetre gözlemler için de geçerlidir. Yıldızlar asteroitlerin gözlenen CCD bölgesinde olmalıdır.

Verilen Yönde Teleskop Takibi (VYT):

Şekil 7’de görüldüğü üzere, Verilen Yönde Takip (VYT) kontrol penceresi; Teleskop Kontrol Sistemin (TKS) ana panosundan:

- *Device -> MaxIm -> Enter*, seçilince MaxIm CCD adlı kontrol penceresi açılır ve buradan Tracing sekmesine tıklayarak VYT kontrol penceresine ulaşılır.
- Telescop Logic penceresinde Refraction (yeşil) üzerine çiftle tıklayarak yerine Instrumental (kırmızı) moduna geçirilir.



Şekil 7. Verilen yönde takip (VYT) kontrol penceresi

MaxIm CCD/Tracing penceresi:



Şekil 8. MaxIm CCD/Tracing penceresi

Şekil 8’de MaxIm CCD/Tracing penceresi görülmektedir. Sens, DRA, DDE ve Error sekmeleri ile ilgili bilgiler aşağıda verilmiştir.

- Sens: Verilen yönden teleskobun mevcut pozisyonun farkı (tolerans). Birimi milli yay saniyedir. Tolerans, Sens değerinden fazlaysa motorlara komut gönderilir ve fark sıfıra indirilir.
- DRA: Hareket eden cismin sağ açıklığının hızı ($\alpha \cdot \cos \delta$) bir saatte yay saniye birimindedir. İlk pozisyon işaret için +/- (hız pozitif ise + işaret yazılmayabilir).
- DDE: Hareket eden cismin dik açıklığının hızı (δ) bir saatte yay saniye birimindedir. İlk pozisyon işaret için +/- (hız pozitif ise + işaret yazılmayabilir).
- Error (arcsec): RA-tolerans sağ açıklık ekseninde, DE-tolerans dik açıklık ekseninde. Birimi yay saniyedir.

DÜĞMELER

- Start: Sens, DRA, DDE değerlerine göre takibi başlatmak.
- Stop: Sens, DRA, DDE değerlerine göre takibi durdurmak.
- Refresh: RA, DE toleransları sıfırlamak.
- Shift DEC: Verilen yönde takip çalıştığında dik açıklık ekseninde teleskobu kaydırma yapar. Mili yay-saniye birimindedir.
- Seçme kutusu Corr: Seçilirse TKS sistemin motorlara komutları göndermeye başlar ve VYT devreye girer.

VYT çalışma prensibi: Bu sistem sadece teleskobun *RA*, *DEC* eksenlerinin göstergelerine göre çalışmaktadır, gökyüzünden herhangi bir geri dönüşümlü sinyal (Autoguider gibi) kullanmaz. VYT'nin devreye girme süresi bir kaç dakika olabilir (en çok 3 dakika, genelde bir kaç saniye). Sens, DRA, DDE değerleri girilince, Start düğmesine basılır ve VYT devreye girmeye başlar. Bu arada RA toleransı hızlı şekilde değişir. VYT devreye girerse RA toleransı DRA hızına uyarak değişmeye başlar. Refresh düğmesine basarak *Corr* kutusunu seçildikten sonra VYT sinyallerini TKS sistemine göndermeye başlar ve teleskop hareket eden cismi takip eder.

TFOSC yarığına cismi getirme işlemleri (Tayf almak için): *Corr* bayrağını kaldırıp ve *Shift DEC* değerini belirtip *Shift DEC* düğmesine basılır. Teleskop pozisyonu değiştirince *Refresh* düğmesine basıldıktan sonra *Corr* bayrağını seçilir. Cismin pozisyonu tekrar kontrol edilir.

VYT'nin Devreden Çıkartılması: VYT durdurmak için *Stop* düğmesine basılır.

RTT150 TFOSC Sistemi İçin ÖNEMLİ UYARILAR:

- Autoguider kapalı olmalıdır.
- Teleskobun yeni kaynağa yönlendirilmesi veya ince ayar yapılması VYT durdurulduktan sonra yapılır.

NOT: Şu ana kadar VYT yapılabilen en hızlı kaynağın öz hareketi 200"/saat'tir.

KAYNAKLAR

1. Oliva, E., Wedged double Wollaston, a device for single shot polarimetric measurements, *A&A*, **123**, 589-592 (1997).
2. Pernechele, C.; Giro, E.; Fantinel, D. Device for optical linear polarization measurements with a single exposure *Proc. SPIE* **4843**, pp. 156-163 (2003).
3. Gorosabel, J.; García Muñoz, A.; Sánchez-Lavega, A.; Hueso, R. and Pérez Hoyos, S. Optical linear polarimetric observations of Solar System bodies using a Wedged Double Wollaston. *EPSC Abstracts*, Vol. 9, EPSC2014, p.300 (2014).
4. Afanasiev, V. L. and Amirkhanyan, V. R. Technique of polarimetric observations of faint objects at the 6-m BTA telescope. *Astrophysical Bulletin*, Vol. **67**, Issue 4, pp. 438-452 (2012).
5. Kawabata, K. S., et al., Properties of FOCAS optical components, *Proc. SPIE*, **4841**, 1219 (2003).
6. Patat, F. and Romaniello, M. Error Analysis for Dual-Beam Optical Linear Polarimetry. *Pub. Astron. Soc. Pac.*, Vol. **118**, pp. 146-161 (2006).
7. 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., Vol. **45**, pp. 90-110 (1972).
8. 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. p. 1591-1594 (2014).
9. Hsu, J.-Ch. and Berger, M., On standard polarized stars. *Astrophys. J*, Vol. **262**, p. 732 (1982).
10. Schmidt, G. D.; Elston, R. & Lupie, O. L. The Hubble Space Telescope Northern-hemisphere grid of stellar Polarimetric standarts , *Astron. J.*, Vol. **104**, p. 1563 (1992).

11. Dolan, J.F., Tapia, S.: Wavelength dependence of position angle in polarization standards. Pub. Astron. Soc. Pac. Vol. **98**, 792-802 (1986).
12. Clemens, D.P., Tapia, S.: Toward selection of intermediate-magnitude polarization standards. Pub. Astron. Soc. Pac. Vol. **102**, 179-182 (1990).
13. 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, spectroscopic, and polarimetric calibration objects. Astron. J. Vol. **99**, 1243 (1990).

POLARİMETRE ÇALIŞMALARINDAN ÇIKAN DİĞER ÇIKTILAR

1. Helhel S., Kahya G., Khamitov I., and Bayar C., *Design of TFOSC Compatible Polarimeter for Polarimetric Observations*, The 35th PIERS, Canton, China, 25-28 Aug. 2014, p.1591-1594.
2. Khamitov I, Helhel S., Kahya G., Kaynar S., Gumerov R.: 2015, *Polarimetric Observations of NEAs at RTT150. First results*, Proc. of the third Gaia-FUN-SSO workshop, 24 - 26 Nov. 2014, Paris Obs., P. Tanga & W. Thuillot eds., p.107-110, 2015.
3. Khamitov İ., Gumerov R., Helhel S., Kahya G., Kaynar S., Investigation of physical characteristics of NEAs on RTT150 in frame of GAIA-FUN-SSO, “HEA-2014 (High Energy Astrophysics), Today and Tomorrow”, IKI, Moscow, Russia, p.68-69, 22-25 Dec. 2014.
4. Helhel S., Khamitov I., Kahya G., Bayar C., Kaynar S., Gumerov R., Double Wedged Wollaston Type Polarimeter Design and Integration to RTT150-TFOSC; Initial Tests, Calibration and Characteristics, *Experimantal Astronomy*, Vol. 39, Issue 3 (2015), Page 595-604, ISSN 0922-6435.
5. Hamitoğlu İ., Helhel S., Kahya G., Kaynar S., Bayar C., Okuyan O., RTT150 - TFOSC Uyumlu Optik Polarimetre Tasarımı, UAK (Ulusal Astronomi Kongreleri), ANKARA, 02 - 06.02. 2015.
6. Khamitov İ., Gumerov R., Bikmaev I., Aslan Z., Helhel S., Kahya G., Pinigin G.: 2015, Investigations of the Solar System Objects at RTT150, The 6th Moscow Solar System Symposium (6M-S3) IKI, Moscow, 5-9 October 2015, Abstract booklet, ab-275.
7. Gizem KAHYA, Akdeniz Üniversitesi FBE, Elektrik-Elektronik Müh. ABD., Yüksek Lisans Tezi, Aralık, 2015.



**Bu kılavuzda yer alan içerik TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi ve 113F263 Numaralı
TÜBİTAK Projesine aittir. İzinsiz kullanılamaz.**

