

Suni Yıldız Düzenegi - LabStar

Tuncay Özışık¹★, Altuğ Özışık²

¹ TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi, 07070 Antalya, Türkiye

² Sprutcam Tech Yazılım Ltd. Şti., 34776 İstanbul, Türkiye

Accepted: February 13, 2025. Revised: February 13, 2025. Received: November 29, 2024.

Özet

Bu çalışmada, astronomi ve uzay bilimleri alanında cihaz geliştirme veya mevcut gözlemsel donanımların bakım/onarım veya test/kalibrasyon süreçlerinde “yıldız simatörü” gibi kullanılabilecek düşük maliyetli ve pratik bir nokta ışık kaynağının yapılışı anlatılmıştır. Laboratuvar ortamında veya açık havada kullanılabilecek bu cihaz istendiğinde sabit parlaklıkta bir nokta ışık kaynağı gibi, kalibrasyonu yapıldığında da belirli bir uzaklıkta görünen parlaklığı ayarlanabilen bir yıldız gibi davranabilmektedir.

Abstract

In this study, we describe the construction of a low-cost and practical point light source that can be used as a “star simulator” in the field of instrument development in astronomy and space sciences or for maintenance/repair or testing/calibration of existing observational equipment. This device, which can be used in a laboratory environment or outdoors, can act as a point light source with constant brightness when desired, and as a star with adjustable visible brightness at a certain distance when calibrated.

Anahtar Kelimeler: point light source – star simulator – astronomical instrumentation

1 Giriş

Astronomi ve uzay bilimlerinde kullanılan teleskoplar, CCD kameralar, tayfçekerler, uydularda kullanılan yıldız takip sistemleri gibi gözlemsel donanımların geliştirilme veya test/ayar süreçlerinde nokta ışık kaynaklarına ihtiyaç duyulur. İdeal olan, sözkonusu donanımı kaliteli bir gökyüzünde gerçek bir yıldız ile test etmek veya ayarlamaktır. Fakat bunun için gece gökyüzüne ihtiyaç duyulması, iyi hava şartlarının beklenmesi, ışık kirliliği vb sebeplerle Ar-Ge sürecinde etkin bir yol olmadığı için ve dünya atmosferinin bozucu etkisini sürece karıştırmamak için laboratuvar ortamlarında simatörlere ihtiyaç duyulur. Literatürde bu tür simatörlerle ilgili çalışmalara bakıldığında genellikle uydulardaki yıldız takip sistemlerinin geliştirilmesi amacıyla hazırlanmış yazılımsal ya da hibrit (yazılım-donanım) simatörlere rastlanmaktadır (Şengil & Stambouli 2021; Ardi ve diğ. 2018). Donanımsal olarak üretilmiş bir yıldız simatörüne ötegezegen polarimetresi konusunda bir çalışmanın içinde rastlanmıştır (Jeffers ve diğ. 2008). Bu çalışmada $m_v=0$ olacak şekilde bir yıldız temsil eden fiber destekli bir nokta ışık kaynağı dizaynı yapılmıştır. Diğer bir çalışmada ise $m_v=0-5$ arasında değiştirilebilen ve ayrıca zemin şiddeti de ayarlanabilen bir nokta ışık kaynağının dizayn edildiği karmaşık bir sistem geliştirilmiştir (Sun ve diğ. 2017).

TÜBİTAK Ulusal Gözlemevinde (TUG) kullanılan teleskoplar, CCD kameralar, astronomik görüş sistemleri, gökyüzü kameraları gibi donanımlarla ilgili arıza, test veya bakım çalışmalarını gökyüzünden bağımsız olarak bir laboratuvar ortamında kolay ve hızlı bir şekilde gerçekleştirebilme ihtiyacı sonucunda bu pratik sistem geliştirilmiştir. İlk olarak sadece sabit parlaklıkta bir nokta ışık kaynağı şeklinde bir prototip hazırlanmış ve 20 cm ayna

çaplı bir teleskobun ikincil aynasının kolimasyon ayarı sırasında test edilerek olumlu sonuç alınmıştır. Pratik olduğu görülen bu düzenek daha sonra, parlaklık kontrollü ve kullanımı kolay LabStar adını verdiğimiz bir ürün haline getirilmiştir.

2 Yapısı

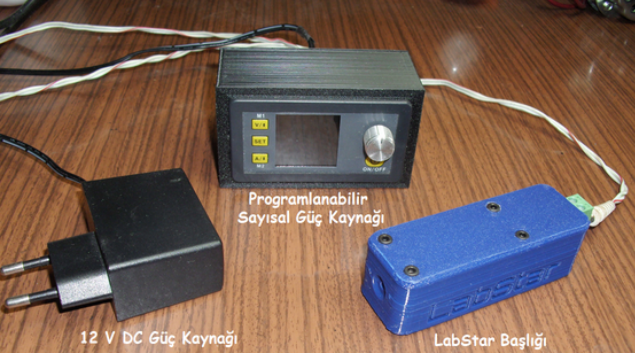
Bir optik sistem ve odağına yerleştirilmiş elektronik bir görüntüleme/foton sayma alıcısı ile algılanabilecek ve parlaklığı hassas olarak kontrol edilebilecek bir ışık kaynağının, belirli bir uzaklıktan yıldız gibi bir nokta ışık kaynağını gerçekçi bir şekilde temsil edebilmesi ve kullanımının da yeterince pratik olması öngörülmüş, tasarım bu özellikleri sağlayacak şekilde gerçekleştirilmiştir.

LabStar, temel olarak çıkış voltajı çok hassas (± 0.01 V DC) ayarlanabilen programlanabilir bir Sayısal Güç Kaynağı (DPS) ve içinde bir mini ışık kaynağının beslediği fiber-optik (f/o) bir kablonun olduğu bir başlıktan oluşmaktadır. Işık kaynağı olarak filamentli mini ampul veya parlak led kullanılabilir. Mini ampul kullanılması durumunda çok yayan filamentin zamanla ısınması dolayısıyla ışığın çok kararlı olmadığı görülmüş ve sadece noktasal ışık kaynağı şeklinde kullanılabileceği anlaşılmıştır (Model B). Hassas ve kararlı bir şekilde parlaklığı kontrol edilebilen tasarımda ise parlak led kullanılmıştır (Model L). Programlanabilen DPS sabit akım ve sabit gerilim verebilme özelliğine sahip olduğundan, doğrudan beslendiğinde parlaklığı değiştirilemeyen bir ledin parlaklığını geniş bir aralıkta olmak üzere hassas bir şekilde değiştirebilir ve kararlı tutabilir. Işığı taşıyan ve yayan malzeme olarak bilgisayar ağlarının bağlantılarında kullanılan seramik başlıklı “f/o patch” kullanılmıştır. Işığın çıktığı son fiber noktasının (cladding) çapı 125 mikrondur ve kullanımda tercih edilen 12 m’lik LabStar uzaklığındaki açısal çapı 2.15” olmaktadır. Kapalı bir sistem olan LabStar başlığı ile DPS kutulaması ise bilgisayar ortamında

★ basri.tembele@gmail.com

Çizelge 1. LabStar modelleri ve özellikleri. Her iki modelde f/o “ST, 50/125, MM” olarak kullanılmıştır. Kolon tanımları: V_b : Besleme Voltajı; m_{ty} : Temsili Yıldız Parlaklığı (LabStar uzaklığı: 12 m). Notlar: (1) “Straw Hat” Süper Parlak 5 mm Led, 6000-6500 K; (2) Mini tip, 3 mm çap, 12 V, 30 mA.

Model	Işık Kaynağı	V_b	m_{ty}
LabStar-L	Led (1)	0-3.5 V DC	$-0.5^m - +7.5^m$
LabStar-B	Mini Ampul (2)	0-12 V AC/DC	-



Şekil 1. LabStar düzeneği.

tasarlanmış ve 3-Boyutlu yazıcıda basılmıştır (Şekil 1). Üretilen iki farklı model LabStar’a ait özellikler Çizelge 1’de verilmiştir.

3 Kalibrasyon ve Test

LabStar’ın bir yıldızdan gelen ışığı temsil edebilmesi ancak bir kalibrasyon işlemi ile mümkündür. Bu kalibrasyon sayesinde belirli görünür parlaklıklara sahip yıldızlar bilinen bir uzaklığa yerleştirilmiş LabStar ile temsil edilebilir. Kalibrasyon işlemi iki aşamadan oluşmaktadır:

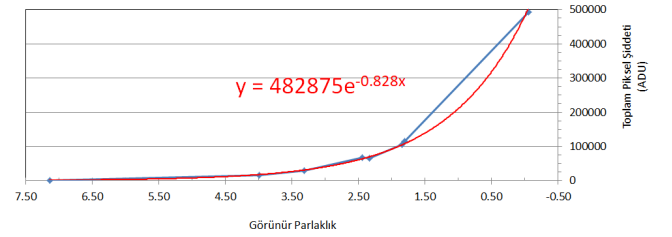
- Astronomik bir gözlem sistemi (teleskop+CCD kamera, teleobjektif+DSLR kamera vb.) ile gökyüzünde çeşitli görünür parlaklıklardaki yıldızların gözlemleri.
- Aynı gözlem sistemi ve gözlem ayarları ile (açıklık, poz süresi, ASA vb.) belirli bir uzaklığa yerleştirilmiş LabStar gözlemleri.

Bu çalışmada kalibrasyon ve testler için Orion StarMax 102 EQ modeli Maksutov-Cassegrain türü bir teleskop (D: 102 mm, f/12.7) ve MaxIm DL yazılımı ile kontrol edilen Canon EOS 50D DSLR kamera kullanılmıştır. Bu sistem ile elde edilen görüntüler 2385×1589 piksel formatında ve 14-bit olarak kaydedilmiş, görüntülen alan 48’×32’ ve görüntü ölçeği de 1.22” piksel⁻¹ olmuştur. Görüntülere sadece “kara akım” düzeltmesi uygulanmıştır. Kalibrasyonun ilk aşamasında Avcı ve Büyük Ayı takımıyıldızları bölgesinden temiz ve aysız bir gecede farklı görünür parlaklıktaki yıldızlar gözlenmiştir (Çizelge 2), gözlem verilerinin fotometrik analizleri de SAO DS9 programıyla yapılarak Şekil 2’de verilen grafik elde edilmiştir.

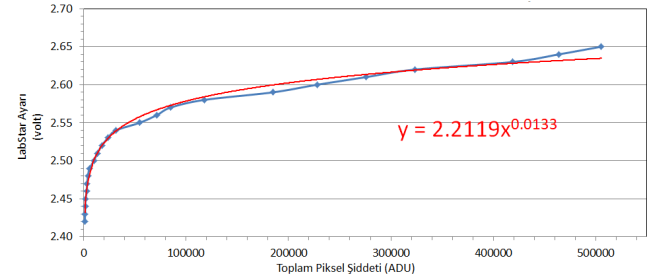
Kalibrasyonun ikinci aşaması için gözlem sistemi karanlık bir ortamda LabStar’ın 12 m uzağına yerleştirilmiştir. Burada dikkat edilecek en önemli nokta, kullanılan gözlem sisteminin ve ayarlarının (teleskop, CCD, poz süresi, ASA vb) ilk

Çizelge 2. LabStar kalibrasyonu için gökyüzü gözlemleri. Tüm çekimlerde kamera 100 ASA değerine ayarlanmıştır. Kolon tanımları: m_v : Görünür Parlaklık, t : Poz Süresi, d : Fotometrik Açıklık Çapı, N : Açıklıktaki Piksel Sayısı, T_C : Toplam Şiddet.

Yıldız	m_v	t (s)	d (px)	N	T_C (ADU)
Arcturus	-0.05	0.7	18	255	493935
Dubhe	1.81	0.7	18	255	115529
Alkaid	1.85	0.7	18	255	105592
Merak	2.34	0.7	18	255	65383
Phecda	2.44	0.7	18	255	68210
Megrez	3.32	0.7	18	255	29989
Alcor	3.99	0.7	18	255	16753
SAO 15379	7.14	0.7	18	255	13338



Şekil 2. LabStar kalibrasyonunun ilk aşamasında yapılan gökyüzü gözlemleri. Mavi noktalar ve çizgiler yıldız ölçümlerini, kırmızı noktalar ve çizgi “Exponansiyel Uyum”u göstermektedir.



Şekil 3. LabStar kalibrasyonunun ikinci aşaması için laboratuvar ortamında yapılan gözlemler. Mavi noktalar ve çizgiler LabStar gözlemlerini, kırmızı noktalar ve çizgi “Power Uyumunu” göstermektedir.

aşamada yapılan gece gözleminde olduğu gibi aynı şekilde muhafaza edilmesidir. Bu kurgu kullanılarak, adım adım belirli parlaklıklara ayarlanan LabStar’ın görüntüleri alınmıştır. Görüntüler, gökyüzü gözlemlerinin indirgenmesinde kullanılan ayarlarla aynı olacak şekilde, yani “Fotometrik Açıklık Çapı: 18 piksel” ve “Açıklıktaki Piksel Sayısı: 255” değerleri kullanılarak SAO DS9 programı ile analiz edilmiş ve Şekil 3’de verilen grafik elde edilmiştir.

Bu şekilde iki tür gözlem verisi elde edildikten sonra seçtiğimiz uzaklıkta (12 m) LabStar’a ait “Volt-Görünür Parlaklık” ilişkisini bulabilmek için gözlem setlerine ait “Görünür Parlaklık-Toplam Şiddet” (Şekil 2) ve “Volt-Toplam Şiddet” (Şekil 3) grafikleri ve bunlara uygun fit denklemleri kullanılarak aşağıda verilen “Volt-Görünür Parlaklık” bağıntısı oluşturulmuştur:

$$\text{Voltaj} = 2.2119 (482875 \text{ EXP} (-0.828 \times \text{MV}))^{0.0133} \quad (1)$$

Çizelge 3. Farklı kalibrasyon setleri kullanıldığında aynı parlaklıklara karşılık aynı LabStar ayarları elde edilmiştir. LabStar uzaklığı 2 m olarak alınmıştır.

SET	m_v	LabStar (V)
1	3	2.45
	6	2.38
2	3	2.45
	6	2.38

Bu bağıntı, istenen bir görünür parlaklık (MV, kadir) için ayarlanması gereken Labstar gerilim değerini (Volt) verebilmektedir. Bu değere ayarlanan LabStar, çalışılan sistemden 12 m uzağa yerleştirildiğinde seçilen görünür parlaklığı verecek şekilde ışımaya yapacaktır. Tüm bu denklem ve hesaplamalar bir Excel çalışma sayfasında toparlanarak LabStar ayarının ve testlerinin kolaylıkla yapılabilmesi sağlanmıştır.

LabStar'ın belirli bir uzaklıktan görünür parlaklığı ayarlanabilen bir yıldız gibi ışık yayabildiğini göstermek için yukarıda anlatılan kalibrasyon işlemlerinin aşağıdaki iki farklı algoritma ile test edilmesi gerekir.

- Farklı kalibrasyon düzeneklerinde aynı uzaklıklardaki LabStar ayarlarının karşılaştırılması.
- Belirli bir kalibrasyon düzeneğindeki LabStar gözlemleri ile gerçek gökyüzü gözlemlerinin doğrudan fotometrik olarak karşılaştırılması.

Bu algoritmaları denemek için 50 mm, f/1.8–16 bir objektif ile RPi V2 CCD kameradan oluşan bir gözlem düzeneği daha hazırlanmıştır. Bu donanım ile farklı objektif/CCD ayarlarında (odak oranı, poz süresi vb) gökyüzü ve objektiften 2 m uzaklığa yerleştirilmiş olan LabStar gözlemlerinden oluşan ve aşağıda detayları verilen kalibrasyon setleri analiz edilerek Excel çalışma sayfasına girilmiştir (setlerde Rpi V2 CCD kamera ve 2 m LabStar uzaklığı kullanılmıştır):

SET 1:	50 mm f/8 objektif,	5 s poz
SET 2:	50 mm f/4 objektif,	0.75 s poz

Yapılan karşılaştırmalarda aynı LabStar uzaklığı için farklı kalibrasyon setlerinin kullanıldığı LabStar ayarlarının aynı *görünür parlaklık için aynı kaldığı* görülmüştür. Örnek olarak seçilen iki parlaklığa ait sonuçlar Çizelge 3'te verilmiştir.

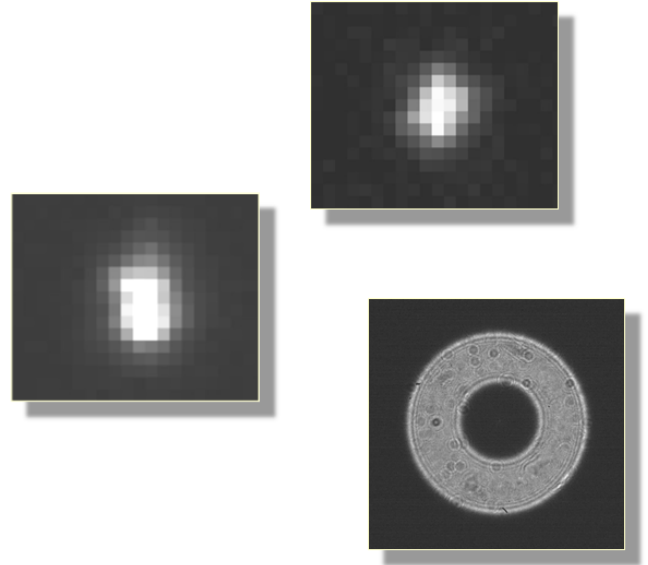
Fotometrik olarak LabStar testi için; aynı bir kalibrasyon setinde önce bir gökyüzü gözlemine ait görüntüdeki birkaç yıldızın uygun bir yazılım ile (örn. Maxlm DL) fotometrisi yapılır. Aynı yazılımda bu sefer aynı kalibrasyon setine ait LabStar görüntülerinden herhangi biri açılır ve yazılımın fotometri ayarlarını değiştirmeden doğrudan LabStar'ın ürettiği yıldız görüntüsünün parlaklığı ölçülür. Bu parlaklık değeri Denklem 1'de kullanıldığında elde edilen LabStar gerilim değeri ile açılan LabStar gözlemine ait ayar geriliminin aynı veya birbirine çok yakın olması gerekir. Aşağıda bu teste ait iki örnek verilmiştir.

4 Sonuçlar

İki farklı test algoritmasının gösterdikleri ve diğer testlerle birlikte LabStar için aşağıdaki sonuçlar verilebilir:

Çizelge 4. LabStar testi için yapılan iki ölçüm sonuçları. İlk kolon MaximDL'de kullanılan setleri, m_{cal} parlaklık kalibrasyon değerini, m_{ap} "aperture fotometri" değerini (Excel'e girilen) ve LabStar kolonu ise LabStar'da ayarlanan gerilim değerini gösterir.

MaxIM DL	m_{cal}	m_{ap}	LabStar (V)
set3-dubhe.fit	1.81		
set3-2.51V.fit		4.26	2.51
set1-SAO132406.fit	3.77		
set3-2.45V.fit		2.92	2.45



Şekil 4. LabStar'ın ürettiği odaklanmış ve odak dışı yıldız görüntüleri.

- LabStar, çalışılacak astronomik gözlem sisteminden belirli bir uzaklıkta görünür parlaklığı ayarlanabilen bir yıldız ışığını temsil edebilmiştir. 2 m ve 12 m gibi farklı uzaklıklara yerleştirilmiş LabStar-L modeli çeşitli gözlem sistemleri ile başarılı bir şekilde denenmiştir.
- Kalibrasyon için farklı parlaklıklarda çok sayıda yıldızın gözlenmesi ile LabStar'ın doğruluğu ve temsil edebileceği yıldız parlaklık aralığı artırılabilir. Bu çalışmada test edilen LabStar-L -0.5^m ila $+7.5^m$ aralığındaki yıldızları temsil edebilmiştir.
- Kullanılan sayısal güç kaynağının ayar kabiliyeti (± 0.01 Volt) LabStar'ın "kadir" hassasiyetini belirlemiş ve doğruluğu $\pm 0.35^m$ olarak hesaplanmıştır.
- Piyasada bulunabilecek malzemelerle ve oldukça ekonomik bir maliyetle üretebilecek LabStar'ın kalibrasyonu bir kere dikkatlice yapıldıktan sonra kullanımı kolay ve güvenilirdir.
- LabStar şimdiye kadar çeşitli çaplarda birkaç seyyar teleskobun optik kolimasyon ayarında, **TUG Astronomik Görüş Sisteminin** onarımı ve ayarında, TUG Alta U47 CCD pozlayıcısının (shutter) onarımında ve çeşitli TUG CCD testlerinde başarıyla kullanılmıştır (Şekil 4).
- Astronomik donanımlara ait arıza/bakım/test süreçlerinde zamandan ve açık gökyüzünden bağımsız olarak LabStar ile çalışabilmek önemli bir avantaj olarak gözükmektedir.

Teşekkür

LabStar kalibrasyon gözlemlerinde kamera desteği için Doç. Dr. Hasan Esenođlu'na, f/o başlık hazırlığında yardımları için Uzm. Tekn. Ali Tat'a ve imkanlarından yararlandığımız TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi'ne teşekkür ederiz.

Kaynaklar

Ardi N., ve diğ., 2018, 6th International Seminar of Aerospace Science and Technology, Journal of Physics: Conf. Series, 1130
Jeffers S., ve diğ., 2008, Proc. of SPIE, The International Society for Optical Engineering, 7014
Sun G., ve diğ., 2017, Chin. J. Space Sci., 37, 760
Şengil N., Stambouli O., 2021, 11th Ankara International Aerospace Conference, 1

Access:

M25-0320: [Turkish J.A&A](#) — Vol.6, Issue 3.