

# BL Lac Cisimlerinin Çokdalgalı Boylu Çalışmaları

Ergün Ege<sup>1</sup>  , Aykut Özdönmez<sup>2</sup> 

<sup>1</sup> İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri, 34116, Beyazıt, İstanbul, Türkiye

<sup>2</sup> Atatürk Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri, 25240, Yakutiye, Erzurum, Türkiye

Accepted: November 21, 2022. Revised: November 21, 2022. Received: November 4, 2022.

## Özet

Bu çalışmamızda bazı BL Lac cisimleri için yaptığımız gözlemsel çalışmaların sonuçlarını sunuyoruz. Türkiye'deki optik teleskopları kullanarak BL Lac cisimleri için çokdalgalı boylu gözlem kampanyaları yürütüyoruz ve aynı zamanda uluslararası çalışma grupları ile işbirlikleri yürütüyoruz. Bu kaynaklar için, elektromanyetik tayfın neredeyse tüm bölgelerinde önceden öngörülemez hızlı ve yüksek genlikli akı değişimleri bulunduğu için, optik bölgedeki değişimleri tespit ederek renk trendi ile tayfsal davranışını araştırmayı hedefliyoruz. Bu tür gözlemsel çalışmalar potansiyel modellerin test edilmesine, merkezi bileşenlerin parametrelerine sınırlar konmasına olanak tanımakta ve bu kaynakların resimlerinin tamamlanmasına katkıda bulunmaktadır.

## Abstract

In this study, we present the results of our observational studies on selected BL Lac objects. We have been running multi-band observational campaigns for BL Lac objects using optical telescopes in Turkey and collaborate with international working groups. We aim to detect flux variations in optical bands and investigate the color trend and spectral behaviour of these sources which show unpredictable rapid and high amplitude variations in almost the whole electromagnetic spectrum. These observational studies allow us to test the potential models, put limits on the parameters of the central components and contribute to complete the picture of these targets.

**Anahtar Kelimeler:** Active Galactic Nuclei – BL Lacertae – Blazar

## 1 Giriş

Aktif Galaksiler evrenimizdeki en güçlü enerji kaynaklarıdır. Merkezlerinde bir Süper Kütleli Kara Delik (SKKD) barındıran bu kaynaklar, bu SKKD'ye yoğun madde akışından dolayı radyo bölgesinden gamma bölgesinde kadar elektromanyetik tayfın tüm bölgelerinde  $10^{41}$  erg s<sup>-1</sup> ve  $10^{48}$  erg s<sup>-1</sup> aralığında ışınım yapabilir (Woo & Urry 2002) ve bu ışınım ev sahibi galaksinin yıldız ve toz kaynaklı ışınımından daha baskın görünür. Bu galaksilerin merkezi yapılarına Aktif Galaksi Çekirdeği (AGÇ) denir (Beckmann & Shriver 2012). Bir AGÇ'nin çizimi Şekil 1'de görülebilir (Urry & Padovani 1995).

SKKD çevresinde toz ve gazdan oluşan bir yığılma diski ile bu diski çevreleyen simit şeklinde bir torus yapısına sahiptir. Ayrıca yine merkezi bölgede Dar Çizgi Bölgeleri (DÇB) ile Geniş Çizgi Bölgeleri (GÇB) olarak ifade edilen moleküler yapılar bulunur. Kutuplarından her iki yöne çıkan ve yüzlerce kpc mesafelere erişebilen jet yapılarına sahip olabilirler. Bu jet yapıları ev sahibi galaksi ve Yıldızlar Arası Ortam (YAO) ile etkileşebilir (Wagner ve diğ. 2013).

BL Lac cisimleri AGÇ'lerin bir sınıfı olan Blazar'ların bir türüdür. Blazar'lar sahip oldukları jetin doğrultusu ile gözlemcinin bakış doğrultusu arasında  $10^\circ$ 'den küçük açılar bulunan cisimlerdir. Jet yapısı elektromanyetik emisyonunda baskındır, bu nedenle ev sahibi galaksi ve merkezi yapı çoğunlukla tam olarak gözlenemez. BL Lac cisimleri optik tayflarında zayıf ya da olmayan emisyon çizgileri ile tanınırlar. Ve en önemlisi bu cisimler elektromanyetik tayfın neredeyse tamamında hızlı ve yüksek genlikli akı değişkenliği, hızlı

polarizasyon değişkenliği gösterebilirler (Heidt & Wagner 1996; Ulrich ve diğ. 1997). Blazar'lar ve onların bir alt türü olan BL Lac cisimlerindeki değişimler, dakika/saat zaman ölçeklerinde Gün İçi Değişim (GİD), gün/hafta zaman ölçeklerinde Kısa Dönemli Değişim (KDD) ve ay/yıl zaman ölçeklerinde Uzun Dönemli Değişim (UDD) olarak sınıflandırılır. Bu zaman ölçeklerindeki akı ve renk değişimlerinin analizi, emisyonun kökeni hakkında ipuçları verebilir. Modellere göre, renk değişimi jet yapısının, yığılma diskinin ve diğer merkezi bileşenlerin katkısına bağlı olarak değişebilir. Bir diğer konu da akı ve renk değişiminde periyodisite araştırmasıdır. Merkezi yapılar ve/veya jet yapısı periyodisite oluşturabilir. OJ 287 cisimi örneğinde ikinci bir SKKD varlığı öne sürülmektedir (Sillanpää ve diğ. 1988). Jet yapısının presasyonu yani jet eksenine gözlemcinin bakış doğrultusu arasındaki açının değişimi, Doppler faktörünün değişimine, dolayısıyla gözlenen akıda değişime neden olabilir (Agarwal ve diğ. 2022a).

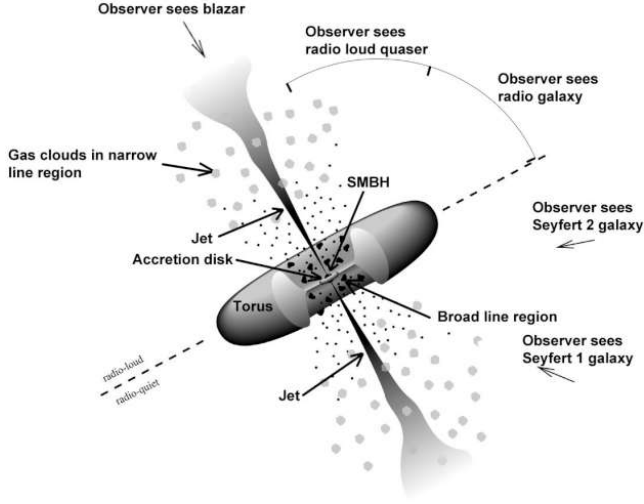
Bu kaynakların eş zamanlı, çokdalgalı boylu, uzun dönemli gözlemleri, astrofiziksel yapılarının ortaya çıkarılması ve öne sürülen modellerin test edilmesi için çok önemlidir. Bu amaçla Türkiye'deki optik teleskoplar ile takip gözlemleri yaparak, uluslararası çalışma gruplarıyla iş birliği yapıyoruz.

## 2 Gözlemler ve Yöntem

Gözlemsel çalışmalarımızı Türkiye'deki özelliklerini aşağıda anlattığımız optik teleskopları kullanarak yürütüyoruz.

**T100:** Antalya Bakırtepe'deki TÜBİTAK yerleşkesinde bulunan teleskop, 1 m. çapında bir aynaya, f/10 odak oranına, 0.11" çözünürlüğe sahiptir. Kriyojenik yöntem ile -90°C dereceye kadar soğuyabilen, 4k×4k CCD ile donatılmış, SDSS ve Bessel UBVRI filtrelerine sahiptir. Bu teleskobu,

\* ergunege@istanbul.edu.tr



Şekil 1. Aktif Galaktik Çirdeklerin bir çizimi Urry & Padovani (1995).

özellikle GİD belirleyebilmek amacıyla gecelik sürekli (çoğunluk R bandı) gözlemleri için kullanılmaktadır.

**T60:** Antalya Bakırtepe'deki TÜBİTAK yerleşkesinde bulunan teleskop, 0.6 m. çapında bir aynaya, f/10 odak oranına, 0.23" çözünürlüğe sahiptir. 2k×2k CCD ile donatılmış, SDSS ve Bessel UBVRİ filtrelerine sahiptir. Robotik modda çalışan bu teleskop, KDD ve UDD belirlemek amacıyla yapılan takip gözlemleri için idealdir.

**IST60** Çanakkale Ulupınar Gözlemevi yerleşkesinde bulunan teleskop, 0.6 m. çapında bir aynaya, f/8 odak oranına sahiptir. 1k×1k CCD ve Bessel UBVRİ filtrelerine sahiptir. Hem robotik hem de manuel modda çalışabilen teleskop, Hem GİD hem de KDD ve UDD belirlemek amacıyla kullanılabilir.

Bu teleskoplar dışında yurt dışında işbirliği içinde olduğumuz gözlemlerinden de veri alma olanaklarımız bulunmaktadır.

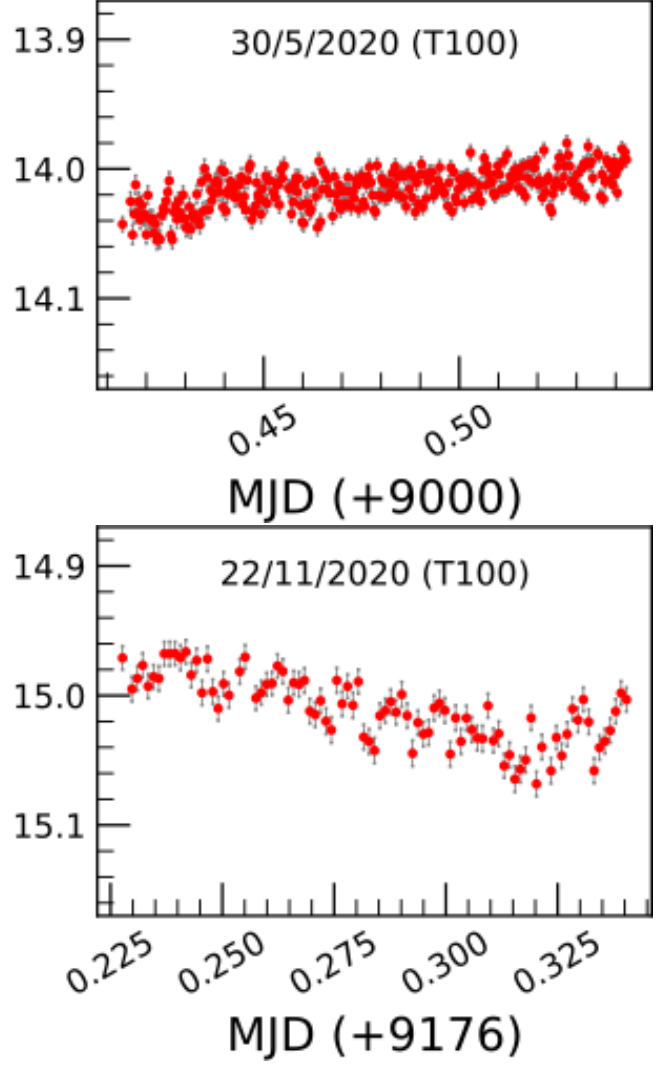
Bu optik teleskoplar ile yapılan gözlemler, standart Bias/Dark/Flat/Kozmik ışın kalibrasyonundan geçirilmektedir. Kalibrasyon ve veri indirgeme işlemleri, astropy, ccdproc, photutil gibi Python kütüphaneleri kullanılarak tarafımızdan geliştirilmiş yazılımlarla yapılmaktadır.

Veri indirgeme aşamasından sonra her bant için ışık eğrileri oluşturulmaktadır. Bu veriler kullanılarak farklı istatistik yöntemler şu amaçlar için kullanılmaktadır.

- akı değişimi
- bantlar arasındaki akı korelasyonları
- renk değişimi ve bu değişimin akıya bağlılığı
- parlamalar
- değişimlerin zamana bağlılığı ve akı/renk değişimi
- periyodisite

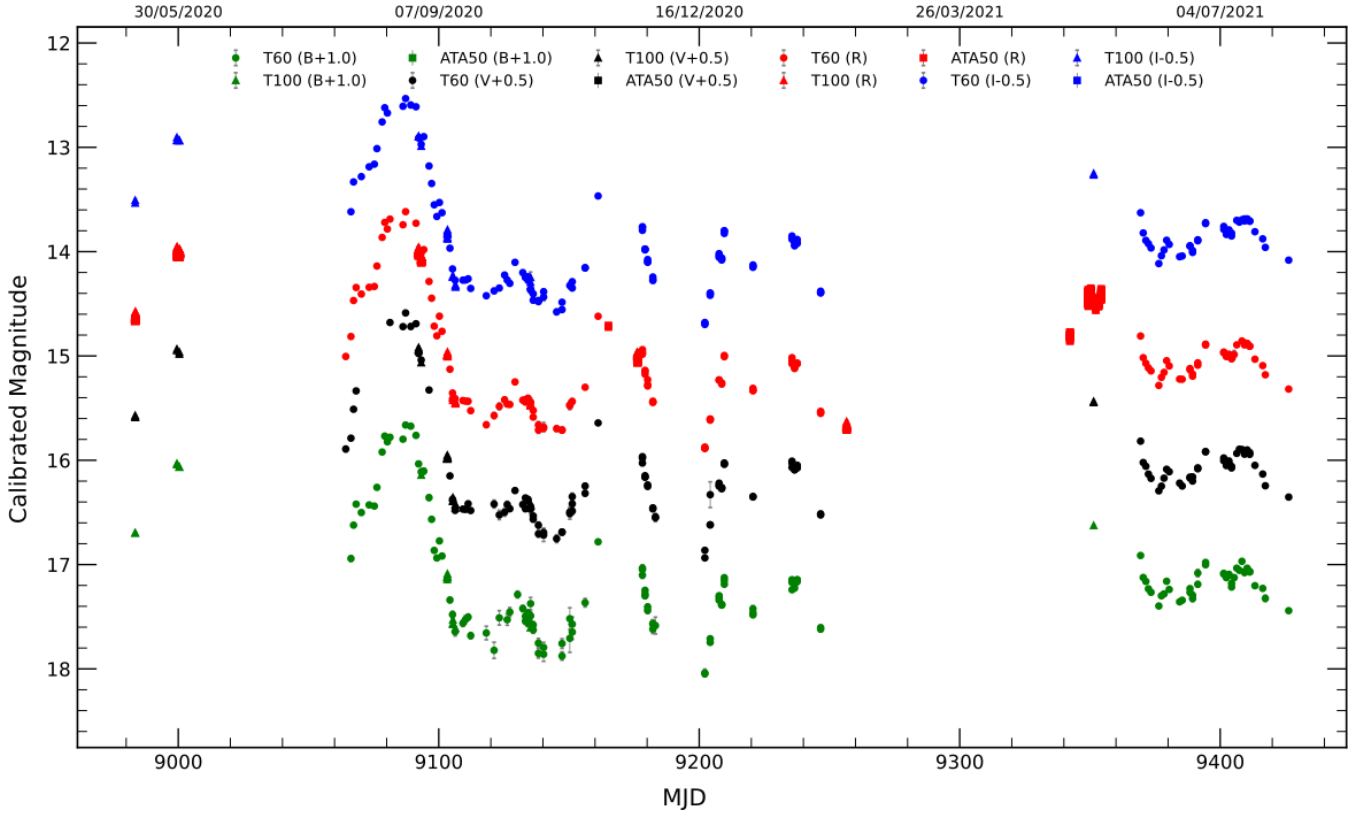
### 3 Bulgular

BL Lac sınıfından iki cisim olan S5 1803+784 ve PG 1553+113, çalışmalarımızın bu aşamasına kadar değişkenlik araştırması yaptığımız ve sonuçlarını yayınladığımız iki kaynaktır. Bu cisimleri takip ettiğimiz Mayıs 2020 - Temmuz 2021 süresince S5 1803+784 cisminin 122 gecede BVRI filtrelerinde 2100 görüntüsü aldık. T100 teleskobu ile en az 1 saat olacak



Şekil 2. Gece boyu değişimi tespit ettiğimiz iki gecenin ışık eğrileri Agarwal ve diğ. (2022b).

şekilde gerçekleştirdiğimiz 13 gecelik gözlem sonucunda elde ettiğimiz ışık eğrilerine F testi ve ANOVA testi uyguladık. 30 Mayıs 2020 ve 22 Kasım 2020 tarihlerinde kaynağın gece içi akı değişimi gösterdiğini (Şekil 2), Değişim genliklerinin sırasıyla 7.47 ve 10.10 olduğunu belirledik. Önemli bir bulgu olarak kaynak 25 Ağustos 2020 tarihinde bilinen en parlak durumda ( $R=13.617$ ) tarafımızdan gözlemlendi. Takip ettiğimiz süre boyunca S5 1803+784 cisminin uzun dönemli ışık eğrisi Şekil 3'de görülebilir. Bu uzun dönemli ışık eğrisine uyguladığımız Ayrık Korelasyon Fonksiyonu (AKF) optik bantlardaki akının bir gecikme olmaksızın uyumlu olduğunu göstermektedir. Bu uyum bu bantlardaki emisyonun kaynağının aynı merkezi bölge olduğu şeklinde yorumlanabilir. Tüm gözlem süresi boyunca optik bantlar üzerinde elde ettiğimiz Tayfsal indekslerin tamamı kaynağın Parlakken Daha Mavi (PDM) olduğunu ( $r \approx 0.5$ 'dan  $r \approx 0.9$ 'a), bu karakterin parlama döneminde daha güçlü olduğunu göstermiştir. Işık eğrisinde herhangi bir periyod bulgusuna rastlanmamıştır (Agarwal ve diğ. 2022b). S5 1803+784 cismi için yapılan bir çalışmamız olan Priya ve diğ. (2022) yayında optik ışık eğrisi,  $\gamma$  verisi



Şekil 3. S5 1803+784'ün Uzun Dönemli Işık Eğrisi Agarwal ve diğ. (2022b).

(Fermi-LAT), X-ışın verisi (Swift-XRT ve NuSTAR), UV verileri (Swift-UVOT) ve radio verisi (OVRO) birlikte analiz edilmiştir. Oluşturulan Tayfsal Enerji Dağılımı (TED) kamuya açık olarak erişilebilen JETSET yazılımı (Tramacere 2020) ile modellenmiş ve geniş bant emisyonun açıklaması için "one-zone synchrotron-self Compton (SSC)" modelinin uygun olduğu belirlenmiştir. Işık eğrisi analiz sonuçlarına göre en kısa zaman ölçeği 0.95 gün, minimum Doppler faktörü 6.8 olarak bulunmuş ve bu sonuçlar ile emisyon bölgesinin boyutu  $1.0 \times 10^{16}$  cm olarak hesaplanmıştır.

Çalışması yürütülen bir başka BL Lac cismi olan PG 1553+113 SKKD çifti barındırma olasılığı olan bir kaynaktır. Bu cismi Ocak 2019 ile Ağustos 2019 aralığında 76 gece gözleyerek, elde edilen verilerin başka çalışmalarla daha önce elde edilen gözlemsel verilerle birleştirilmesi ile 15 yıllık ışık eğrileri oluşturulmuştur. Farklı periyod analizi yöntemlerine göre  $2.21 \pm 0.04$  yıllık bir periyod ortaya çıkarılmıştır. Bu sonuç merkezde SKKD çifti nedeniyle gerçekleşen jetteki presesyon sonucu olarak yorumlanmıştır. Elde edilen bir diğer 210 günlük periyod değeri ise jet yapısının geometrisi ile ilgili olabilir (Agarwal ve diğ. 2022a).

#### 4 Tartışma ve Sonuç

BL Lac cisimleri elektromanyetik tayfın tüm bantlarında oldukça değişken cisimlerdir ve bu değişim genellikle öngörülemez. Farklı bantlardaki akı değişimine merkezi bölgedeki birbiri ile etkileşen bileşenlerin çeşitli emisyon mekanizmaları neden olduğunu düşünülmektedir. Farklı gözlem araçlarının eş zamanlı, çokdalgaboylu, mümkün olduğunca

sürekli ve uzun dönemli gözlemleri bu cisimlerin astrofiziksel özelliklerini ortaya çıkarılabilmesi için çok gereklidir. Yaptığımız türden gözlemsel çalışmalar bu cisimlerin sahip olduğu SKKD kütlelesinin, yığılma diskinin boyutlarının ve kütle aktarma oranının, merkezi bileşenlerin geometrisinin, jetteki olası presesyonun, bu bileşenlerin ev sahibi galaksi ile etkileşimlerinin ortaya çıkarılmasına katkı sağlamaktadır. Bu amaçla hem gece-içi hem de uzun dönemli gözlemler için takip projeleri yürütüyoruz. Farklı zaman ölçekleri için akı değişimlerinin, renk trendinin ve tayfsal davranışın analizleri, bu cisimleri açıklayan modellerin test edilmesine, merkezi yapıların parametrelerine sınırlar getirilebilmesine ve her bir kaynağa ait öznel özelliklerin ortaya çıkarılmasına olanak sağlamaktadır. Çalışma işbirlikleri ile yaptığımız gibi, optik gözlem verilerinin radyo ve yüksek enerji bantlarındaki gözlem verileri ile birleştirilerek birlikte analiz edilmesi, emisyon mekanizmalarının anlaşılması ve model çalışmaları için bu olanakları artırmaktadır. Bu nedenle ulusal ve uluslararası işbirlikleri kurarak çokdalgaboylu kampanyalar düzenlemek bu çalışmaları daha verimli hale getirmektedir.

BL Lac sınıfından bazı cisimlerin (örn. BL Lac, S5 0716+714 ve 1ES 1959+650) takip gözlemlerine bir süredir devam etmekteyiz. Bu kaynaklar için elde ettiğimiz sonuçları yakın zamanda yayınlamayı amaçlıyoruz.

#### Teşekkür

Tübitak Ulusal Gözlemevi'ne (TUG) T60 ve T100 teleskopları kullanılarak yürütülen 1505 ve 1486 nolu projelere desteği için teşekkür ederiz. Atatürk Üniversitesi Astrofizik Araştırma ve Uygulama Merkezi'ne (ATASAM) ATA50 teleskobu ile

yürütülen gözlem projesine desteği için teşekkür ederiz. İstanbul Üniversitesi Gözlemevi Uygulama ve Araştırma Merkezi'ne İST60 teleskobu ile yürütülen gözlem projesine desteği için teşekkür ederiz. Bu çalışma FBA-2020-8418 no'lu Atatürk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü projesi ve 121F427 no'lu Tübitak projesi ile desteklenmiştir. EE FDK-2022-19145 no'lu İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü projesi ile desteklenmiştir.

#### Kaynaklar

- Agarwal A., ve diğ., 2022a, *Journal of Astrophysics and Astronomy*, 43, 9
- Agarwal A., Pandey A., Özdönmez A., Ege E., Kumar Das A., Karakulak V., 2022b, *ApJ*, 933, 42
- Beckmann V., Shradler C. R., 2012, *Active Galactic Nuclei*. Wiley-VCH Verlag GmbH
- Heidt J., Wagner S. J., 1996, *A&A*, 305, 42, [ADS](#)
- Priya S., Prince R., Agarwal A., Bose D., Özdönmez A., Ege E., 2022, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 513, 2239
- Sillanpää A., Haarala S., Valtonen M. J., Sundelius B., Byrd G. G., 1988, *ApJ*, 325, 628
- Tramacere A., 2020, *JetSeT: Numerical modeling and SED fitting tool for relativistic jets*, *Astrophysics Source Code Library*, record ascl:2009.001 (ascl:2009.001)
- Ulrich M.-H., Maraschi L., Urry C. M., 1997, *ARA&A*, 35, 445
- Urry C. M., Padovani P., 1995, *PASP*, 107, 803
- Wagner A. Y., Umemura M., Bicknell G. V., 2013, *ApJ*, 763, L18
- Woo J.-H., Urry C. M., 2002, *ApJ*, 579, 530

#### Access:

M23-0321: [Turkish J.A&A](#) — Vol.4, Issue 3.