

RTT-150 ile 6 Düşük-z Kuazarın Tayfsal Doğrulaması

Seyit Hökelek^{1,2}  , Enes Selam Kacan^{1,2} , Nurten Filiz Ak^{1,2,3} 

¹ Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Astronomi ve Uzak Bilimler Ana bilim Dalı, 38039, Kayseri, Türkiye

² Erciyes Üniversitesi, Fen Fakültesi Astronomi ve Uzak Bilimler Bölümü, 38039, Kayseri, Türkiye

³ Erciyes Üniversitesi, Astronomi ve Uzak Bilimler Gözlem ve Araştırma Merkezi, Kayseri, Türkiye

Accepted: March 14, 2025. Revised: March 14, 2025. Received: February 3, 2025.

Özet

Bu bildiri, RTT-150 teleskobu kullanılarak ilk kez tayfsal doğrulaması yapılan 6 kuazarın keşfini sunmaktadır. Çalışmanın tamamı Hökelek ve diğ. (2024) makalesinde yayınlanmıştır. İlk kez bu çalışma ile belirlenen kırmızıya kaymaları (z) 0.3 ile 0.6 arasında değişen bu kuazarların süreklilik ve salma çizgisi özelliklerinin ayrıntılı modellenmesi yapılarak; kuazarların bolometrik parlaklık, merkezi kara delik kütleleri ve Eddington ışınım gücü oranları belirlenmiştir. Elde edilen bulgular bu kuazarların, aynı z değerlerine sahip bilinen kuazarlara kıyasla, olağanüstü yüksek parlaklıklara ve yüksek kütlelere sahip olduğunu göstermiştir.

Abstract

This paper presents the discovery of 6 quasars that have been spectroscopically confirmed for the first time using the RTT-150 telescope and the TFOSC spectrometer. The full study is published in Hökelek ve diğ. (2024). Detailed modeling of the continuum and emission line properties of these quasars with redshifts (z) ranging from 0.3 to 0.6, determined for the first time in this study, was performed to assess their bolometric luminosities, central black hole masses and Eddington luminosity ratios. The results show that these quasars have exceptionally high luminosities and high masses compared to known quasars with the same z values.

Anahtar Kelimeler: Galaksiler; Aktif Galaksiler; Kuazarlar, Kuazar Tayfı

1 Giriş

Aktif büyüyen süper kütleli kara delikler (SKK) yani kuazarlar evrenin yapısını ve evrimini anlamamız için önemli kaynaklardır. Evrenin erken zamanlarından modern evrenimize kadar kuazarlar evrenin her aşamasında yer almaktadır. Sahip oldukları bu büyük uzaklıklara rağmen elektromanyetik spektrum boyunca radyondan X-ışına kadar güçlü ışınım yapmaktadırlar. Bu ışınımın kaynağı, galaksinin merkezinde yer alan SKK, SKK'yı çevreleyen yığılma diski ve onun etrafındaki torus'tan yani bir diğer adıyla aktif galaksi çekirdeğinden (AGÇ) kaynaklanır. Sahip oldukları uzaklık nedeniyle yaygın cisim yerine nokta kaynak olarak görülmektedirler.

Kuazarlarla ilgili çalışmalar Schmidt (1963); Hazard ve diğ. (1963)'in yaptığı keşiflerle başlamış ve sonrasında kümülatif olarak artmıştır. Özellikle son 25 yılda "Sloan Digital Sky Survey" (SDSS) gibi araştırma kampanyalarının ortaya çıkması ile bu sayı devasa rakamlara ulaşmıştır. SDSS'in yayınladığı son kuazar kataloğunda tayfsal doğrulaması yapılmış kuazar sayısı 750414'tür.

SDSS ve benzeri büyük araştırma kampanyaları, hedef kaynakların tayf gözlemlerini yapmadan önce fotometrik yöntemler ile doğruluğu yüksek olan adayları belirlemektedirler. Farklı bantlarda alınan fotometrik parlaklıkları kullanılarak türetilen renk ölçümleri, kuazarlar, yıldızlar ve galaksileri ayırmakta kullanılmaktadır (Richards ve diğ. 2009; Bovy ve diğ. 2011).

Richards ve diğ. (2009) tarafından SDSS filtreleri kullanılarak başlayan ve sonrasında "Two Micron All Sky

Survey" (2MASS; Skrutskie ve diğ. 2006) ve "Wide Field Infrared Survey Explorer" (WISE; Wright ve diğ. 2010) ölçümlerini içeren çalışmalar, renk-renk ve renk-parlaklık diyagramlarında yıldızların ve kuazarların farklı bölgelerde kümелendiğini göstermektedir (Heintz ve diğ. 2020).

Bu çalışma, Hökelek ve diğ. (2024) çalışmasında yer alan yeni kuazar keşifleri hakkında Türkçe bir özet sunmaktadır. SDSS ve WISE fotometrik gözlemleri kullanılarak kuazar adayı olarak belirlenen kaynakların RTT-150 teleskobu ve TFOSC tayfçekeri ile alınan tayfsal verileri hakkındaki bilgiler §2'de yer almaktadır. Tayfların analizleri sonucunda elde edilen sonuçlar §3'de yer almaktadır. Elde edilen sonuçların özeti ve tartışması §4'de sunulmuştur. Bu çalışmada kozmolojik sabitler; $\Omega_m=0.3$, $\Omega_\Lambda=0.7$ ve $H_0=70 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$ şeklinde dikkate alınmıştır.

2 Gözlemler

Bu çalışma için seçilen kuazar adaylarının tayfsal gözlemleri Türkiye Ulusal Gözlemevleri Antalya Yerleşkesi'nde bulunan 1.5 metrelik RTT150 teleskobu ve TFOSC tayf çekeri ile Grizm 15 kullanılarak 3650-8750 Å dalgaboyu aralığında ve 12 Å tayfsal çözünürlükte elde edilmiştir.

Kaynaklar için poz süreleri, parlaklıkları dikkate alınarak belirlenmiştir. Bu gözlemler tayfsal doğrulama amacıyla yapıldığı için sinyal-gürültü (S/N) oranının baskın salma çizgilerini görmek için yeterli olduğu varsayılmıştır. Kaynakların akı kalibrasyonu için ESO standart yıldız listesinden seçilen yıldızların tayfsal gözlemi yapılmıştır.

Gözlemlerin ayrıntıları (Hökelek ve diğ. 2024) çalışmasında, Çizelge 1'de yer almaktadır.

* sthokelek@gmail.com

Çizelge 1. Gözlem bilgileri (Hökelek ve diğ. 2024).

WISEA Adı	Sağaçıklık	Dikaçıklık	Tarih	Poz Süresi (s)	S/N
J002659.50+442257.3	00 26 59.50	+44 22 57.3	23-10-2022	4800	4.63
J080730.67+755019.7	08 07 30.67	+75 50 19.7	20-02-2023	3200	39.48
J091355.88+791116.1	09 13 55.88	+79 11 16.1	20-01-2021	5400	20.68
J091936.04+753944.3	09 19 36.04	+75 39 44.3	20-01-2021	4000	48.05
J180341.28+615653.3	18 03 41.28	+61 56 53.3	22-10-2022	4800	25.83
J190235.32+604611.5	19 02 35.32	+60 46 11.5	01-07-2022	2100	10.53

Çizelge 2. Kuazarların hesaplanan parametreleri (Hökelek ve diğ. 2024).

		J002+442	J080+755	J091+791	J091+753	J180+615	J190+604
i_{SDSS}	(kadir)	18.5438	15.1523	17.4236	16.2670	17.3469	17.2328
$i-W_3$	(kadir)	3.49	2.78	3.38	3.76	3.03	3.21
z		0.3477±0.0001	0.5709±0.0001	0.3575±0.0130	0.5181±0.0001	0.4159±0.0001	0.5180±0.0169
A_i	(kadir)	0.12	0.059	0.036	0.042	0.065	0.093
M_i	(kadir)	-22.237	-27.173	-23.520	-25.814	-24.052	-24.796
$\log L_{3100}$	(erg s ⁻¹)	45.155±0.001	47.332±0.002	45.704±0.006	46.337±0.008	45.468±0.006	46.096±0.008
$\log L_{5000}$	(erg s ⁻¹)	44.943±0.003	47.197±0.005	45.520±0.009	46.065±0.018	45.280±0.019	45.894±0.015
$\log L_{BOL}$	(erg s ⁻¹)	45.867 ±0.001	48.044±0.002	46.416±0.006	47.049±0.008	46.180±0.006	46.808±0.008
YYTG (H β)	(km s ⁻¹)	5806.67±14.33	5678.33±355.54	10259.36±86.37	5098.66±79.58	7678.76±52.29	5765.70±5.85
YYTG (Mg II)	(km s ⁻¹)	7953.42±1388.18	8431.61±13.60	9798.56±144.65	4844.12±75.98	8415.61±123.64	3737.04±175.42
$\log M_{BH}$ (H β)	(M $_{\odot}$)	8.902±0.003	10.017±0.113	9.692±0.009	9.357±0.016	9.321±0.011	8.959±0.008
$\log M_{BH}$ (Mg II)	(M $_{\odot}$)	9.133±0.152	10.31±0.003	9.602±0.014	9.263±0.016	9.35±0.016	8.952±0.041
$\log M_{BH}$	(M $_{\odot}$)	8.979±0.076	10.017±0.113	9.662±0.008	9.326±0.011	9.330±0.010	8.957±0.021
$\log L_{Edd}$	(erg s ⁻¹)	47.079±0.033	48.117±0.049	47.762±0.003	47.426±0.005	47.430±0.004	47.057±0.009
R_{Edd}		0.061	0.845	0.045	0.419	0.056	0.563

2.1 Tayfsal Verilerin İndirgenmesi

Bu çalışma kapsamında, RTT150'deki TFOSC uzun-yarık tayf çekerisi için özelleştirilmiş bir indirgeme prosedürü geliştirilmiştir. EasyReduct adını verdiğimiz bu program, Python programlama dili kullanılarak üretilmiş ve TFOSC uzun-yarık tayflarının ham veriden analizlere hazır veriye dönüştürülmesi için gerekli tüm adımları içermektedir.

EasyReduct indirgeme rutini, bias çıkarma, flat düzeltilmesi, gökyüzü arka planı çıkarma/düzeltilmesi, 1-d tayf elde edilmesi, dalga boyu ve akı kalibrasyonunu içeren standart uygulamayı takip etmektedir. Bias çıkartması ve flat düzeltilmesi işlemlerinden önce EasyReduct, ccdproc-CosmicRay modülü kullanılarak kozmik ışınları temizlemektedir. Dalgaboyu kalibrasyonu için gözlemlenen Fe- α lamba tayfları için bir atlas üretilmiştir. EasyReduct programı, standart yıldız tayfı kullanıldığında akı kalibrasyonu için prosedürler de içermektedir. Program, gözlenen tayflardan, tellürik çizgileri ve bantları kaldırabilmektedir. Ayrıntılar ve programın algoritması Github [EasyReduct](#) üzerinden paylaşılmıştır.

Bu çalışmada, gözlemlenen tayflar için akı kalibrasyonunu, ESO listesindeki spektrofotometrik standart yıldızlar kullanılarak EasyReduct prosedürleriyle gerçekleştirilmiştir.

3 Ön Sonuçlar ve Analiz

Bu bölümde ön indirgeme işlemleri tamamlanmış tayfsal verilerin analizleri sonucunda kaynakların kırmızıya kayma değerlerinin, uzaklıklarının ve mutlak parlaklıklarının belirlenmesi ile ilgili ayrıntılar sunulmuştur.

3.1 Kırmızıya Kayma ve Mutlak Parlaklık

Kuazarların kırmızıya kayma değerlerini belirlemek için gözlenen tayflar [Kaçan ve diğ. \(2022\)](#) tarafından hazırlanan zFinder programına girdi olarak kullanılmıştır. zFinder programı, artan z-adım aralıkları için Spearman korelasyonunun ρ ve χ^2 oranından bir uyumluluk parametresi hesaplamaktadır. Uyumluluk parametresinin en yüksek değeri, gözlenen tayflar için en iyi z değeriyle sonuçlanır. zFinder sonuçlarına yapılan görsel inceleme, belirlenen kırmızıya kaymaların en iyi z değerinde olduğunu göstermiştir.

En iyi uyan z değerlerini ve standart hataları Çizelge 2'de listelenmiştir.

Kırmızıya kayma değerleri belirlenen kuazarların mutlak parlaklıklarını belirlerken;

$$M_i - m_i = 5 - 5 \log d_L(z) + A_i + K(z) \quad (1)$$

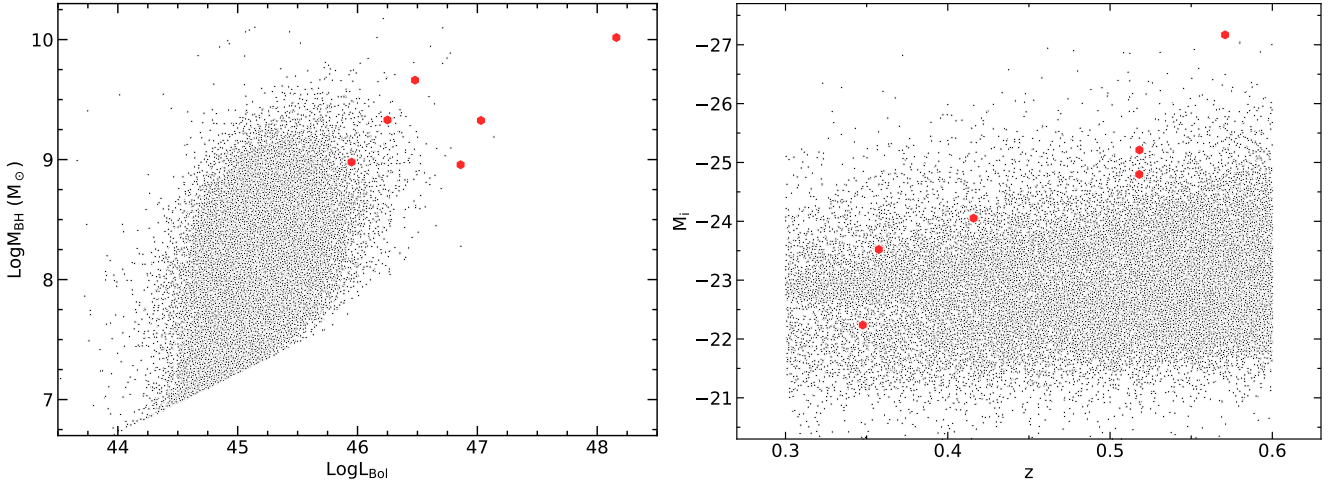
dikkate alınmıştır. Bu denklemde M_i ve m_i SDSS i bandındaki mutlak ve görünür parlaklıkları, d_L uzaklığını, z kırmızıya kaymayı, A_i Samanyolu Samanyolu Galaksisinden kaynaklanan sönümlemeyi ve $K(z)$ ise fotometrik parlaklık için z düzeltme parametresini temsil etmektedir.

Kaynakların hesaplanan z , A_i ve M_i değerleri Çizelge 2'de verilmiştir.

3.2 Tayf Modellenmesi

Kuazarların özelliklerinin belirlenmesi için elde edilen 1-d tayfların modellenerek, sürekliliğin belirlenmesi ve salma çizgilerinin tanımlanması işlemleri yapılmıştır. Öncelikle, 1-d tayfları için galaktik sönümleme etkisi düzeltilmeli ve akı ve dalgaboyunun kuazar uzayına dönüştürülmesi yapılmıştır.

Power-law modellemesi, kuazarların tayfsal sürekliliğini



Şekil 1. Sağ tarafta bulunan panelde, 6 kuazarın (kırmızı altıgenler) z - M_i dağılımı, sol taraftaki panelde ise bu kuazarların L_{BOL} ve M_{BH} dağılımları yer almaktadır. Karşılaştırma örneklemini (siyah) olarak DR16Q (Lyke ve diğ. 2020; Wu & Shen 2022) kataloğunda yer alan $0.3 < z < 0.6$ değerleri arasındaki kuazarlar kullanılmıştır (Hökelek ve diğ. 2024).

modellemek için kullanılan en yaygın yöntem olduğundan, bu çalışmada power-law modeli üzerine düzeltme polinomu ve Fe II salma yapıları kullanılarak süreklilik modellemesi yapılmıştır. Diğer yöntemler ile ilgili tartışma Hökelek ve diğ. (2024) çalışmasında verilmiştir.

Geniş ve dar salma çizgilerinin modellenmesi, merkezi kara delik kütlelerini belirlemek için gerekli parametreleri elde etmemizi sağlamaktadır. Salma çizgilerinin bileşenlerini elde etmek için, çizgi profilleri birden fazla gauss fonksiyonu ile temsil edilmiştir. Örneğin, [O III] ve H β bölgeleri için altı Gauss, MgII bölgesi için ise iki Gauss tercih edilmiştir.

3.3 Işınım Gücü ve Kütle

Richards ve diğ. (2006) kuazarların bolometrik ışınlam gücünü (L_{BOL}) belirli bir dalgaboyundaki tayf süreklilik akılarından türettikleri monokromatik ışınlam gücü değerleri ile yaklaşık olarak hesaplamıştır. Bu yaklaşımı uyarlayan Shen ve diğ. (2011), düzeltme faktörlerini $L_{\text{BOL}}=5.15 L_{3000}$ ve $L_{\text{BOL}}=9.26 L_{5100}$ olarak tanımlar ve bu faktörler ışınlam güçlerine salma çizgilerinin katkıları da dahil edilerek belirlenmiştir. Monokromatik ışınlam güçlerini hesaplamak için ilk önce, ölçüm yapılacak dalga boyu etrafındaki 5 pikselin akılarının ortalamasını alarak F_{λ} değerini hesaplanmış ve sonuçlar, ölçülen z değerleri ile ışınlam gücüne dönüştürülmüştür.

Bir SKK'nın kütlesi (M_{BH}), belirgin geniş salma çizgisinin yarı yükseklikteki tam genişliğinin (YYTG) ve belirli bir dalgaboyundaki monokromatik ışınlam gücünün bir fonksiyonudur (Shen (2013):

$$\log \left(\frac{M_{\text{BH}}}{M_{\odot}} \right) = A + B \log \left(\frac{L_{\lambda}}{10^{44} \text{ erg s}^{-1}} \right) + 2 \log \left(\frac{\text{YYTG}}{\text{km s}^{-1}} \right) \quad (2)$$

Bir kuazarın Eddington ışıma gücü, M_{BH} 'nin bir fonksiyonudur ve radyasyon basıncı ile kütleçekim arasında denge olduğunda bir kuazarın ulaşabileceği maksimum ışıma gücünü tanımlar. Toplam bolometrik ışıma gücü, Eddington ışıma gücüne oran olarak verildiğinde bu maksimum ışıma gücü'nün oranı olarak tanımlanır. R_{Edd} ve L_{Edd} değerleri Çizelge 2'de listelenmiştir.

4 Tartışma ve Sonuç

Son yıllarda artan kuazar sayısı, aday seçim algoritmalarının etkinliğini kanıtlamaktadır. Bu algoritmaların başarısı, farklı dalga boyları için yapılan ölçümlerle zenginleştikçe artmaktadır. Bu çalışmada, fotometrik renk-renk ölçümleri, X-ışın aktivitesi ve genel TED yapısı incelenen adaylar seçilmiştir. Bu yöntem ile seçilen ve Türkiye Ulusal Gözlemevleri Antalya Yerleşkesi'nde yer alan RTT-150 teleskobundaki TFOSC tayf çekeri ile gözlenen 21 kaynaktan 6'sı için sonuçlar sunulmuştur. Elde edilen tayflar Python dilinde geliştirmiş olduğumuz EasyReduct rutiniyle indirgenmiştir. İndirgeme sonucunda elde edilen tayflar, adayların kuazar olarak sınıflandırılmasını doğrulayan karakteristik salma çizgilerine sahiptir.

Bu çalışmanın yazarları tarafından geliştirilen zFinder ile her tayfın kırmızıya kayması hatası ile birlikte belirlenmiştir (Kaçan ve diğ. 2022). Kaynakların kırmızıya kaymaları 0.34 ile 0.57 aralığında olup, SDSS i bandındaki mutlak parlaklıkları en parlak hedef için -27 ve en sönük hedef için -22'dir.

Sonuçlarımız $0.3 < z < 0.6$ aralığında (toplam 28402 kuazar) Lyke ve diğ. (2020)'den temsili bir örnek kullanılarak bilinen kuazarların sonuçlarıyla objektif olarak karşılaştırılabilir. Şekil 1, hedeflerimiz için L_{BOL} ve M_{BH} dağılımını ve Wu & Shen (2022)'den alınan ölçümlerle karşılaştırma örneğini göstermektedir. Bu karşılaştırma tüm kaynaklarımızın yakın evrenin yüksek ışınlam gücüne sahip ve yüksek kütleli kuazarları olduğunu ortaya koymaktadır. J080+755'in $10^{10.02} M_{\odot}$ SKK kütleleriyle en büyük kütleli kuazarlardan biri olduğu, ilk kez Hökelek ve diğ. (2024) çalışmasıyla tespit edilmiştir.

Düşük z 'ye sahip, yüksek kütleli kuazarlar, SKK'ların kozmik evrimini ve yığılma süreçlerini anlamada çok önemli bir rol oynamaktadır. Düşük z kuazarlar Lyke ve diğ. (2020)'e göre bilinen kuazar popülasyonunun sadece %3'ünü oluşturur ve bunların sadece binde biri $M_{\text{BH}} > 10^9 M_{\odot}$ 'ye sahiptir.

Küçük ve orta ölçekli teleskoplar, yakın evrendeki parlak kuazarları keşfetmek için en etkili araçlardır. Bu tayfsal gözlemler ve analizler, araştırmaların büyük gözlem kampanyalarına ek olarak yakın evrendeki kaynakları incelemek için gereklidir.

Teşekkür

RTT150 teleskopunun kullanımında sağlanan kısmi destek için Türkiye Ulusal Gözlemevleri'nin 1370 numaralı projesine teşekkür ederiz. Hasan Ak, İrek Khamitov, Murat Parmaksızoğlu, İbrahim Aköz ve Oğuzhan Okuyan'a gözlemlere katkılarından ötürü minnettarız.

Kaynaklar

- Bovy J., ve diğ., 2011, *ApJ*, 729, 141
 Hazard C., Mackey M. B., Shimmins A. J., 1963, *Nature*, 197, 1037
 Heintz K. E., ve diğ., 2020, *A&A*, 644, A17
 Hökelek S., Kaçan E. S., Filiz Ak N., 2024, *PASP*, 136, 114101
 Kaçan E. S., Hökelek S., Filiz Ak N., 2022, *Turkish Journal of Astronomy and Astrophysics*, 3, 27
 Lyke B. W., ve diğ., 2020, *ApJS*, 250, 8
 Richards G. T., ve diğ., 2006, *ApJS*, 166, 470
 Richards G. T., ve diğ., 2009, *ApJS*, 180, 67
 Schmidt M., 1963, *Nature*, 197, 1040
 Shen Y., 2013, *Bulletin of the Astronomical Society of India*, 41, 61
 Shen Y., ve diğ., 2011, *ApJS*, 194, 45
 Skrutskie M. F., ve diğ., 2006, *AJ*, 131, 1163
 Wright E. L., ve diğ., 2010, *AJ*, 140, 1868
 Wu Q., Shen Y., 2022, *ApJS*, 263, 42

Access:

M25-0375: *Turkish J.A&A* — Vol.6, Issue 3.