



## Rüzgâr Yapısı Gösteren Kuazarların Fotometrik İncelenmesi – I: Parlaklık Değişim Genliği ve Fiziksel Parametreler Arasındaki İlişkiler

Nurten Filiz Ak<sup>1,2\*</sup>, Ömür Sayılı<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, Fen Fakültesi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, Türkiye

<sup>2</sup>Astronomi ve Astrofizik Gözlemevi Uygulama ve Araştırma Merkezi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, Türkiye

### Makale Tarihiçesi

Gönderim: 16.04.2021  
Kabul: 25.10.2021  
Yayın: 10.06.2022

### Araştırma Makalesi

**Öz** – Rüzgâr yapısına sahip olduğu tayfsal gözlemler ile belirlenmiş Geniş Soğurma Çizgili 1886 kuazarın zamana bağlı parlaklık değişimleri, Catalina Sky Survey veri tabanından alınan ışık eğrileri kullanılarak incelenmiştir. Kuazarların fotometrik parlaklık değişim genliğini ölçmeye uygun bir parametre tanımlanmıştır. Parlaklık değişim genliği parametresinin rüzgâr yapısına sahip kuazarlar için dağılımı incelendiğinde, asimetric bir yapıya sahip olduğu ve normal dağılıma uymadığı görülmüştür. Dağılımın simetrisini bozan etkinin ağırlıklı olarak büyük genlikli değişimler gösteren kuazarlardan kaynaklandığı belirlenmiştir. Rüzgâr yapısına sahip kuazarların parlaklık değişimi ile kuazara ait fiziksel parametreler arasında bir bağıntı olup olmadığını araştırmak için 1886 rüzgarlı kuazar içerisinde büyük değişim genliği gösteren ve küçük değişim genliği gösteren iki alt grup belirlenmiş, iki farklı grup içerisinde yer alan kuazarlara ait kırmızıya kayma, görünür ve mutlak parlaklıklar, ışınım gücü ve merkezi kara delik kütleli dağılımları kıyaslanmıştır. Yapılan analizler, görünür ve mutlak parlaklıklar ve ışınım gücü bakımından ortak bir sonuca işaret etmektedir; büyük değişim genliğine sahip kuazarlar daha sönük olma eğilimindedir. Bu bulgu, ana örneklemin tamamı için uygulanan korelasyon testleri ile de doğrulanmıştır. Bu çalışma, daha önce normal kuazarlar için ortaya koyulan parlaklık ve değişim genliği arasındaki bilinen ilişkinin, rüzgâr yapısına sahip kuazarlar için de geçerli olduğunu ilk kez ortaya koymaktadır. Bu sonuçlara göre, rüzgâr yapısına sahip kuazarların parlaklık değişim mekanizmaları bakımından normal kuazarlarla aynı olduğu düşünülmektedir. Ayrıca, güçlü ışınımına sahip kuazarların az değişim göstermesi, parlaklık değişimlerinin disk kararsızlığından kaynaklandığı yönündeki yaygın görüşü desteklemektedir.

**Anahtar Kelimeler** – Astrofizik, Fotometrik Değişim, Galaksiler: Aktif Galaksiler, Kuazar, Kuazar Rüzgarları

## Photometric Analysis of Quasars with Outflows -I: The Relations Between Variability Amplitude and Physical Parameters

<sup>1</sup>Department of Astronomy and Space Sciences, Faculty of Sciences, Erciyes University, Kayseri, Türkiye

<sup>2</sup>Astronomy and Astrophysics Observatory and Research Center, Erciyes University, Kayseri, Türkiye

### Article History

Received: 16.04.2021  
Accepted: 25.10.2021  
Published: 10.06.2022

### Research Article

**Abstract** – This study investigates the Catalina Sky Survey photometric light curves of 1886 quasars that show broad absorption lines (BAL) in their spectra as a manifestation of the disk outflows. To describe the brightness variability strength of the quasars, we define a suitable parameter measuring the variation amplitude. The distribution of the variation amplitude parameter for our main sample is asymmetric. The asymmetry of this non-normal distribution is largely due to the contribution of the most variable quasars. To assess the relations between the variability amplitude and quasar physical parameters, we construct two subsets from our main sample, i.e. the most variable and the most stable (the least variable) quasars. We assess relations between the variability amplitude and the quasar parameters such as redshift, apparent and absolute magnitudes, luminosity, and the mass of the central black hole. By comparing the parameter distributions of these two subsets, we show that the most variable quasars tend to be dimmer. The further correlation analysis on the entire main sample confirms the strong relationship between quasar brightness and variability. This study presents the brightness and variability relation of BAL quasars, for the first time. Since this result is consistent with the known relation of the normal quasars, we suggest that BAL quasars have no significant difference from normal quasars in terms of the photometric variability mechanisms. The significant inverse correlation between the quasar variability and brightness supports the common idea that disk instability might be the dominant mechanism behind the photometric light variations.

**Keywords** – Astrophysics, Galaxies: Active Galaxies, Photometric Variability, Quasar, Quasar Outflows

<sup>1</sup> filizak@erciyes.edu.tr

<sup>2</sup> omur.sayili@gmail.com

\*Sorumlu Yazar / Corresponding Author

## 1. Giriş

Bir süper kütleli kara delik etrafında yer alan yığılma diski ve daha geniş dış bölgeleri sarmış bulunan toz simidinden oluşan Aktif Galaksi Çekirdekleri (AGÇ), gösterdikleri gözlemsel özelliklerine göre çok sayıda alt sınıfa ayrılmıştır. Kuazarlar, AGÇ'lerin en güçlü ışınım gücüne sahip alt gurubu olarak bilinirler. Kuazarlar yaygın olarak, yığılma diskinin gözlemcinin bakış doğrultusu içinde kaldığı Tip 1'ler olarak da isimlendirilirler. Ancak, literatürde yer alan sınıflandırmaların ayırt edici fiziksel özellikleri yeterince karşılamadığını öngören son dönemlerdeki çalışmalar, 'kuazar' isimlendirmesini, çok daha geniş AGÇ grupları için kullanmaktadır (örneğin, Paris vd. 2018).

Kuazarların en temel karakteristik özelliği, X-ışın bölgesinden, radyo bölgeye kadar tüm dalga boylarında güçlü ışımalara sahip olmasıdır. Bu karakteristiği, normal galaksilerden ayırt edici en belirgin özellik olarak öne çıkmaktadır. Kuazarların diğer bir önemli özelliği ise bütün dalga boylarında parlaklık değişimi göstermeleridir. Kuazarların parlaklık değişimleri düzensizdir ve çok farklı zaman aralıklarına dağılmıştır. Uzun zaman aralıklarında tüm dalga boylarında parlaklık değişimleri gösteren kuazarların %10'luk bir kısmında değişim zaman aralığının birkaç saate kadar indiği gözlenmiştir (Vanden Berk vd. 2004). Kuazarlarda görülen bu parlaklık değişiminin nedeni henüz net olarak bilinmemekle birlikte yığılma diskinde meydana gelen kararsızlıklardan kaynaklandığı yaklaşımı en çok kabul gören görüşlerdendir (Vanden Berk vd. 2004, MacLeod vd. 2010, 2011, 2012 ve buradaki referanslar).

Kuazarların ilk keşfinden bu yana, fotometrik değişimler gösterdikleri bilinmektedir (Matthews ve Sandage 1963). Kuazarların parlaklık değişim özellikleri, yıldızların ve diğer kaynaklarınkinden farklı olduğundan fotometrik verilerin analizi ile kuazarların keşfedilebilmesi için çalışmalar yapılmıştır (van den Bergh vd. 1973). MacLeod vd. (2011), Sloan Digital Sky Survey (SDSS) tarafından tayfsal verileri elde edilen, kuazar, çeşitli tür yıldız ve galaksilerden oluşan 10000 Stripe 82 kaynağının zamana bağlı parlaklık değişimlerini analiz etmiştir. Fotometrik parlaklık değişimlerini "damped random walk" yaklaşımı ile modelleyen çalışma, kaynakların fotometrik sınıflanması ile tayfsal sınıflamasını kıyaslamıştır. Fotometri ile elde edilen parlaklık değişiminin, kuazarları diğer kaynaklardan yüksek doğruluk oranı ile ayırabildiği bu çalışmada gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre kuazar adaylarının belirlenmesinde, fotometrik parlaklık değişim modellemesinin, renk-renk diyagramlarının kullanılmasından daha etkili olduğu ortaya koyulmuştur. MacLeod vd (2012), SDSS ve Palomar Observatory Sky Survey (POSS) verilerini inceleyerek, tayfsal olarak doğrulanmış 80000 kuazarın parlaklık değişimini incelemiştir. İncelenen ışık eğrileri, ortalama 2 yıllık bir zaman aralığını kapsamakta ve ortalama  $0^m.26$  değişim genliği göstermektedir. Fotometrik değişimlerin zamana bağlı güç yasası kullanarak modellenmesi ile hem genlik hem de zaman parametresini elde eden bu çalışma, MacLeod vd. (2011) çalışmasının bulgularını doğrulamıştır. Aynı çalışma, ayrıca, kısa ve uzun zaman ölçekli değişimler arasındaki ilişkileri inceleyerek değişim genliği ve değişim zaman ölçeğinin, kuazarların ışınım güçleri ile ters korelasyon, kara delik kütlesi ile zayıf bir doğrusal korelasyon gösterdiğini ortaya koymuştur (ayrıca bkz. MacLeod vd. 2010).

Kuazar parlaklık değişimlerinin kaynağını araştıran çok sayıda çalışma, zamana bağlı parlaklık değişimleri ile kuazara ait diğer özellikler (örneğin; uzaklık, parlaklık, ışınım gücü, merkezi kara delik kütlesi, vb.) arasında ilişki olup olmadığını incelemiştir. Vanden Berk vd. (2004), çok sayıda kuazarın parlaklık değişimlerini incelemek için her bir kuazarın tayfını belirli aralıklarda integre ederek sentetik fotometrik veri üretmiş ve aynı kuazarın farklı zamanlarda alınan tayflarından elde edilen veriler ile ışık eğrisi oluşturmuştur. Üretilen ışık eğrilerinden parlaklık değişimlerinin zaman aralığı ve genliğini belirleyerek bu iki parametrenin uzaklık ve ışınım gücü ile ilişkilerini incelemiştir. Vanden Berk vd. (2004), kuazarların ışınım gücü ile parlaklık değişimi arasında ters korelasyon olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca kuazar uzayına indirgenmiş dalga boylarını kullanarak parlaklık değişimi ile dalga boyu arasında da ters korelasyon bulmuştur. Buna göre, kuazarlar tüm dalga boylarında güçlü değişimler göstermekle birlikte, kısa dalga boylarındaki değişim genliğinin daha büyük olduğu görülmüştür. Çalışma, parlaklık değişim genliğinin kuazarların uzaklığı ile doğrusal korelasyon gösterdiğini öne sürmüştür. Aynı çalışma, parlaklık değişimlerinin kuazarların radyo ve x-ışın dalga boylarındaki ışınım gücü ile bir ilişkisi olup olmadığını incelemiş ve güçlü x-ışınımı ve güçlü radyo ışınımı gösteren kuazarların daha değişken olduğunu ortaya koymuştur. İlgili çalışmada ayrıca, kuazarların rüzgâr yapısı içerip içermemesine bağlı olarak parlaklık değişiminin şiddetinde bir farklılık olup olmadığı da araştırılmış fakat kesin bir sonuca varılamamıştır.

Bu alandaki güncel bir çalışmada, Zefeng Li vd. (2018),  $0 < z < 5$  aralığında 119305 kuazarın uzun dönemli fotometrik gözlemleri incelenmiş ve parlaklık değişimleri, hem zaman ölçeği hem de genlik parametreleri ile tanımlanmıştır. Değişim genlik parametresi ile kırmızıya kayma ( $z$ ) arasında doğrusal, ışınım gücü ( $L$ ) arasında ters korelasyon olduğu, ancak kara delik kütlesi ile belirgin bir korelasyon olmadığı bulunmuştur. Çalışmada değişimlerin karakteristiği incelenerek, değişimlere neden olan olası mekanizmalar tartışılmış ve en olası mekanizma olarak kuazarların yığılma diskindeki kararsızlıklar gösterilmiştir.

Kuazarların temel enerji üretimi, yığılma diskinde merkezi kara delik üzerine madde akması ile sağlanır. Akan madde miktarındaki düzensizliklerin, x-ışından radyo bölgeye kadar tüm dalga boylarında düzensiz parlaklık değişimlerine neden olduğu düşünülmektedir (Vanden Berk vd. 2004 ve buradaki referanslar). Ancak, akan madde miktarındaki düzensizlikleri oluşturan mekanizmaların doğasına ilişkin ayrıntılar bilinmemektedir. Kara delik üzerine akan madde, yığılma diskinde gelmektedir. Bu nedenle, parlaklık değişimlerinin ortaya çıkmasına neden olan en olası mekanizmanın yığılma diskindeki kararsızlıklar olduğu yönünde güçlü bulgular literatürde yer almaktadır (Vanden Berk vd. 2004, MacLeod vd. 2010, 2011, 2012 ve buradaki referanslar).

Kuazarların merkezinde bulunan kara delik üzerine madde akışının sürekli olabilmesi için disk maddesinin açısal momentum kaybetmesi gereklidir. Diskin açısal momentum kaybını sağlayan en belirgin faktörlerden bir tanesinin disk rüzgarları olduğu düşünülmektedir (Filiz Ak vd. 2012, 2013, 2014).

Kuazarların yığılma disklerinden dışarıya doğru madde ve enerji taşınmasını sağlayan rüzgarlar, elde edilen mor ötesi ve optik tayflarda geniş soğurma çizgileri olarak gözlemlenmektedir. En kapsamlı kuazar gözlemlerinin yer aldığı SDSS veri tabanında yer alan tayfsal incelemelere dayalı çalışmalarda, kuazarların yaklaşık %10 kadarının geniş soğurma çizgileri gösterdiği ortaya koyulmuştur. Şiddetli rüzgârın belirteci olan soğurma çizgileri, yayıldığı hız alanı nedeniyle geniş ve diskin dışı doğru olması nedeniyle maviye kaymış olarak gözlenmektedir. Bu tür kuazarlar, gösterdikleri geniş soğurma çizgilerine atıfla Geniş Soğurma Çizgili (GSC) Kuazarlar (Broad Absorption Line; BAL) olarak sınıflanmaktadır (Filiz Ak vd. 2012, 2013, 2014).

Kuazarların parlaklık değişimlerinin incelenmesinde, özellikle rüzgâr yapısına sahip olduğu bilinen GSC kuazarların davranışının incelenmesi, olası mekanizmaların tartışılmasına yeni katkılar sağlayabilecek niteliktedir. Yukarıda listelenen çalışmalarda, kuazarlar için zamana bağlı parlaklık değişimlerinin modellenmesi ile elde edilen sonuçlar yer almaktadır. Ancak değişim genliği ile kuazar parametreleri arasındaki ilişkilerin, GSC kuazarlar için geçerli olup olmadığına dair ayrıntılı incelemeler yapılmamıştır.

Bu çalışmada, SDSS tayf gözlemleri ile GSC olarak sınıflanmış rüzgâr yapısına sahip kuazarların fotometrik parlaklık değişimleri incelenmiştir. Değişim genliği parametresinin tanımlanmasının ardından, kuazarların uzaklık, parlaklık, ışınım gücü gibi parametreleri ile değişim genlikleri arasında bağıntılar incelenmiştir. GSC kuazarlar içinden seçilen güçlü değişim gösteren ve zayıf değişim gösteren kuazar gruplarının parametre dağılımları karşılaştırılmıştır. Ana örneklem içinde yer alan 1886 adet GSC kuazarın parlaklık değişim genliği ve fiziksel parametreleri arasında korelasyonlar aranmıştır. Elde edilen sonuçlar, normal kuazarlar için bilinen ilişkilerle kıyaslanmıştır. Bu bağıntıların doğası incelenerek, parlaklık değişimine neden olduğu düşünülen olası mekanizmalar tartışılmıştır.

## 2. Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada kullanılan fotometrik ışık eğrileri Catalina Sky Survey (CSS) veri tabanından elde edilmiştir. CSS verileri; çapları 1.5, 1.0 ve 0.7 m olan üç farklı teleskoptan elde edilen filtresiz fotometrik ışık ölçümlerini barındırmaktadır. Temel amacı Yer'e yakın gök cisimlerini incelemek olan CSS, tekrar eden gözlemlerin incelenmesi ile çok sayıda çalışmaya kaynak sağlamış ve sağlamaya da devam etmektedir (Drake vd. 2009).

Çalışma kapsamında ele alınan GSC kuazarlar, tayfsal olarak incelenmiş ve rüzgâr yapısı gösterdiği kesinleşmiş kaynaklardır. GSC kuazarların kapsamlı ve sistematik olarak belirlenmesini amaçlayan bir çalışma Gibson vd. (2009) tarafından yayınlanmıştır. SDSS tarafından 2002 ve 2008 yılları arasında elde

edilen kuazar tayflarını inceleyen çalışma, 5039 kuazarın, en az 2000 km/sn genişliğinde C IV soğurma yapıları gösterdiğini belirlemiş ve bunları GSC kuazar olarak sınıflamıştır. Gibson vd. (2009) tarafından yapılan çalışmada yer alan 5039 GSC kuazar arasından, 19<sup>m</sup>'den daha parlak olan (<19<sup>m</sup>), kırmızıya kayma değeri 1.3'den büyük olan ( $z > 1.3$ ) ve tayfsal gözlemlerinin görece yüksek kalitede (sinyal gürültü oranı  $S/N > 6$ ) olan 2005 kuazar Filiz Ak vd. (2012) çalışmasında listelenmiştir. Filiz Ak vd. (2012)'nin yaptığı çalışmada hedef seçilen 2005 GSC kuazar, birçok katalog çalışmasında yer alması ve tekrar eden gözlemlerinin bulunması nedeni ile bu çalışmanın örneklem seçiminde başlangıç noktası olarak alınmıştır (Filiz Ak vd. 2012, 2013, 2014).

## 2.1 Gözlemsel Verilerin Hazırlanması ve Örneklem Seçimi

Filiz Ak vd. (2012) çalışmasında listelenen 2005 hedef kuazara ait ışık ölçüm verileri CSS veri tabanında, koordinat temelli olarak ve 3.96 yay-saniyelik yarıçap içerisinde çapraz eşleştirme ile aranmıştır. Bu sorgulama doğrultusunda 2005 GSC kuazardan, en az 10 gözlem noktasına sahip fotometrik verisi bulunan 1903 tanesi CSS veri tabanında belirlenmiştir. Seçilen kuazarların fotometrik parlaklık ölçümleri, zamana karşı listelenerek ışık eğrileri oluşturulmuştur.

CSS gözlemleri görece yüksek ölçüm hatalarına sahip olduğundan, aynı gece içerisinde alınmış gözlem noktalarının ortalamasının alınması uygun bulunmuştur. Aynı gece içerisinde alınmış veri sayısı 2 ila 4 arasında değişmektedir. Bu çalışmada uzun dönemli parlaklık değişimleri dikkate alındığından, aynı gece içerisindeki küçük genlikli değişimler analizlerde kapsam dışı bırakılmıştır. Aynı gece içerisinde alınmış gözlemlerin tek bir ölçüm olarak ele alınması için ilk olarak gözlem zamanlarının ortalama değeri bulunmuş, daha sonra, fotometrik ölçümlerin ağırlıklı ortalamasını almak için Suberlak vd. (2017) çalışmasındaki yöntem takip edilmiştir. Bu yöntemle göre, her bir gözlem noktasının ağırlığı,  $w_i$ , fotometrik hatanın karesinin tersi olarak tanımlanmıştır,  $w_i = e_i^{-2}$ . Buna göre, aynı gecede  $n$  tane verinin olması halinde gecelik ağırlıklı ortalama parlaklık ( $m_{ort}$ ) değeri şöyle hesaplanmıştır;

$$m_{ort} = \frac{\sum_{i=1}^n w_i m_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (2.1)$$

Denklem 2.1'de,  $w_i$ , aynı gece içerisinde alınmış her bir noktanın ağırlığını ve  $m_i$  ise kadir biriminde parlaklık değerini göstermektedir. Gecelik ortalama parlaklıkların ölçüm hataları ( $\sigma_{m_{ort}}$ ), hesaplamaya dahil edilen verilerin hata yayılımından elde edilmiştir.

Çalışmanın örneklem seçimi için her bir kuazarın, fotometrik değişimin incelenmesine imkân verecek kadar ölçümüne sahip olması gerektiğinden, veri sayısı 15'in altında kalan 17 kuazar daha örneklem listesinden çıkartılmıştır. Buna göre, bu çalışmada ele alınan ana örneklemdeki GSC kuazar sayısı 1886 olarak belirlenmiştir.

## 2.2 Fotometrik Değişim Genliğinin Belirlenmesi

Zamana bağlı parlaklık değişiminin sistematik bir şekilde incelenebilmesi için değişim miktarını tanımlayan bir parametrenin oluşturulması gerekmektedir. Bu çalışmada değişim miktarını sayısal biçimde ifade edebilmek için iki farklı yöntem kullanılmıştır. Yöntemlerin her ikisinde de kuazarın gecelik ortalama parlaklıkları dikkate alınmıştır.

Değişimin tanımlanması için ilk kullanılan parametre parlaklık farkı; her bir kuazarın ışık eğrisinde yer alan parlaklık değerlerinden en yüksek %10'luk parlaklığın ortalaması ile en düşük %10'luk parlaklığın ortalamasının farkı olarak hesaplanmıştır. En yüksek ve en düşük değerler için %10'luk bir aralık belirlenmesi, ışık eğrisi verileri içerisinde yer alabilecek olası uç noktaların hesaplara etkisini azaltmayı hedeflemektedir. Ortalamaların hesaplanmasında, Denklem 2.1'de verilene benzer olarak her bir ölçümün

hatasının ters karesi, ağırlık olarak dikkate alınmıştır. Bu parametre, ölçümlerin hatalarını sınırlı oranda dikkate alırken ölçümlerin kapsadığı zaman aralığından bağımsızdır.

CSS veri tabanında yer alan fotometrik parlaklık değerlerinin oldukça büyük ölçüm hatalarına sahip olması nedeniyle, hatalara karşı daha duyarlı olan Normalize Değişim Parametresi (*NDP*) tanımlanmıştır. Genellikle X-ışın verilerinin analizinde kullanılan parametre (örn, [Yang vd. 2016](#)), bu çalışmada parlaklık değişim parametresi olarak aşağıdaki gibi düzenlenmiştir;

$$NDP = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{(x_i - \mu)^2}{(\sigma_i^2 - \sigma_\mu^2)} \quad (2.2)$$

Denklem 2.2’de verildiği gibi *NDP*; her bir ölçümün ortalamaya göre değişiminin, hataya normalize edilmiş ortalaması şeklinde tanımlanır. Burada N; veri sayısı,  $\mu$ ; verilerin ağırlıklı ortalama değeri,  $x_i$ ; i. ışık ölçüm verisi (parlaklık) ve  $\sigma_i$ ; i. verinin ölçülen hatasıdır.  $\sigma_\mu$  ise ortalama standart hatayı göstermektedir. *NDP*, hesaplamada kullanılan veri noktalarının her biri için ortalama kaynağın sapma ve ölçüm hatalarını dikkate almaktadır.

GSC kuazarların CSS veri tabanından elde edilmiş olan ışık eğrilerinin değişim genliğini belirlemek için tanımlanan  $\Delta m$  ve *NDP* parametreleri, ölçümlerin alındığı zamandan bağımsız olarak değişim genliğini ölçmektedir. Değişim genliğini zamanın bir fonksiyonu olarak tanımlamak için kullanılan Değişim Yapı Fonksiyonu (DYF) gibi yöntemler güncel makalelerde tartışılmaktadır ([Zenfeng Li vd. 2018](#)). Ancak bu çalışma kapsamında ele alınan veriler üzerindeki incelemeler, DYF gibi modellemelerin, ve *NDP* parametrelerine göre bir üstünlüğünün olmadığını göstermiştir. Dahası, CSS’in büyük ölçüm hatalarının etkisi ile DYF ölçümlerinin değişim genliğinin belirlenmesinde dezavantajlı olduğu görülmüştür (bkz. [Sayılı 2019](#)). Kuazarların parlaklık değişimlerinin DYF ile tanımlanması ile ilgili kapsamlı bir çalışma [Palanque-Delabrouille vd. \(2011\)](#) tarafından sunulmuştur Bu etkiler dikkate alındığında, bu çalışma için parlaklık değişim genliği tanımlaması için en ideal parametrenin *NDP* olduğu sonucuna varılmıştır. Çalışmanın sonraki kısımlarında değişim genliği ifadesi doğrudan *NDP* parametresi olarak kullanılacaktır.

### 2.3 Örneklem Ait Parametreler

Çalışmanın örnekleminde yer alan 1886 GSC kuazarın ışık eğrilerinin oluşturulması için kullanılan gecelik ortalama parlaklık ( $m_{ort}$ ) değerlerinin sayısı en az 16 ve en çok 203 olmak üzere, kuazar başına ortalama ~79 veri bulunmaktadır.

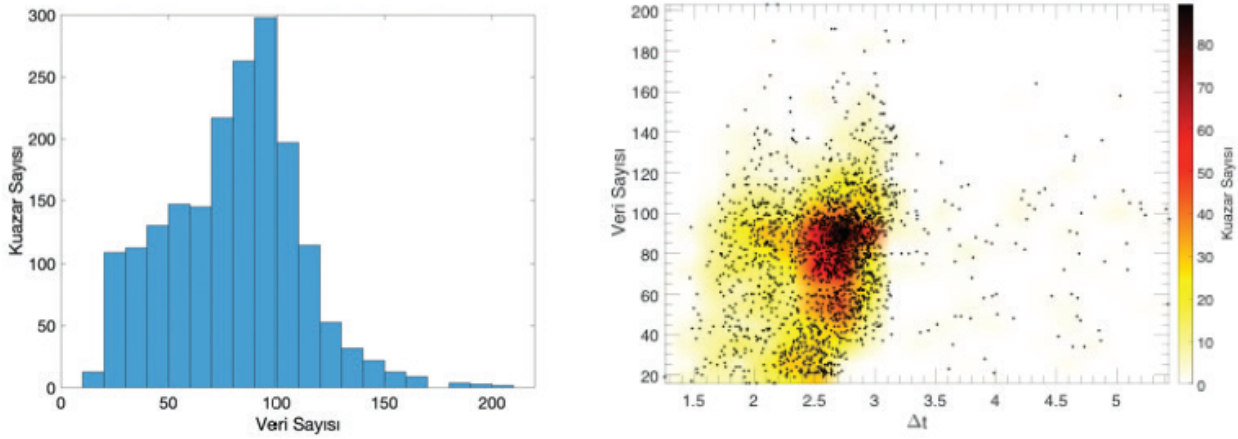
Fotometrik verileri kapsadığı zaman aralığı bakımından incelemek için ilk fotometrik verinin alındığı tarih ile son verinin alındığı tarih arasındaki farka kozmolojik düzeltme uygulanarak kuazar zamanına dönüşüm yapılmıştır. Bunun için ölçülen zaman farkı, kuazarın kırmızıya kayma değeri olan  $z$  dikkate alınarak  $(1+z)$  oranında küçültülmüştür. Ölçülen değişimlerin kuazar uzayındaki zaman aralığı ( $\Delta t$ ), en az 460 gün, en çok 1984 gün arasında ve ortalama 963 gün civarındadır. Verilerin kapsadığı zaman aralığı, uzun zaman ölçeklerindeki değişimlerin incelenmesi için yeterli düzeydedir.

[Şekil 1](#)’de ana örneklem içinde yer alan kuazarların ışık eğrilerinde kullanılan gözlem noktalarının sayısı ve veri sayısının  $\Delta t$  ışık eğrilerinin kapsadığı zaman aralığına (kuazar zamanında) göre dağılımı gösterilmektedir. Şekillerde veri sayısı olarak tanımlanan  $m_{ort}$ , gecelik gözlemlerin ortalamasını ifade etmektedir. Tüm örneklem için yıl başına alınan veri sayısı ortalaması 30 civarındadır.

Kuazarların görünür parlaklıkları, gecelik ortalama parlaklık değerlerinin dağılımından elde edilmiştir. Her bir kuazar için elde edilen  $m_{ort}$  değerlerinin ortalaması kuazarın görünür parlaklığı olarak tanımlanmıştır. Ölçülen parlaklıkların en düşük değeri  $20^m.11$ ; en yüksek değeri  $16^m.14$  olacak şekilde ortalama değeri  $18^m.65$ ’tir.

[Shen vd. \(2011\)](#) tarafından yayınlanan “A Catalog of Quasar Properties from SDSS DR7” isimli çalışma, içerdiği kapsamlı hesaplamalar ve ayrıntılı bilgiler bakımından kuazar çalışmalarında sık başvurulan bir

parametreler, Shen vd. (2011) kataloğundan elde edilmiştir. Bu parametreler ve gösterimleri şu şekildedir: kuazarın kırmızıya kayma değerini gösteren  $z$  parametresi (birimsiz), kuazarın bolometrik ışınım gücünü veren  $L_{BOL}$  parametresi ( $\text{erg sn}^{-1}$ ), SDSS i bant ölçümlerinden ( $k$  düzeltmesi  $z = 2$  için) hesaplanmış olan mutlak parlaklık parametresi  $M_i$  (kadir cinsinden), kuazarın merkezi kara deliğinin kütesini tanımlayan  $M_{KD}$  (Güneş kütesi cinsinden). GŞÇ kuazarlara ait bu dört fiziksel parametrenin hangi gözlemsel verilere dayanarak nasıl hesaplandığına ilişkin ayrıntılar Shen vd. (2011) çalışmasında yer almaktadır. Örnekleme yer alan 1886 GŞÇ kuazarın tamamı için  $z$ ,  $L_{BOL}$ ,  $M_i$  parametreleri elde edilebilmiştir. Kuazarın merkezinde yer alan kara deliğin kütesi veren  $M_{KD}$  parametresi, 1886 kuazardan 1831 tanesi için mevcuttur.



Şekil 1. Sol Panel: Kuazarların ışık eğrisinde kullanılan  $m_{ort}$  veri sayısının dağılımı. Sağ Panel: Veri sayısının  $\Delta t$  (yıl) ışık eğrilerinin kapsadığı zaman aralığına (kuazar zamanında) göre dağılımı. Dağılımın yoğunluğu, birim alan başına düşen kuazar sayısı olarak renk haritalaması ile temsil edilmiştir.

### 3. Bulgular ve Tartışma

GŞÇ kuazarların parlaklık değişimlerini inceleyen bu çalışmanın ana örnekleme, rüzgar yapısına sahip olduğu tayfsal olarak kesinleştirilmiş ve parlaklık değişim genliğinin çalışılması için yeterli düzeyde fotometrik verisi bulunan toplamda 1886 GŞÇ kuazardan oluşmaktadır. Zamana bağlı parlaklık genliğinin göstergesi olan  $NDP$  ile kuazarların görünür parlaklık, mutlak parlaklık, bolometrik ışınım gücü ve kara delik kütesi ile ilişkileri incelenmiştir.

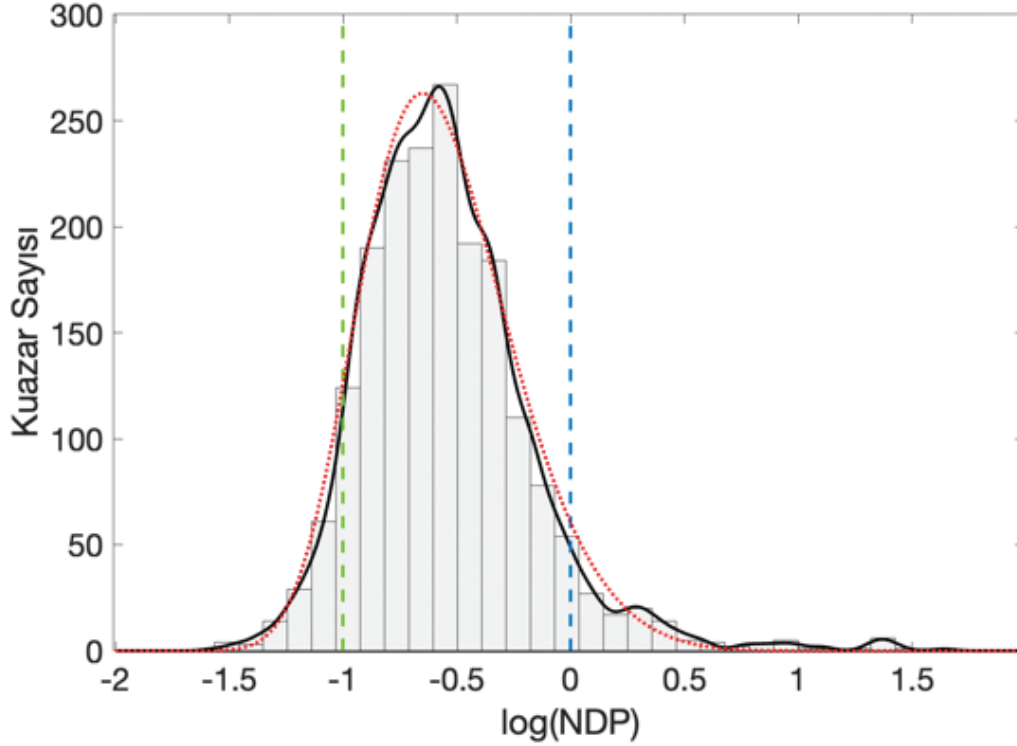
#### 3.1 GŞÇ Kuazarların Parlaklık Değişim Genliği

Çalışmanın ana örnekleminde yer alan 1886 GŞÇ kuazar için elde edilen  $\log(NDP)$  değerlerinin dağılımı Şekil 2’de verilmiştir.  $\log(NDP)$  dağılımını belirlemek için parametrik olmayan Çekirdek Yoğunluk Tahmini (Kernel Density Estimation; KDE) modeli kullanılmış (Silverman 1986) ve model için sabit bant genişliği ve Gauss dağılımı yaklaşımları dikkate alınmıştır.

Şekil 2’den  $\log(NDP)$  dağılımının normal dağılım olmadığı görülmektedir. Kolmogorov-Smirnov testi, dağılımın normal dağılıma uymadığının istatistiğini %99.9’dan daha büyük olarak vermiştir. Normal dağılıma göre en büyük farklılaşma,  $\log(NDP) > 0$  bölgesinden gelmektedir. Dağılımın ortalama değeri  $-0.55$  ve standart sapması  $0.38$  olarak bulunmuştur. Dağılımın asimetric yapısı nedeniyle, olasılık yoğunluk dağılımı modellemesi için Genelleştirilmiş Uç Değer (GUD; Generalized Extreme Value) modeli dikkate alınmış ve model parametreleri  $-0.7$  ortalama,  $0.30$  standart sapma ve  $-0.15$  şekil parametresi olarak elde edilmiştir.

$\log(NDP)$  dağılımının normal dağılımdan farklılaşmasına neden olan değerler, Şekil 2’de verilen grafiğin sağ kuyruğunu oluşturan değerlerdir.  $\log(NDP)$  zamana bağlı parlaklık değişim genliğinin göstergesi olduğundan, grafiğin sağ kuyruğunda güçlü değişimler gösteren kuazarlar, sol kuyruğunda ise çok küçük genlikli değişimler gösteren kuazarlar yer almaktadır. Asimetric dağılımın yapısı, örneklem içerisindeki

büyük genlikli değişimler gösteren kuazar sayısının normal bir dağılımdan beklenenden daha fazla olduğunu işaret etmektedir. Bu durum dikkate alınarak, ana örneklem içerisinde büyük genlikli değişimler gösteren kuazarları içeren bir alt grup oluşturulması uygun görülmüştür. Bu alt gruba ilişkin özellikleri kıyaslamak için bir de küçük genlikli değişimler gösteren kuazarların bulunduğu bir alt grup oluşturulmuştur.



Şekil 2. Ana örneklem içerisinde yer alan 1886 GSC kuazarın fotometrik parlaklık değişim genliklerinin logaritmik dağılımı. Siyah kalın eğri,  $\log(NDP)$  için sabit genişlikli ve Gauss formunda Çekirdek Yoğunluk Tahmini modeli kullanılarak hesaplanan normalize olasılık dağılımını göstermektedir. Asimetrik yapı nedeniyle, dağılımın modellenmesi için Genelleştirilmiş Uç Değer Dağılımı tercih edilmiştir (kırmızı noktalı eğri). Kesikli dik çizgiler, soldan sağa doğru, küçük genlikli (yeşil) ve büyük genlikli (mavi) parlaklık değişimi gösteren kuazarlar için belirlenen sınırları işaret etmektedir.

Bu çalışmada ele alınan kuazarlar içerisinde, büyük genlikli değişimler gösteren bir alt grubu tanımlamak için sınır değer  $\log(NDP) = 0.0$  olarak alınmıştır. Bu değeri belirlemek için alt grubun  $\log(NDP)$  dağılımı ile alt grup dışında kalan kuazarların  $\log(NDP)$  dağılımları arasında, iki-örneklemli Kolmogorov-Smirnov (KS2) testleri uygulanmış ve maksimum ayrıklık gösteren değer, sınır değer olarak alınmıştır. Benzer bir yöntemle, küçük genlikli değişimler gösteren alt grup için sınır değer  $\log(NDP) = -1.0$  olarak alınmıştır. Buna göre, Büyük Genlikli (BG) değişim gösteren kuazarlar grubu;  $\log(NDP) > 0.0$  olan 122 kuazardan ve Küçük Genlikli (KG) değişimler gösteren kuazarlar grubu;  $\log(NDP) \leq -1.0$  olan 127 kuazardan oluşmaktadır.

Parlaklık değişim genliğine göre oluşturulan iki alt grubun ve bu çalışmada ele alınan tüm kuazarların sayısal dağılımları;  $\log(NDP)$  ortalaması ve standart sapması Tablo 1’de verilmiştir. Seçilen sınır değerler ile oluşturulan gruplar için ortalama genlik değişimleri arasındaki farklar  $1\sigma$ ’dan büyük olduğundan, gruplar arasında anlamlı kıyaslamalar yapabilmek mümkündür. Tablo 1’de bu alt gruplar için kuazara ait parametrelerin ortalama ve standart sapma değerleri (parantez içinde) de verilmektedir.

### 3.2 Fotometrik Değişkenlik ve Fiziksel Parametreler Arasındaki İlişkiler

Örneklem içerisinde yer alan GSC kuazarların parlaklık değişim genliği olan  $\log(NDP)$  parametresi ile m görünür parlaklığı, z kırmızıya kayma değeri,  $M_i$  mutlak parlaklığı,  $\log(L_{\text{BOL}})$  bolometrik ışınım

gücü ve  $\log(M_{KD})$  kara delik kütlesi arasında ilişkiler aranmıştır. Bu ilişkileri incelemek için zamana göre parlaklık değişim genliği küçük olan KG alt grubu ve büyük olan BG alt grubunun fiziksel parametrelerinin dağılımları benzerlik bakımından kıyaslanmıştır.

Kuazarların fiziksel parametrelerinin belirlenmesinde  $z$  baskın bir parametredir. Örneğin, kuazarın mutlak parlaklığı ve buna bağlı olarak bolometrik ışınım gücü,  $z$ 'nin bir fonksiyonu olarak belirlenir. Bu nedenle,  $M_i$ ,  $\log(L_{BOL})$  gibi fiziksel parametrelerin dağılımlarının kıyaslanmasında her iki grubun da  $z$  dağılımlarının aynı olması, sonuçların  $z$ 'ye bağlı etkilerden bağımsız olduğunu gösterir. Şekil 3'ün sol panelinde çalışmada yer alan tüm kuazarların, KG ve BG gruplarının  $z$  dağılımları kıyaslanmıştır.

Dağılımların kıyaslanması için iki örneklemler için KS2 testi uygulanmıştır. KS2 testinin sıfır hipotezi, test edilen iki örneklemin tek bir ana kitle dağılımdan geldiği şeklindedir. Test sonuçları, sıfır hipotezinin belirli bir güven aralığı içinde reddedilip edilemeyeceğini ifade etmektedir. Bu çalışma içerisinde, KS2 test sonuçlarının test güvenilirlik değerinin %99.9'dan büyük olması durumunda sıfır hipotezi reddedilmiş kabul edilmektedir.

KG ve BG grupları içerisinde bulunan kuazarların  $z$  dağılımları üzerinde uygulanan KS2 test sonuçları sıfır hipotezini güvenilir bir değer aralığında reddedememektedir (<%95). Bu nedenle, KG ve BG gruplarının  $z$  dağılımları arasında kayda değer bir farklılık olmadığı sonucuna varılmıştır

Tablo 1

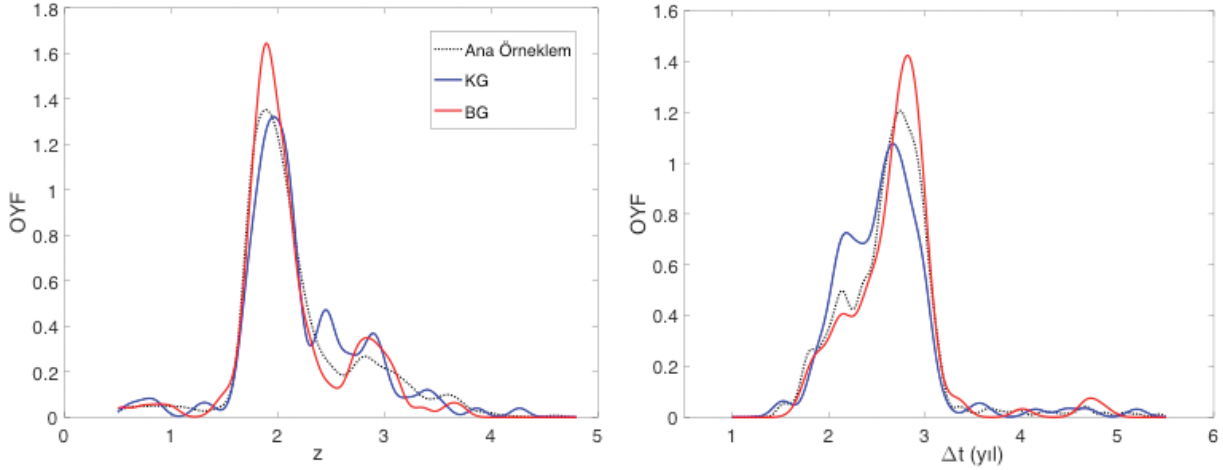
Zamana bağlı parlaklık değişimi büyük genlikli ve küçük genlikli olan iki alt örneklem ve çalışmadaki tüm kuazarlar için parametrelerin ortalama ve standart sapma değerleri (standart sapma değeri parantez içinde yer almaktadır).

	<b>Büyük Genlikli <math>\log(NDP) &gt; 0</math></b>	<b>Küçük Genlikli <math>\log(NDP) &lt; -1</math></b>	<b>Ana Örneklem</b>
Kuazar Sayısı	122	127	1886
$\log(NDP)$	0.379 (0.388)	-1.136 (0.116)	-0.546 (0.376)
$z$	2.108 (0.512)	2.188 (0.569)	2.165 (0.571)
$\Delta t$ (yıl)	2.689 (0.493)	2.586 (0.526)	2.640 (0.513)
$m$ (CSS)	18.641 (0.622)	18.164 (0.633)	18.655 (0.569)
$m_i$ (SDSS)	18.619 (0.530)	18.090 (0.630)	18.561 (0.532)
$M_i$	-27.211 (0.791)	-27.802 (0.859)	-27.315 (0.780)
$\log(L_{BOL})$	46.725 (0.304)	46.926 (0.352)	46.791 (0.304)

Kuazarların parlaklık değişiminin tamamen düzensiz bir yapıda olduğu bilinmektedir. Tamamen düzensiz parlaklık değişimlerinin modellenmesinde en iyi uyum sağlayan "Random Walk" modeli sıklıkla kullanılmaktadır (örneğin; MacLeod vd. 2010, 2011, 2012). Bu modele göre ardışık iki birim zamandaki değişim, birbirinden tamamen bağımsızdır. Her bir birim zamanda parlaklık değişimi, azalma (eksi yönde) ya da artma (artı yönde) olabilir ve değişimin yönü rastgeledir. Bu modele uygun parlaklık değişimleri gösteren bir kuazarın, değişim genliğinin zamanın bir fonksiyonu olarak artması modelin doğası gereği beklenen bir durumdur. Dahası, Vanden Berk vd. 2004 çalışmasında da açıkça gösterildiği gibi gözlemlerden elde edilen kuazar parlaklık değişim genliği artan zamanla artmaktadır. Bu nedenle, birbirinden bağımsız iki örneklem arasında objektif bir kıyaslama yapılabilmesi için benzer  $Dt$  değerlerine sahip verilerin dikkate alınması gereklidir. KS2 test sonuçları, BG ve KG gruplarının  $Dt$  dağılımlarının belirgin bir farklılığa sahip olmadıklarını göstermiştir (<%95). Şekil 3'ün sağ panelinde; çalışmada yer alan tüm kuazarların, KG ve BG gruplarının  $Dt$  dağılımları kıyaslanmıştır. BG ve KG alt gruplarında yer alan kuazarların gruplarının  $Dt$  dağılımlarının arasında belirgin bir farklılık bulunmaması, grupların değişim genliği parametresindeki farklılıkların  $Dt$ 'den bağımsız olduğuna işaret etmektedir.



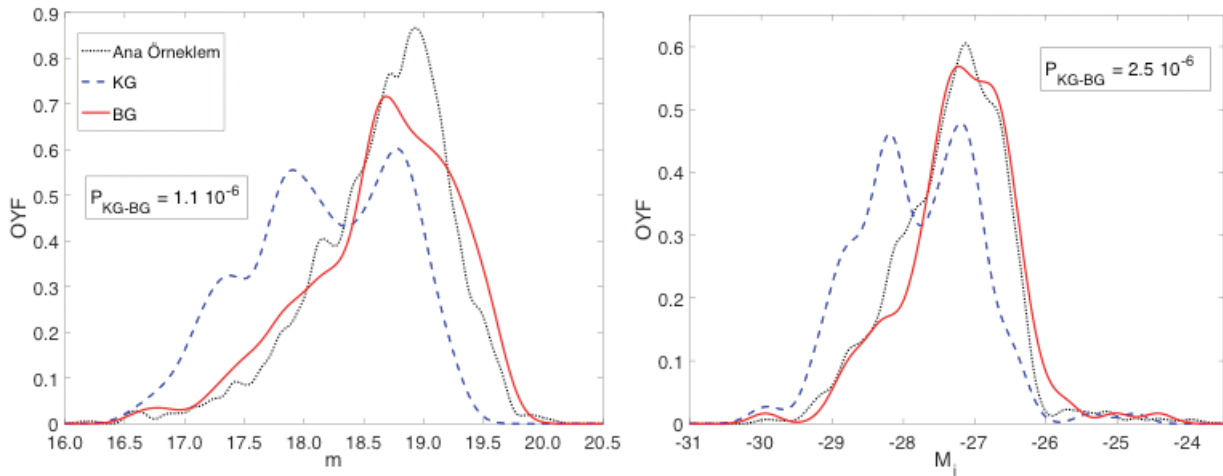
Fiziksel parametrelerin dağılımlarının görsel olarak kıyaslanabilmesi için histogram ile gösterilen sıklık grafikleri yerine Olasılık Yoğunluk Fonksiyonları (OYF) tercih edilmiştir. OYF eğrileri, x ekseninde verilen parametrenin belirli bir değer aralığında olma olasılığının yoğunluğunu vermektedir. Bir başka ifade ile bir parametrenin alacağı en olası değeri yoğunluk fonksiyonu olarak ifade etmektedir. Şekillerde verilen OYF'ler, sabit genişlikli ve Gauss formunda Çekirdek Yoğunluk Tahmini (Kernel Density Estimation; KDE) modeli kullanılarak hesaplanmıştır.



Şekil 3. Tüm örneklem (siyah noktalı eğri), Küçük Genlikli (KG; mavi eğri) ve Büyük Genlikli (BG, kırmızı eğri) içinde yer alan kuazarların  $z$  (sol) ve  $\Delta t$  (sağ) dağılımları kıyaslanmıştır. Olasılık Yoğunluk Fonksiyonları, KDE ile belirlenmiştir.

KG ve BG içerisinde yer alan kuazarların benzer  $z$  ve  $\Delta t$  dağılımlarına sahip olması, kuazar fiziksel parametrelerinin kıyaslanmasında olası yanlışlıkları ortadan kaldırmaktadır. Şekil 3'e benzer olarak, Şekil 4'te  $m$ ; ortalama görünür parlaklık ve  $M_i$ ; mutlak parlaklık parametrelerinin dağılımları kıyaslanmıştır. OYF'lerin hesaplanmasında sabit genişlikli Gauss tabanlı KDE yöntemi kullanılmıştır. Parlaklık değişim genliklerine göre oluşturulan grupların KS2 test sonuçlarına ait P istatistik değerleri paneller üzerinde verilmiştir.

Şekil 3'te kıyaslanan dağılımlar ve KS2 test sonuçları, BG grubunda yer alan kuazarların görünür ve mutlak parlaklık dağılımlarının KG grubunda yer alan kuazarların dağılımından farklı olduğunu göstermektedir. Zamana bağlı parlaklık değişim genliği büyük olan kuazarlar, diğerlerine kıyasla daha sönüktür.



Şekil 4. Tüm örneklem (siyah noktalı eğri), Küçük Genlikli (KG; mavi kesikli eğri) ve Büyük Genlikli (BG, kırmızı eğri) içinde yer alan kuazarların ortalama görünür parlaklık;  $m$  (sol) ve mutlak parlaklık;  $M_i$  (sağ) dağılımları kıyaslanmıştır. Olasılık Yoğunluk Fonksiyonları, KDE ile belirlenmiştir. Panellerde KS2 test sonuçlarına ait P değerleri verilmiştir.

Görünür parlaklık dağılımının incelenmesinde CSS veri tabanından elde edilen ortalama parlaklık değerlerine benzer olarak, SDSS tarafından ölçülen i bandı parlaklıklarına ( $m_i$ ) da bakılmıştır. SDSS-i bandı parlaklıkları için KS2 test sonucunda  $P = 1.2 \cdot 10^{-8}$  bulunmuş ve BG kuazarların daha sönük olduğu görülmüştür. CSS parlaklık ölçümleri ve SDSS parlaklık ölçümleri aynı sonuca işaret etmektedir.

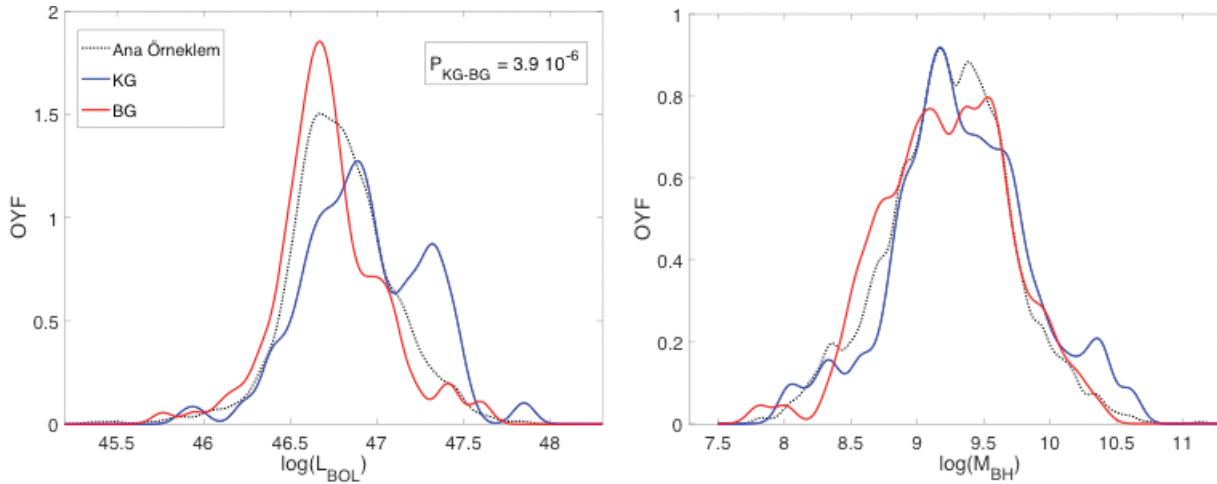
Kuazarların bolometrik ışınım güçleri ve merkezi kara delik kütleleri ile fotometrik değişim genliği arasında ilişkiler aranmıştır. Şekil 5'in sol panelinde  $\log(L_{BOL})$  ve sağ panelinde  $\log(M_{KD})$  dağılımlarından KDE ile hesaplanan OYF'ler kıyaslanmaktadır. Kıyaslamada Büyük Genlikli ve Küçük Genlikli alt gruplar ile ana örneklemin tamamının grafikleri sunulmuştur. BG ve KG gruplarının  $\log(L_{BOL})$  dağılımları arasında yapılan KS2 test sonuçları; iki dağılımın, ortak tek bir dağılımdan geldiğini %99.9'dan büyük bir güvenlilikle reddetmektedir.

GSC kuazarlar, bolometrik ışınım gücü bakımından incelendiğinde, büyük genlikli değişimler gösteren kuazarların ışınım gücünün daha düşük olduğu bulunmuştur. Bu sonuç, görünür parlaklık ve mutlak parlaklık için elde edilen sonuçlarla uyumludur.

GSC kuazarlar arasından seçilen büyük değişim genliğine sahip alt grup ile küçük değişim genliğine sahip alt grubun merkezi kara delik kütleleri kıyaslanmıştır. BG ve KG gruplarının  $\log(M_{KD})$  dağılımları için uygulanan KS2 test sonuçları, dağılımlar arasında kayda değer bir fark bulunmadığına işaret etmektedir ( $P = 0.404$ ). Ancak bu sonucun  $\log(M_{KD})$ 'nin ölçümü ile ilgili ayrıntılar dikkate alınarak değerlendirilmesi gerekmektedir (bkz Bölüm 3.3).

### 3.3 Değişim Genliği ve Fiziksel Parametreler Arasındaki Korelasyon

Kuazarların parlaklık değişim genliği ile fiziksel parametreleri arasında olası ilişkilerin belirlenmesi için dağılımlar arası korelasyonlar aranmıştır. Bunun için öncelikle ana örnekleme yer alan 1886 GSC kuazarın  $\log(NDP)$  parametresi ile  $z, \Delta t$  ve  $m$  parametreleri arasında Spearman rank-korelasyon testleri yapılmıştır. Buradan elde edilen bulgular ışığında, kuazar fiziksel parametreleri olan  $M_p$ ,  $\log(M_{BH})$  ve  $\log(L_{BOL})$  parametreleri arasında Spearman rank-korelasyon testlerinin sonuçları incelenmiştir. Testler sonucunda elde edilen korelasyon katsayıları ve güvenilirlik değerleri, Tablo 2'de listelenmiştir.



Şekil 5. Tüm örneklem (siyah noktalı eğri), Küçük Genlikli (KG; mavi eğri) ve Büyük Genlikli (BG, kırmızı eğri) içinde yer alan kuazarların ortalama görünür parlaklık;  $\log(L_{BOL})$  (sol) ve merkezi kara delik kütlesi;  $\log(M_{KD})$  (sağ) dağılımları kıyaslanmıştır. Olasılık Yoğunluk Fonksiyonları, KDE ile belirlenmiştir.

Korelasyon test sonuçları, bu çalışmada seçilen örneklem için  $\log(NDP)$  ve  $z$  arasında bir korelasyonun bulunmadığına işaret etmektedir. Özellikle vurgulamak gerekir ki kuazarların görünür parlaklıkları, mutlak parlaklıkları ve ışınım güçleri ile  $z$  arasında doğal bir bağıntı olduğu bilinmektedir. Seçilen örneklem için parlaklık değişim genliği ile  $z$  ile arasında korelasyonun olmaması, parlaklık değişim genliği ve kuazar fiziksel parametreleri arasında bulunan korelasyonların güvenilir sonuçlara işaret ettiğinin bir göstergesidir.

Çünkü, değişim genliğinin  $z$ 'den bağımsız olması fiziksel parametrelerdeki olası yanlılığı ortadan kaldırmakta ya da en aza indirmektedir.

Kuazarların geneli için hem gözlemler hem de teorik modellemelerle ortaya koyulduğu üzere fotometrik değişimlerin genliği zamanla artmaktadır (bkz Bölüm 3.2). Bu GŞÇ kuazarlar için de beklenen bir durumdur. Bu çalışmanın GŞÇ kuazar örnekleme için elde edilen korelasyon test sonucu,  $\log(NDP)$  ve  $\Delta t$  arasında bir korelasyon olduğunu önermektedir. Elde edilen korelasyon katsayısının pozitif değere sahip olması, parlaklık değişim genliğinin zamanla arttığına işaret etmektedir. Bu bulgu, Bölüm 1'de verilen çalışmaların bulgularını destekleyici yöndedir.

Kuazarların görünür parlaklıkları ve parlaklık değişim genliği arasında görece güçlü bir korelasyon bulunmuştur. Ana örnekleme yer alan tüm kuazarlar için elde edilen bu sonuç, BG ve KG kuazarların dağılımlarının kıyaslanması ile elde edilen sonuçlarla uyumludur.

GŞÇ kuazarların mutlak parlaklıkları ve bolometrik ışınım güçleri ile parlaklık değişim genliği arasındaki korelasyonlar ortak bir sonuca işaret etmektedir; büyük ışınım gücüne sahip GŞÇ kuazarlar, küçük genlikli değişimler göstermektedir. GŞÇ kuazarlar için elde edilen bu bulgu, ağırlıklı olarak rüzgâr yapısına sahip olmayan kuazarların ele alındığı Vanden Berk vd. (2004) ve Zenfeng Li vd. (2018) çalışmalarından elde edilen sonuçları desteklemektedir. Bu çalışma, parlaklık ve parlaklık değişim genliği arasındaki ters bağıntıyı rüzgâr yapısına sahip olan kuazarlar özelinde ilk kez ortaya koymuştur.

Tablo 2

GŞÇ kuazarların parlaklık değişim genliği  $\log(NDP)$  ile kuazarların diğer parametreleri arasında uygulanan Separman rank-korelasyon test sonuçları\*

$\log(NDP)$	$z$	$\Delta t$	$m$	$M_i$	$\log(L_{BOL})$	$\log(M_{BH})$
Korelasyon Katsayısı	-0.021	0.064	0.262	0.197	-0.179	-0.038
Güvenirlilik	%65	%99.5	>%99.9	>%99.9	>%99.9	%89.3

\*Test sonuçları, güvenirlilik değerinin %95'den büyük olması durumunda öneri, %99.9'dan büyük olması durumunda geçerli kabul edilmektedir.

Merkezi kara delik kütlesi ile parlaklık değişim genliği arasında belirgin bir korelasyon bulunmamıştır. Bu çalışmada kullanılan ve Shen vd. (2011) tarafından hesaplanan  $\log(M_{KD})$  parametresi, kuazar tayflarındaki salma çizgilerinin genişliğinden hesaplanmıştır. Ana örnekleme yer alan GŞÇ kuazarların tayflarında belirgin olarak görülen çizgi C IV salma çizgisi olduğundan, kütle hesabında ağırlıklı olarak bu çizginin genişliği dikkate alınmıştır. Shen vd. (2011), C IV çizgisinin ölçümlerinden hesaplanan  $\log(M_{KD})$  değerlerinin hata oranının yüksek olabileceğini not etmiştir. Dahası, GŞÇ kuazarlarda gözlenen soğurma çizgileri, C IV salma çizgisinin bir kısmı ile karışmış olabileceğinden GŞÇ kuazarlar için C IV çizgisinden elde edilen kütle değerleri beklenenden çok daha büyük hatalar içerebilmektedir. Bunlar dikkate alındığında  $\log(NDP)$  ile  $\log(M_{KD})$  arasında bir korelasyon bulunmaması kesin bir sonuca işaret edebilecek nitelikte değildir. Bu iki parametre arasında korelasyon olma ihtimali göz ardı edilmemelidir.

Zenfeng Li vd. (2018), kuazarların parlaklık değişim genlikleri ile Eddington ışınım gücünün bolometrik ışınım gücüne oranı arasında bir bağıntı olabileceğini tartışmıştır. Eddington ışınım gücü oranı, Shen vd. (2011) çalışmasında; şeklinde verilmiştir.  $R_{Edd} = L_{BOL} / L_{EDD}$  şeklinde verilmiştir. Bu çalışmada  $\log(R_{Edd})$  ve  $\log(NDP)$  arasındaki korelasyon için %99.6 güvenirlilik değeri ile  $-0.068$  katsayısı bulunmuştur. Korelasyon katsayısının çok küçük olması ve güvenirlilik değerinin %99.9'dan küçük bulunması nedeniyle, bu sonucun kesin bir korelasyona işaret ettiği düşünülmemektedir. Bu sonuç ancak öneri niteliğinde ele alınmalıdır. Diğer yandan,  $L_{EDD}$  hesaplamasında hem  $L_{BOL}$  hem de  $M_{KD}$  parametrelerinin katkısı vardır. Dolayısıyla,  $\log(R_{Edd})$  ve  $\log(NDP)$  arasında bir korelasyon bulunmamasının temelinde  $\log(M_{KD})$  ölçümlerini etkileyen faktörlerin etkisi göz ardı edilmemelidir.

### 3.4 Bulguların Değerlendirilmesi

Rüzgâr yapısına sahip 1886 GŞÇ kuazarın CSS veri tabanından alınan fotometrik ışık eğrilerinin incelenmesi sonucunda, kuazarların zamana bağlı parlaklık değişimlerini ölçmek için Normalize Değişim Parametresi tanımlanmıştır. *NDP*, ışık eğrisinde yer alan her bir veri noktasının ortalamadan sapma miktarını ve ölçüm hatalarını dikkate almaktadır. 1886 kuazarın tamamı için  $\log(NDP)$  değerleri hesaplanmış ve bu değerler, parlaklık değişim şiddetinin bir göstergesi olarak alınmıştır. Literatürdeki çalışmalarda parlaklık değişimini tanımlamak için kullanılan hem zaman ölçeğini hem de değişim genliğini belirten yapı fonksiyonu parametrelerinin, CSS gibi büyük ölçüm hatalarına sahip verilerden oluşturulan ışık eğrileri için verimli sonuçlar sağlamadığı *Sayılı (2019)*'da irdelenmiştir.

Ana örneklem içerisinde yer alan kuazarların dağılımlarının, normal bir dağılıma uymadığı görülmüştür. Dağılımın sağa doğru asimetric yapısı nedeniyle, Genelleştirilmiş Uç Değer (GUD; Generalized Extreme Value) modeli dikkate alınmış ve şekil katsayısı  $-0.15$  bulunmuştur. Bu sonuçlar, çalışmanın ana örneklemini içerisinde büyük değişim genliğine sahip bir alt grubun bulunduğuna **işaret etmektedir**.

GŞÇ kuazarların parlaklık değişim genliğinin diğer parametreler ile ilişkisini incelemek için ana örneklem içerisinde, KS2 test sonuçları ile belirlenen sınır değerler dikkate alınarak büyük değişim genliğine sahip 122 kuazarın yer aldığı bir alt grup (BG) tanımlanmıştır. BG alt grubuna ait dağılımları kıyaslamak amacıyla dağılımın diğer ucundan küçük genlikli değişimler **gösteren** 127 kuazarın bulunduğu bir alt grup (KG) oluşturulmuştur. BG ve KG içerisinde yer alan kuazarların fiziksel parametreleri arasında yapılan incelemeler şu sonuçları ortaya koymaktadır:

- (1) Büyük genlikli parlaklık değişimleri gösteren kuazarlar, küçük genlikli değişim gösteren kuazarlardan daha sönüktür. İki bağımsız veri tabanından alınan, farklı teleskopların farklı yöntemlerle ölçtüğü görünür parlaklık değerleri ile yapılan analizler aynı sonuçları göstermektedir.
- (2) Kuazarların mutlak parlaklıkları ve bolometrik **ışınım güçleri** ile yapılan analizler, yüksek **ışınım gücüne sahip** kuazarların büyük değişimler göstermediğini doğrulamaktadır.

BG ve KG dağılımlarının kıyaslanması ile elde edilen bu bulgular, ana örneklemden tüm rüzgârlı kuazarlar için aranmıştır. Ana örneklem içerisinde bulunan tüm kuazarlar için değişim genliği ve fiziksel parametreler arasında Spearman korelasyon testleri uygulanmış, parlaklık ve parlaklık değişim genliği arasındaki ters korelasyon doğrulanmıştır. Buna göre parlaklık değişim genliği ve kuazarın parlaklığı arasındaki ters orantı, yalnızca BG ve KG alt grupları ile sınırlı değildir. Bu çalışmanın örneklemini içerisinde yer alan tüm GŞÇ kuazarlar için parlaklık ve parlaklık değişim genliği arasında ters bağıntı olduğu ortaya koyulmuştur.

### 4. Sonuçlar

Önceki çalışmaların (*Vanden Berk (2014)*, *Zenfeng Li vd. (2018)*, ve buradaki referanslar), çoğunluğu rüzgâr yapısı göstermeyen kuazarlardan oluşan örneklemeler kullanarak elde ettiği bulgular, bu çalışmada ilk kez yalnızca GŞÇ kuazarlar için test edilmiştir. Normal kuazarlarda görülen parlaklık ve parlaklık değişim genliği arasındaki ters korelasyonun, GŞÇ kuazarlar için de geçerli olduğu görülmüştür. Bu çalışmada elde edilen bulgular; rüzgâr yapısına sahip kuazarların normal kuazarlar gibi büyük ışınım gücüne sahip olduklarında parlaklık değişimlerinin daha küçük olduğuna işaret etmektedir.

Rüzgâr yapısına sahip olup olmadığına bakılmaksızın keşfedilen tüm kuazarları kapsayan çalışmalardan,  $z-L_{BOL}$  arasında (ve dolayısıyla  $z$  ile parlaklık arasında) kısmen seçim etkisine dayalı bir bağıntı olduğu bilinmektedir. Bu durum,  $z$ ,  $L_{BOL}$  ve parlaklık değişim genliği arasındaki korelasyonu dejenere hale getirmektedir (*Vanden Berk (2014)*, *Zenfeng Li vd. (2018)*, ve buradaki referanslar). Çalışmanın seçilen örneklemini içerisinde değişim genliği ve  $z$  arasında bir korelasyon bulunmaması, değişim genliği ve parlaklık arasındaki ilişkinin dejenere durumdan bağımsız olarak ortaya koyulabilmesini sağlamıştır.

GŞÇ kuazarlar için bulunan ilişkilerin matematiksel bağıntılar şeklinde ifade edilmesi, GŞÇ kuazarlar ile normal kuazarlar arasındaki farklılık ve benzerliklerin belirlenmesi için kolaylık sağlayacaktır. Ancak, CSS veri tabanında yer alan fotometrik ölçümlerin çok yüksek gürültüye sahip olması nedeniyle bu bağıntılar bu çalışmanın dışında bırakılmıştır.

Kuazarların düzensiz parlaklık değişimlerinin arkasındaki mekanizmalar tam olarak anlaşılabilmiş değildir. Ancak kuazarın merkezindeki kara delik üzerine akan madde miktarındaki düzensizliklerin, yığılma

diskindeki kararsızlıklardan kaynaklandığı yönünde güçlü bulgular dikkat çekmektedir (Vanden Berk vd. 2004, MacLeod vd. 2010, 2011, 2012 ve buradaki referanslar). Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, yüksek ışınım gücüne sahip olan rüzgârlı kuazarların daha kararlı bir disk yapısına sahip olduğuna işaret etmektedir.

Kuazar rüzgarları, yığılma diskinde yer alan maddenin açısal momentum kaybetmesine ve dolayısıyla kara delik içine madde akışının sürekliliğe sahip olmasına katkı sağlamaktadır. Bu nedenle GŞÇ kuazarların, diğer kuazarlara kıyasla daha az disk kararsızlığına sahip olması beklenir. Bu beklentilerin test edilmesi için rüzgâr parametreleri ve fotometrik değişkenlik arasındaki ilişkilerin incelenmesi, bu konunun ayrıntılarının anlaşılmasına katkı sağlayacaktır. Bu çalışmanın devamı olarak, rüzgâr parametreleri ve parlaklık değişimleri arasında olası bağıntıların inceleneceği bir çalışma hazırlanmaktadır.

### Teşekkür

Bu çalışma, Sayılı (2019) tez çalışmasının bir bölümünden üretilmiştir. Çalışmanın ve tezin ortaya koyulmasında finansal desteği için TÜBİTAK 115F037 numaralı projeye teşekkür ederiz.

### Yazar Katkıları

Nurten Filiz Ak: Analizi planlamış ve tasarlamıştır. Çalışmanın istatistiksel analizlerini yapmış ve makaleyi yazmıştır.

Ömür Sayılı: Veri toplamış ve analizlerin tasarlanmasına katkı sağlamış ve analizleri yapmıştır.

### Çıkar Çatışması

Yazarlar çıkar çatışması bildirmemişlerdir.

### Kaynaklar

- Drake, A. J., Djorgovski, S. G., Mahabal, A., Beshore, E., Larson, S., Graham, M. J., Williams, R., Christensen, E., Catelan, M., Boattini, A., Gibbs, A., Hill, R. ve Kowalski, R. (2009). First Results from the Catalina Real-Time Transient Survey. *The Astrophysical Journal*, 696, 870–884. <https://doi.org/10.1088/0004-637X/696/1/870>
- Filiz Ak, N., Brandt, W. N., Hall, P. B., Schneider, D. P., Anderson, S. F., Hamann, F., Lundgren, B. F., Myers, A. D., Pâris, I., Petitjean, P., Ross, N. P., Shen, Y. ve York, D. (2013). Broad Absorption Line Variability on Multi-year Timescales in a Large Quasar Sample. *The Astrophysical Journal*, 777, 168–196. <https://doi.org/10.1088/0004-637X/777/2/168>
- Filiz Ak, N., Brandt, W. N., Hall, P. B., Schneider, D. P., Anderson, S. F., Gibson, R. R., Lundgren, B. F., Myers, A. D., Petitjean, P., Ross, N. P., Shen, Y., York, D. G., Bizyaev, D., Brinkmann, J., Malanushenko, E., Oravetz, D. J., Pan, K., Simmons, A. E. ve Weaver, B. A. (2012). Broad Absorption Line Disappearance on Multi-year Timescales in a Large Quasar Sample. *The Astrophysical Journal*, 757, 114–133. <https://doi.org/10.1088/0004-637X/757/2/114>
- Filiz Ak, N., Brandt, W. N., Hall, P. B., Schneider, D. P., Trump, J. R., Anderson, S. F., Hamann, F., Myers, A. D., Pâris, I., Petitjean, P., Ross, N. P., Shen, Y. ve York, D. (2014). The Dependence of C IV Broad Absorption Line Properties on Accompanying Si IV and Al III Absorption: Relating Quasar-wind Ionization Levels, Kinematics, and Column Densities. *The Astrophysical Journal*, 791, 88–109. <https://doi.org/10.1088/0004-637X/791/2/88>
- Gibson, R. R., Jiang, L., Brandt, W. N., Hall, P. B., Shen, Y., Wu, J., Anderson, S. F., Schneider, D. P., Vanden Berk, D., Gallagher, S. C., Fan, X. ve York, D. G. (2009). A Catalog of Broad Absorption Line Quasars in Sloan Digital Sky Survey Data Release 5. *The Astrophysical Journal*, 692, 758–777. <https://doi.org/10.1088/0004-637X/692/1/758>
- MacLeod, C. L., Brooks, K., Ivezić, Ž., Kochanek, C. S., Gibson, R., Meisner, A., Kozłowski, S., Sesar, B., Becker, A. C. ve de Vries, W. H. (2011). Quasar Selection Based on Photometric Variability. *The Astrophysical Journal*, 728, 26–43. <https://doi.org/10.1088/0004-637X/728/1/26>

- MacLeod, C. L., Ivezić, Ž., Kochanek, C. S., Kozłowski, S., Kelly, B., Bullock, E., Kimball, A., Sesar, B., Westman, D., Brooks, K., Gibson, R., Becker, A. C. ve de Vries, W. H. (2010). Modeling the Time Variability of SDSS Stripe 82 Quasars as a Damped Random Walk. *The Astrophysical Journal*, 721, 1014–1033. <https://doi.org/10.1088/0004-637X/721/2/1014>
- MacLeod, C. L., Ivezić, Ž., Sesar, B., de Vries, W., Kochanek, C. S., Kelly, B. C., Becker, A. C., Lupton, R. H., Hall, P. B., Richards, G. T., Anderson, S. F. ve Schneider, D. P. (2012). A Description of Quasar Variability Measured Using Repeated SDSS and POSS Imaging. *The Astrophysical Journal*, 753, 106–127. <https://doi.org/10.1088/0004-637X/753/2/106>
- Matthews, T. A. ve Sandage, A. R. (1963). Optical Identification of 3C 48, 3C 196, and 3C 286 with Stellar Objects. *The Astrophysical Journal*, 138, 30–56. <https://doi.org/10.1086/147615>
- Palanque-Delabrouille, N., Yeche, C., Myers, A. D., Petitjean, P., Ross, N. P., Sheldon, E., Aubourg, E., Delubac, T., Le Goff, J.-M., Pâris, I., Rich, J., Dawson, K. S., Schneider, D. P. ve Weaver, B. A. (2011). Variability selected high-redshift quasars on SDSS Stripe 82. *Astronomy and Astrophysics*, 530, A122, 1–12. <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201016254>
- Pâris, I., Petitjean, P., Aubourg, É., Myers, A. D., Streblyanska, A., Lyke, B. W., Anderson, S. F., Armengaud, É., Bautista, J., Blanton, M. R., Blomqvist, M., Brinkmann, J., Brownstein, J. R., Brandt, W. N., Burtin, É., Dawson, K., de la Torre, S., Georgakakis, A., Gil-Marín, H., Green, P. J., Hall, P. B., Kneib, J.-P., LaMassa, S. M., Le Goff, J.-M., MacLeod, C., Mariappan, V., McGreer, I. D., Merloni, A., Noterdaeme, P., Palanque-Delabrouille, N., Percival, W. J., Ross, A. J., Rossi, G., Schneider, D. P., Seo, H.-J., Tojeiro, R., Weaver, B. A., Weijmans, A.-M., Yéche, C., Zarrouk, P. ve Zhao, G.-B. (2018). The Sloan Digital Sky Survey Quasar Catalog: Fourteenth data release. *Astronomy and Astrophysics*, 613, A51, 1–17. <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201732445>
- Sayılı, Ö. (2019). *Geniş Soğurma Çizgili Kuazarların Fotometrik İncelenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Shen, Y., Richards, G. T., Strauss, M. A., Hall, P. B., Schneider, D. P., Snedden, S., Bizyaev, D., Brewington, H., Malanushenko, V., Malanushenko, E., Oravetz, D., Pan, K. ve Simmons, A. (2011). A Catalog of Quasar Properties from Sloan Digital Sky Survey Data Release 7. *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 194, 45. <https://doi.org/10.1088/0067-0049/194/2/45>
- Silverman, B. W. (1986). *Density estimation for statistics and data analysis, Monographs on Statistics and Applied Probability*. London: Chapman and Hall. ISBN: 0-412-24620-1. Erişim adresi: <https://ned.ipac.caltech.edu/level5>
- Suberlak, K., Ivezić, Ž., MacLeod, C. L., Graham, M. ve Sesar, B. (2017). Solving the puzzle of discrepant quasar variability on monthly time-scales implied by SDSS and CRTS data sets. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 472(4), 4870–4877. <https://doi.org/10.1093/mnras/stx2310>
- van den Bergh, S., Herbst, E. ve Pritchett, C. (1973). A search for faint variable objects. *The Astronomical Journal*, 78, 375–376. <https://doi.org/10.1086/111426>
- Vanden Berk, D. E., Wilhite, B. C., Kron, R. G., Anderson, S. F., Brunner, R. J., Hall, P. B., Ivezić, Ž., Richards, G. T., Schneider, D. P., York, D. G., Brinkmann, J. V., Lamb, D. Q., Nichol, R. C. ve Schlegel, D. J. (2004). The Ensemble Photometric Variability of 25,000 Quasars in the Sloan Digital Sky Survey. *The Astrophysical Journal*, 601, 692–714. <https://doi.org/10.1086/380563>
- Yang, G., Brandt, W. N., Luo, B., Xue, Y. Q., Bauer, F. E., Sun, M. Y., Kim, S., Schulze, S., Zheng, X. C., Paolillo, M., Shemmer, O., Liu, T., Schneider, D. P., Vignali, C., Vito, F. ve Wang, J.-X. (2016). Long-term X-Ray Variability of Typical Active Galactic Nuclei in the Distant Universe. *The Astrophysical Journal*, 831, 145–165. <https://doi.org/10.3847/0004-637X/831/2/145>
- Zenfeng Li, McGreer, I. D., Wu, X.-B., Fan, X. ve Yang, Q. (2018). The Ensemble Photometric Variability of Over  $10^5$  Quasars in the Dark Energy Camera Legacy Survey and the Sloan Digital Sky Survey. *The Astrophysical Journal*, 861, 6–18. <https://doi.org/10.3847/1538-4357/aac6ce>