

Rüzgâr Yapısı Gösteren Kuazarların Fotometrik İncelenmesi – II: Parlaklık Değişim Genliği ve Rüzgâr Parametreleri Arasındaki İlişkiler

Nurten Filiz Ak^{*1,2}, Ömür Sayılı^{1,2}

¹Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, Fen Fakültesi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, Türkiye

²Astronomi ve Astrofizik Gözlemevi Uygulama ve Araştırma Merkezi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, Türkiye

(Alınış / Received: 14.06.2022, Kabul / Accepted: 21.09.2022, Online Yayınlanma / Published Online: 30.12.2022)

Anahtar Kelimeler

Astrofizik
Aktif Galaksiler
Kuazarlar
Kuazar Rüzgârları
Parlaklık Değişimi

Öz: Rüzgâr yapısına sahip olduğu bilinen geniş soğurma çizgili kuazarların parlaklık değişim genlikleri, kuazarın parlaklığı ile bir ters korelasyon göstermektedir. Bu ters korelasyonu da dikkate alarak, parlaklık değişim genliği ve rüzgâr parametreleri arasında ilişkilerin olup olmadığının araştırıldığı bu çalışmada, parametre ölçümleri sistematik olarak yapılmış 624 rüzgârlı kuazar incelenmiştir. Rüzgârlı kuazarları, üç farklı gruplandırma yaklaşımı ile ele alan analizler değerlendirildiğinde, aynı parlaklığa sahip kuazarların parlaklık değişim genliklerinde belirleyici etkenin rüzgâr şiddeti olduğu ortaya çıkarılmıştır. Elde edilen bulgulara göre, şiddetli ve istikrarlı rüzgârlara sahip kuazarlar, daha az parlaklık değişimi göstermektedir. Bu bulgular, kuazarlardaki parlaklık değişiminin yığılma diskindeki kararsızlıklarla bağlantılı olduğu yönündeki kuramsal yaklaşımları doğrulayıcı niteliktedir.

Photometric Analysis of Quasars with Outflows -II: The Relations Between Variability Amplitude and Outflow Parameters

Keywords

Astrophysics
Active Galaxies
Quasars
Quasar Outflows
Brightness Variations

Abstract: Broad absorption line (BAL) quasars that have outflowing winds, in general, present anti correlation between their brightness and variability amplitude of their light curves. Considering this underlying correlation, we assess correlations between the variability amplitude and outflow parameters for 624 BAL quasars that have systematically determined parameters. We adopt three different approaches to group/bin the BAL quasars. The results indicate a relation between the outflow strength and variability amplitude in a way where the quasars with strong and stable outflows tend to show smaller variability amplitudes. This result favors the theoretical assumption of the main mechanism behind the variability amplitude is being the accretion disk instabilities.

*İlgili Yazar, email: nfilizak@gmail.com

1. Giriş

En güçlü ışınımına sahip aktif galaksilerin çekirdeğini oluşturan kuazarlar; merkezde bir süper kütleli kara delik, hemen dışında bir yığılma diski ve yığılma diskini bir simit şeklinde çevreleyen toz torusundan oluşan bileşenlere sahiptir. Bu bileşenlere ek olarak, bazı kuazarlar yığılma diskinde dik şekilde bir jet yapısına ve bazı kuazarlar da diskten dışa doğru eğimli rüzgâr yapılarına sahiptir [1]. Yığılma diskinden dışa doğru yönelmiş olan rüzgârla taşınan soğurucu madde, beklenen dalgaboyundan daha maviye kaymış, geniş soğurma çizgilerini oluşturur. Bir kuazarın rüzgâr yapısına sahip olduğunun doğrudan gözlemsel kanıtı olan bu çizgiler nedeniyle, rüzgâr yapısına sahip olan kuazarlar; “Geniş Soğurma Çizgili” (GSC; ing BAL: Broad Absorption Line) kuazarlar olarak adlandırılmaktadır [2].

GSC kuazarların sistematik olarak incelendiği en kapsamlı katalog, [1] çalışmasında sunulmuştur. Sloan Digital Sky Survey (SDSS) tarafından 2002 ve 2008 yılları arasında tayfsal gözlemleri elde edilmiş tüm kuazarları inceleyen çalışma, C IV (1550 Å) salma çizgisinden daha maviye kaymış, sürekliliğin en az %10 altında bir derinliğe sahip ve genişliği en az 2000 km s⁻¹ olan, en az bir soğurmaya sahip 5039 GSC kuazarın gözlemsel özelliklerini listelemiştir. Daha sonraki yıllarda yayınlanan kuazar katalogları, özel olarak GSC kuazarlar üzerinde yoğunlaşmamış ancak GSC kuazarları belirtmek için tanımlayıcı parametreler eklemiştir [örneğin, 3, 4]. GSC kuazarların tüm kuazarlara oranının yaklaşık %10—15 olduğu öngörülmüştür [5, 1].

Tüm kuazarlar, rüzgâr yapısına sahip olup olmadığından bağımsız olarak, gözlemlendiği tüm dalga boylarında düzensiz değişimler gösteren bir karakteristiğe sahiptir. X-ışın gözlemlerindeki değişimler [6, 7], morötesi ve optik bölgedeki tayfsal ve fotometrik değişimler [8] kuazarların doğasını anlamak için ayrıntılı incelemelere dahil edilmiştir. Değişimler, optik ve morötesi dalgaboylarını kapsayan tayflarda ve parlaklık ölçümü yapılan fotometrik verilerde çok kısa zaman ölçeklerinden çok uzun zaman ölçeklerine kadar yayılabilmektedir [7, 8].

Hem uzun zamanlı hem de kısa zamanlı parlaklık değişimlerinin analizleri, genel olarak kuazarların parlaklık değişim genliğinin mutlak parlaklıkla ters orantılı olduğunu ortaya koymaktadır. Simm vd. [9] çalışması, ele alınan kuazar örnekleminde bolometrik (tüm dalga boylarındaki) ışınım gücü büyük olanların küçük değişim genliğine sahip olduğunu ancak değişim genliği ve kara delik kütlesi arasında bir bağlantı bulunmadığını göstermiştir. Vanden Berk vd. [10] çalışmasında büyük genlikli parlaklık değişimi gösteren kuazarların güçlü radyo ve x-ışınımına sahip olduğunu öne sürmüştür. Simm vd. [9] çalışması x-ışın şiddeti ve fotometrik parlaklık değişim genliği arasında olası ilişkilerin beklendiğini vurgulamış ve x-ışın şiddetinin diskin yapısındaki değişimlere bağlı olarak değişebileceğine ve fotometrik parlaklık değişiminin de buna bağlı olarak ortaya çıkabileceğine değinmiştir.

Rüzgâr yapısına sahip kuazarların parlaklık değişim genlikleri ve fiziksel parametreleri arasında bir ilişki olup olmadığını inceleyen ayrıntılı çalışmalar rüzgârların kuazarın yapısına etkilerinin anlaşılması bakımından önemlidir. Ancak literatürde yer alan çalışmalar, kuazarları rüzgâr yapısına sahip olup olmadığına bakmaksızın ele alan örneklemeler üzerinde yoğunlaşmaktadır. Bu inceleme serisinin ilk makalesi olan [11] çalışmasında, Catalina Sky Survey (CSS) veri tabanında ışık eğrisi gözlenmiş 1886 rüzgârlı kuazarın parlaklık değişimleri incelenmiş, parlaklık değişim genliği ve kuazar fiziksel parametreleri arasında ilişkiler aranmıştır. Çalışmada elde edilen sonuçlar, rüzgârlı kuazarların parlaklık değişim genliği değerinin geniş bir aralığa yayıldığını ve değişim genliği ile kuazarın mutlak parlaklığı arasında ters korelasyon olduğunu göstermektedir. Elde edilen bulgular, rüzgâr yapısına sahip olmayan kuazarlar için elde edilen bulgularla aynı sonuçları işaret etmektedir.

Kuazarlarda belirlenen GSC yapıları da zamana bağlı değişimler göstermektedir. Bu değişimler, zamana bağlı olarak zayıflama ya da şiddetlenme [12, 13] ortadan kaybolma [14, 15], yeniden ortaya çıkma [16] ve nadiren (pozitif ya da negatif) ivmelenme [17] şeklindedir. Filiz Ak vd. [12] çalışmasında, GSC yapılarındaki değişimler geniş bir kuazar örneklemini ele alınarak incelenmiş ve GSC yapılarına ait parametreler ile değişimler arasında ilişkiler bulunmuştur. Daha şiddetli ve daha düşük hızlarda görülen GSC'lerin kesirsel olarak daha küçük değişimler gösterdiği kaydedilmiştir. Filiz Ak vd. [13] çalışması, GSC yapılarını tanımlayan parametreler ve bu parametrelerin zamana bağlı değişimlerini açıklamak için rüzgârla taşınan soğurucu maddenin iyonlaşma potansiyelinin belirleyici bir etken olabileceğine dikkat çekmiştir.

Kuazarların yığılma diskinden dışarıya doğru rüzgâr ile taşınan maddenin iyonlaşma durumu, tayflarda hangi elementlere ait soğurma yapılarının gözlemlendiği dikkate alınarak anlaşılabilir. Filiz Ak vd. [13] çalışmasında, kuazarlar rüzgârlarının %~13'ünün yalnızca C IV, %~29'unun hem C IV hem Si IV ve %~11'inin hem C IV, hem Si IV hem de Al III soğurması oluşturduğunu belirlemiştir. Bu elementlerin iyonlaşma potansiyel enerjileri C IV için 64.5 eV, Si IV için 45.1 eV ve 28.4eV olduğundan; yalnızca C IV soğurması oluşturan rüzgârların, büyük iyonlaşma potansiyeline sahip soğurucu gaz bulundurduğu anlaşılmaktadır. Aynı hız aralığına sahip hem C IV hem Si IV hem de Al III soğurma yapılarının iyonlaşma potansiyellerinin ise çok daha düşük değerlere ulaşabildiği ortaya konulmuştur [18]. Elde edilen bulgular, düşük iyonlaşma potansiyeline sahip soğurucu gazların oluşturduğu C IV GSC yapılarının daha geniş, daha derin ve daha şiddetli olduğunu ve bu tür GSC'lerin daha az şiddet değişimi gösterdiğini işaret etmektedir [13].

Rüzgâr yapısına sahip kuazarların parlaklık değişim genliği ve rüzgâr parametreleri arasında bir bağlantı olup olmadığı bilinmemektedir. Kuazarların parlaklık değişimlerini inceleyen çalışmalar, değişimlere sebep olan olası mekanizmanın yığılma diskindeki kararsızlıklardan kaynaklanabileceğini ortaya koymaktadır. Rüzgâr yapıları, yığılma diskinden açılma momentum kaybı sağladığından, diskin daha kararlı hale gelmesini sağlayan bir mekanizmadır. Bu bakımdan, kuazarların rüzgâr parametreleri ile parlaklık değişim genlikleri arasında bir ilişki olup olmadığını incelemek konu hakkında önemli ipuçları sunabilecek potansiyele sahiptir [19].

GSÇ kuazarların parlaklık değişimlerini ele aldığımız inceleme serisinin ilki olan Filiz Ak ve Sayılı'nın [11] çalışmasında, parlaklık değişim genlikleri ile kuazar parametreleri arasında ilişkiler aranmıştır. Bu çalışmada ise parlaklık değişim genliği ve rüzgâr parametreleri arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Çalışmanın örneklem seçimi ve parametrelerin belirlenmesi Bölüm 2'de, elde edilen bulgular ise Bölüm 3'de anlatılmıştır.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada, kuazarların rüzgâr yapılarındaki değişimler ile fotometrik parlaklık değişimleri arasında ilişkiler aranmıştır. Bu amaca uygun olarak, ana örneklem içerisinde yer alan kuazarlar şu kriterleri sağlayacak şekilde belirlenmiştir: (a) Kuazarın, tayfsal veriler ile tespit edilmiş en az bir geniş soğurma çizgisine sahip olması gerekir. (b) Geniş soğurma çizgisinin tayfsal ölçümleri (hız, şiddet vb.) yapılmış olmalıdır. (c) Soğurma çizgilerinin uzun süreli değişimlerinin incelenmesi için kuazar uzayında en az bir yıl ara ile elde edilmiş, iki tayfsal gözlemi olmalıdır. (d) Fotometrik parlaklık değişimlerinin belirlenebilmesi için sistematik olarak elde edilmiş ışık eğrileri, değişimi belirleyebilecek sayıda veri içermelidir. Çalışmanın ana örneklem seçimi için belirlenen bu kriterlerin ayrıntıları aşağıda tartışılmıştır.

Kuazarların tayflarında gözlenen ve rüzgârların doğrudan belirteci olan soğurma çizgileri, geniş (genişliği 2000 km s^{-1} üzerinde), orta genişlikte (genişliği 2000 ila 500 km s^{-1} aralığında olanlar) ve dar soğurma çizgileri (genişliği 500 km s^{-1} altında) olarak üç gruba ayrılmaktadır [3, 4, 18]. Dar ve orta genişlikteki soğurma çizgileri sıklıkla, kuazar ve gözlemci arasında bulunan soğurucu yapılardan kaynaklanabildiğinden, kuazarın yığılma diskinden çıkan rüzgârların belirteci olarak yalnızca geniş soğurma çizgileri (GSÇ) dikkate alınmaktadır [2]. Geniş soğurma çizgileri, bazen yalnızca C IV salma çizgisinin bazen de C IV ile beraber Si IV, Al III ve Mg II salma çizgilerinin mavi tarafında tespit edilebilmektedir. Geniş soğurma çizgilerine sahip kuazarların analitik bir yaklaşımla belirlenmesi için [2] çalışmasında, GSÇ'ler sürekliliğinin en az %10 altında, en az 2000 km s^{-1} genişliğine sahip soğurma çizgileri olarak tanımlanmıştır.

SDSS tarafından gözlenen tayfları inceleyen Filiz Ak vd. [13] çalışmasında, 2000 ila 2003 yılları arasında gözlenen, kırmızıya kayma değeri $1.9 < z < 3.9$ olan kuazarlar seçilmiş ve bu kuazarların tayflarında C IV salma çizgisinden en az 3000 km s^{-1} ve en çok 20000 km s^{-1} maviye kaymış olan bölgede en az bir GSÇ bulunduran 715 rüzgârlı kuazar belirlenmiştir. Bu kuazarların tamamı radyo bölgede görece düşük ışınımaya sahip olan radyo sessiz kuazarlardır. Filiz Ak vd. [13] çalışmasında, rüzgârlı kuazarların tayflarında bulunan GSÇ yapılarının her birinin başlangıç hızı (v_{\min}), bitiş hızı (v_{\max}), genişliği (Δv), çizgi merkezinin hızı (v_{mer}), derinliği (d) ve eşdeğer genişliği (EG) ölçülmüştür.

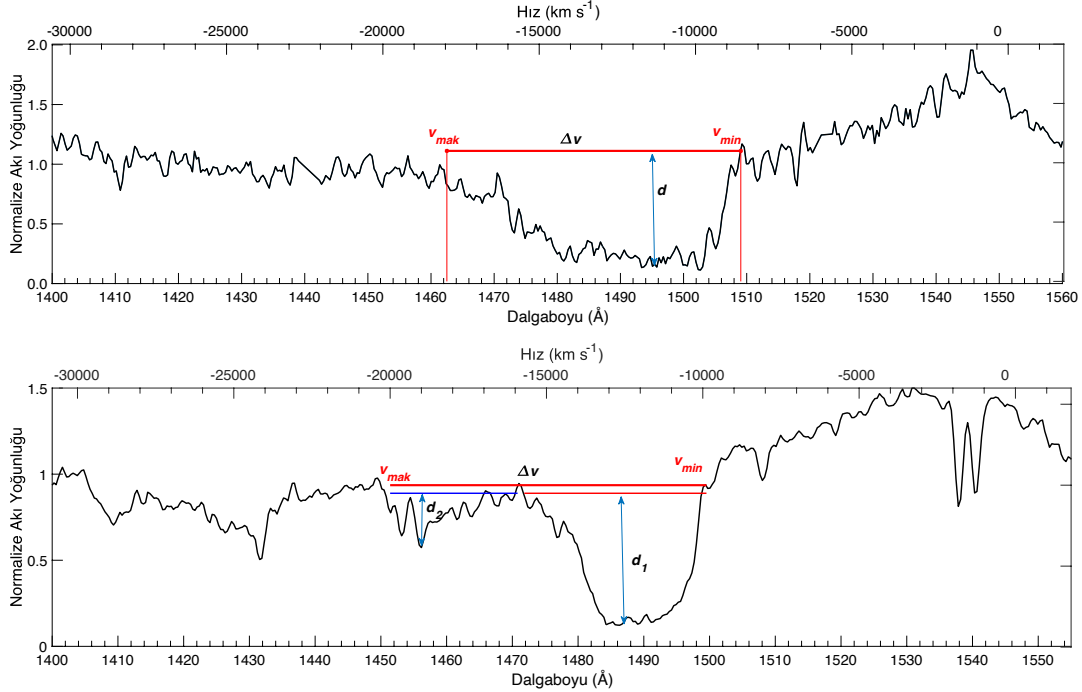
Filiz Ak vd. [13] çalışmasında, en az bir yıl ara ile gözlemleri yapılmış olan 671 kuazarın tayfında tespit edilen 851 C IV GSÇ için belirlenen parametrelerin değişimleri incelenmiştir. Rüzgârların zaman içerisinde değişimlerini tanımlayan parametreler Δt zaman farkıyla ölçülen iki değer farkı olarak tanımlanmıştır. Buna göre Δd ; derinlik değişimini, ΔEG ; eşdeğer genişlik değişimini tanımlamaktadır. Filiz Ak vd. [12, 13] çalışmalarında kuazarların eşdeğer genişliklerinin değişim miktarının eş değer genişlik değerinin kendisi ile doğru orantılı olduğu verilmiştir. Bu etkiyi göz önünde bulundurmak amacı ile eşdeğer genişlik değişimi için ikinci bir parametre olan kesirsel eşdeğer genişlik (ΔKEG) tanımlanmıştır. ΔKEG , eşdeğer genişlik değişiminin iki farklı zamanda alınmış eşdeğer genişliklerin ortalamasına oranıdır. Bir başka ifade ile $\Delta KEG = \Delta EG / \langle EG \rangle$ ile verilmiştir. GSÇ yapılarının konumları yani v_{\min} ve v_{\max} hızları sabit tutulmuş, iki farklı zamanda alınan ölçümlerden mümkün olan en geniş aralığı tanımlayan değerler v_{\min} ve v_{\max} olarak belirlenmiştir.

Rüzgâr parametreleri ve bu parametrelerin zamana bağlı değişimleri belirlenmiş olan 671 GSÇ kuazarın parlaklık değişim genliğini tanımlamak için Catalina Sky Survey (CSS) tarafından elde edilen filtresiz fotometrik ışık eğrileri kullanılmıştır. CSS bünyesinde çapları 1.5, 1.0 ve 0.7 m olan üç farklı teleskop yer almaktadır [20]. Her bir teleskoptan gelen veriler standardize edilerek, AB parlaklıklar cinsinden sunulduğundan veri tabanı içerisindeki ışık eğrileri herhangi bir yanlılığa sahip değildir. Filiz Ak vd. [11] çalışmasındaki kriterler takip edilerek GSÇ kuazarlar CSS veri tabanında 3".96 yarıçap içerisinde çapraz eşleştirme ile aranmıştır. Gecelik ortalama parlaklık ölçümlerinin sayısı en az 15 olan 624 kuazar belirlenmiştir.

Bu veriler değerlendirildiğinde, parlaklık değişim genliği, rüzgâr parametreleri ve rüzgâr değişim parametreleri arasında ilişkilerin aranması için 624 kuazar ana örneklem olarak alınmıştır. Bu örneklem, GSÇ kuazarların parlaklık değişim genliğini incelemek için herhangi bir yanlılık içermeyen homojenliktedir. Ayrıca, ışık eğrilerindeki veri sayısı, parlaklık değişim genliğini ölçmeye yetecek niteliktedir.

Ana örneklemde yer alan 624 kuazarın en az bir yıl ara ile alınmış iki farklı tayfsal gözlemleri incelendiğinde, 469 kuazarın 1 tane, 140 kuazarın 2 tane, 13 kuazarın 3 tane ve 2 kuazarın 4 tane birbirinden bağımsız rüzgâr yapısına sahip olduğu bulunmuştur. Böylece incelenen örneklem içerisindeki toplam geniş soğurma çizgisi sayısı 796'dır.

Şekil 1’de bir ve iki GSÇ’ye sahip kuazar tayfları gösterilmiştir. Birden fazla bağımsız GSÇ yapısına sahip kuazarları değerlendirirken rüzgâr parametrelerinden, en düşük hızlardaki rüzgârın başlangıç hızı v_{min} , en hızlı rüzgârın bitiş hızı v_{mak} olarak alınmıştır, bu tanımlama görsel olarak Şekil 1’de de sunulmuştur. Genişlik ve eşdeğer genişlik olarak tek bir tayfin C IV bölgesinde tespit edilen GSÇ’lerin toplam değerleri alınmıştır. Derinlik ise birden fazla GSÇ için ölçülen derinliklerin ortalaması olarak alınmıştır. Bu değerlerin birinci ve ikinci gözlenen tayflardaki farkları ise değişimler olarak hesaplanmıştır.



Şekil 1. Kuazarların tayflarında bulunan GSÇ yapıları ve bu yapıya ait parametrelerin gösterimleri. Üst panelde, C IV bölgesinde bir GSÇ yapısı bulunan bir kuazar tayfı, alt panelde ise iki GSÇ yapısı bulunan bir kuazar tayfı gösterilmiştir. Soğurma çizgilerinin derinlikleri d , minimum ve maksimum hızları v ve hız genişliği Δv ile gösterilmiştir.

Kuazar ışık eğrilerinden parlaklık değişim genliğini ölçmek için [11] çalışmasında olduğu gibi öncelikle gecelik ortalama parlaklıklar belirlenmiş ve bunların değişimleri incelenmiştir. Değişimleri incelemek için tanımlanan iki parametreden bir tanesi Δm ; en parlak 10 ve en sönük 10 ölçüm arasındaki parlaklık farkıdır. Diğer bir değişim parametresi olan Normalize Değişim Parametresi (NDP) ise [11] çalışmasında verilen ifadelerle ölçülmüştür. Değişim genliklerinin yanı sıra, kuazarın ortalama parlaklığı (m_{ort}), ışık eğrisinin elde edildiği zaman aralığı (Δt_f) gibi parametreler [11] çalışmasında Bölüm 2’de verildiği şekilde hesaplanmıştır.

Kuazarlara ait parametreler olan kırmızıya kayma (z), toplam bolometrik ışınım gücü (L_{BOL}), i bandındaki mutlak parlaklık (M_i), merkezi karadelik kütlesi (M_{KD}) ve bolometrik ışınım gücü ile Eddington ışınım gücü oranı (L/L_{EDD}) [21] katalogundan alınmıştır.

Kuazarların parametrelerini kıyaslamak için iki örneklemlili t-testi ve iki örneklemlili Kolmogorov-Smirnov (KS) testleri yapılmıştır. Her iki testin de sıfır hipotezi; karşılaştırılan iki örneklemin dağılımlarının aynı olduğunu önermektedir. t-testi dağılımların ortalama ve standart sapma değerlerindeki benzerliklere duyarlıdır, KS-test ise dağılımın türünden bağımsız olarak karşılaştırma yapmaktadır. Bu nedenle bu test sonuçlarının her ikisinin birlikte değerlendirilmesi daha anlamlı sonuçlar sunacaktır [22]. Testlerin sonucunda elde edilen güvenilirlik parametresi ($P = 1 - p$); sıfır hipotezinin reddedilmesinin ne kadar güvenilir olduğunu ifade eder. Bu çalışmada yapılan testlerde $P > \%99.9$ olan sonuçlar, sıfır hipotezinin kesin olarak reddedildiğini, $\%95 < P < \%99.9$ olan sonuçlar sıfır hipotezinin reddedilmesinin güçlü bir önerme olduğunu işaret eder. Eğer P değeri $\%95$ ’in altında ise sıfır hipotezini reddetmenin istatistiksel anlamlı olmadığı anlaşılmaktadır.

3. Bulgular

Rüzgâr yapısına sahip kuazarların tayflarında bulunan geniş soğurma çizgilerinin özellikleri ile bu kuazarların fotometrik parlaklık değişimleri arasında ilişkiler aramak için hem GSÇ parametreleri iyi bilinen hem de parlaklık değişim genlikleri belirlenmiş 624 kuazar ana örneklem olarak seçilmiştir. Parametreler arasında ilişkilerin

aranması amacıyla şu üç yaklaşım dikkate alınmıştır: (1) Kuazarların en büyük genlikli parlaklık değişimi gösteren alt grubu ile en küçük genlikli parlaklık değişimi gösteren alt grupları için GŞÇ yapılarının özellikleri kıyaslanmıştır. (2) Kuazarlar GŞÇ yapılarının şiddetine göre iki alt gruba ayrılmış ve bunların parlaklık değişim genlikleri kıyaslanmıştır. (3) Rüzgârların hangi element geçişlerinde soğurma çizgisi oluşturduğu, rüzgâr maddesinin iyonizasyon seviyesinin bir belirteçidir. Bu belirteç dikkate alınarak düşük, orta ve yüksek iyonizasyon seviyesine sahip rüzgârlar alt gruplar şeklinde ele alınarak rüzgâr şiddeti ve parlaklık değişim genlikleri arasında ilişkiler analiz edilmiştir. Bu üç farklı gruplama yaklaşımı ile yapılan analizlerin sonuçları aşağıda verilmektedir.

3.1. Parlaklık değişim genliğine göre gruplandırma

Ana örneklem içinde yer alan 624 kuazar içerisinde ışık eğrisindeki parlaklık değişim genliğini dikkate alan gruplandırmada, [11] çalışmasına benzer olarak; $\log(NDP) \geq 0.0$ olan 33 kuazar Büyük Genlikli (BG) ve $\log(NDP) \leq -1.0$ olan 48 kuazar ise Küçük Genlikli (KG) şeklinde gruplandırılmıştır. $\log(NDP)$ için belirlenen sınırların seçimi [11] çalışmasında Bölüm 3.1'de verilmiştir.

KG ve BG gruplarında yer alan kuazarların görünen ve mutlak parlaklıkları ile GŞÇ yapılarının eşdeğer genişlik, derinlik ve orta hız ölçümlerinin ortalamaları Tablo 1'de verilmiştir. Gruplara ait parametreler için yapılan t ve KS-test sonuçlarından bulunan güvenilirlik değerleri son iki satırda verilmiştir.

KG ve BG gruplarında bulunan kuazarların görünen parlaklıklarının ortalamaları arasında $\sim 0^m.5$ ve mutlak parlaklıkları arasında $\sim 1^m.5$ farklılık vardır. Yapılan test sonuçları, görünen ve mutlak parlaklık dağılımlarının arasında benzerlik olmadığını (t-test için %99.6 ve KS-test için %98.8 güvenlilikle dağılımların farklı olduğunu) önermektedir. Bu bulgu [11] çalışmasında elde edilen sonuçlarla uyumludur. Filiz Ak vd. [11] çalışmasında KG ve BG gruplarının parlaklık dağılımlarının %99.9'dan büyük bir güvenilirlikle farklı olduğu ve BG grubunda bulunan kuazarların daha sönük olduğu ortaya koyulmuştur. Bu çalışmanın sonuçları, [11] çalışmasına benzer olarak, BG grubunda yer alan kuazarların daha sönük olduğuna işaret etmektedir. Bu çalışmada elde edilen güvenilirlik parametrelerinin daha düşük olması ise örneklem sayılarının görece küçük olması ile açıklanabilmektedir. Mutlak parlaklıklar için elde edilen sonuçlar, görünen parlaklık için elde edilen sonuçları desteklemektedir.

Tablo 1. Parlaklık değişim genliğine göre yapılan gruplamada büyük genlikli (BG) ve küçük genlikli (KG) değişim gösteren kuazarların rüzgâr parametrelerinin kıyaslanması.

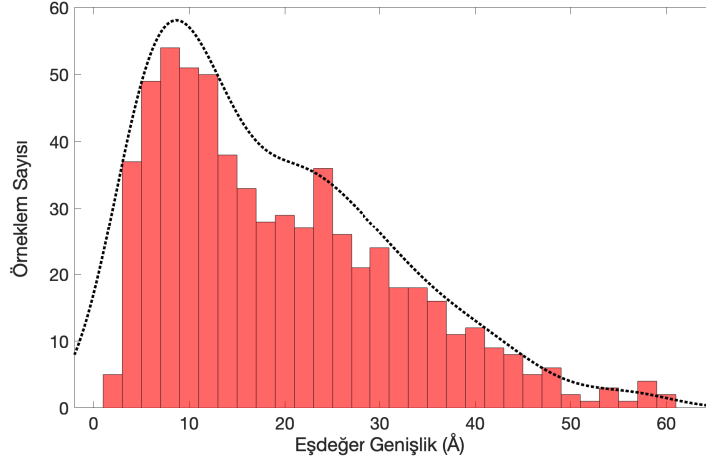
	Kriter	Sayı	m_i (kadir)	M_i (kadir)	<EG> (Å)	d	v_{orta} (km s ⁻¹)
KG	$\log(NDP) \leq -1.0$	48	18.27	-28.03	22.98	0.4480	13 319
BG	$\log(NDP) \geq 0.0$	33	18.68	-27.53	18.12	0.4042	13 552
t-test P			%99.6	%99.5	%88.2	%78.6	%21.6
KS-test P			%98.8	%99.0	%74.3	%53.1	%95.2

KG ve BG gruplarında yer alan kuazarların tayflarında belirlenen GŞÇ yapılarının ortalama eşdeğer genişlikleri (<EG>) kıyaslandığında, KG grubu için ortalama değer $\sim 23 \text{ Å}$ ve BG için ise $\sim 18 \text{ Å}$ olduğu Tablo 1'den görülmektedir. Bu ortalama değerlerin kıyaslanması, ışık eğrilerinde büyük genlikli parlaklık değişimi gösteren kuazarların daha zayıf GŞÇ yapılarına sahip olduğuna işaret etmektedir. Diğer yandan, dağılımları kıyaslamak için yapılan test sonuçları, dağılımlar arasında bir farklılık olduğunu önermeye yetecek güvenilirlikte değildir. Benzer şekilde derinlik (d) ve orta hız (v_{orta}) parametreleri için yapılan test sonuçları, dağılımlar arasında bir farklılık olduğunu önermeye yetecek güvenilirlikte değildir. Dolayısıyla, parlaklık değişim genliğinin büyüklüğüne göre seçilen bu gruplar için GŞÇ yapılarının özellikleri bakımından belirgin bir fark olduğunu söylemek istatistiksel olarak mümkün değildir.

Kuazarların KG ve BG gruplarına ayrıldığında, parlaklık değişim genliği ile rüzgâr parametreleri arasında istatistiksel olarak güçlü bir ilişkinin bulunamamasının, değişim genliği ve parlaklık arasındaki güçlü bağıntı nedeniyle baskılanmış olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Büyük genlikli parlaklık değişimleri gösteren kuazarlar, yanlı olarak daha sönük olduğundan, GŞÇ yapılarının özelliklerindeki olası bağılılığın gizlenmiş olması güçlü bir olasılıktır. Bu sonuçlar, kuazar gruplarının parlaklık dağılımları bakımından benzer olması şartı ile GŞÇ özellikleri ve $\log(NDP)$ arasında ilişki aranabileceğine işaret etmektedir. Bu durum dikkate alınarak, GŞÇ kuazarların parlaklık değişim genlikleri ve soğurma yapılarının özellikleri arasında ilişkiler aramak için farklı gruplandırma yaklaşımları yapılmıştır.

3.2. Rüzgâr şiddetine göre gruplandırma

Kuazarların parlaklık değişim genliği ile GŞÇ yapılarının özellikleri arasında olası bağıntıları incelemek için ikinci yaklaşım olarak GŞÇ yapılarının şiddetine göre gruplandırma yapılmıştır. Şekil 2’de, ana örneklem içinde yer alan 624 kuazarın EG dağılımı gösterilmiştir. Bu dağılımın normal dağılımdan uzak olduğu, büyük EG değerlerine doğru güçlü bir kuyruk yapısına sahip olduğu açıkça görülebilmektedir. Bu dağılım özellikleri dikkate alınarak, GŞÇ yapıları zayıf olan kuazarlar $EG \leq 15 \text{ \AA}$ ve GŞÇ yapıları şiddetli olan kuazarlar $EG \geq 30 \text{ \AA}$ şartları ile belirlendiğinde, alt gruplardaki örneklem sayıları sırası ile 284 ve 80 olarak bulunmuştur.



Şekil 2. Ana örneklem içinde yer alan 624 kuazarın soğurma çizgisinin şiddetini tanımlayan eşdeğer genişliklerinin dağılımı. Histogram üzerinde gösterilen kesikli çizgi, normalize olasılık yoğunluk dağılımını göstermektedir.

Şekil 2’de verilen EG dağılımı için sabit genişlikli ve Gauss formunda çekirdek yoğunluk tahmini modellemesi yapılmış ve olasılık yoğunluk fonksiyonu (OYF) hesaplanmıştır. OYF, histogram şeklinde gösterilen dağılımların bir ifadesi olup, farklı dağılımların kıyaslanması için anlaşılır görseller sunduğundan tercih edilmiştir [23].

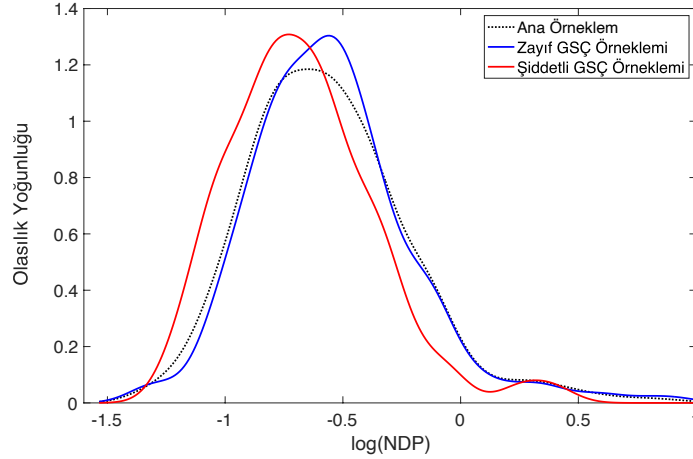
GŞÇ yapılarının şiddetinin doğrudan bir göstergesi olan EG parametresine göre yapılan sınıflandırmada, zayıf GŞÇ’ye sahip 284 ve şiddetli GŞÇ’ye sahip 80 kuazar için yapılan kıyaslamalar Tablo 2’de sunulmuştur.

Tablo 2’de sunulan sonuçlar gösteriyor ki kuazar tayfında bulunan GŞÇ yapılarının şiddetine göre yapılan gruplandırmada, zayıf GŞÇ’ye sahip kuazarlar ve şiddetli GŞÇ’ye sahip kuazarların görünen ve mutlak parlaklıkları oldukça benzer dağılımlar göstermektedir. Görünür parlaklıkların ortalamaları arasındaki fark yalnızca $\sim 0^m.05$ ve mutlak parlaklıkların ortalamaları arasındaki fark ise $\sim 0^m.1$ civarındadır. Uygulanan test sonuçları ise dağılımların farklı olduğunu önermeye yetecek istatistikler vermemiştir. Buna göre seçilen örneklemelerin yapısı, [11] çalışmasında ortaya koyulan parlaklık ve $\log(NDP)$ ilişkisinden bağımsız kabul edilebileceğinden GŞÇ şiddeti ve parlaklık değişim genliği arasında ilişki aramak için uygundur.

Tablo 2. Geniş soğurma çizgilerinin şiddetine göre oluşturulan alt örneklemelerin kıyaslanması. Görünen ve mutlak parlaklıklar, parlaklık değişim genliği, soğurma EG değişimi ve kesirsel EG değişimi ortalamaları ve uygulanan testlerin istatistik sonuçları verilmiştir.

	Kriter	Sayı	m_i (kadir)	M_i (kadir)	$\log(NDP)$	ΔEG (\AA)	ΔKEG (%)
Zayıf GŞÇ	$EG \leq 15 \text{ \AA}$	284	18.66	-27.66	-0.549	2.481	6.96
Şiddetli GŞÇ	$EG \geq 30 \text{ \AA}$	80	18.71	-27.78	-0.674	3.509	2.30
t-test P			%53.2	%83.7	%99.7	%99.5	>%99.9
KS-test P			%28.2	%95.3	%98.3	%97.2	>%99.9

Şiddetli GŞÇ yapısına sahip kuazarların parlaklık değişim genliklerinin ortalaması, zayıf GŞÇ yapısına sahip kuazarlara göre daha küçüktür. Bu iki alt örneklemin $\log(NDP)$ dağılımları için uygulanan t ve KS-test sonuçları, dağılımların farklı yapılara sahip olduğu önermesi için sırasıyla %99.7 ve %98.3 güvenilirlik değerlerini vermiştir. Elde edilen sonuçlara göre, şiddetli GŞÇ’ye sahip kuazarların daha küçük değişimler gösterdiği önerilebilmektedir.



Şekil 3. Rüzgâr şiddetine göre gruplandırılan kuazarların, parlaklık değişim genliği parametresi $\log(NDP)$ 'nin dağılımlarının kıyaslanması. Mavi dağılım, zayıf rüzgâra sahip kuazar örneklemini, kırmızı dağılım ise şiddetli rüzgâra sahip kuazar örneklemini temsil etmektedir. Kesikli siyah dağılım, ana örnekleme de yer alan tüm kuazarları temsil etmektedir.

GSÇ yapılarının zamana bağlı değişimler gösterdiği ayrıntılı çalışmalarla ortaya koyulmuştur [örneğin; 14, 12]. Soğurma çizgilerinin zamana bağlı değişimlerini tanımlamak için kullanılan; iki farklı zamanda gözlenen tayflardan ölçülen eşdeğer genişlik farkları; EG, ilk tayftan ölçülen EG ile bağıntılıdır. Bu bağıntılığı daha açıkça ortaya koyabilmek için tanımlanan kesirsel EG değişimi parametresi olan $\Delta EG / \langle EG \rangle$; bir anlamda kuazar tayfında bulunan soğurma çizgisinin yüzdelik olarak değişimini tanımlamaktadır. Filiz Ak vd. [13] çalışmasında ortaya koyulan sonuçlar, zayıf GSÇ yapılarının daha değişken olduğunu göstermiştir. Bu çalışma için seçilen alt örneklemlerin kıyaslanması, [13] çalışmasının sonuçları ile benzer olarak, büyük eşdeğer genişliğe sahip olan GSÇ yapılarının daha az şiddet değişimi gösterdiğini ortaya koymaktadır.

İkinci yaklaşım olarak ele alınan bu gruplandırmadan elde edilen sonuçlar, şiddetli ve az değişen GSÇ yapıları barındıran kuazarların ışık eğrilerindeki parlaklık değişimlerinin daha küçük olduğunu önermektedir.

3.3. Rüzgâr özelliklerine göre gruplandırma

Kuazarların tayfları incelendiğinde, bazı rüzgâr yapılarının yalnızca C IV soğurması oluşturduğu, bazı kuazarların ise C IV yanı sıra aynı hız aralığına sahip Si IV, Al III ve Mg II soğurmalarını da oluşturabildiği görülmüştür [13]. Bu durumun, rüzgâr ile taşınan soğurucu gazın iyonlaştırma potansiyel enerjisi ile ilişkili olduğu bilinmektedir [18, 1, 13, 24].

[13] çalışmasında tayflarda belirlenen GSÇ yapıları; yüksek iyonlaşmaya sahip (yalnızca C IV soğurması), orta iyonlaşmaya sahip (C IV ve Si IV soğurması) ve düşük iyonlaşmaya sahip (C IV, Si IV ve Al III soğurması) şeklinde sınıflandırılmıştır. Bu iyonlaşma durumları dikkate alınarak, benzer bir gruplandırma bu çalışma için yapılmıştır. Buna göre, C IV, Si IV ve Al III GSÇ yapısı gösteren 84 kuazar; düşük iyonlaşma, C IV ve Si IV GSÇ yapısı gösteren 212 kuazar; orta iyonlaşma ve yalnızca C IV GSÇ yapısı gösteren 95 kuazar; yüksek iyonlaşma gruplarına alınmıştır. Seçilen örneklemlerin sınırlarının net olarak ortaya koyulması ve yalnızca rüzgâr kaynaklı soğurmaların (bkz Bölüm 2) dikkate alınabilmesi için C IV soğurma yapısına karşılık gelen hız aralığı içinde Si IV ya da Al III geçişlerine ait 2000 km s^{-1} den daha dar soğurma gösteren 233 kuazar iyonlaşma durumuna göre yapılan gruplandırmanın dışında bırakılmıştır.

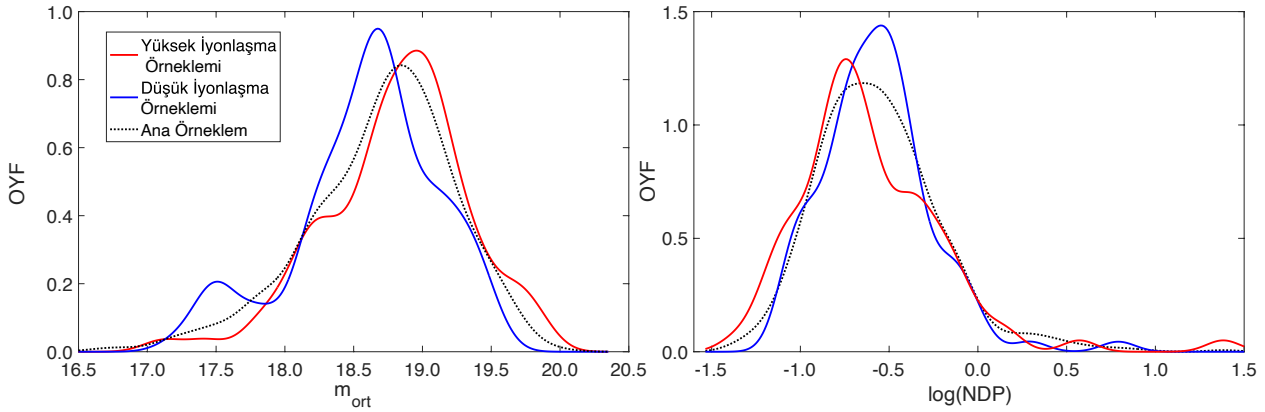
Bu üç grupta yer alan kuazarların, görünen parlaklık, parlaklık değişim genliği ve GSÇ eşdeğer genişliklerinin ortalamaları Tablo 3'de verilmiştir. Yüksek ve düşük iyonlaşma grupları için parametrelerin dağılımlarına uygulanan testlerin istatistik sonuçları Tablo 3'de sunulmuştur.

Elde edilen sonuçlar, yüksek iyonlaşma ve düşük iyonlaşma gruplarında yer alan kuazarların parlaklık dağılımlarının farklı olduğunu önermektedir. Grupların $\log(NDP)$ dağılımları arasında istatistiksel anlamlı bir farklılık bulunamamıştır. Bu iki grupta yer alan kuazarların eşdeğer genişlik ve kesirsel eşdeğer genişlik dağılımları arasında ise yüksek güvenirlilikle farklılıklar bulunmuştur. EG ve $\Delta EG / \langle EG \rangle$ dağılımları için bulunan belirgin farklılık, [13] çalışmasının sonuçları dikkate alındığında beklenen bir durumdur.

Tablo 3. İyonlaşma durumuna göre yapılan gruplandırmalar için görünen parlaklık, parlaklık değişim şiddeti, eşdeğer genişlik ve kesirsel eşdeğer genişlik değişimi ortalamaları. Yüksek ve düşük iyonlaşma gruplarının dağılımları için yapılan t-test ve KS-test sonuçlarının güvenilirlik parametreleri son iki satırda yer almaktadır.

Grup	Kriter	Sayı	m_{ort} (kadir)	$\log(NDP)$	EG (Å)	ΔKEG (%)
Yüksek İyonlaşma	C IV GŞÇ	95	18.60	-0.568	10.643	7.55
Orta İyonlaşma	C IV ve Si IV GŞÇ	212	18.65	-0.554	22.424	5.13
Düşük İyonlaşma	C IV, Si IV ve Al III GŞÇ	84	18.81	-0.607	33.609	2.15
t-test P			%99.3	%51.6	>%99.9	>%99.9
KS-test P			%99.4	%82.9	>%99.9	>%99.9

Şekil 4'de Yüksek, orta ve düşük iyonlaşma gruplarında yer alan kuazarlar için m_{ort} ve $\log(NDP)$ dağılımları için hesaplanan OYF'ler kıyaslanmıştır. $\log(NDP)$ dağılımları için istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunamamasının altında yatan sebebin, gruplarda yer alan kuazarların parlaklık farklılıkları olduğu düşünülmektedir. Bölüm 3.1'de elde edilen sonuçlar, parlaklık ve $\log(NDP)$ arasındaki güçlü ilişkinin, $\log(NDP)$ ve EG arasındaki olası ilişkinin belirlenmesini baskıladığı göz önüne alınmalıdır.



Şekil 4. İyonlaşma derecesine göre yapılan gruplandırmanın örneklemi için ortalama parlaklık ve $\log(NDP)$ dağılımları için olasılık yoğunluk fonksiyonları kıyaslanmıştır. Kesikli siyah dağılım, ana örnekleme yer alan tüm kuazarları temsil etmektedir.

Kuazarların $\log(NDP)$, m_{ort} ve GŞÇ EG'leri arasındaki dejenere ilişkinin daha iyi analiz edilebilmesi için bu parametrelerden bir tanesinin sınırlandırılması gerekmektedir. Bir başka ifade ile $\log(NDP)$ ve EG arasında ilişkinin belirlenebilmesi için kıyaslanan dağılımlarının benzer m_{ort} değerlerine sahip olması gerekmektedir. Bunun için yüksek, orta ve düşük iyonlaşma gruplarında yer alan kuazarlardan, m_{ort} değeri belirli bir aralıkta olanlar için yapılacak testler bu üç parametre arasındaki dejenere ilişkinin anlaşılmasını sağlayabilecektir.

Ana örneklem içinde yer alan tüm kuazarların m_{ort} değerlerinin ortalaması $18^m.7$ olarak bulunmuştur. Ana örneklemdaki tüm kuazarlar için iyonlaşma durumuna göre yapılan gruplandırmalar, $18^m.7$ 'den daha parlak olan kuazarlar için yinelenildiğinde; $m_{ort} < 18^m.7$ şartını sağlayan toplam 271 kuazardan 53 tanesinin yüksek, 102 tanesinin orta ve 30 tanesinin düşük iyonlaşma grubunda olduğu görülmüştür. Tablo 4'de bu yeni gruplandırma için elde edilen sonuçlar sunulmuştur.

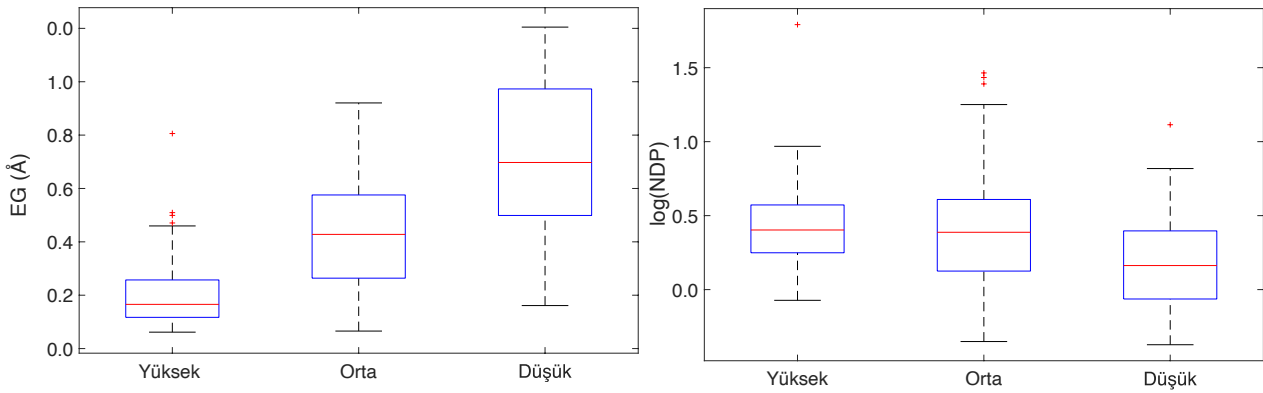
Tablo 4. Ana örnekleme yer alan 271 parlak kuazardan iyonlaşma durumuna göre yapılan gruplandırmalar için görünen parlaklık, parlaklık değişim şiddeti, eşdeğer genişlik ve kesirsel eşdeğer genişlik değişimi ortalamaları. Yüksek ve düşük iyonlaşma gruplarının dağılımları için yapılan t-test ve KS-test sonuçlarının güvenilirlik parametreleri son iki satırda yer almaktadır

Grup	Kriter $m_{ort} < 18^m.7$	Sayı	m_{ort} (kadir)	$\log(NDP)$	EG (Å)	ΔKEG (%)
Yüksek İyonlaşma	C IV GŞÇ	53	18.25	-0.572	10.680	7.25
Orta İyonlaşma	C IV ve Si IV GŞÇ	102	18.20	-0.612	21.473	5.09
Düşük İyonlaşma	C IV, Si IV ve Al III GŞÇ	30	18.26	-0.799	36.316	1.97
t-test P			%7.3	%99.7	>%99.9	>%99.9
KS-test P			%6.3	%99.8	>%99.9	>%99.9

Kuazarların parlaklıkları için yapılan $m_{\text{ort}} < 18.7$ sınırlandırması, beklendiği üzere parlaklık dağılımlarının benzer hale gelmesini sağlamış ve böylece parlaklık ve $\log(\text{NDP})$ arasındaki bilinen ilişki etkisi en aza indirgenmiştir. Düşük ve yüksek iyonlaşma gruplarında yer alan kuazarların $\log(\text{NDP})$ dağılımları için uygulanan testler yüksek güvenilirlikle bu iki dağılımın farklı olduğunu işaret etmektedir. Benzer şekilde EG ve KEG dağılımlarının da farklı olduğu yüksek güvenilirlikli istatistik sonuçlara dayanılarak belirlenmiştir.

Bu yaklaşım için elde edilen sonuçlar, yüksek iyonlaşmaya sahip kuazarların parlaklık değişim genliğinin büyük ve bu kuazarların GSÇ yapılarının daha zayıf olduğunu göstermektedir. Benzer olarak, düşük iyonlaşmaya sahip kuazarların daha az parlaklık değişimi gösterdiği ve daha şiddetli GSÇ yapılarına sahip olduğu görülebilmektedir.

Şekil 5’de yüksek, orta ve düşük iyonlaşma gruplarında yer alan kuazarlar için GSÇ eşdeğer genişlikleri (EG, sol panel) ve parlaklık değişim genliği ($\log(\text{NDP})$, sağ panel) kıyaslaması boxplot olarak verilmiştir. Mavi dikdörtgenlerin alt ve üst kenarları, dağılımın ikinci ve üçüncü çeyreklerini, dikdörtgenin yüksekliği ise çeyrekler açıklığını temsil etmektedir. Mavi dikdörtgenlerin ortasındaki kırmızı çizgi, dağılımların medyan değerini vermektedir. Dağılımların 1.5 çeyrekler açıklığı sınırları siyah çizgilerle belirtilmiş ve bu sınırlar dışında kalan veri noktaları uç değerler olarak kırmızı artılarla gösterilmiştir. Yüksek orta ve düşük iyonlaşma sıralamasına göre, dağılımların medyan değerlerinin EG için giderek arttığı, $\log(\text{NDP})$ için giderek azaldığı görülmektedir.



Şekil 5. Yüksek, orta ve düşük iyonlaşma gruplarında yer alan kuazarlar için GSÇ eşdeğer genişlikleri (EG, sol panel) ve parlaklık değişim genliği ($\log(\text{NDP})$, sağ panel) kıyaslaması boxplot olarak verilmiştir.

Bu gruplama yaklaşımında yapılan analizler, kuazarların parlaklıkları ile parlaklık değişim genlikleri arasındaki ilişkinin diğer olası ilişkileri baskılayacak kadar güçlü olduğu görülmüştür. Parlaklığın etkilerini en aza indirmek için yapılan sınırlama sonrasında, parlaklık değişim genliği ve GSÇ şiddeti arasında ilişki olduğu görülmüştür. Yalnızca C iv GSÇ yapıları gösteren yüksek iyonlaşmaya sahip kuazarların, parlaklık değişim genliklerinin görece daha büyük olduğu sonucuna varılmıştır. Bu kuazarların daha zayıf GSÇ yapılarına sahip olduğu ve zayıf GSÇ yapılarının da görece daha büyük eşdeğer genişlik değişimleri gösterdiği bilinmektedir.

4. Tartışma ve Sonuç

Rüzgâr yapısına sahip kuazarların ışık eğrilerinde görülen parlaklık değişimleri ile rüzgâr parametreleri arasında ilişkilerin arandığı bu çalışmada, tayflarında rüzgâr belirteci olan geniş soğurma çizgisi gösteren 624 kuazar ana örneklem olarak seçilmiştir. Ana örneklemdeki tüm kuazarların, SDSS tarafından en az iki tayf verisine sahip olması, CSS ile elde edilmiş ışık eğrilerinin olması ve rüzgâr parametrelerinin sistematik olarak belirlenmiş olması kriterleri aranmıştır.

Işık eğrilerindeki parlaklık değişim genlikleri ve tayfsal verilerden ölçülen rüzgâr parametreleri arasındaki ilişkilerin incelenmesi için üç farklı yaklaşımla gruplandırmalar yapılmıştır. Birinci yaklaşımda, parlaklık değişim genliği büyük ve küçük olan kuazarların GSÇ özellikleri incelenmiş ancak istatistiksel anlamlı sonuçlar elde edilememiştir. Sonuçlarda, [11] çalışmasında ayrıntıları ortaya koyulan, kuazar parlaklığı ve parlaklık değişim genliği arasındaki baskın ilişkinin etkisi olduğu düşünülmüştür.

İkinci yaklaşımda, rüzgâr şiddetine göre gruplandırma yapılmış ve iki farklı grubun parlaklık değişim genlikleri kıyaslanmıştır. Sonuçlar, şiddetli rüzgâra sahip kuazarların daha az parlaklık değişimi gösterdiğini önermiştir. Rüzgâr şiddetlerinin değişimi de dikkate alındığında bu öneri, şiddetli ve durağan rüzgâr yapısına sahip olan kuazarların küçük genlikli parlaklık değişimleri gösterdiği şeklinde genişletilmiştir.

Üçüncü yaklaşımda, kuazarların rüzgârları tarafından taşınan soğurucu gazın iyonlaşma durumunu dikkate alan bir gruplandırma yapılmıştır. İlk yaklaşıma benzer olarak kuazar parlaklıklarının değişim genliği için belirleyici bir faktör olduğu görülmüştür. Bu faktörün en aza indirgenebilmesi için gruplarda yer alan kuazarların parlaklıkları için $m_{ort} < 18^m.7$ kriteri aranmış ve analizler tekrar edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, parlaklık için getirilen sınırlandırmanın, [11] çalışmasında ortaya koyulan baskın etkinin en aza indirgenmesi için yeterli olduğunu göstermiştir. Test sonuçları, düşük iyonlaşma durumunda rüzgârlara sahip olan kuazarların daha şiddetli ve daha az değişen rüzgâr yapıları gösterdiğini ve ışık eğrilerinde daha küçük genlikli değişimlere sahip olduklarını ortaya koymuştur.

Farklı gruplandırmalar dikkate alınarak yapılan analizlerde, Bölüm 3.2 ve Bölüm 3.3'de elde edilen bulguların ortak bir sonuca işaret ediyor olması, rüzgâr kuazarlar için şu genellemelerin ortaya koyulmasında etkin olmuştur: (1) Tüm kuazarlarda olduğu gibi rüzgârlı kuazarlarda da ışık eğrilerindeki parlaklık değişim genlikleri, kuazarın parlaklığı ile ters orantılıdır. (2) Rüzgâr şiddeti ve parlaklık değişim genliği arasında ters ilişki vardır. Şiddetli rüzgârların daha az değişim gösterdiği de dikkate alındığında; durağan ve şiddetli rüzgârlara sahip kuazarların daha az parlaklık değişimi gösterdiği görülmüştür.

Kuazarların ışınım kaynağı, merkezi karadelik üzerine madde yığılmasıdır. Ancak bu yığılmanın gerçekleşebilmesi için karadeliğin etrafındaki yığılma diskinde bulunana maddenin açısız momentum kaybına uğraması gereklidir. Diskteki maddenin açısız momentum kaybını sağlayan mekanizmanın istikrarlı olması durumunda, kuazarın büyük parlaklık değişimleri göstermemesi beklenmektedir. Rüzgârlar, diskten açısız momentum kaybının gerçekleşmesini sağlayacak en olası mekanizmalardandır. Güçlü ve hızlı rüzgârların diskten dışarıya doğru taşıdığı madde ve açısız momentum, diskteki maddenin merkeze yaklaşabilmesini sağlamaktadır. Bu nedenle daha kararlı, daha şiddetli rüzgâr yapısına sahip kuazarların parlaklık değişimleri az olmalıdır. Bu çalışmada elde edilen bulgular, teorik çalışmalara dayanan bu beklentiler ile uyumlu sonuçlara işaret etmektedir. Kuazarların parlaklık değişimlerinin yığılma diskindeki kararsızlıklara bağlı olduğu yaklaşımı, disk kararsızlıklarını azaltan şiddetli rüzgârlara sahip kuazarların daha az parlaklık değişimi gösterdiğinin ortaya koyulması ile güçlenmiştir.

Rüzgâr yapılarının farklı iyonlaşma durumlarına sahip olması, [13] çalışmasında ayrıntılı olarak incelenmiş ve gözlemcinin bakış doğrultusunun baskın bir etken olabileceği sonucuna varılmıştır. Buna göre, diske daha yakın bir bakış doğrultusuna sahip olduğumuz kuazarların daha şiddetli rüzgâr belirteçleri gösterdiği savunulmuştur. Bu bakış açısı dikkate alındığında, daha az parlaklık değişimi gösteren rüzgârların daha diske yakın bir doğrultuda (daha küçük açılarla) gözlemlendiği görüşü de alternatif olarak göz önünde bulundurulmalıdır. Bu durumda, diskin etrafında bulunan toz yapının olası etkileri de dikkate alınmalıdır.

Yukarıda ele alınan iki görüş birbiri ile çelişkili değildir. Her iki görüş de büyük genlikli parlaklık değişimi gösteren kuazarların daha zayıf rüzgâr yapılarına sahip olmasını gerektirmektedir. Bu görüşler arasında belirgin bir ayrıma varabilmek için daha çok sayıda örneklem için daha hassas verilerin analiz edilmesi gerekmektedir. Bu çalışma için seçilen örneklem ve yapılan ölçümler bazı kısıtlamalar içermektedir. Örneğin; CSS parlaklık ölçümleri büyük hatalara sahiptir. Kuazarların tayflarında rüzgârların belirlenmesi için kullanılan yöntemde, salma ve soğurma çizgilerinin üst üste binmesi durumunda GŞÇ eşde er genişlikleri do ru olarak ölçülememektedir. Bu etkilerden kaçınmak için v_{mak} ve v_{min} hızları belirli bir maksimum ve minimum için sınırlandırılmıştır. Hem örneklem sayısı azalmış hem de örneklem içerisinde EG gibi parametreler alt sınır olarak hesaplanmıştır.

Kuazarların parlaklık değişimlerinin artmasına ya da azalmasına neden olan mekanizmaların incelenmesinde, optik bölgedeki gözlemlere ek olarak x-ışın ve radyo bölgelerdeki gözlemler de dikkate alınmalıdır. X-ışın gözlemleri, diskin en iç kısımlarından veri sağlayabilmekte ve radyo gözlemleri ise diske dik doğrultudaki jet yapıları hakkında bilgi verebilmektedir. Gelecekte elde edilecek daha kapsamlı ve hassas gözlemlerin kuazarların yapısı hakkında daha fazla bilgi edinmemizi sağlaması beklenmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma, Sayılı (2019) [25] tez çalışmasının bir bölümünden üretilmiştir. Çalışmanın ve tezin ortaya koyulmasında finansal desteği için TÜBİTAK 115F037 numaralı projeye teşekkür ederiz. Hakemlere değerli katkılarından dolayı teşekkür ederiz.

Kaynakça 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., 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. DOI: <https://doi.org/10.1088/0004-637X/692/1/758>

- [2] Weymann, R. J., Morris, S. L., Foltz, C. B., Hewett, P. C. 1991. Comparisons of the Emission-Line and Continuum Properties of Broad Absorption Line and Normal Quasi-stellar Objects. *The Astrophysical Journal*, 373, 23. DOI: <https://doi.org/10.1086/170020>
- [3] Pâris, I., Petitjean, P., Ross, N. P., Myers, A. D., Aubourg, É., Streblyanska, A., Bailey, S., Armengaud, É., Palanque-Delabrouille, N., Yèche, C., Hamann, F., Strauss, M. A., Albareti, F. D., Bovy, J., Bizyaev, D., Niel Brandt, W., Brusa, M., Buchner, J., Comparat, J., Croft, R. A. C., Dwelly, T., Fan, X., Font-Ribera, A., Ge, J., Georgakakis, A., Hall, P. B., Jiang, L., Kinemuchi, K., Malanushenko, E., Malanushenko, V., McMahon, R. G., Menzel, M.-L., Merloni, A., Nandra, K., Noterdaeme, P., Oravetz, D., Pan, K., Pieri, M. M., Prada, F., Salvato, M., Schlegel, D. J., Schneider, D. P., Simmons, A., Viel, M., Weinberg, D. H., Zhu, L. 2017. The Sloan Digital Sky Survey Quasar Catalog: Twelfth data release. *Astronomy and Astrophysics*, 597, A79. DOI: <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201527999>
- [4] Lyke, B. W., Higley, A. N., McLane, J. N., Schurhammer, D. P., Myers, A. D., Ross, A. J., Dawson, K., Chabanier, S., Martini, P., Busca, N. G., Mas des Bourboux, H. du., Salvato, M., Streblyanska, A., Zarrouk, P., Burtin, E., Anderson, S. F., Bautista, J., Bizyaev, D., Brandt, W. N., Brinkmann, J., Brownstein, J. R., Comparat, J., Green, P., de la Macorra, A., Muñoz Gutiérrez, A., Hou, J., Newman, J. A., Palanque-Delabrouille, N., Pâris, I., Percival, W. J., Petitjean, P., Rich, J., Rossi, G., Schneider, D. P., Smith, A., Vivek, M., Weaver, B. A. 2020. The Sloan Digital Sky Survey Quasar Catalog: Sixteenth Data Release. *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 250, 8-32. DOI: <https://doi.org/10.3847/1538-4365/aba623>
- [5] Trump, J. R., Hall, P. B., Reichard, T. A., Richards, G. T., Schneider, D. P., Vanden Berk, D. E., Knapp, G. R., Anderson, S. F., Fan, X., Brinkman, J., Kleinman, S. J., Nitta, A. 2006. A Catalog of Broad Absorption Line Quasars from the Sloan Digital Sky Survey Third Data Release. *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 165, 1-18. DOI: <https://doi.org/10.1086/503834>
- [6] Timlin, J. D., Brandt, W. N., Zhu, S., Liu, H., Luo, B., Ni, Q. 2020. The frequency of extreme X-ray variability for radio-quiet quasars. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 498, 4033-4050. DOI: <https://doi.org/10.1093/mnras/staa2661>
- [7] Kaspi, S., Brandt, W. N., Maoz, D., Netzer, H., Schneider, D. P., Shemmer, O. 2007. Reverberation Mapping of High-Luminosity Quasars: First Results. *The Astrophysical Journal*, 659, 997-1007. DOI: <https://doi.org/10.1086/512094>
- [8] 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., Wang, J.-X. 2016. Long-term X-Ray Variability of Typical Active Galactic Nuclei in the Distant Universe. *The Astrophysical Journal*, 831, 145. DOI: <https://doi.org/10.3847/0004-637X/831/2/145>
- [9] Simm, T., Salvato, M., Saglia, R., Ponti, G., Lanzuisi, G., Trakhtenbrot, B., Nandra, K., Bender, R. 2016. Pan-STARRS1 variability of XMM-COSMOS AGN. II. Physical correlations and power spectrum analysis. *Astronomy and Astrophysics*, 585, A129. DOI: <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201527353>
- [10] Vanden Berk, D. E., Wilhite, B. C., Kron, R. G., Anderson, S. F., Brunner, R. J., Hall, P. B., Ivezić, Z., Richards, G. T., Schneider, D. P., York, D. G., Brinkmann, J. V., Lamb, D. Q., Nichol, R. C., Schlegel, D. J. 2004. The Ensemble Photometric Variability of ~25,000 Quasars in the Sloan Digital Sky Survey. *The Astrophysical Journal*, 601, 692-714. DOI: <https://doi.org/10.1086/380563>
- [11] Filiz Ak, N. ve Sayılı, Ö. 2022. Rüzgâr Yapısı Gösteren Kuazarların Fotometrik İncelenmesi - I: Parlaklık Değişim Genliği ve Fiziksel Parametreler Arasındaki İlişkiler. *Journal of Advanced Research in Natural and Applied Sciences*, 8,2, 149-162, Basım aşamasında. DOI: <https://doi.org/10.28979/jarnas.917261>
- [12] 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., York, D. (2013). Broad Absorption Line Variability on Multi-year Timescales in a Large Quasar Sample. *The Astrophysical Journal*, 777, 168-196. DOI: <https://doi.org/10.1088/0004-637X/777/2/168>
- [13] 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., 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. DOI: <https://doi.org/10.1088/0004-637X/791/2/88>
- [14] 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. DOI: <https://doi.org/10.1088/0004-637X/757/2/114>
- [15] De Cicco, D., Brandt, W. N., Grier, C. J., Paolillo, M., Filiz Ak, N., Schneider, D. P., Trump, J. R. 2018. C IV broad absorption line disappearance in a large SDSS QSO sample. *Astronomy and Astrophysics*, 616, A114. DOI: <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201732497>
- [16] Rogerson, J. A., Hall, P. B., Ahmed, N. S., Rodríguez Hidalgo, P., Brandt, W. N., Filiz Ak, N. 2018. Emergence and Variability of Broad Absorption Line Quasar Outflows. *The Astrophysical Journal*, 862, 22. DOI: <https://doi.org/10.3847/1538-4357/aabfe5>
- [17] Grier, C. J., Brandt, W. N., Hall, P. B., Trump, J. R., Filiz Ak, N., Anderson, S. F., Green, P. J., Schneider, D. P., Sun, M., Vivek, M., Beatty, T. G., Brownstein, J. R., Roman-Lopes, A. 2016. C IV Broad Absorption Line Acceleration in Sloan Digital Sky Survey Quasars. *The Astrophysical Journal*, 824, 130. DOI: <https://doi.org/10.3847/0004-637X/824/2/130>
- [18] Hall, P. B., Anderson, S. F., Strauss, M. A., York, D. G., Richards, G. T., Fan, X., Knapp, G. R., Schneider, D. P., Vanden Berk, D. E., Geballe, T. R., Bauer, A. E., Becker, R. H., Davis, M., Rix, H.-W., Nichol, R. C., Bahcall, N. A., Brinkmann, J., Brunner, R., Connolly, A. J., Csabai, I., Doi, M., Fukugita, M., Gunn, J. E., Haiman, Z., Harvanek, M., Heckman, T. M., Hennessy, G. S., Inada, N., Ivezić, Ž., Johnston, D., Kleinman, S., Krolik, J. H., Krzesinski, J., Kunszt, P. Z., Lamb, D. Q., Long, D. C., Lupton, R. H., Miknaitis, G., Munn, J. A., Narayanan, V. K., Neilsen, E., Newman, P. R., Nitta, A., Okamura, S., Pentericci, L., Pier, J. R., Schlegel, D. J., Snedden, S., Szalay, A. S., Thakar, A. R., Tsvetanov, Z., White, R. L., Zheng, W. 2002. Unusual Broad Absorption Line Quasars from the Sloan Digital Sky Survey. *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 141, 267-309. DOI: <https://doi.org/10.1086/340546>
- [19] Janiuk, A., Misra, R., Czerny, B., Kunert-Bajraszewska, M. 2012. Stability of black hole accretion disks. *European Physical Journal Web of Conferences*, 39, 06004. DOI: <https://doi.org/10.1051/epiconf/20123906004>
- [20] 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. DOI: <https://doi.org/10.1088/0004-637X/696/1/870>
- [21] 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. DOI: <https://doi.org/10.1088/0067-0049/194/2/45>
- [22] Wall, J. V. 1996. Practical Statistics for Astronomers - II. Correlation, Data-modelling and Sample Comparison. *Quarterly Journal of the Royal Astronomical Society*, 37, 519. Erişim adresi: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1996QJRAS..37..519W>
- [23] 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>
- [24] Yi, W., Brandt, W. N., Hall, P. B., Vivek, M., Grier, C. J., Filiz Ak, N., Schneider, D. P., McGraw, S. M. 2019. Variability of Low-ionization Broad Absorption-line Quasars Based on Multi-epoch Spectra from the Sloan Digital Sky Survey. *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 242, 28. DOI: <https://doi.org/10.3847/1538-4365/ab1f90>
- [25] Sayılı, Ö. (2019). *Geniş Soğurma Çizgili Kuazarların Fotometrik İncelenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>