

Dönüşen Kuazarların X-İşın Özellikleri

Nurten Filiz Ak^{1,2}★, Sameer³, W.N. Brandt^{3,4}

¹ Erciyes Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, 38039, Kayseri, Türkiye

² Erciyes Üniversitesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Gözlemevi Araştırma ve Uygulama Merkezi, 38039, Kayseri, Türkiye

³ Department of Astronomy & Astrophysics, 525 Davey Lab, The Pennsylvania State University, University Park, PA 16802, USA

⁴ Institute for Gravitation and the Cosmos, The Pennsylvania State University, University Park, PA 16802, USA

Özet

Rüzgar yapısı gösteren kuazarların, rüzgarsız kuazarlara göre daha güçlü bir X-ışın soğurmasına sahip olduğu uzun süredir bilinmektedir. Ancak bu olgunun nedenleri hakkında tartışmalı teoriler vardır. Rüzgar yapısı ve X-ışın soğurması arasındaki ilişkiyi ortaya koyabilmek için az sayıda bulunan, “dönüşen kuazarların” *Chandra* X-ışın gözlemleri elde edilmiştir. Dönüşen kuazarlar, moröte tayflarında görülen rüzgar belirteci maviye kaymış geniş soğurma çizgilerini zamanla kaybetmiş; rüzgarlı kuazar kategorisinden rüzgarsız kategoriye geçiş yaptığı gözlenen kuazarlardır. Seçilmiş dönüşen kuazarların X-ışın verilerini inceleyerek, rüzgarsız aşamaya geçmiş kuazarların soğurma miktarlarını diğer guruplarla kıyaslandığı güncel çalışmada, dönüşen kuazarların X-ışın özellikleri bakımından rüzgarsız kuazarlarla belirgin benzerlikler gösterdiği bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar X-ışın soğurmasının kaynağının, aynı zamanda rüzgar oluşumunda güçlü rol oynayan bir etken olduğunu ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: (galaxies:) quasars: absorption lines, Samanyolu, Galaksiler, Kozmoloji

1 Giriş

Kuazar rüzgarları, kuazarların merkezi enerji üretim mekanizmasının devamlı olmasında büyük etken olan bir mekanizmanın parçasıdır. Merkezden dışa doğru olan rüzgarlar, hem yığılma diskinden açısız momentum kaybının sağlanması hem de ev sahibi galaksiye ısı ve madde taşınmasında etkindir. Kuazar rüzgarlarının tayfsal belirteci; salma çizgilerine göre maviye kaymış, geniş soğurma çizgileridir. Rüzgar yapısı gösteren kuazarların tayflarında, özellikle moröte dalga boylarında gözlenen karakteristik geniş soğurma çizgileri, kısaca BAL (Broad Absorption Line) olarak isimlendirilir. BAL yapılarının klasik tanımlanmasında, soğurma çizgisinin süreklilikten en az %10 daha derin ve en az 2000 km s⁻¹ genişliğinde olması şartı aranmaktadır (Weymann et al. 1991).

Kuazar rüzgarları, merkezi enerji üretiminin sürekliliği bakımından oldukça kritik bir role sahip olmasına rağmen, optik dalga boylarında yapılan çalışmalar, rüzgar yapısı gösteren kuazarların oranının %10–20 civarında olduğunu ortaya koymaktadır (Trump et al. 2006; Gibson et al. 2009; Allen et al. 2011). Bu ikilem, kuazarların rüzgar yapısının eş yönlü olmaması ve rüzgar oluşumlarının sürekli olmaması yaklaşımı ile açıklanabilmektedir. Bu yaklaşım gereği, kuazar etrafındaki yığılma diskinin gözlemci tarafından görülemeyen kısımlarında bulunan rüzgar yapıları gözlemsel bir belirteç vermeyecektir. Rüzgarların zamansal olarak sürekli olmadığına dair en önemli çalışmalardan bir tanesi Filiz Ak et al. (2012) tarafından yapılmıştır. Filiz Ak et al. (2012), sistematik olarak inceledikleri 582 BAL yapısı gösteren kuazar tayfında, geniş soğurma çizgilerinin kaybolması davranışını gösteren 19 dönüşen kuazarı ortaya koymuştur. BAL yapılarının kaybolması, kuazar rüzgarının ya fiziksel olarak sonlandığının ya da gözlemcinin bakış açısının dışına çıktığının bir göstergesidir. Buna göre, gözlemcinin bakış doğrultusu içerisinde bulunan rüzgarların bir

ömrü olduğuna ilişkin deliller sunulmuş ve BAL ömrü hesaplanabilmektedir. Benzer bir çalışma De Cicco et al. (2018) tarafından daha geniş bir örnekleme yapılmış ve iki çalışmanın sonuçlarının tutarlı olduğu görülmüştür.

Rüzgar yapısı gösteren ve göstermeyen kuazarlar arasında fiziksel farklılıkların incelendiği çok sayıda çalışma, bu iki alt sınıf arasındaki farklılıkların yalnızca moröte bölgedeki geniş soğurma çizgilerinden ibaret olmadığını ortaya koymaktadır. En belirgin farklılıklardan bir tanesi X-ışın şiddetinde ortaya çıkmaktadır. Gözlemsel sonuçlar, BAL yapısı gösteren kuazarların daha güçlü X-ışın soğurmasına sahip olduğunu ve bu nedenle X-ışın bakımından zayıf olduğunu ortaya koymaktadır (Brandt et al. 2000; Gallagher et al. 2002, 2006). Dahası, X-ışın soğurma miktarının BAL yapısının şiddeti ve hızı ile korelasyon gösterdiği bilinmektedir (Gibson et al. 2009; Wu et al. 2010).

Rüzgar yapısı gösteren kuazarlar, tayflarında görülen soğurma çizgilerine göre ikiye ayrılmaktadır. Yalnızca yüksek iyonizasyon seviyesine sahip geçişlerde (örneğin CIV, SiIV) soğurma gösterenler HiBAL, hem yüksek hem de düşük iyonizasyonlu geçişlerde (örneğin MgII, AlIII) soğurma gösterenler ise LoBAL olarak tanımlanmaktadır (Filiz Ak et al. 2014). HiBAL ve LoBAL kuazarlar; BAL yapılarının şiddeti, rüzgarların maksimum hızları gibi özellikler bakımından belirgin farklılıklar gösterirler. HiBAL kuazarların soğurma çizgileri, daha yüksek hızlarda ve daha sık görülürken, LoBAL'lar daha düşük hızlarda ancak belirgin olarak daha derindirler (Filiz Ak et al. 2014). BAL yapılarının şiddeti ve X-ışın soğurma miktarı arasındaki ilişki dikkate alındığında, LoBAL kuazarların daha zayıf X-ışın salınımı yapması beklenen ve gözlemlerle ortaya koyulmuş bir durumdur (Just et al. 2007).

Kuazarlarda rüzgar oluşumunun ve hızlanarak varlığını devam ettirmesinin ışınım basıncı ve manyeto-hidrodinamik etkilere dayandığı düşünülmektedir. BAL yapılarının merkezi bölgelerden gelen güçlü ışınımın aşırı iyonizasyonuna uğramadan hızlanabilmesi halen tam olarak açıklanamamış olmakla beraber, bu konudaki en yaygın kabul gören kuramsal çalışmalar,

★ nfilizak@gmail.com

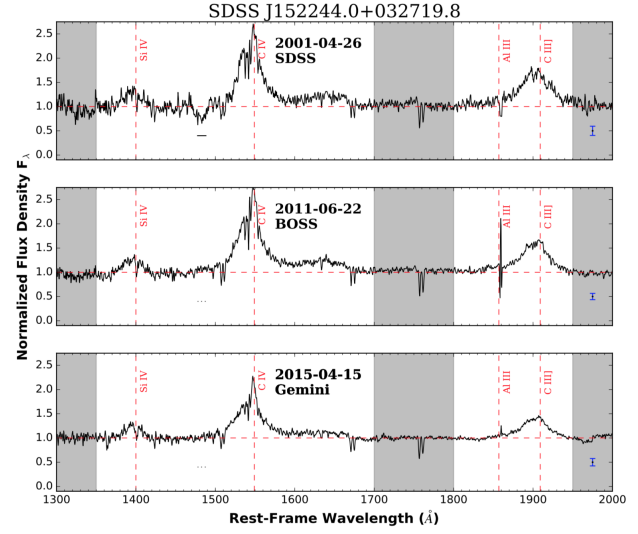
aşırı iyonlaştırıcı X-ışınları perdeleyen bir siper gaz modelini ortaya koymuştur (Murray et al. 1995; Proga et al. 2000). Bir başka modele göre, BAL yapılarının iyonlaşmaya maruz kalmadan hızlanabilmesinin temelinde soğurucu gazın yoğunluğunun katmanlaşmış olması yer almaktadır; öyle ki az yoğun dış katmanlar iyonlaşmaya maruz kalırken çok daha yoğun olan iç katmanlar soğurma çizgilerini oluşturmaya devam etmektedir (Hammann et al. 2013; Baskin et al. 2014). BAL yapılarının temel karakteristik özelliklerinden bir tanesi, zamana bağlı değişimler göstermesidir. Değişimler, soğurma çizgilerinin şiddeti, derinliği ve hatta kapsadığı hız alanında hem kısa hem de uzun zaman ölçeklerinde gözlenmektedir (Filiz Ak et al. 2012, 2013, 2014; McGraw et al. 2017). BAL yapılarının güçlü ve hızlı değişimleri, geniş dalga boyu aralıklarında yapılan gözlemlerle birleştirildiğinde, ortaya atılan modellerin gelişmesine katkı sağlayacak niteliktedir.

BAL yapılarının değişimleri, az sayıda kuazarda soğurma yapısının tamamen ortadan kaybolması ya da daha önce soğurma göstermeyen tayf bölgelerinde yeni yapıların ortaya çıkması şeklinde gözlenmiştir. Daha önce bir rüzgara sahip olduğu tayfsal olarak doğrulanan ancak sonraki gözlemlerinde BAL yapısını kaybedeb kuazarlar, kısaca dönüşen kuazar olarak nitelendirilmiştir (Filiz Ak et al. 2012; De Cicco et al. 2018). Dönüşen kuazarların yakın zamanda elde edilen *Chandra* X-ışın gözlemlerini inceleyen bu çalışma, Sameer et al. (2019) referansı ile yayınlanmıştır. Sameer et al. (2019) çalışması, dönüşen kuazarların X-ışın özelliklerini gözlemleyerek, rüzgar yapısı ve X-ışın soğurma şiddeti arasında bağlantılar aramıştır. Çalışmanın temel motivasyonu; ardışık iki tayfsal gözlemden ilkinde BAL yapısı gösteren, ikincisinde göstermeyen yani rüzgarlı kuazardan rüzgarsız kuazara dönüşen cisimlerin X-ışın soğurma şiddetlerini ölçmektir. Elde edilen sonuçlar, rüzgarlı ve rüzgarsız kuazarların X-ışın soğurma miktarı ile kıyaslandığında, siper gaz ve yoğunluk katmanlı rüzgar modelleri arasında karşılaştırmalar yapmaya olanak sağlamaktadır.

2 Örneklem Seçimi, Moröte ve X-ışın Gözlemleri

Sameer et al. (2019) çalışması için seçilen örneklem içerisinde, Filiz Ak et al. (2012) çalışması ile dönüşen kuazar olduğu tayfsal incelemeler sonucunda kesinleşmiş kuazarlar yer almaktadır. Filiz Ak et al. (2012) tarafından Sloan Digital Sky Survey (SDSS) ve SDSS-Baryon Akustik Osilasyon Survey (BOSS) tayflarının incelenmesi ile sistematik olarak seçilen 19 dönüşen kuazardan, *Chandra* gözlemlerine uygun olanlar seçilmiştir. BAL yapısı gösteren kuazarların geneli, düşük X-ışın şiddetine sahip olduğundan bu çalışma için seçilen kuazarlar, kısa poz süreleri ile anlamlı verilerin elde edilebileceği bir örneklem ile kısıtlanmıştır. X-ışın gözlemleri için seçilen sekiz dönüşen kuazar, 18.0–18.7 kadir parlaklık aralığındadır. Seçilen bu sekiz kuazar, çalışmanın ana örneklemi oluşturmaktadır. Ana örneklemdeki kuazarların, halen herhangi bir BAL yapısı göstermediğini doğrulamak üzere *Gemini* Gözlemevinden yeni tayfları elde edilmiştir. Çalışmada yer alan kuazarlar, gözlemlerin yapıldığı tarihlerdeki tayfsal verilerine göre, BAL yapısı göstermeyen kuazarlar olarak doğrulanmıştır. Şekil 1’de örnek bir kuazarın SDSS, BOSS ve *Gemini* tayfları verilmiştir. Şekilde SDSS tayfının C IV soğurma çizgisi gösterdiği, BOSS ve *Gemini* tayflarında ise soğurma çizgisinin kaybolduğu görülmektedir.

Gemini ve *Chandra* gözlemlerine ait ayrıntılar, gözlemsel verilerin indirgenmesi ve analizleri ile ilgili bilgiler Sameer et al. (2019) çalışmasında ayrıntılı olarak verilmiştir.



Şekil 1. SDSS J152244.0+032719.8 kuazarına ait SDSS, BOSS ve *Gemini* tayfları. SDSS tayfında, C IV soğurma çizgisi yatay çizgi ile işaretlenmiştir. BOSS ve *Gemini* tayflarında, bu soğurma çizgisi kaybolmuştur. *Gemini* tayfında herhangi bir soğurma çizgisi görülmediğinden, bu kuazar dönüşen kuazar olma özelliğini devam ettirmektedir (Sameer et al. 2019).

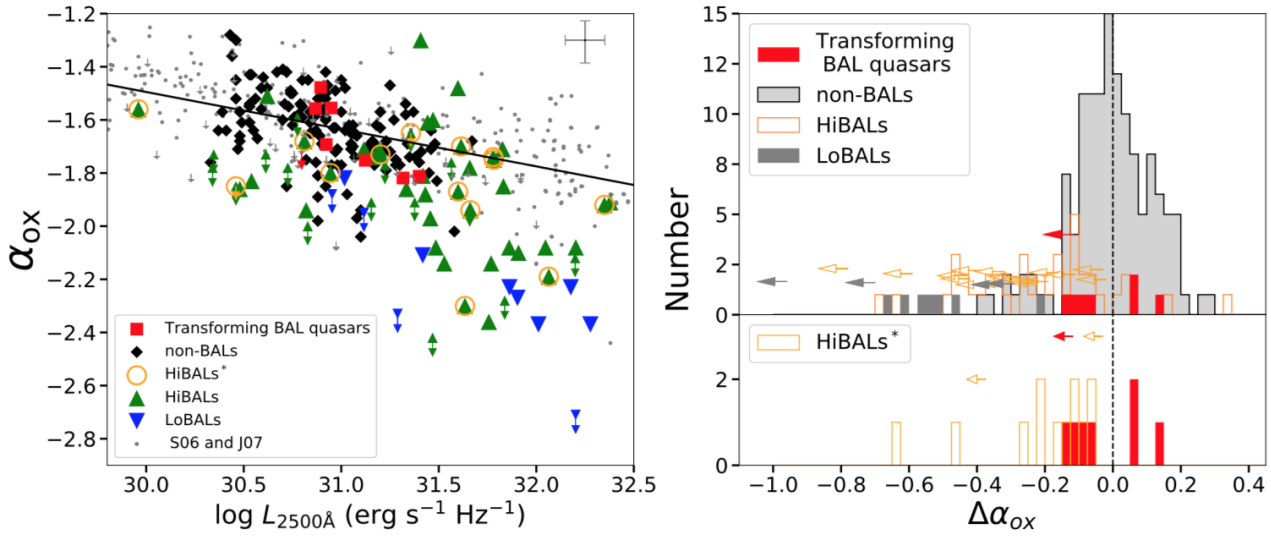
3 Analiz Sonuçları

Dönüşen kuazarların *Chandra* gözlem evinden elde edilmiş X-ışın verilerinin analizi sonucunda her bir kuazarın X-ışın ve moröte akı dağılımları, pareto (power-law) dağılımı ile modellenmiş ve dağılımların eğimlerinin oranı belirlenmiştir. Parametre olarak kullanılan, $\alpha_{ox} = 0.3838 \times \log(F_{2keV}/F_{2500})$; F_{2keV} ; 2 keV’deki akı ve F_{2500} ; 2500Å karşılık gelen mor öte bölgedeki akı oranı olarak tanımlanmıştır. Düşük değerlerdeki α_{ox} , kuazarın X-ışın olarak zayıf olduğunun belirticidir. Gözlenen ve beklenen değerler arasındaki farkı gösteren $\Delta\alpha_{ox} = \alpha_{ox[g]} - \alpha_{ox[b]}$ parametresi, X-ışın soğurma şiddetinin bir göstergesidir. Bu parametrelerin hesabı, Just et al. (2007), çalışmasındaki ifadeler dikkate alınarak yapılmıştır.

Şekil 2’nin sol panelinde, dönüşen kuazarların 2500 Å’daki lüminositeleri ile gözlemlerden hesaplanan α_{ox} parametrelerinin dağılımı, literatürdeki verilere kıyaslanarak gösterilmiştir. Şeklin sağ panelinde ise $\Delta\alpha_{ox}$ parametresinin dağılımı; dönüşen kuazarlar, rüzgar yapısı göstermeyen kuazarlar, HiBAL ve LoBAL kuazarlar için kıyaslamalı olarak verilmiştir.

Kuazarların genelinde $\alpha_{ox}-L_{2500}$ ters korelasyonu mevcuttur. Dönüşen kuazarlar, bu ters korelasyona uyum göstermektedir. Bu korelasyonun analizlerde dikkate alınabilmesi için, dönüşen kuazarlarla benzer L_{2500} değerine sahip bir HiBAL grubu seçilmiştir. HiBAL* ile temsil edilen bu grubun α_{ox} parametreleri, dönüşen kuazarların parametreleri ile kıyaslanmıştır. Literatürdeki veriler kullanılarak, BAL yapısı göstermeyen, HiBAL ve LoBAL kuazarlar ile dönüşen kuazarlar arasında benzerlikler aranmıştır. Uygulanan istatistiksel testler, dönüşen kuazarlar için elde edilen verilerin BAL yapısı göstermeyen kuazarların verileri ile daha uyumlu olduğunu göstermiştir. Yapılan testler ve testlerin sonuçları ile ilgili bilgiler Sameer et al. (2019) çalışmasında ayrıntılıca anlatılmaktadır.

Analizlerden elde edilen sonuçlar dikkate alınarak, dönüşen kuazarların X-ışın soğurma miktarının göstergesi olan hidrojen



Şekil 2. Sol Panel: Kuazarlar için $\alpha_{ox}-L_{2500}$ dağılımı. Şekilde dönüşen kuazarlar (kırmızı), BAL yapısı göstermeyen kuazarlar (siyah), dönüşen kuazarlarla benzer L_{2500} değerine sahip HiBAL* kuazarlar (turuncu), HiBAL (yeşil) ve LoBAL (mavi) kuazarlar için değerler gösterilmiştir. Sağ Panel: Beklenen ve gözlenen α_{ox} parametreleri arasındaki farkı belirten $\Delta\alpha_{ox}$ parametresinin farklı kuazar alt sınıfları için dağılım grafiği. Panelin alt kısmında, seçili HiBAL* örneklemleri ile dönüşen kuazar örneklemleri karşılaştırılarak verilmiştir (Sameer et al. 2019).

kolon yoğunluğu, N_H , hesaplanmıştır. Dönüşen kuazarlar için, %90 güvenilirlik limitleri içerisinde $N_H = 0.77 \times 10^{22} \text{ cm}^{-2}$ olarak bulunmuştur. BAL kuazarlar için bilinen genel ortalama $N_H \approx 10^{23} \text{ cm}^{-2}$ dikkate alındığında (Gallagher et al. 2006), dönüşen kuazarların X-ışın soğurma şiddetinin belirgin olarak daha düşük olduğu görülmektedir.

4 Tartışma ve Sonuç

Tayfsal gözlemlerinde BAL yapısı gösterdiği belirlenen ancak daha sonraki tayflarda BAL yapılarının kaybolma davranışını sergileyen sekiz dönüşen kuazarın X-ışın özelliklerinin incelendiği Sameer et al. (2019) çalışmasında, SDSS, BOSS *Gemini* ve *Chandra* gözlemlerine ait analizler ele alınmıştır. Seçilen sekiz dönüşen kuazarın tamamı, BAL yapısı göstermeyen kuazarların karakteristik X-ışın gözlemleri ile uyumlu sonuçlar vermektedir. Seçilen kuazarların tamamının aynı özelliği rastgele gösterme olasılığı çok düşük olduğundan, elde edilen sonuçlar tüm kuazarlar hakkında genel bilgiler sunacak niteliktedir.

Kuazarların rüzgar yapılarının kaybolması ile X-ışın soğurmalarının azalması, rüzgar yapısını oluşturan mekanizma ile X-ışın soğurucu mekanizma arasında bağlantı olduğunu göstermektedir. Bu sonuçlar, Murray et al. (1995) tarafından ortaya koyulan siper gaz modelini destekler niteliktedir. Kuazarların merkezinden rüzgar ile dışarıya doğru taşınan moröte soğurucu gazın gözlemcinin görüş alanı dışında kalması ile beraber, X-ışın soğurması yapan gazın da görüş alanı dışına hareket etmiş olması, bu gaz yapılarının fiziksel olarak ortaklık gösterebileceğine işaret etmektedir. Elde edilen bu sonuçların, yoğunluk katmanlı gaz modeli ile açıklanması imkansız değilse de çok sayıda ince ayar gerektirdiği ortadadır.

Teşekkür

Kuazarların rüzgar yapıları ve X-ışın özellikleri arasında önemli bağlantıların ortaya koyulduğu bu çalışma, Sameer et al. (2019) referansı ile yayınlanmıştır. Çalışmanın yayın aşamasında katkı sağlayan diğer ortak yazarlara (Anderson, S.; Hall, P. B.; Vivek, M.; Grier, C. J.; Ahmed, N. S.; Luo, B.; Myers, A. D.; Rodríguez

Hidalgo, P.; Ruan, J.; Schneider, D. P.) önemli katkılarından dolayı teşekkür ederiz. Bu çalışma TÜBİTAK 115F037 numaralı proje tarafından finansal olarak desteklenmiştir.

Kaynaklar

- Allen J. T., Hewett P. C., Maddox N., Richards G. T., Belokurov V., 2011, *MNRAS*, 410, 860
 Baskin A., Laor A., Stern J., 2014, *MNRAS*, 445, 3025
 Brandt W. N., Laor A., Wills B. J., 2000, *ApJ*, 528, 637
 De Cicco D., Brandt W. N., Grier C. J., Paolillo M., Filiz Ak N., Schneider D. P., Trump J. R., 2018, *A&A*, 616, A114
 Filiz Ak N., et al., 2012, *ApJ*, 757, 114
 Filiz Ak N., et al., 2013, *ApJ*, 777, 168
 Filiz Ak N., et al., 2014, *ApJ*, 791, 88
 Gallagher S. C., Brandt W. N., Chartas G., Garmire G. P., 2002, *ApJ*, 567, 37
 Gallagher S. C., Brandt W. N., Chartas G., Priddey R., Garmire G. P., Sambruna R. M., 2006, *ApJ*, 644, 709
 Gibson R. R., et al., 2009, *ApJ*, 692, 758
 Hamann F., Chartas G., McGraw S., Rodríguez Hidalgo P., Shields J., Capellupo D., Charlton J., Eracleous M., 2013, *MNRAS*, 435, 133
 Just D. W., Brandt W. N., Shemmer O., Steffen A. T., Schneider D. P., Chartas G., Garmire G. P., 2007, *ApJ*, 665, 1004
 McGraw S. M., et al., 2017, *MNRAS*, 469, 3163
 Murray N., Chiang J., Grossman S. A., Voit G. M., 1995, *ApJ*, 451, 498
 Proga D., Stone J. M., Kallman T. R., 2000, *ApJ*, 543, 686
 Sameer et al., 2019, *MNRAS*, 482, 1121
 Trump J. R., et al., 2006, *ApJS*, 165, 1
 Weymann R. J., Morris S. L., Foltz C. B., Hewett P. C., 1991, *ApJ*, 373, 23
 Wu J., Brandt W. N., Comins M. L., Gibson R. R., Shemmer O., Garmire G. P., Schneider D. P., 2010, *ApJ*, 724, 762

Erişim:

O44-1530: UAK-2018 Program — UAK Bildiri — Turkish J.A&A.