



Kuazar Rüzgarlarının Dinamiği: En Hızlı, En Güçlü, En Değişken

N. Filiz Ak^{1,2*}, W. N. Brandt^{3,4}, P.B. Hall⁵, SDSS QSO WG⁶

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

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

³ Department of Astronomy and Astrophysics, 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

⁵ Department of Physics and Astronomy, York University, 4700 Keele Street, Toronto, ON M3J 1P3, Canada

⁶ Sloan Digital Sky Survey Projesi, Kuazar Çalışma Gurubu

Özet: Kuazarların sadece %20'sinde gözlenen ve tayflarda maviye kaymış geniş soğurma yapıları şeklinde görülen kuazar rüzgarları, hem kuazarların yapısı ve dinamiği hem de aktif galaksi çekirdeğine ev sahipliği yapan galaksi hakkında bilgiler sağlayacak niteliktedir. Genellikle 0.1c hızına kadar ulaştığı gözlenen rüzgarların belirteci olan soğurma çizgileri, tayfın güçlü bir bileşeni olarak görülmektedir. Kuazar rüzgarlarının genel karakteristiği ve genel değişim karakteristiği hakkındaki öne çıkan çalışmaların sunulduğu bu bildiriye, şimdiye kadar keşfedilmiş olan en hızlı (60000 km/s) kuazar rüzgarını sergileyen J0230'a ait farklı zamanlarda alınmış tayfsal gözlemler üzerinde yapılan incelemeler ve bulgular ele alınmıştır. Çok sayıda kuazarın sistematik olarak incelenmesine dayalı olan birden fazla çalışmanın ortak sonuçları ve bu sonuçlar ışığında ön görülen en olası modeller değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Galaksiler, Aktif Galaksi Çekirdekleri, Kuazarlar, BAL Kuazarlar

Abstract: Quasar winds, observed in less than 20% of the quasars, appears as broad and blue-shifted absorption lines in quasar spectra. Quasar winds have a potential to improve our understanding of quasar structure, dynamics, and the host galaxy. Broad absorption lines are a strong component of the spectrum and clear indicators of fast quasar winds with velocities up to 0.1c. In this proceeding, we present prominent characteristics of BAL structures and their variation behavior. We present results from multi-epoch spectroscopic studies of quasar J0230 that presents the fastest wind structure discovered so far. We discussed outcomes of systematic studies on a large quasar sample and evaluated possible scenarios considering observational results.

Key Words: Galaxies, Active Galactic Nuclei, Quasars, BAL Quasars

1. Giriş

Galaksilerin sayıca küçük bir kısmı, hemen hemen tüm dalgaboylarında ve çoğunlukla ısısal-olmayan ışınım yayarlar. Normal bir galaksinin tayfsal enerji dağılımı incelendiğinde optik bölgelerde yayınlanan ışınımın, diğer bölgelere göre (örneğin, radyo, X-ışın) daha baskın olduğu görülmektedir. Galaksilerin yaklaşık %90 kadarlık kısmında görülen bu tipik tayf dağılımı, galakside yer alan yıldızlar, gaz ve toz yapısının özellikleri ile uyumludur.

Geriye kalan %10 kadarlık grup için tayfsal enerji dağılımı neredeyse dümdüzdür, bir başka ifade ile radyo bölgeden sert X-ışın bölgesine kadar her dalga boyunda karşılaştırılabilir miktarlarda enerji salınır. Bu normal-olmayan galaksiler, merkezlerinde yer alan aktif galaksi çekirdeğine (AGÇ) atıfla, aktif galaksiler (AG) olarak adlandırılır. AG'lerin enerji üretim mekanizmasının, sadece nükleer tepkimeler olmadığını gösteren önemli deliller; büyük ışına güçleri, çekirdek bölgesinin kapladığı küçük alan ve en önemlisi de karakteristik ısısal-olmayan ışınımıdır. Aktif galaksilerin, normal galaksilerden daha büyük uzaklıklarda ve görece daha büyük ışına gücüne sahip olmaları, AGÇ'lerin ışınımının büyük oranda çekimsel enerji kaynaklı olduğunu işaret etmektedir.

Gözlemsel özelliklerindeki farklılıklar dikkate alınarak farklı AGÇ sınıfları oluşturulmuş ve her bir sınıf ayırt edici bulunan özelliklerine göre gruplandırılmıştır. Bu sınıflandırma temelde düşük ışına gücüne sahip Tip II AGÇ'ler (Seyfert II galaksileri), görece daha uzakta bulunan ve daha büyük ışına gücüne sahip Tip I AGÇ'ler (Seyfert I galaksileri) şeklinde ele alınmaktadır. Ancak, gelişen gözlemsel yetenekler ve farklı bakış açıları ile bu sınıflandırma oldukça karmaşık bir modele dönüşmüş haldedir. Örneğin, en büyük ışına gücüne sahip olan kuazarlar, güçlü radyo salması gösteren radyo galaksiler ve çok hızlı ve güçlü değişimler gösteren BL Lac türleri başlıca alt sınıfları oluşturur.

AGÇ'lerin radyo ışınımının varlığı ve yokluğu dikkate alınarak yapılan sınıflandırma genel olarak oldukça iyi çalışsa da çok sayıda özel durumla karşılaşmıştır. Örneğin, radyo-sessiz sınıfında tanımlanan kuazarların %20'den az bir kısmında gözlenen güçlü radyo ışınımı bu sınıflandırma modellerinin yetersiz kaldığını göstermektedir. Literatürde sıklıkla karşılaşılan 50'den fazla alt sınıf mevcuttur, ancak bu alt sınıflar arasında sıklıkla dikkat çekici benzerlikler bulunmuştur. Bu benzerliklerden yola çıkarak, AGÇ sınıfları arasındaki farklılıkların, yalnızca gözlemcinin bakış açısına bağlı olduğunu kabul eden birleştirme modelleri öne sürülmüş ve oldukça yaygın bir şekilde kabul görmüştür (ör., Beckmann ve Schrader 2012).

Modern gökyüzü tarama kampanyaları başta olmak üzere çok sayıda araştırma grubu, alt sınıflarla ilgili kafa karıştırıcı terminolojiyi bir kenara bırakarak tüm AGÇ'leri 'kuazar' ismi ile nitelemektedir (ör., Sloan Digital Sky Survey; Richards vd.



XX. ULUSAL ASTRONOMİ KONGRESİ IX. ULUSAL ASTRONOMİ ÖĞRENCİ KONGRESİ

UAK
2016

2002; Paris vd. 2012; 2014; 2017). Bu çalışmada da bu terminoloji takip edilecektir.

Kuazarların birçok alt sınıfında etkili olan rüzgar yapıları, çekirdek bölgesinin önemli bir bileşenidir. Büyük ışımaya gücüne sahip kuazarlarda, rüzgar yapılarının hızları ve galaksi üzerindeki etkileri büyüktür. Kuazarların yüksek hızlara ulaşan (0.1c) rüzgarları, bir kaç nedenle büyük öneme sahiptir: (1) İlk olarak bu rüzgarlar, kuazarların gözlenen özellikleri üzerinde farklılıklar oluşturur; örneğin, morötesi dalgaboylarında yüksek hızlı soğurma çizgilerinin ve yüksek iyonlaşma seviyesine sahip salma çizgilerinin gözlenmesine, görsel ve morötesi dalgaboylarında yüksek kızarma değerlerinin gözlenmesine, ve normal kuazarlara kıyasla çok daha düşük X-ışın seviyelerinin gözlenmesine neden olurlar (Weymann vd., 1991; Turnshek vd., 1988; Leighly 2004; Gallagher vd., 2002; Gibson vd., 2009; Richards vd., 2011). (2) İkinci olarak, kuazarlarda sıkça görülen rüzgar yapıları, büyük yayılım etkileri ile kuazarların çekirdek bölgelerinin önemli bir parçasıdır (Ganguly ve Brotherton, 2008; Gibson vd. 2009; Allen vd. 2011). (3) Üçüncü olarak, Rüzgarların, merkezdeki büyük kütleli karadelik (BKK) etrafında bulunan yığılma diskinden açılma momentum kaybı sağlamak yoluyla, diskten BKK'ya olan madde akışının sürekliliğini sağladığı düşünülmektedir (Emmering vd., 1992; Konigl ve Kartje, 1994). (4) Son olarak, rüzgarlar tarafından taşınan maddenin, BKK'ya ev sahipliği yapan galaksinin iç kısımlarında yeni yıldız oluşumu üzerinde etkili olduğu düşünülmektedir (DiMatteo vd., 2005). Özellikle rüzgarlar tarafından galaksi içerisine taşınan ısı, ağır metaller ve manyetik alan, merkezden 10 Mpc uzaklığa kadar olan bölgelerin yapısını etkilemektedir (Di Matteo vd. 2005; ve buradaki referanslar).

Hızlı kuazar rüzgarlarının en güçlü gözlemsel göstergesi, özellikle morötesi dalgaboylarında gözlenen geniş soğurma çizgileridir (Broad Absorption Line, BAL). Genişliği 2000 km/s üzerinde olan soğurma yapıları özel olarak BAL yapıları olarak isimlendirilmektedir. BAL yapıları; merkezdeki karadelikten uzaklaşan ve gözlemciye yaklaşan hız vektörüne sahip olduğundan, ilgili oldukları salma çizgisine göre -neredeyse her zaman³- daha maviye kaymış olarak bulunur. Bu geniş soğurma çizgilerini tanımlayan BAL yapılarının gözlemlendiği kuazarlara 'BAL Kuazar' ismi verilmektedir (Weymann vd. 1991).

İlk kez geniş bir örneklem kullanarak kuazarlarla ilgili çalışma yapan Weymann vd. (1991), BAL-Kuazarların oranını yaklaşık %10–20 olarak belirlemiştir. Optik ve morötesi dalga boylarındaki olası seçim etkilerini de dikkate alan daha sonraki çalışmalar, bu oranın %25'den az olduğunu ortaya koymuştur (ör., Gibson vd. 2009; ve buradaki referanslar). Kuazar rüzgarlarının hem AGC'lerin hem de ev sahibi galaksilerin evrimindeki önemi dikkate alındığında, yalnızca %25'lik bir oranda görülmesi ilk bakışta şaşırtıcı bir bulgudur. Bu fenomene yönelik tartışmaların oluşturulması, BAL yapılarının çok sayıda örneklem ile daha da önemlisi birden fazla gözlemi kapsayan çalışmaların yapılması ile mümkün olmuştur.

BAL yapılarının değişimini birden fazla kuazar örneklemleri ile inceleyen çalışmalar, kronolojik sıralamaya göre Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1: Çok sayıda kuazar gözlemleri kullanılarak, uzun zaman ölçeklerinde BAL yapılarının değişimini inceleyen çalışmaların listesi (Filiz Ak vd. 2013 çalışması baz alınarak hazırlanmıştır).

Referans	İncelenen Kuazar Sayısı	Gözlemlerin Zaman Aralığı (yıl, Kuazar uzayında)	Kuazar Başına Gözlem Sayısı
Barlow vd. (1994)	23	0.2-1.	2-6
Lundgren vd. (2007)	29	0.05-0.3	2
Gibson vd. (2008)	13	3.0-6.1	2
Gibson vd. (2010)	14	0.04-6.8	2-4
Capellupo vd. (2011, 2012, 2013)	24	0.02-8.7	2-13
Vivek vd. (2012)	5	0.01-5	4-14
Haggard vd. (2012)	17	0.001-0.9	6
Filiz Ak vd. (2012)	19	1.1-3.9	2-4
Welling vd. (2013)	46	0.2-16.4	2-6
Filiz Ak vd. (2013)	291	0.0006-3.7	2-12
Filiz Ak vd. (2014)	852	1-4.5	2-12
Grier vd. (2015)	1	0.003-0.3376	32

BAL kuazarlar, sıklıkla CIV (1550 Å), SiIV (1400 Å), AlIII (1863 Å), MgII (2804 Å) gibi geçişler bakımından incelenirler. Bu çizgilerin üst iyonlaşma potansiyel enerjileri sırasıyla 64.5 eV, 45.1 eV, 28.4 eV ve 15.0 eV olarak verilmiştir. Hall vd. (2002) çalışmasında, CIV salma çizgisine eşlik eden BAL yapılarının; BAL kuazar olma bakımından tanımlayıcı olduğunu göstermiştir. Bu tanımlamada önemli bir özellik öne çıkmaktadır. Bir kuazar tayfında CIV çizgisine ait bir BAL yapısı gözleniyorsa, diğer çizgilere ait BAL yapıları da gözlenebilmektedir. Ancak, CIV çizgisinde BAL yapısının görülmediği durumlarda, diğer çizgilerde de BAL yapısı görülememektedir. Bu durum, elementlerin iyonlaşma potansiyel enerjileri ile ilgilidir.

Eğer kuazarın tayfında birden fazla çizgiye ait BAL yapısı gözleniyorsa, aynı hız aralığına sahip BAL yapılarının aynı soğurucu yapıdan kaynaklandığı kabul edilmektedir (ör. Filiz Ak vd. 2014 ve buradaki referanslar). Bu kabule uygun olarak, aynı

³ Hall vd. (2013), az sayıda bulunan kırmızıya kaymış BAL yapıları ile ilgili detaylı bir çalışma sunmuştur.



hız alanındaki CIV BAL yapısında gözlenen değişimlerin SiIV BAL yapısındaki değişimlerle korelasyon gösterdiği bulunmuştur (ör. Filiz Ak vd. 2013, 2014; Capellupo vd. 2012, 2013).

BAL yapılarının değişimlerini inceleyen çalışmaların ortak sonucu, soğurma çizgilerinin şiddetinde, derinliğinde, profilinde ve hız aralığında hem kısa zaman ölçeklerinde (gün mertebesinde) hem de uzun zaman aralıklarında (yıllar mertebesinde) değişimler olduğudur (Tablo 1’de yer alan referanslar).

Bu çalışmada BAL kuazarların yapısal, gözlemsel ve değişim özellikleri üzerine, SDSS verilerini kullanarak yapılan güncel çalışmalar ile ilgili bilgiler verilmiştir. Takip eden bölümlerde, keşfedilen en hızlı BAL yapısı (Bölüm 2), BAL yapılarının karakteristiği (Bölüm 3) ve değişimlerin karakteristiği (Bölüm 4) hakkında güncel çalışmaları kapsayan bilgiler verilmiştir. Çalışmalardan elde edilen bulgular ışığında, BAL yapılarına ilişkin modeller değerlendirilmiştir (Bölüm 5).

2. En Hızlı: J0230 Kuazarının Hızlı Rüzgarı

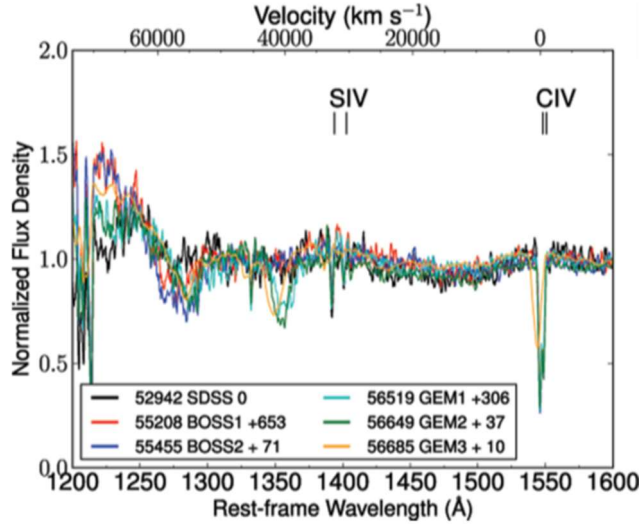
Rogerson vd. (2016), keşfedilmiş en hızlı kuazar rüzgarı üzerine detaylı bir çalışma sunmuştur. Çalışmada hızlı rüzgar yapısı gösteren SDSS J023011.28+005913.6 isimli (kısaca J0230) kuazara ($z = 2.47$) ait tayfsal gözlemler incelenmiş ve bulunan iki BAL yapısının değişimleri analiz edilmiştir.

2.1 J0230 Kuazarının Tayfsal Gözlemleri

J0230, Sloan Digital Sky Survey (SDSS, York vd. 2000) kapsamında yapılan tarama gözlemlerinde BAL kuazar olarak sınıflandırılmıştır (Schneider vd. 2007). SDSS, Amerika Birleşik Devletlerinin New Mexico eyaletinde bulunan Apache Point Gözlemevi’ndeki 2.5 metrelik teleskop ile yaptığı gözlemlerine 2000 yılında başlamıştır. Halen devam eden gözlemler ile elde edilen veriler, 2000-2008 yılları arasında SDSS-I ve II, 2008-2014 arasında SDSS-III ve 2014 sonrası ise SDSS-IV kapsamında ele alınmaktadır. SDSS-III kapsamında yürütülen ana projelerden bir tanesi, baryonik akustik salınımlarını ölçmeyi amaçlayan BOSS taramasıdır. BOSS taraması, yan ürün olarak bizim galaksimiz dışındaki her türlü cismin optik dalga boylarında tayfsal gözlemlerini elde etmiştir. Optik dalga boylarında (3000 ila 9000) elde ettiği tayfsal gözlemlerle, 297000 kadar kuazarın keşfine ön ayak olmuştur (Paris vd. 2014).

J0230, SDSS-I kapsamında iki kez (MJD 52200 ve MJD 52942) ve SDSS-III BOSS kapsamında iki kez (MJD 55209 ve MJD 55455) tayfsal olarak gözlenmiştir. Bu gözlemlerin incelenmesi sonucunda öne çıkan özellikleri ile takip gözlemleri yapılması gereken bir kuazar olarak listelenmiştir. Takip gözlemleri, Hawaii Mauna Kea’da bulunan 8.1 m’lik Gemini North Cassegrain teleskobu ile yapılmıştır. Takip gözlemleri ile elde edilen üç tayfsal gözlem MJD 56519, MJD 56649 ve MJD 56685’de alınmıştır. SDSS-I kapsamında elde edilen tayflar, birbirlerinden hemen hemen hiç farklılık göstermediğinden ve görece kısa zaman aralığı içerisinde alındığından, daha yüksek bir sinyal gürültü oranı elde etmek amacıyla birleştirilmiştir. Bu iki tayfin birleştirilmesi ile elde edilen tayf kısaca SDSS tayfı olarak adlandırılacaktır. Toplamda altı adet tayfsal gözlemi olan J0230 kuazarının tüm verileri, $z = 2.4721 \pm 0.0005$ (Paris vd. 2014) dikkate alınarak analizlere hazır hale getirilmiştir.

SDSS, BOSS ve Gemini tayflarının her biri kendi içinde normalize edilerek kıyaslanabilir hale getirilmiştir. Normalizasyon modeli için yaygın olarak kullanılan Pareto (power law) modeli seçilmiştir.



Şekil1: J0230 kuazarına ait altı tayfsal gözlem. Tayfların gözlem zamanları ve ardışık gözlemler arasındaki süre MJD ve gün cinsinden grafiğin alt panelinde verilmiştir. CIV salma çizgisinin (doublet) ve SiIV salma çizgisinin (doublet) laboratuvar dalga boyları grafiğin üzerindeki dikine çizgilerle işaretlenmiştir. Salma çizgilerinin sol kısmında maviye kaymış soğurma yapıları görülmektedir.

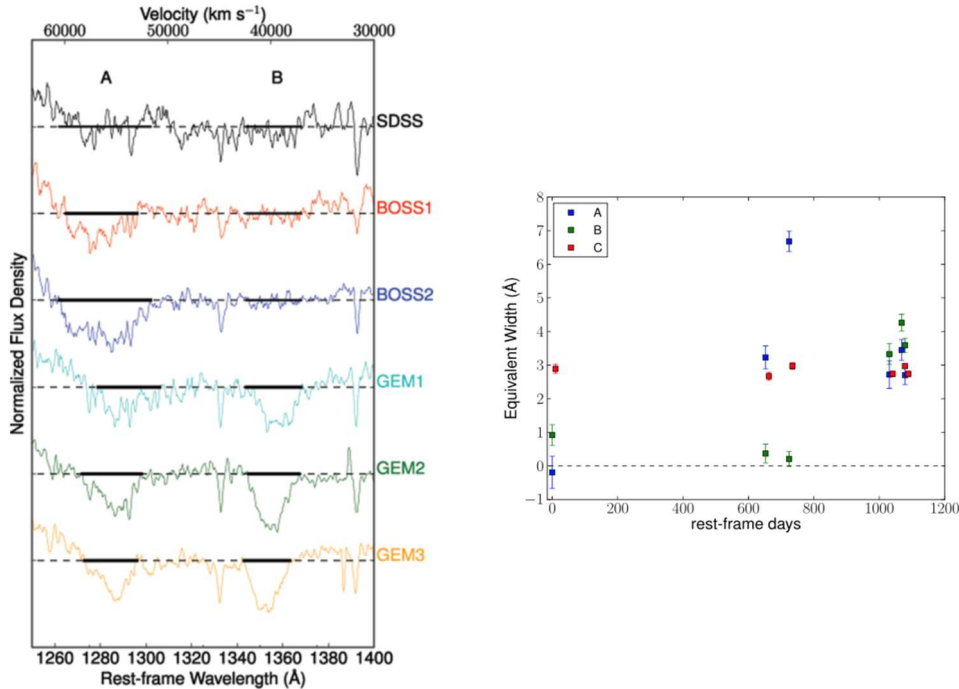
Şekil 1’de yer alan tayfsal gözlemler, J0230 kuazarının tayfında CIV salma çizgisinin mavi tarafında yalnızca bir zayıf soğurma yapısı ve SiIV alma çizgisinin mavi tarafından birden fazla güçlü soğurma yapısı olduğunu göstermektedir. BAL

kuazarların genel yapısı gereği, CIV çizgisine ait BAL yapısı olmadan, SiIV çizgisine ait BAL yapısı gözlenemez (bknz, Bölüm 1). Buna göre, SiIV çizgisinin solunda kalan soğurmalar gerçekte çok hızlı CIV BAL soğurmalarıdır.

2.2. J0130 için Elde Edilen Bulgular

Yapılan analizler sonucunda, J0230 kuazarının tayflarında toplamda üç CIV soğurma yapısı bulunmuştur. Bu soğurma yapılarından en yüksek hıza sahip olanı soğurma A; 55000 ila 60000 km/s hız aralığında, soğurma B; 35000 ila 45000 km/s hız aralığında ve salma çizgisine en yakın olan soğurma C ise 0 ila 200 km/s hız aralığında bulunmaktadır. A, B ve C soğurmaları için ölçülen en büyük eşdeğer genişlik (EG) değerleri; sırası ile $6.68 \pm 0.30 \text{ \AA}$, $4.26 \pm 0.25 \text{ \AA}$ ve $2.98 \pm 0.10 \text{ \AA}$ olarak bulunmuştur. Farklı zamanlarda alınmış gözlemler kıyaslandığında, soğurma C'nin tüm tayflarda görünür olmakla beraber az bir EG değişimi gösterdiği, A ve B soğurmalarının ise ilk tayflarda görünmediği ancak sonraki tayflarda giderek şiddetlendiği görülmüştür. Son alınan tayflarda ise A ve B soğurmalarının yeniden zayıflama göstermeye başlaması dikkat çekicidir.

Şekil 2'de soğurma A ve B'nin zamana göre profillerinin nasıl değiştiği görülmektedir. Çok daha düşük hızlarda bulunan soğurma C, grafiklerin anlaşılabilir olması için gösterilmemiştir. SDSS tayfında ölçülebilir limitin altında olan ya da başka bir ifade ile görülemeyen soğurma A ve B, daha sonraki tayflarda ortaya çıkmaktadır. Zaman içerisinde hem çizgi şiddetinde (derinlik ve eşdeğer genişlik) hem de çizginin profilinde değişimler görülmektedir. Soğurma A ve B'nin ortaya çıkmasının ardından özellikle son üç tayfsal gözlemede, her üç soğurma yapısının EG ölçümlerindeki değişimler eş zamanlı görülmektedir. Ancak, EG değişim miktarının ölçümlerindeki hatalara çok yakın olması nedeniyle anlamlı bir korelasyon bulunması beklenmemiştir. Bu soğurma yapılarının birbirinden bağımsız soğurucu madde tarafından oluşturulduğu göz önüne alındığında, değişime sebep olan mekanizmanın farklı hız alanlarına sahip her üç yapıyı da etkilemiş olduğu düşünülmektedir.



Şekil 2: (Sol Panel) J0230 kuazarına ait farklı zamanlarda alınmış optik tayflarda görülen A ve B BAL yapılarının değişimi. Grafiğin x-ekseni kuazar uzayındaki dalga boyunu (Å cinsinden), y-ekseni ise normalize edilmiş akı yoğunluğunu vermektedir. (Sağ Panel) Kuazar uzayında geçen zamana karşı ölçülen eşdeğer genişliklerin dağılımı. Her üç BAL yapısında da eşdeğer genişliklerin değişimi görülmektedir. Grafikteki yatay kesikli çizgi soğurma çizgilerinin ölçülebilir limitini vermektedir.

J0230 kuazarı, şimdiye kadar gözlenmiş olan en hızlı rüzgar yapısına dair güçlü işaretleri sergileyen bir kuazardır. Rüzgarların taşıdıkları enerji miktarı bakımından incelendiğinde, merkezi bölgelerden dışarıya taşınan bu enerjinin, AGÇ'ye ev sahipliği yapan galaksinin üzerinde etkiler oluşturacağı açıktır. Galaksinin evrim sürecinde ve yıldız oluşum oranları üzerinde oluşabilecek etkiler bakımından incelendiğinde, rüzgarla taşınan enerjinin görece az olması durumunda, yıldız oluşum bölgelerindeki reaksiyonların tetiklenebileceği düşünülmektedir. Güçlü kuazarlarla taşınan enerjinin büyük değerlerde olması durumunda ise rüzgar ile taşınan ısının yıldız oluşum bölgeleri dağıtabilecek kapasite olduğu düşünülmektedir (McGraw 2018).

J0230 kuazarı için elde edilen bulguların değerlendirilebilmesi için, kuazarlarda gözlenen BAL yapılarının genel karakteristiğinin ve genel değişim karakteristiğinin değerlendirilmesi ve karşılaştırmaların yapılması gereklidir. Bir sonraki bölümde, kuazar rüzgarlarının karakteristiğini ortaya koyan güncel çalışmaların sonuçları sunulmuştur.

3. En Güçlü: BAL Yapılarının Karakteristiği

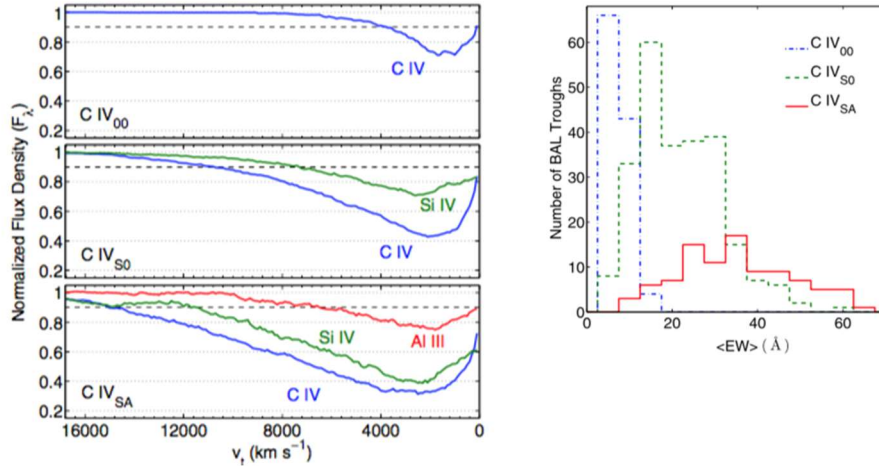
Kuazarların tayflarında bulunan BAL yapıları, derinlik, genişlik, eşdeğer genişlik gibi parametreler bakımından oldukça geniş değer aralıklarına sahiptir. Özellikle BAL kuazarların belirteci olarak kabul edilen CIV BAL yapıları için yapılan analizler, sıg ve dar BAL yapıları kadar satüre olacak kadar derin ve neredeyse SiIV bölgesini içine alacak kadar geniş BAL yapılarının varlığını da ortaya koymaktadır.

Filiz Ak vd. (2014) çalışmasında, CIV BAL yapılarının genişlik, derinlik, hız alanı, eşdeğer genişlik gibi ölçülen parametrelerinin ve profil yapılarının, CIV BAL ile aynı hız aralığında bulunan SiIV ve AlIII BAL yapılarının varlığı/yokluğuna bağlı olduğunu ortaya koymuştur. BAL yapılarının derinliğinin; soğurma yapısının optik derinliği, hız alanlarının; hem merkezden hem de yığılma diskinden uzaklığının ve çizgi genişliğinin de soğurucu maddenin fiziksel boyutlarının bir göstergesi olduğu düşünüldüğünde, Filiz Ak vd. (2014) çalışmasında elde edilen sonuçlar dikkate çekici bulgular sunmaktadır. Bu çalışmada, rüzgar ile taşınan soğurucu gazdan yalnızca CIV soğurması alındığında çizginin sıg ve dar olduğunu ve görece daha düşük hızlarda görüldüğünü işaret etmektedir. Soğurucu gazdan CIV yanı sıra daha düşük iyonlaşma potansiyeline sahip SiIV ve AlIII soğurmalarının da alındığı durumlarda çizginin şiddeti ve derinliği artmaktadır. Şekil 3, CIV, SiIV ve AlIII çizgilerinin görülme ve görülme durumlarında profilin nasıl değiştiğini ortaya koymaktadır.

Elde edilen sonuçlar, hem yüksek hem de düşük iyonlaşma potansiyeline sahip çizgileri oluşturan soğurucu yapıların, merkeze ve diske daha yakın bölgelerde bulunduğunu, fiziksel olarak daha büyük olduğunu ve optik derinliklerinin daha fazla olduğunu ortaya koymaktadır.

Çalışmadan elde edilen sonuçlar, soğurucu gazın iyonlaşma potansiyelinin sadece çizginin yapısı üzerinde değil değişim davranışları üzerinde de karar verici nitelik taşıdığını işaret etmektedir. Kullanılan ana BAL kuazar örnekleme, yalnızca CIV BAL yapısı gösteren (CIV_00), hem CIV hem de SiIV BAL yapısı gösteren (CIV_S0) ve, CIV ve SiIV yanı sıra AlIII BAL yapısı gösteren (CIV_SA) olmak üzere üç kısma ayrılmıştır. Bu üç ayrı grup içerisinde yer alan BAL yapılarının değişim karakteristiği incelendiğinde, CIV_00 BAL yapılarının, CIV_S0 BAL yapılarına göre belirgin bir şekilde daha fazla EG değişimi gösterdiği görülmüştür. Benzer bir şekilde, CIV_S0 BAL yapıları da CIV_SA yapılarından çok daha değişkendir.

Kuazar rüzgarlarının taşıdığı enerjinin; hem rüzgar yapısının hızı hem de taşınan madde miktarı ile pozitif bağlantıya sahip olduğu düşünüldüğünde, gözlenen BAL yapılarının hızlı, derin ve daha geniş olanlarının taşıdığı enerji miktarının daha fazla olduğu varsayımı oldukça akla yatkındır.



Şekil 3: (Sol Panel) CIV BAL yapılarının ölçülebilir parametreleri ve profillerinin tayfsal gösterimi; x-ekseni CIV salma çizgisinden olan maviye kayma hızını, y-ekseni ise normalize edilmiş akı yoğunluğunu vermektedir. Paneller üstten alta doğru, yalnızca CIV BAL yapısı gösteren (CIV_00), hem CIV hem de SiIV BAL yapısı gösteren (CIV_S0) ve, CIV ve SiIV yanı sıra AlIII BAL yapısı gösteren (CIV_SA) kuazarlarda bulunan CIV, SiIV ve AlIII çizgilerinin ortalama profillerini vermektedir. Mavi ile gösterilen CIV BAL yapısının, üst panelden alt panele doğru şiddetlendiği ve derinleştiği görülmektedir. (Sağ Panel) CIV_00, CIV_S0 ve CS_SA BAL yapılarının EG dağılımları; x-ekseni Å cinsinden eşdeğer genişliği ve y-ekseni BAL yapılarının sayısını vermektedir. En şiddetli BAL yapılarının CIV_SA gurubunda olduğu görülmektedir.

4. En Değişken: BAL Yapılarının Değişim Karakteristiği

Kuazar rüzgarları üzerinde ilk yapılan çalışmalardan bu yana rüzgarların tayfsal belirteci olan BAL yapılarının bilinen en belirgin özelliklerinin, zamanla değişim göstermeleri olduğu ortaya koyulmuştur (Tablo 1'de yer alan referanslar). Geniş bir kuazar örnekleme (699 BAL kuazar tayfı) kullanılarak ve farklı zaman aralıklarında alınmış çok sayıda tayfı sistematik bir incelemeye tabii tutan Filiz Ak vd. (2013), BAL parametrelerinin zamana bağlı değişimlerini incelemiştir. Aşağıda bu çalışmanın öne çıkan sonuçları sunulmuştur.

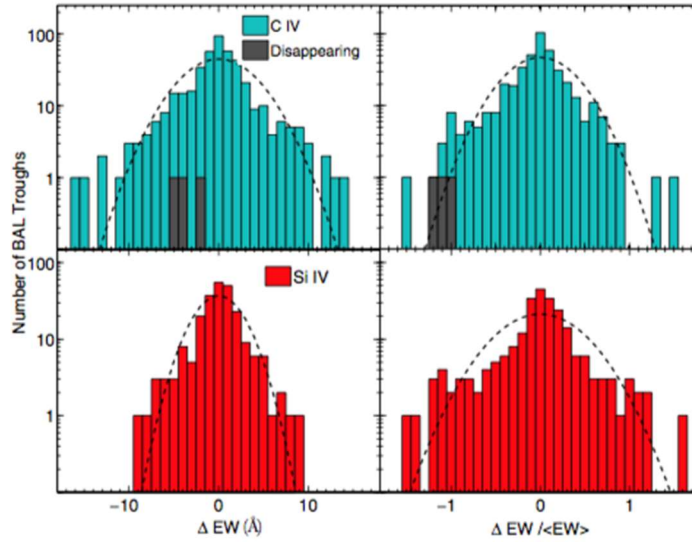
Şekil 4'de BAL yapılarının zamana bağlı EG değişimlerinin dağılımı verilmiştir. Çalışmada incelenen 699 kuazar tayfında bulunan 428 CIV ve 235 SiIV BAL yapısının iki farklı zamanda alınan gözlemlerinden hesaplanan EG değerlerinin

değişimi ($EG_2 - EG_1$) ve EG'lerin kesirsel değişimi ($(EG_2 - EG_1)/ort[EG_1, EG_2]$) elde edilmiştir. EG değişimlerinin ve EG kesirsel değişimlerinin dağılımları bir kaç önemli özelliğe sahiptir: (1) Dağılım tek tepelidir, (3) Dağılım simetrik bir yapıya sahiptir ve sıfır merkezlidir ve (3) Dağılım normal dağılıma uymamaktadır.

Dağılımın tek tepeli olması, tüm BAL değişimlerinin aynı sürecin sonucu olarak ortaya çıktığı varsayımını desteklemektedir. Hem EG artması hem de EG azalması yönündeki değişimlerin tamamının aynı özellikleri taşıdığına işaret etmektedir. Dağılımın sıfır merkezli ve simetrik olması, şiddetlenme yönündeki değişimlerin ve zayıflama yönündeki değişimlerin aynı zaman aralıklarında gerçekleştiğini işaret etmektedir. Örneğin, BAL yapılarının şiddetlenmesi daha hızlı ve zayıflaması daha yavaş olsaydı, dağılımın negatif yönde bir asimetriye sahip olması beklenirdi.

EG dağılımının sıfır merkezli olmaması, zamanla BAL yapılarının sayısının arttığı (pozitif merkez durumu) ya da azaldığı (negatif merkez durumu) durumlarının göstergesi olmalıydı. Ancak, sıfır merkezli dağılım, verilen bir zaman aralığı içerisinde zayıflayan ve şiddetlenen BAL sayılarının benzer olduğunu ortaya koymaktadır.

Gerçekleşen tüm rastgele olaylar, normal dağılım gösterme eğilimindedir. EG değişimlerinin normal dağılıma uymaması, değişimleri tetikleyen mekanizmanın rastgele olmadığını bir göstergesidir. Hem CIV hem de SiIV EG dağılımları, normal dağılıma göre daha şiddetli bir merkeze ve daha yaygın uçlara sahiptir. EG değişimlerinin dağılımı, merkezde değişmeyen yapıları işaret ettiğinden, rastgele bir durumdan beklendiğinden daha fazla değişmeyen BAL yapısı olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır. Benzer bir şekilde, dağılım uçlarının daha geniş olması, değişimlerin sistematik bir şekilde tek yönlü olabileceğini göstermektedir. Değişimlerin görülebileceği limit durum, var olan BAL yapılarının ölçülebilir değer altına düşerek kaybolmasıdır. Şekil 4'de yer alan grafikte Filiz Ak vd. (2012) tarafından incelenmiş az sayıdaki kaybolma durumu gösterilmiştir.



Şekil 4: CIV (mavi, üst paneller) ve SiIV (kırmızı, alt paneller) BAL yapılarının, iki tayfsal gözlem arasındaki EG değişimlerinin (sol paneller) ve kesirsel EG değişimlerinin (sağ paneller) dağılımı. EG değişimleri Å cinsinden verilmiştir. Üst panellerde görülen koyu renkli işaretler, Filiz Ak vd. (2012) çalışmasında yer alan az sayıdaki kaybolan BAL yapısını göstermektedir (Filiz Ak vd. 2013).

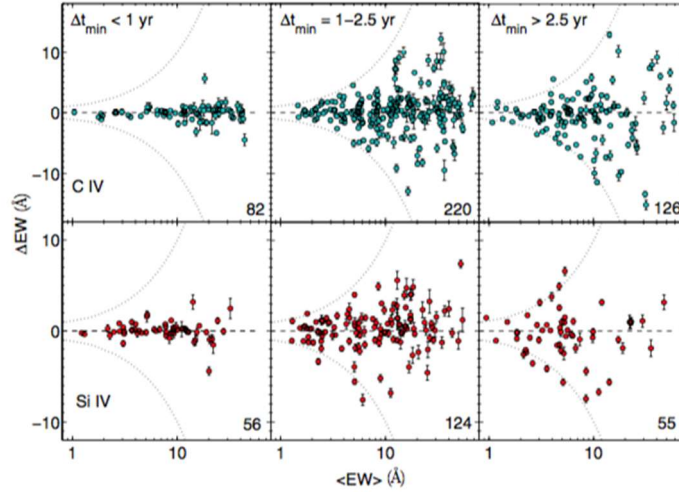
EG dağılımlarına en uygun model olarak Binom dağılımı seçilmiştir. Şekil 4'de görülen her dört dağılımın da Binom ile uyumlu olduğu bulunmuştur. Binom dağılımı, iki yönlü basit "random walk" modelinin sonucu olarak ortaya çıkabilmektedir. Bu durum dikkate alınarak, BAL yapılarının değişimlerinin random walk yapısı üzerine basit bir modelleme geliştirilmiştir. Bu modele göre, bir BAL yapısının her bir t aralığında pozitif ve negatif yönlerden rastgele bir seçimle bir \square EG kadar değişim sergilediği varsayılmıştır. Bu model varsayımları, BAL EG değişimlerinin uzayan zaman aralıklarında şiddetlenmesini ön görmektedir. Şekil 5'de, aynı kuazar örnekleme için kısa, orta ve uzun zaman ölçeklerinde CIV ve SiIV BAL yapılarının değişimleri kıyaslanmıştır.

Random Walk modelinden beklenen duruma uygun olarak, iki gözlem arasındaki zaman aralığı uzadıkça, EG değişimlerinin şiddetinin arttığı genel bir davranış olarak bulunmuştur. Model parametreleri olan t birim zaman aralığı ve \square EG birim adım aralığını belirleyebilmek için, iki gözlem arası zaman farkı 2 ila 2.5 yıl olan EG değişimleri alınarak, random walk yapısı ile modellenmiştir. Bu modelleme sonucunda, her bir adımı 1.65 Å değerinde bir EG değişimine karşılık gelmek üzere, 2-2.5 yıl içerisinde altı değişim adımının varlığı en olası sonuç olarak bulunmuştur.

Elde edilen bu sonuçlar, basit bir model yaklaşımı ile BAL yapılarının zamanla nasıl değişim gösterdiğini anlamak için ilk yaklaşımları ortaya koymaktadır. Modelden elde edilen parametreler kullanılarak örneklem içerisinde var olan tüm zaman aralıklarına uygulandığında; tüm zaman aralıklarındaki EG değişimlerinin aynı model parametreleri ile açıklanabileceği bulunmuştur. Şekil 6, gözlemsel sonuçlar ve random walk modelinden elde edilen sonuçları kıyaslamaktadır.

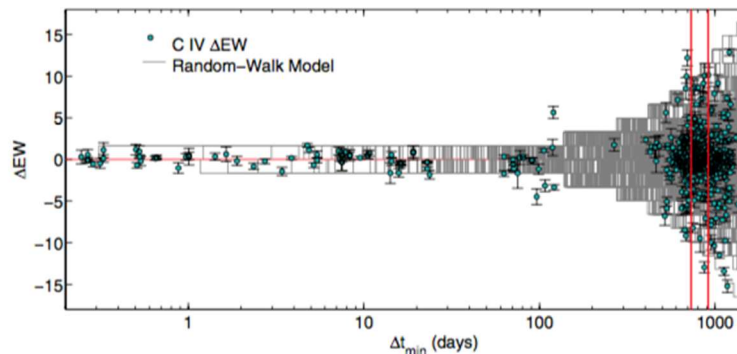
5. Kuazar Rüzgar Modelleri ve Değişim Mekanizmaları

Kuazar rüzgarlarının oluşumu ve yapısı hakkında ortaya atılmış ve gözlemsel verilerle en iyi uyum sağlayan model, BAL yapılarının ekvatoryal yığılma diskinden ve merkezdeki kara delikten 10^{16-17} cm (10 ila 100 ışık günü) uzaklıkta oluştuğunu öne sürmektedir. Rüzgarların hızla mekanizmasının ise merkeze daha yakın bölgelerde üretilen güçlü ışınımlar olduğu kabul edilmiştir (Murray vd. 1995; Proga vd 2004; Sim vd. 2010). Bu model ilk kez Murray vd. (1995) tarafından ortaya koyulmuştur ve halen çok sayıda tartışmaya konu olmaktadır. Daha güncel ve ayrıntılı gözlemlerden elde edilen sonuçlar, bu modeli destekler nitelikte veriler sunmaktadır.



Şekil 5: CVI (mavi, üst paneller) ve SiIV (kırmızı, alt paneller) BAL yapılarının, zamana bağlı EG değişimleri üç farklı zaman aralığı için verilmiştir. Sol paneller 1 yıldan kısa sürelerde gözlenen değişimleri, orta paneller 1 ila 2.5 yıl aralığında gözlenen değişimleri ve sol paneller 2.5 yıldan büyük zamanlarda gerçekleşen değişimleri göstermektedir. Değişim genliklerinin artan zaman ile artış gösterdiği görülmektedir. Panellerdeki ince gri çizgiler, limit değişimleri işaret etmektedir.

Kuazar rüzgarlarının ışınım yolu ile hızlandırılması yaklaşımı şu sonucu ortaya koyar; tayflarda görülen BAL yapılarının merkezi bölgelerde üretilen ışınımlar ile bu denli (60000 km/s) yüksek hızlara ulaşabilmesi için, ışınımların çok şiddetli olması beklenmelidir. Bu beklenti oldukça makuldür, çünkü süper kütleli kara delikler etrafında çok yüksek ışınımın olduğu bilinmektedir. Ancak, bu denli yüksek enerjiye sahip ışınımın, rüzgar yapısı içerisinde yer alan maddeyi tamamen iyonize etmesi gerekir. Gerçekte, gözlemsel veriler rüzgar yapılarından kaynaklı MgII gibi oldukça düşük iyonizasyon potansiyeline sahip çizgilerin varlığını göstermektedir. Rüzgarları hızlandıran yüksek enerjili ışınımın, rüzgar maddesini tamamen iyonize etmesi yani CIV, SiIV, MgII gibi çizgileri üretemeyecek kadar aşırı iyonlaşmaya maruz bırakması gerekirdi.



Şekil 6: CIV BAL yapılarının zaman göre EG değişimleri mavi daireler ile verilmiştir. Gri çizgiler random walk modeli ile öngörülen değişimlerin dağılımını vermektedir. Grafikte iki dikey kırmızı çizgi arasında kalan bölge, random walk modeli için seçilen zaman aralığını göstermektedir.

Murray vd. (1995) tarafından öne sürülen bu model, yığılma diskinin daha iç kısımlarında bulunan bir gaz yapısının olduğu görüşünü ortaya koymuştur. Modelin öngörüsüne göre BAL yapısı gösteren kuazarlarda, X-ışın koronası ve BAL yapılarını oluşturan soğurucu gaz arasında bulunan bu gaz yapısı kalkan görevi görmektedir. Murray vd. (1995), bu yapıyı



XX. ULUSAL ASTRONOMİ KONGRESİ IX. ULUSAL ASTRONOMİ ÖĞRENCİ KONGRESİ

UAK
2016

“shielding gas” ya da “failing wind” olarak nitelemiştir. Bu koruyucu gaz yapısı, rüzgarların gözlenen hızlara ulaşırken aşırı iyonlaşmaya uğramasını engellemektedir.

Eğer modelin bu öngörüsü gerçekçi ise BAL yapısı gösteren kuazarların, göstermeyenlere göre daha fazla X-ışın soğurmasına maruz kalması ve dolayısıyla, gözlemciye daha düşük X-ışın salınımı ulaşması beklenmelidir. Bu olgu çok sayıda çalışmada incelenmiş ve BAL yapısı gösteren kuazarların beklendiği gibi daha düşük X-ışınlaşımına sahip olduğu görülmüştür (Gallagher 2002, 2006). Dolayısıyla, Murray vd. (1995) tarafından öne sürülen model, geçerliliğini korumakla birlikte bir kez daha doğrulanmıştır.

Literatürde sıklıkla tartışılan senaryolar incelendiğinde, BAL yapılarındaki değişim mekanizmalarını açıklamak için ortaya atılmış üç mekanizma bulunur. Birinci mekanizmada; rüzgar yapılarının kara delik etrafında bir yörünge takip ettiği ve yörüngesel dönme hareketleri sonucu değişimlerin gözlemlendiği düşünülmektedir. Bu dönme modelinde, soğurucu gazın görüş alanında kalan kısmının artıp azalması yani gazın kapatma faktörünün değişimi, BAL değişimin kaynağı olarak görülür. İkinci model, karadeliğe yakın bölgelerden gelen iyonlaştırıcı ışının şiddetindeki değişimlerin, soğurucu gaz içerisindeki iyonlaşma derecesini değiştirmesi yaklaşımını ele alır. Soğurucu gazın değişen iyonlaşma durumu, BAL yapılarının şiddet değişimine neden olmaktadır. Üçüncü ve daha az çalışılmış olan model ise, soğurucu gaz içerisindeki kaotik madde hareketlerinin ve yine soğurucu gazın içerisindeki fiziksel şartların tümüyle iç etkilere dayalı nedenlerle değişmesini, BAL değişimlerinin kaynağı olarak gösterir.

Bu bildiriye sunulan çalışmalardan elde edilen sonuçlar, BAL yapılarındaki değişime neden olduğu düşünülen mekanizmalar bakımından incelendiğinde, hem iyonizasyon değişimine bağlı mekanizma, hem de dönmeye bağlı soğurucu gaz hareketi mekanizması elde edilen sonuçlarla uyum göstermektedir. Kaotik madde hareketi modeli açıklanamadığından elenmiştir. Ortaya çıkan sonuçlar, hem dönme hem de iyonizasyon mekanizmasının ortak bir sonucu olarak BAL değişimlerinin gözlemlendiğini ortaya koymaktadır.

BAL yapılarının değişimi üzerinde, hangi mekanizmanın daha baskın bir etkiye sahip olduğunu belirleyebilmek için daha ayrıntılı çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu bakımda, değişmeyen BAL yapılarının incelenmesi yeni bir bakış açısı sağlama potansiyeline sahiptir. Birden fazla BAL yapısı gösteren ya da kaybolma-ortaya çıkma gibi limit değişimler sergileyen kuazarların incelenmesi ile elde edilecek sonuçlar, olası mekanizmaları anlamamıza katkı sağlayacaktır.

NFA ve WNB, sağladığı destek için TÜBİTAK 115F037 numaralı projeye teşekkürlerini sunmaktadır.

6. Referanslar

- Allen, J. T., Hewett, P. C., Maddox, N., Richards, G. T., Belokurov, V. 2011, MNRAS, 410, 860
Barlow, T. A. 1994, PASP, 106: 548-600
Capellupo, D. M., Hamann, F., vd. 2011, MNRAS, 413, 908
Capellupo, D. M., Hamann, F., vd. 2013, MNRAS, 429, 1872
Capellupo, D. M., Hamann, F., vd. 2012, MNRAS, 422, 3249
Di Matteo, T., Springel V., Hernquistvd, L., 2005, Nature, 433, 604
Emmering, R. T., Blandford, R. D., Shlosman, I. 1992, ApJ, 385, 460
Filiz Ak, N., Brandt, W. N., vd. 2012, ApJ, 757, 114
Filiz Ak, N., Brandt, W. N., vd. 2013, ApJ, 777, 168
Filiz Ak, N., Brandt, W. N., vd. 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., vd. 2006, ApJ, 644, 709
Ganguly, R., Brotherton, M. S., vd. 2007, ApJ, 665, 990
Gibson, R. R., Brandt, W. N., vd. 2008, ApJ, 685: 773
Gibson, R. R., Brandt, W. N., vd. 2010, ApJ, 713, 220
Gibson, R. R., Jiang, L., Brandt, W. N., et al. 2009, ApJ, 692, 758^[1]_{SEP}
Grier, C. J., Hall, P. B., vd. 2015, ApJ, 806: 111
Haggard, D., Arraki, K. S., vd. 2012, in ASP Conf. Ser. 460, San Francisco, CA, 98^[1]_{SEP}
Hall, P. B., Brandt, W. N., vd. 2013, MNRAS, 434, 222
Hall, P. B., vd., 2002, ApJSS, 141, 267
Hopkins, P. F. vd., 2010, MNRAS, 401, 7
Konigl, A., & Kartje, J. F. 1994, ApJ, 434, 446^[1]_{SEP}
Leighly, K. M. 2004, ApJ, 611, 125
Lundgren, B. F., Wilhite, B. C., vd. 2007, ApJ, 656, 73
McGraw, S. M., Shields, J. C., Hamann, F. W., Capellupo, D. M., Herbst, H. 2018, MNRAS, 475, 585
Murray N., Chiang J., Grossman S. A., Voit G. M. 1995, ApJ, 451, 498
Paris I., vd. 2012, A&A, 548, A66^[1]_{SEP}
Paris I., vd. 2014, A&A, 563, A54^[1]_{SEP}
Paris I., vd. 2017, hazırlanıyor.
Proga, D., Stone, J. M., vd. 2000, ApJ, 543: 686
Richards, G. T., Fan, X., vd. 2002, AJ, 123, 2945^[1]_{SEP}
Richards, G. T., Kruczek, N. E., vd. 2011, AJ, 141, 167



XX. ULUSAL ASTRONOMİ KONGRESİ
IX. ULUSAL ASTRONOMİ ÖĞRENCİ KONGRESİ

UAK
2016

- Rogerson, J. A., Hall, P. B., vd. 2016, MNRAS, 457, 405
Schneider, D. P., Hall, P. B., vd. 2007, AJ, 134, 102
Sim, S. A., Proga, D., Miller, L., Long, K. S., Turner, T. J. 2010, MNRAS, 408, 1396^[1]_[SEP]
Turnshek, D. A., Grillmair, C. J., Foltz, C. B., Weymann, R. J. 1988, ApJ, 325, 651^[1]_[SEP]
Vivek, M., Srianad, R., vd., 2012, MNRAS, 423: 2879
Welling, C. A., Miller, B. P., vd. 2014 MNRAS, 440, 2474
Weymann, R. J., Morris, S. L., Foltz, C. B., Hewett, P. C. 1991, ApJ, 373, 23
York, D. G., Adelman, J., vd. 2000, AJ, 120: 1579

BİLDİRİLER