

SDSS J141721.79+534102.6 Kuazarında İçsel Baldwin Etkisinin İncelenmesi

Suude Bayram¹  , Nurten Filiz Ak^{2,3} 

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

² Erciyes Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzak Bilimleri Ana Bilim Dalı, 38039, Kayseri, Türkiye

³ Erciyes Üniversitesi, UZAYBIMER Gözlemevi, Araştırma ve Uygulama Merkezi, 38039, Kayseri, Türkiye

Accepted: February 12, 2025. Revised: February 12, 2025. Received: February 3, 2025.

Özet

Kuazarlar, karakteristik yapıları itibarıyla parlaklıklarında zamana bağlı değişimler göstermektedir. Tayflarında bulunan salma çizgileri incelendiğinde, ışıının artmasıyla $H\alpha$, $H\beta$ ve $[OIII]$ gibi çizgilere ait eşdeğer genişliklerin azalmaya eğilimli oldukları görülmektedir. Salma çizgi şiddetleri ile sürekli ışıının arasındaki bu ilişki Baldwin etkisi olarak tanımlanır ve çok sayıda kuazarın incelenmesi ile varlığı belirlenen bu etkinin tek bir kuazarın uzun zamanlı gözlemlerinde de görülebildiği tespit edilmiştir. Bu çalışmada, SDSS J141721.79+534102.6 kuazarının uzun dönemli tayfsal ve fotometrik gözlemleri analiz edilmiş ve hem geniş çizgilerde hem de yasaklı dar çizgilerde Baldwin etkisinin varlığı gözlenmiştir. Geniş ve dar çizgilerin süreklilik değişimine karşı şiddet değişimleri ölçülerek kıyaslanmıştır. Ayrıca, Baldwin Etkisi'nin yalnızca optik verilerle değil, aynı zamanda kızılötesi verileriyle de incelenmesi için WISE ışık eğrileri ile kıyaslamalar yapılmıştır. Süreklilik değişimlerinin optik ve kızılötesi bölgelerde uyumlu olması ve tek bir kuazarın tayfında görülen Baldwin etkisinin hem geniş hem de dar çizgiler için varlığı, bu etkiye kuazar eğim açısının sebep olamayacağını göstermiştir.

Abstract

The brightness of quasars varies over time due to their intrinsic properties. Analyzing the emission lines in quasar spectra reveals that the equivalent widths of lines such as $H\alpha$, $H\beta$, and $[OIII]$ tend to decrease as the continuum luminosity increases. This relationship between emission line strength and continuum luminosity is known as the Baldwin Effect, initially identified through studies of multiple quasars. Interestingly, this effect has also been observed in long-term monitoring of individual quasars. In this study, we examine the long-term spectroscopic and photometric observations of the quasar SDSS J141721.79+534102.6, confirming the presence of the Baldwin Effect in both broad and forbidden narrow lines. We compare the intensity variations of these lines with changes in the continuum luminosity and extend our analysis to WISE light curves to explore the Baldwin Effect in both optical and infrared wavebands. The consistency of continuum variations across optical and infrared regions, combined with the detection of the Baldwin Effect in both broad and narrow lines within a single quasar, suggests that this phenomenon cannot be explained by changes in the inclination angle of quasars.

Anahtar Kelimeler: Galaksi – Kuazar – Baldwin Etkisi

1 Giriş

Merkezlerinde aktif, süper kütleli bir karadeli bulunduran ve elektromanyetik tayfın tüm bölgeleri boyunca güçlü ışıının gösteren kuazarlar, parlaklıkları nedeniyle çok uzaklarda olmalarına rağmen gözlenebilmektedirler. Bu gök cisimleri yıldız benzeri nokta kaynak görünümüne (Schmidt 1963) ve güçlü radyo ışıınınına sahiptirler. Aktif galaksilerin alt türlerinden biri olan kuazarlar, düzensiz ışık değişimlerine sahip olan gök cisimleridir. Yapılarındaki bu değişim birkaç saatten birkaç yıla kadar uzanabilmektedir (Vanden Berk ve diğ. 2004). Düzensiz ışık değişimlerine sebep olan etken henüz tam olarak bilinmemekle beraber en çok kabul gören yaklaşım kuazarın sahip olduğu yığılma diskindeki kararsızlıktan kaynaklanan bir etki olduğu yönündedir.

Kuazarların doğasını anlamak için X-ışın, (Kaspi ve diğ. 2007; Timlin ve diğ. 2020) morötesi ve optik bölgedeki tayfsal ve fotometrik değişimler (Yang ve diğ. 2016) ayrıntılı

olarak incelenmiştir. Kuazarlarda ışık değişimlerinin genel davranışı herhangi bir periyoda sahip olmayan rastgele değişimler şeklindedir. Ancak az sayıda kaynağın yarı-periyodik değişimler sergileyebildiği görülmüştür Komossa ve diğ. (2024). Vanden Berk ve diğ. (2004) çalışmasında kuazarların ışık değişimlerinin fiziksel parametrelere bağlılığı araştırılmış ve düşük ışıının gücüne sahip olan kuazarların daha şiddetli değişimler gösterdiği görülmüştür.

1.1 Baldwin Etkisi

Kuazarların tayfları incelendiğinde, power-law dağılımına uygun bir süreklilik üzerinde güçlü salma çizgileri sergiledikleri görülmüştür. Kaynakların ışıınınlarının artmasıyla beraber salma çizgi şiddetlerinde azalma meydana geldiği görülmektedir (Baldwin 1977). Salma çizgilerinin şiddetini tanımlamak için kullanılan eşdeğer genişlik (EG) ile parlaklık arasındaki bu ters ilişki, "Baldwin Etkisi" olarak bilinmektedir. Baldwin Etkisi ilk kez Baldwin (1977) çalışmasında 20 adet kuazar üzerinde yapılan incelemeler sonucunda CIV salma çizgisi üzerinde görülmüş ve çizginin eşdeğer genişliğinin, süreklilik ışıınınlarında

* suudebyr@gmail.com

meydana gelen artışla beraber sistematik olarak azalmaya eğilimli olduğunu göstermiştir. Baldwin Etkisi, aktif galaksilerin moröte ve optik bölgedeki geniş salma çizgilerinde (CIV, H α , H β gibi) gözlemlenmekle beraber, bu çizgilerin oluşum mekanizmaları hakkında önemli bilgiler sağlamaktadır. Baldwin Etkisi'nin kuazar tayfında görülen farklı çizgilerde var olup olmadığını anlamak için daha önce birçok kaynak incelenmiş ve üzerinde çalışmalar yapılmıştır (örn.; Kinney ve diğ. 1990).

Literatüre bakıldığında, çalışmalarda iki farklı Baldwin Etkisi'nin varlığı görülmektedir:

- Genel Baldwin Etkisi (GBE); çok sayıda objenin tayfları incelendiğinde EG ve süreklilik ışınımı arasında görülen ters korelasyondur.
- İçsel Baldwin Etkisi (İBE); ise tek bir objenin birden fazla tayfının incelenmesi sonucunda EG ve süreklilik ışınımı arasında görülen ters korelasyondur.

Baldwin etkisi çok sayıda kaynak kullanılarak birçok çalışmada incelenmiş olmasına rağmen (Boroson & Green 1992; Xu ve diğ. 2008; Bian ve diğ. 2012) tek bir kaynak üzerinde de bu etkinin var olduğunun anlaşılması ilk kez Wamsteker & Colina (1986) çalışması ile ortaya konmuştur. İçsel Baldwin Etkisi'nin incelenmesi için aynı kaynağa ait çok sayıda tayfın elde edilmesi gerektiğinden bu etki üzerinde Genel Baldwin Etkisi'nde olduğu kadar fazla çalışma bulunmamaktadır.

Baldwin etkisinin arkasında yatan mekanizmaların anlaşılması için hem GBE hem de İBE analizlerinin kıyaslanması gerekir. Ayrıca, İBE'nin optik ve morötesi süreklilik ile incelemelerinin yanı sıra, kızılötesi bantlarında da nasıl bir eğilim izlediğinin araştırılması bulgulara katkı sağlayacaktır. Bu çalışmada, tek bir objenin 71 adet tayfı üzerinde İçsel Baldwin Etkisi incelenerek optik ve kızılötesi ışık eğrileri üzerinde analizler gerçekleştirilmiştir.

2 Yöntem

İçsel Baldwin Etkisini incelemek üzere SDSS J141721.79+534102.6 kuazarının hangi kriterlere göre seçildiği, kuazara ait tayfsal ölçüm ve fotometrik ışık eğrisi verilerinin nasıl elde edildiği bu bölümde sunulmuştur. Ayrıca, fotometrik ışık eğrilerinin analizlere hazır hale getirilmesi için uygulanan yaklaşımlar açıklanmıştır.

2.1 Kuazar Seçimi

Çalışmada, Sloan Digital Sky Survey (York ve diğ. 2000, kısaca SDSS) tarafından elde edilen tayfsal gözlemler kullanılmıştır. SDSS, otomatik sınıflandırmalar ile gözlenen kaynakların kuazar olma durumlarını ve kırmızıya kaymalarını belirlemektedir (Bolton ve diğ. 2012). SDSS tarafından elde edilen verileri inceleyerek kümülatif olarak sunan kuazar kataloğunda (Lyke ve diğ. 2020, kısaca DR16Q), 750 414 kaynak yer almaktadır. Katalogda bulunan kuazarlar arasında gözlenen tayf sayısı 70 ve üzerinde olanlar seçilerek bu çalışma için uygun kaynak sayısı 647 kuazara düşürülmüştür. Tayfların kalitesi, yapılacak çizgi şiddeti ölçümlerine doğrudan etki edeceğinden, örneklemdeki kaynakların tayflarının sinyal gürültü oranları (S/N) bir seçim kriteri olarak kullanılmıştır. Kuazarlar içerisinden S/N oranı 10'dan yüksek olanlar seçildiğinde ise geriye 107 adet kuazar kalmaktadır. Seçilecek olan objenin ışık eğrilerinde belirgin değişkenliğe sahip olması, çalışma kapsamında incelenen objenin ışık eğrileri ve çizgi değişimlerinin kıyaslanabilmesi için önemlidir. Bu nedenle seçilecek olan

kuazarın ışık eğrisinde değişkenlik seviyesi ve 1000 veri noktasından fazla ölçüme sahip olması bir seçim kriteri olarak belirlenmiştir.

Bu çalışma için hem optik hem de kızılötesi bölgede yeterli sayıda gözlemsel verisi bulunan ve ışık eğrilerinde belirgin değişim sergileyen bir kaynak olan SDSS J141721.79+534102.6 kuazarı seçilmiştir. SDSS tarafından kullanılan otomatik ölçümlerle kırmızıya kayma değeri $z=0.193$ olarak belirlenen bu kaynağın farklı zamanlarda gözlenmiş 71 adet tayfı bulunmaktadır.

2.2 Işık Eğrisi Verileri

Bu çalışmanın amacında, tayfsal çizgi şiddetleri ile kaynağın sürekli ışınımındaki ilişki inceleneceğinden, çok sayıda tayfsal veri ile beraber optik ve kızılötesi bantlarda alınmış fotometrik ölçümlere ihtiyaç vardır. Bu nedenle seçilen kuazarların optik bölgede gözlenmiş ışık eğrileri için Palomar Tansient Facility (Law ve diğ. 2009, PTF) ve Zwicky Transient Facility (Bellm ve diğ. 2019, ZTF) veritabanları kullanılmıştır. Ayrıca, kızılötesi bölgedeki fotometrik veriler için Wide-field Infrared Survey Explorer (Wright ve diğ. 2010, WISE) veri tabanı kullanılarak ışık eğrileri elde edilmiştir.

PTF ve ZTF, Palomar Gözlemevi'nde bulunan 48 inçlik (122 cm) Schmidt teleskobuyla kuzey yarıküreyi her iki günde bir taramakta ve bu sayede çok uzun dönemli ışık eğrileri elde edebilmektedir. PTF, 2009 yılından 2012 yılına kadar g ve r filtrelerinde gözlemler yapmıştır. Güncellemeler ile yerini ZTF'e bırakarak g , r ve i filtrelerindeki gözlemlerine 2018 yılından bu yana devam etmektedir.

Kızılötesi bölgede tekrar eden fotometrik ölçümlerin yer aldığı AllWISE ve NEOWISE katalogları Wright ve diğ. (2010) WISE gözlemlerinin sonuçlarını içeren uzantılarıdır. AllWISE tüm gökyüzünü taramakta, NEOWISE ise objeleri W1 ve W2 filtrelerinde tekrarlı olarak gözlemektedir.

Seçilen kuazarın ZTF ve PTF veri tabanlarından elde edilen uzun süreli fotometrik ışık eğrilerinin aynı gecede alınan verilerinin sayısı 3 ila 4 arasında değişmektedir. Bu çalışmada uzun dönemli ışık değişimlerine bakıldığından, aynı gecede alınan gözlemlerin tek bir değer olarak belirlenebilmesi için gecelik ağırlıklı ortalamalarının hesaplanması uygun görülmüştür. Ağırlıklı ortalamaların elde edilmesinde Suberlak ve diğ. (2017) çalışmasında ele alınan yöntemi kullanılarak hesaplamalar yapan Sayili & Filiz Ak (2022a,b) çalışmaları takip edilmiştir. Gecelik ortalama parlaklık değeri Denklem 1'de gösterildiği şekilde hesaplanmıştır.

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

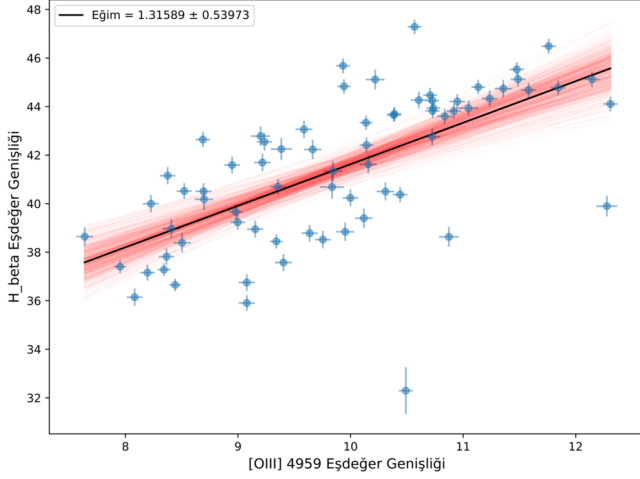
Burada m_{ort} ; gecelik ağırlıklı ortalamaları, w_i ; aynı gecede alınmış olan noktaların ağırlığını ve m_i ; her bir veri noktası için parlaklık değerlerini temsil etmektedir.

2.3 Tayf Verileri

Literatürde, Baldwin Etkisi'nin geniş salma çizgileri üzerindeki varlığı kapsamlı bir şekilde çalışılmış olmasına rağmen dar çizgilerde bu etkinin varlığı üzerinde çok sayıda çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışmada, İBE'nin incelenmesinde hem dar hem de geniş çizgilerin seçilmesi kararlaştırılmıştır. Seçilen kuazar, görece küçük kırmızıya kayma değerine sahip olduğundan bu objede belirgin görülen [OIII] 5007, [OIII] 4959 dar çizgileri ve H α , H β geniş çizgileri inceleme için ele

Çizelge 1. Spearman Korelasyon Değerleri

Salma Çizgisi	ρ
H α	-0.506
H β	-0.627
[OIII]4959	-0.941
[OIII]5007	-0.940

Şekil 1. [OIII] 4959 çizgisinin H β çizgisi ile korelasyonu gösterilmektedir. Kırmızı doğrular LINMIX'in tüm sonuçlarını, siyah doğru ise en iyi sonucunu temsil etmektedir.

alınmıştır. SDSS, otomatikleştirilmiş bir rutin kullanarak ilk önce gözlenen tayflardaki kırmızıya kaymayı, daha sonra da tayflarda görülen salma ve soğurma çizgilerini belirlemektedir. Tayfta yer alan H α , H β , [OIII] ve CIV gibi baskın çizgilerin şiddetlerini ölçen SDSS, belirlenen gerekli parametreleri kullanarak çizgilerin merkezindeki süreklilik seviyesini de hesaplamaktadır. Parametreler hesaplanırken parametrelerin hatalarını da belirleyerek DR16Q kataloğunda yayımlanmaktadır. Bu çalışma için belirlenen çizgilerin EW ve süreklilik ışınımı gibi parametreleri hataları ile beraber SDSS'in otomatik ölçümlerinden alınmıştır. Baldwin Etkisinin önceki çalışmalarına benzer olarak çizgi şiddeti tanımlaması için EW parametresi tercih edilmiştir. EW hesabı, Denklem 2'de verilen şekilde yapılmaktadır:

$$EG = \int_{\lambda_{\min}}^{\lambda_{\max}} \frac{f_c - f'_\lambda}{f_c} d\lambda \quad (2)$$

Burada, $\lambda_{\min}$ ve $\lambda_{\max}$ çizginin başlangıç ve bitiş dalgaboyu; f_c tayfsal süreklilik; f'_λ normalize edilmemiş akı yoğunluğudur.

3 Analizler

Bu bölümde seçilen kuazarın parlaklık değişimi ile tayfsal bileşenlerinde meydana gelen değişimler arasındaki ilişkiler incelenerek İBE'nin bu kaynak üzerindeki varlığı araştırılmaktadır. Elde edilen bulgular bu bölüm içerisinde sunulmaktadır.

3.1 İçsel Baldwin Etkisi Analizleri

SDSS J141721.79+534102.6 kuazarında, EW ölçümleri yapılan dar ve geniş salma çizgileri ile tayftan ölçülen süreklilik

Çizelge 2. Salma çizgileri eğim ölçümleri

Salma Çizgisi	$m \pm m_{err}$
H α	-5.455 $\pm$ 1.184
H β	-0.826 $\pm$ 0.327
[OIII] 4959	-0.580 $\pm$ 0.034
[OIII] 5007	-1.804 $\pm$ 0.107

değerleri arasında herhangi bir korelasyon olup olmadığını incelemek için öncelikle Spearman ρ korelasyon testi yapılmıştır. Tayfsal süreklilik ölçümleri her çizginin yakınındaki dalgaboyu aralığından alınmıştır. Spearman korelasyon testinden elde edilen sonuçlar Çizelge 1'de sunulmuştur. Bu sonuçlara göre, tüm salma çizgileri güçlü korelasyonlar göstermektedir. Bununla beraber, dar salma çizgileri; geniş salma çizgilerine kıyasla daha güçlü korelasyona sahiptir.

Çizelge 1'de sunulan değerler, geniş ve dar salma çizgilerinin şiddetleri arasında doğrusal bir korelasyon olduğuna işaret etmektedir. Şekil 1'de [OIII] 4959 çizgi şiddeti ile H β çizgi şiddeti arasındaki korelasyon incelenmiştir.

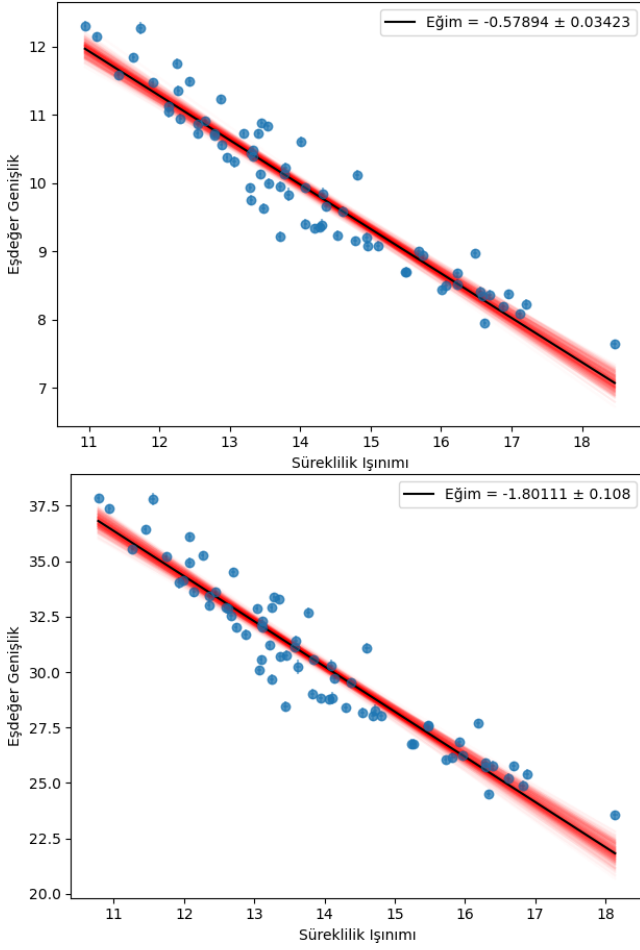
Arasında korelasyon olan parametrelerde regresyon analizi yapılabilmesi için hem parametrelerin hem de ölçüm hatalarının dahil edilerek modelleme yapılması gerekir. Belirlenen parametrelerin korelasyonunun ve dağılımının incelenebilmesi için, Python'da Bayesian yaklaşımıyla olasılık dağılımı oluşturan LINMIX modülü kullanılmıştır (Kelly 2007). LINMIX, verilere en uygun eğim ve kesişimi bulabilmek için olasılık dağılımında 1.000 iterasyonluk bir Markov Chain Monte Carlo (MCMC) zinciri oluşturmaktadır. İterasyonları gerçekleştirirken parametreleri güncellemek ve değişkenlerdeki hataları, veri belirsizliklerini ve içsel saçılmaları da dikkate alarak olasılıkları belirlemektedir. Oluşturulan model için eğim ve kesişim değerleri her bir iterasyondan elde edilen olasılıkların ortalamasının alınmasıyla elde edilmektedir.

Şekil 2'de, [OIII] 4959 ve [OIII] 5007 çizgileri için elde edilmiş eşdeğer genişliğe karşı süreklilik lüminositelerinin bulunduğu grafikler sunulmaktadır. Grafiklerde ters bir korelasyonun varlığı açıkça görülmekte ve bu korelasyon, [OIII] çizgilerinde Baldwin Etkisi'nin varlığını doğrulamaktadır. Aynı etki kuazarın H α ve H β çizgilerinde de görülmektedir (Şekil 3).

Baldwin Etkisinin ifadesi f_c ; süreklilik seviyesi ve m ise eğim olmak üzere $f_c \propto EW^m$ şeklinde gösterilir. Ölçüm hatalarını dikkate alan regresyon analizleri yapılarak her bir çizgi için içsel Baldwin Etkisinin eğimi hesaplanmış ve sonuçlar Çizelge 2'de verilmiştir. Regresyon analizleri ile elde edilen eğim değerleri incelendiğinde, en büyük eğimin H α çizgisinde en zayıf eğimin ise [OIII] 5007 çizgisinde olduğu bulunmuştur.

3.2 Optik Işık Eğrisi Analizleri

Kuazarların sürekliliği ve çizgi şiddetleri arasındaki ters korelasyonun varlığını göstermek için sıklıkla tayftan elde edilen süreklilik değerleri kullanılmaktadır. Süreklilikteki değişimin yalnızca küçük bir dalgaboyu aralığında mı yoksa tüm dalgaboyu aralıklarında mı gerçekleştiğinin anlaşılması için hem kızılötesi hem de optik bölgede alınmış ışık eğrileri incelenmiştir. ZTF ve PTF üzerinden alınan ışık eğrileri ile tayfta var olan H α , H β ve [OIII] gibi çizgilerin EG'lerinin zamana göre değişimleri incelenmiştir. Yapılan analizler sonucunda hem salma çizgilerinin şiddetlerinin hem de optik ışık eğrilerinin parlaklıklarının zamana göre İBE'ye uygun

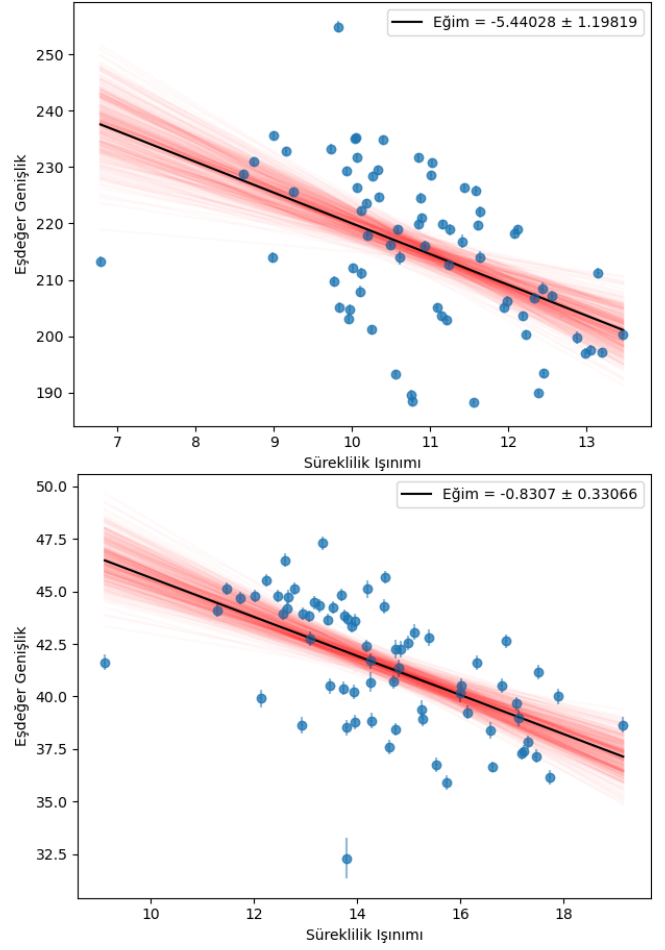


Şekil 2. [OIII] 4959 (üst panel) ve [OIII] 5007 (alt panel) çizgilerinin süreklilik ışınımına karşı eşdeğer genişlikleri (Å biriminde) gösterilmektedir. Kırmızı ile gösterilen doğrular LINMIX kullanılarak oluşturulan olasılıklardır. Siyah olarak gösterilen fit ise bu olasılıkların ortalamasının alınması ile elde edilmiştir ve belirlenen eğim değerleri grafik üzerinde verilmiştir.

değişimler gösterdikleri görülmektedir. Şekil 4'te ZTF ve PTF ışık eğrileri ile [OIII] 4959 çizgisinin eşdeğer genişliğinin zamana bağlı değişim grafiği gösterilmektedir. Tayfsal verilerin elde edildiği zaman aralığı ile ışık eğrilerinin alındığı zaman aralığında yalnızca küçük bir çakışma bölgesi vardır. Çakışan verilerin sayıca az olmasından ötürü korelasyon analizleri gerçekleştirilememiş, bu nedenle ışık eğrisi ve salma çizgisi arasındaki uyum görsel olarak analiz edilmiştir.

3.3 WISE Işık Eğrisi Analizleri

Kuazarların parlaklıklarında meydana gelen değişimleri incelemek amacıyla kızılötesi ışık eğrileri elde edilmiştir. Şekil 5'te, NEOWISE ve AllWISE ışık eğrileri gecelik ağırlıklı ortalamaları ile birlikte sunulmuştur. Grafikte [OIII] 4959 çizgisine ait eşdeğer genişliklerin zamana bağlı değişimleri mor renk ile gösterilmiştir. Hem salma çizgisinin hem de ışık eğrisinin zamana bağlı benzer değişimler sergiledikleri gözlemlenmiştir.



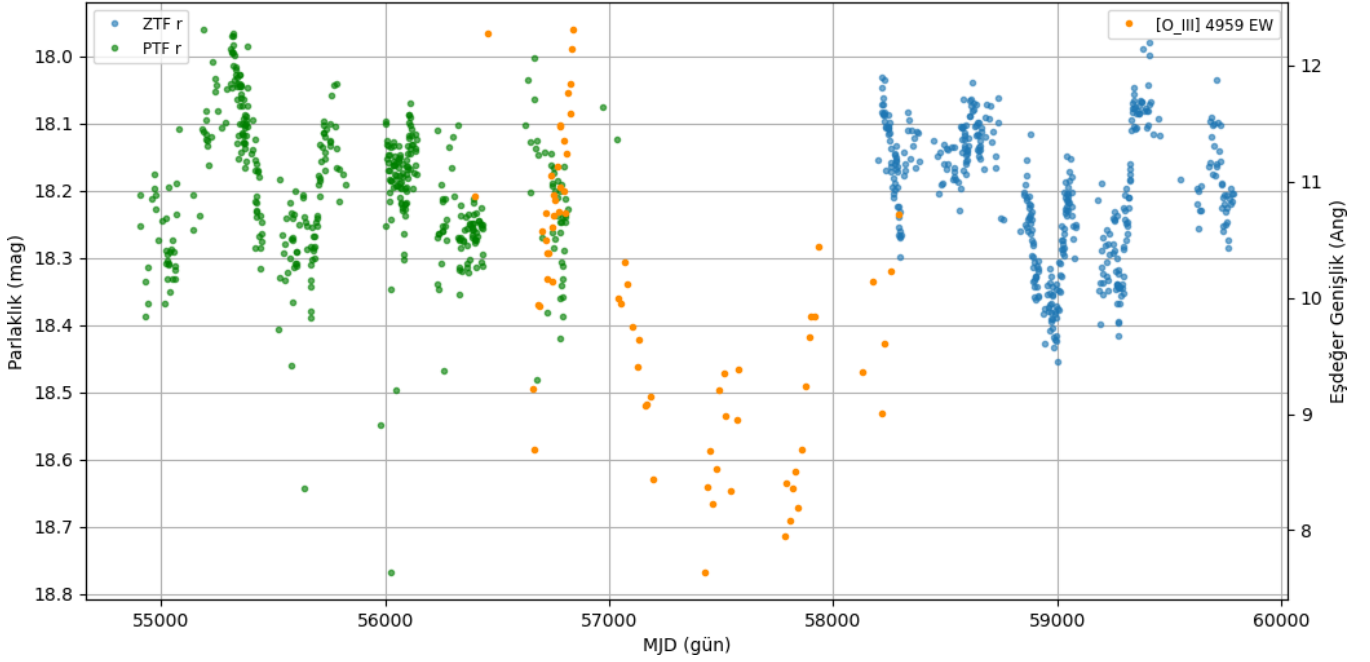
Şekil 3. Grafikte Hα ve Hβ çizgilerinin süreklilik ışınımına karşı eşdeğer genişlikleri gösterilmektedir.

4 Tartışma ve Sonuçlar

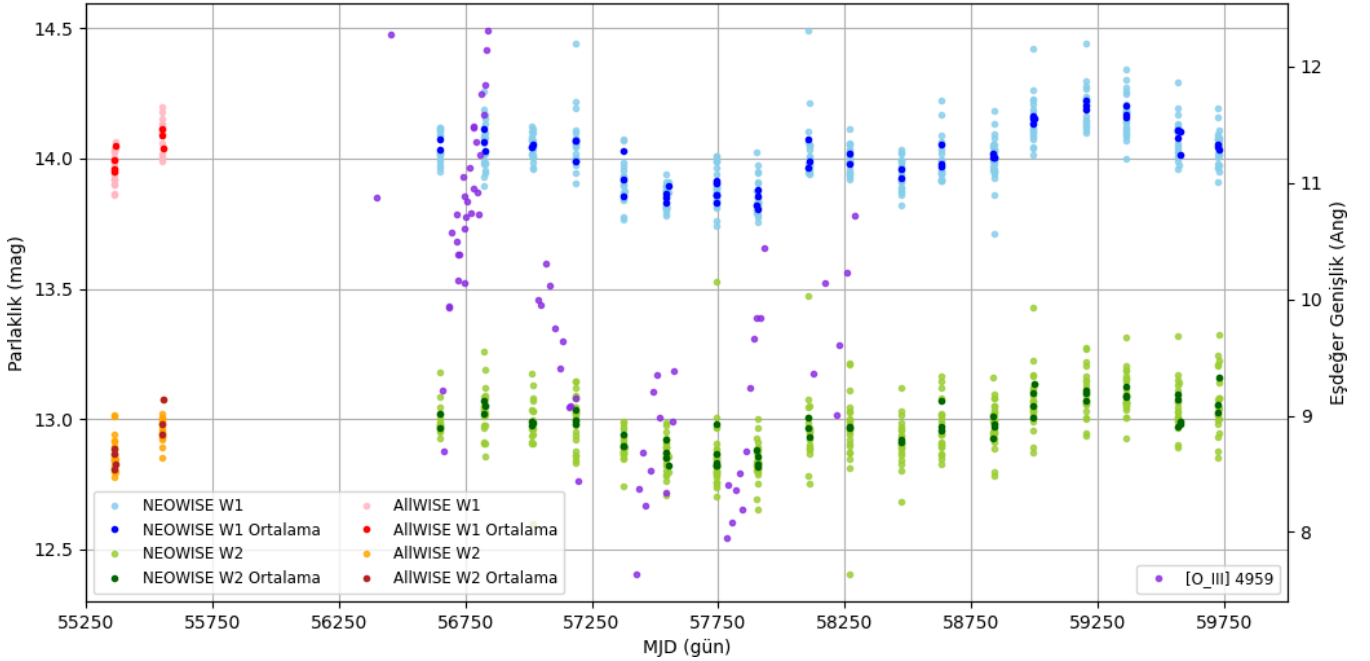
Tek bir kuazarın çok sayıda gözlemleriyle içsel Baldwin Etkisi'nin incelendiği bu çalışmada, gerekli seçim kriterleri uygulanarak SDSS J141721.79+534102.6 kuazarı ana obje olarak belirlenmiştir. Seçilen objeye ait optik ışık eğrisi verileri ZTF ve PTF üzerinden, kızılöte bölgeye ait ışık eğrisi verileri ise WISE üzerinden elde edilmiştir. Kuazara ait tayfların alınmasında SDSS DR16 kataloğu kullanılmış ve gerekli parametreler bu katalog üzerinden belirlenmiştir.

İBE'nin incelenmesinde çeşitli çizgilerin seçilmesi, bu etkinin hem dar hem de geniş salma çizgiler üzerindeki varlığının karşılaştırılabilmesine olanak sağlamaktadır. Bu nedenle çalışmada incelenmek üzere [OIII] 4959, [OIII] 5007, Hα ve Hβ çizgileri analiz için ele alınmıştır. Çizgilerin eşdeğer genişlikleri ile süreklilik ışınımının ilişkilerine bakıldığında ters bir korelasyonun varlığı tespit edilmiştir. Analizler için ele alınan dört çizgiden en güçlü korelasyonu [OIII] 5007 çizgisinin sergilediği, genel olarak tüm çizgilerde korelasyon katsayısının -0.5'den küçük olduğu ve yasaklı dar çizgilerin korelasyon katsayısının -0.9'dan büyük olduğu gözlenmiştir. Katsayıların başındaki “-” işareti ters korelasyon olduğunu, sayının değerinin 1'e yakın olması da korelasyonun güçlü olduğunu göstermektedir.

Bu korelasyonlar, LINMIX yöntemi kullanılarak regresyon



Şekil 4. PTF (yeşil) ve ZTF (mavi) r bandı ışık eğrileri ile [OIII] 4959 çizgisine ait EG'lerin zamana bağlı değişimi (turuncu) gösterilmektedir. Işık eğrilerinin ağırlıklı gecelik ortalamaları alınmıştır. eşdeğer genişlik değerleri sağdaki y ekseninde gösterilmiştir.



Şekil 5. Grafikte NEOWISE ve AllWISE veri tabanlarından alınan ışık eğrilerinin W1 ve W2 bant parlaklıkları (sol y eksen) ve [OIII] (λ 4959) çizgisine ait eşdeğer genişlik değerleri (sağ y eksen) yer almaktadır. Işık eğrileri üzerindeki koyu renkli noktalar gecelik ağırlıklı ortalamaları göstermektedir. Korelasyonun belirgin olması için parlaklık eksenini ters alınmıştır.

analizleri için ele alınmıştır. Baldwin etkisinin tanımlanmasında kullanılan eğim değerleri hataları ile beraber ölçülmüştür. Buna göre en güçlü eğim süreklilik ve $H\alpha$ arasında gözlenirken en zayıf eğim ise [OIII] 4959 çizgisinde görülmüştür. Genel Baldwin etkisinin varlığı daha önce [OIII] çizgisi için birden fazla kuazar kullanılarak ölçülmüş ve sonuçlar, hem çizgi şiddetlerinin hem

de hızlarının ışınım ile ilişkili olduğunu göstermiştir (Zhang ve diğ. 2011; Marziani ve diğ. 2016). Bu çalışma kapsamında, yalnızca tek bir kuazar kullanılarak $H\alpha$, $H\beta$ ve [OIII] salma çizgileri üzerinde İçsel Baldwin Etkisi'nin varlığı gösterilmiştir.

Süreklilikteki değişimlerin yalnızca tayfın sınırlı bölgesindeki dalgaboylarında olup olmadığını incelemek

için PTF ve ZTF veritabanlarından alınan ışık eğrileri ile WISE veritabanından alınan kızılötesi ışık eğrileri analizlere dahil edilmiştir. Alınan ışık eğrilerinin ve çizgi şiddeti değişimlerinin karşılaştırılması sonucunda SDSS J141721.79+534102.6 kuazarına ait olan $H\alpha$, $H\beta$ ve $[OIII]$ salma çizgileri üzerinde Baldwin Etkisi'nin var olduğu görülmüştür. Optik bölgede elde edilen ışık eğrilerinin gözlemlendiği zamanlar ve tayfların elde edildiği zamanlar yalnızca kısa bir aralık için çakışmaktadır. Bu nedenle korelasyon ve regresyon analizleri yapılamamıştır. Benzer şekilde WISE veritabanından alınan kızılötesi gözlemler ile tayf ölçümlerinin yapıldığı zamanlar birebir çakışık olmadığından korelasyon ve regresyon analizleri yapılamamıştır. Ancak, gözle yapılan kıyaslamalardan korelasyonun doğrudan görülebilecek kadar güçlü olduğu tespit edilmiştir.

Aktif galaksiler, parlaklıklarının zamana bağlı değişim gösterdiği karakteristik yapıları sahiptir. Bu kaynakların tayflarına bakıldığında tayflarındaki salma çizgilerinin de zamana bağlı bir değişim gösterdiği bilinmektedir. Kuazarlarda, sahip oldukları enerjinin büyük bir kısmı, yığılma diskinden merkezi karadelik üzerine olan madde akışı sonucu elde edilmektedir. Enerji oluşumu göz önüne alındığında, hem tayflarda bulunan salma çizgilerinin değişimini hem de tüm dalgaboylarındaki genel ışık değişimlerini tetikleyen mekanizmanın aynı olması beklenmektedir. Bu çalışmadan elde ettiğimiz bulgular beklentiye uygun bir ilişkinin varlığını gözlemsel olarak ortaya koymuştur.

Baldwin etkisinin ortaya çıkmasının arkasındaki süreçler hala tam olarak anlaşılamamış olmakla beraber yaygın olarak kabul edilen üç yaklaşım mevcuttur: (1) Parlaklığın artması ve iyonlaşma miktarının değişmesi ile beraber çizgiyi oluşturan element bolluğunun azalması; (2) kuazarların genel ışınımının kaynağı ile salma çizgilerinin kaynağı olan bölgelerin izdüşümsel alan oranlarının değişmesi (genel ışınımın artması ile salmaları oluşturan bölgelerdeki ışınım katkısı azalmış olarak görülecektir) ve (3) yığılma diskinin eğim açısındaki değişim nedeniyle gelen ışınımın artışı ya da azalmanın görülmesi (Peterson 1997).

Bu çalışmada, tek bir kuazarın tayfları üzerinde incelemeler yapılmış ve Baldwin etkisinin $H\alpha$, $H\beta$ ve $[OIII]$ çizgileri üzerinde açıkça var olduğu belirlenmiştir. Bu bulgular ışığında, Baldwin etkisine sebep olduğu düşünülen süreçlerden üçüncü sırada verilen kuazar disk eğim açısı etkisi yaklaşımının geçerli olma ihtimalinin yok sayılabileceği ortaya konmuştur. Çok sayıda kuazardan eğim açısı düşük ya da yüksek olanlar arasında bir ayrıştırma olması mümkün olmakla beraber, tek bir kuazarın eğim açısının kısa sürelerde bir değişim göstermeyeceği, dolayısıyla bir kuazar için görülen Baldwin etkisinin bu açı değişimi ile açıklanamayacağı görülmüştür. Hem genel Baldwin etkisinin hem de içsel Baldwin etkisinin arkasında yatan mekanizmaların aynı olması beklendiğinden, eğim açısına bağlı yaklaşım gözardı edilebilmiştir.

Bu çalışmanın yeterli sayıda tayfsal gözlemi bulunan ve daha uyumlu ışık eğrileri mevcut olan kuazarlar için ayrıntılı analizlerle genişletilmesi, Baldwin etkisine sebep olan süreçlerin anlaşılmasına katkı sağlama potansiyeline sahiptir. Daha sonraki çalışmalarda bu öngörüler doğrultusunda yeni yaklaşımlar yapılması planlanmaktadır.

Teşekkür

Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından Bilim İnsanı Destek Programları Başkanlığı (BİDEB) aracılığıyla yürütülen 2209-A Programı

kapsamında, 2209A-1919B012221946 numaralı proje ile desteklenmiştir. Sağladığı destek için TÜBİTAK'a teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- Baldwin J. A., 1977, *ApJ*, 214, 679
 Bellm E. C., ve diğ., 2019, *PASP*, 131, 018002
 Bian W.-H., Fang L.-L., Huang K.-L., Wang J.-M., 2012, *MNRAS*, 427, 2881
 Bolton A. S., ve diğ., 2012, *AJ*, 144, 144
 Boroson T. A., Green R. F., 1992, *ApJS*, 80, 109
 Kaspi S., Brandt W. N., Maoz D., Netzer H., Schneider D. P., Shemmer O., 2007, *ApJ*, 659, 997
 Kelly B. C., 2007, *ApJ*, 665, 1489
 Kinney A. L., Rivolo A. R., Koratkar A. P., 1990, *ApJ*, 357, 338
 Komossa S., ve diğ., 2024, preprint, ([arXiv:2408.00089](https://arxiv.org/abs/2408.00089))
 Law N. M., ve diğ., 2009, *PASP*, 121, 1395
 Lyke B. W., ve diğ., 2020, *VizieR Online Data Catalog*, p. VII/289, *ADS*
 Marziani P., Sulentic J. W., Stirpe G. M., Dultzin D., Del Olmo A., Martínez-Carballo M. A., 2016, *Ap&SS*, 361, 3
 Peterson B. M., 1997, *An Introduction to Active Galactic Nuclei*. Cambridge University Press
 Sayili O., Filiz Ak N., 2022a, *Journal of advanced research in natural and applied sciences (Online)*, pp 149–162
 Sayili O., Filiz Ak N., 2022b, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, pp 568–579
 Schmidt M., 1963, *Nature*, 197, 1040
 Suberlak K., Ivezić Ž., MacLeod C. L., Graham M., Sesar B., 2017, *MNRAS*, 472, 4870
 Timlin John D. I., Brandt W. N., Zhu S., Liu H., Luo B., Ni Q., 2020, *MNRAS*, 498, 4033
 Vanden Berk D., Wilhite B., Kron R., Ivezić Z., Pereyra N., SDSS Collaboration 2004, in *American Astronomical Society Meeting Abstracts*. p. 120.02
 Wamsteker W., Colina L., 1986, *ApJ*, 311, 617
 Wright E. L., ve diğ., 2010, *AJ*, 140, 1868
 Xu Y., Bian W.-H., Yuan Q.-R., Huang K.-L., 2008, *MNRAS*, 389, 1703
 Yang G., ve diğ., 2016, *ApJ*, 831, 145
 York D. G., ve diğ., 2000, *AJ*, 120, 1579
 Zhang K., Dong X.-B., Wang T.-G., Gaskell C. M., 2011, *ApJ*, 737, 71

Access:

M25-0376: *Turkish J.A&A* — Vol.6, Issue 3.