TJAA Vol. **3**, *Issue* 3, *p.*27–32 (2022). DOI: 10.55064/tjaa.1037276 *Research Article*

Kuazarlarda Kırmızıya Kaymanın Belirlenmesi: zFinder

E. Selam Kaçan,[1]⋆ S. Hökelek,[1] N. Filiz Ak[1]
[1] *Erciyes Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, Kayseri*

Accepted: January 11, 2022. Revised: January 10, 2022. Received: December 15, 2021.

Özet
Bu çalışmada, kuazarlarda kırmızıya kaymanın (z) belirlenmesi amacıyla geliştirilen *zFinder* otomatik program dizgesinin algoritması ve sonuçları sunulmuştur. Literatürdeki birçok çalışmada z değerleri, çapraz korelasyon metoduyla belirlenmektedir. Bu çalışmada Spearman korelasyonu (ρ) ve ki-kare (χ^2) hesaplamalarından yararlanılarak yeni bir uyumluluk parametresi geliştirilmiştir. Geliştirilen uyumluluk parametresi, tayfın süreklilik ve salma çizgilerinin uyumluluklarını birlikte gözeterek olası korelasyon hatalarını önlemektedir. *zFinder* programının test edilmesi amacıyla SDSS DR16Q kataloğundan 150 kuazar seçilmiştir. Kuazarların *zFinder* ile hesaplanan z değerleriyle SDSS'in otomatik program dizgesi *spec1d* ile ölçülen değerler kıyaslanmıştır. İki farklı programla elde edilen z değerlerinden farkların mutlak ortalaması 0.0018 olarak ölçülmüştür. Sonuçlar genel olarak uyumlu olmakla birlikte, bir kuazarın aynı tayfı için *zFinder* ve *spec1d* ile ölçülen z değerleri, sırasıyla, 0.38 ve 6.48 olduğu görülmüştür. Bu kuazara ait tayf verisi ayrıntılı incelendiğinde, *zFinder* ölçümünün daha doğru sonuç verdiği ve *spec1d*'nin tayftaki salma çizgilerini yanlış tanımladığı görülmüştür.

Abstract
This study presents the algorithm and the test results for the *zFinder* pipeline code that is developed to measure the redshift (z) of the quasar spectra. The methodological approach of the *zFinder* code considers both the chi-square (χ^2) and Spearman (ρ) parameters to define the accordance parameter where majority of the existing studies adopt the cross-correlation. The approach of comparing the entire observed spectra with a quasar template increases the precision of the measured z value by examining both the continuum and the strong lines on each spectra. We test the *zFinder* results for 150 quasars selected from SDSS DR16 quasar catalog of which z values are measured by *spec1d* pipeline of SDSS. We show that the z values are in a general agreement with and the mean difference between *zFinder* and *spec1d* is 0.0018. There is one quasar spectra with measurements of $z = 6.48$ from *spec1d* and $z = 0.38$ from *zFinder*. Further investigations of the spectra showed that the *zFinder* gives the more accurate value of z and the *spec1d* misclassified the strong emission lines of the quasar.

Anahtar Kelimeler: Galaxies: Active Galaxies: Quasars – Quasar Spectrum – Redshift

1 Giriş

Merkezinde aktif bir süper kütleli kara delik bulunduran kuazarlar, Yer'e çok uzak olmaları nedeniyle, galaksiler gibi yaygın kaynak olarak değil, yıldızlar gibi noktasal kaynak olarak görünmektedir. Merkezde süper kütleli kara delik, etrafındaki sıcak ve yoğun yığılma diski, diske dik doğrultulardaki jet yapıları ve tüm bu bileşenleri simit şeklinde saran toz (Torus) nedeniyle, kuazarlar tüm dalgaboylarında güçlü ışınım yayarlar (Padovani et al. 2017). Bu sayede çok uzakta olmalarına rağmen orta/büyük ölçeklerdeki teleskoplar ile gözlenebilmektedirler.

Aktif galaksilerin ürettiği toplam ışınımın çok büyük bir kısmı, galaksinin merkezinde yer alan çekirdek bölgesinden yayınlanır. Kütle yığılması devam etmekte olan süper kütleli kara delik ve etrafındaki bileşenlerden oluşan bu çekirdek, Aktif Galaksi Çekirdeği (AGÇ) olarak tanımlanır. Aktif galaksilerin en parlak sınıfı olan kuazarlarda, çekirdeğe ev sahipliği yapan galaksinin ışınım katkısı göz ardı edilebilecek kadar azdır (Padovani et al. 2017).

Aktif galaksiler, Seyfert galaksiler ve kuazarlar olmak üzere iki ana sınıfta incelenir. Seyfert galaksileri görece daha düşük ışınıma sahip ve tayflarında sadece dar salma çizgisi gösteren, daha yakın AGÇ'lerdir. Kuazarlar ise disk kaynaklı geniş salma çizgilerine sahip ve büyük ışıma güçleriyle büyük uzaklıklarda bile gözlenebilen kaynaklardır. Aktif galaksilerin güncel literatürde 50'den fazla alt sınıfı bulunmaktadır. Literatürde yer alan birçok çalışma, tayflarında en az bir geniş salma çizgisi gösteren tüm AGÇ'leri "kuazar" adı altında sınıflamaktadır (örneğin; Schneider et al. 2010). Bu çalışmada Sloan Sayısal Gökyüzü Taraması (Sloan Digital Sky Survey; SDSS) tarafından da kabul gören bu taksonomi dikkate alınmaktadır.

Kuazarların temel fiziksel parametrelerinin hesaplanmasında uzaklık parametresinin baskın bir etkisi olduğundan, kaynağın uzaklığının hassas bir şekilde belirlenmesi gerekir. Yakın yıldızların uzaklıkları trigonometrik paralaks yöntemi ile hassas olarak tayin edilmektedir. Yakın galaksilerin uzaklıkları ise standart kandil gibi yöntemlerin kullanılması ile belirlenir. Ancak kuazarlar gibi çok uzak kaynakların uzaklıklarını belirlemek için bu yöntemler yetersiz kalmaktadır. Bunun yerine tayfsal gözlemlerden yapılan ölçümler ve Hubble-Lemaitre Yasasından faydalanılmaktadır (Bağıntı 1). Hubble-Lemaitre Yasası, galaksilerin evrenin genişlemesinden kaynaklanan uzaklaşma hızının; (v) uzaklık (d) ve Hubble sabiti (H_0) ile doğru orantılı olduğunu belirtmektedir (Hubble 1929). Güncel Hubble sabiti, *Gaia* Early Data Release 3'ten alınan verilerle, ω Centauri yıldız kümesinde bulunan yıldızların

⋆ enesselamkcn@gmail.com

© 2022 Turkish Astronomical Society (TAD)

parlaklıkları kalibre edilerek $H_0 = 72.1 \pm 2$ km s^{-1} Mpc^{-1} şeklinde ölçülmüştür (Soltis et al. 2021).

$$v = H_0 d \tag{1}$$

Evrenin genişlemesine bağlı olarak, d uzaklığında bulunan kaynakların tayf çizgilerinin v uzaklaşma hızına orantılı olarak kırmızıya kaydığı gözlenir. Hubble ve Doppler yasalarını kullanarak, gözlenen tayf çizgilerinin (λ_g) laboratuvar dalgaboylarına (λ_0) göre kaymak miktarı (z) hesaplanabilmektedir (Bağıntı 2). Burada ölçülen z, evrenin genişlemesinden kaynaklanan kozmolojik kırmızıya kaymadır.

$$z = \frac{\lambda_g}{\lambda_0} - 1 = \sqrt{\frac{c+v}{c-v}} - 1 \tag{2}$$

Kuazarların optik tayflarından, z parametresini belirlemek için yaygın olarak kullanılan bir yöntem, çok sayıda kuazarın ortalama tayfları ile oluşturulan ve herhangi bir kayma içermeyen ($z = 0$) bir şablon tayf ile gözlenen tayf arasında çapraz korelasyon uygulamaktır. Şablon tayf ve gözlenen tayfın çapraz korelasyon yöntemiyle ardışık eşleşmeleri yapılarak en iyi eşleşmeyi sağlayan değer, kaynağın z parametresi olarak belirlenmektedir (örneğin, Bolton et al. 2012).

SDSS gibi gökyüzü taramaları, kısa sürede çok sayıda kaynağın optik tayf gözlemini elde edilebilmektedir. Bu verilerin hızlıca analiz edilebilmesi ve kullanıma sunulabilmesi için gözlenen kaynakların kırmızıya kayma miktarını kullanıcı müdahalesi olmadan belirleyebilecek, otomatikleştirilmiş ardışık program dizgelerine ihtiyaç duymuştur. SDSS ile gözlenen kuazar tayflarının z değerleri, *"spec1d"* isimli ardaşık program dizgesiyle ölçülmektedir. *spec1d*, optik tayflarının ortalaması alınarak hesaplanan şablon kuazar tayfı kullanarak, Tonry & Davis (1979) tarafından geliştirilen çapraz korelasyon yöntemini uygulamaktadır (Bolton et al. 2012).

Kırmızıya kaymayı belirlemek için sıklıkla kullanılan bir başka yöntem ise seçilen bir salma çizgisinin üzerine yapılan Gauss profil modellemesiyle z belirlemektir. Yukarıdaki iki yöntemden de faydalanan Hewett & Wild (2010) çalışmasında yeni bir şablon tayf oluşturmuş ve z değerleri ölçülmüştür. Bunun yanı sıra, O II, O III, Mg II, C III ve C IV salma çizgilerinin ayrıntılı incelenmesiyle ölçülen z değerleri de dikkate alınarak ölçülen z parametresi için sistematik sapma hesaplamışlardır. Hewett & Wild (2010) çalışmasında sistematik sapmayı $\Delta z/(z+1) \leq 10^{-4}$ belirlenmiştir.

SDSS gözlemleri ile keşfedilen 750,000'den fazla kuazara ait verilerin yer aldığı SDSS DR16 kuazar kataloğunda (Lyke et al. 2020, bundan sonra DR16Q olarak anılacaktır), program dizgesiyle hesaplanmış z değerleri farklı kaynaklardan alınan z değerleriyle kıyaslanmaktadır. Kıyaslamalarda daha önceki kuazar katalogları, gözle yapılan denetlemeler ve Hewett & Wild (2010) yöntemi ile hesaplanan z değerleri kıyaslanmıştır. Kıyaslamalar sonucunda, *spec1d* dizgesinin ölçümlerinin güvenilir kaynak olduğu sonucuna varmışlardır (Lyke et al. 2020).

Bu çalışmada, kuazarların z değerlerini hesaplamak için yazılmış olan ve otomatik dizge şeklinde de kullanılabilen *zFinder* programı tanıtılmaktadır. *zFinder* programı içerisinde, gözlenen kuazar tayflarının şablon tayfla kıyaslanması için klasik çapraz korelasyon yöntemi yerine Spearman korelasyonu (ρ) kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar, Spearman korelasyonunun düşük sinyal oranına sahip tayflarda daha başarılı sonuçlar verdiğini göstermektedir. Korelasyona ek olarak ortalama fark kareler (χ^2) yöntemi de *zFinder* algoritması içerisinde yer almaktadır. Programın algoritmasıyla ilgili ayrıntılar §2'de sunulmuştur. §3'de *zFinder* programıyla hesaplanan z değerleri, SDSS *spec1d* dizgesi sonuçlarıyla kıyaslanarak test edilmiştir.

2 zFinder Algoritması

zFinder programında, Vanden Berk et al. (2001) tarafından hazırlanan kuazar tayf şablonu kullanılarak, gözlenen kuazar tayflarının z değeri hesaplanmaktadır. Bu şablon, SDSS veri tabanından alınmış 2200'den fazla kuazarın tayfsal gözlemlerinin kuazar uzayına çevrildikten sonra dalgaboyuna bağlı ortalaması alınarak hazırlanmıştır (Vanden Berk et al. 2001). Çalışmada kullanılan örneklem sayısının geniş z değerlerine dağılması dikkate alınarak, kuazarların genel tayfsal özelliklerini 800 Å ila 8555 Å dalgaboyu aralığında ortaya koyan şablon tayf elde edilmiştir.

Gözlenen tayfları şablon tayf ile kıyaslamak için temelde iki yöntem dikkate alınmaktadır; bunlardan ilki, belirli bir miktar kırmızıya kayma düzeltmesi yapılmış gözlenen tayf ve şablon tayf arasındaki farkların kareleri toplamını hesaplayarak en küçük fark değerini bulan χ^2 yöntemidir. Bu yöntem, gözlenen ve modellenen dağılımların test edilmesinde yaygın olarak kullanılan tek parametrelik bir model değerlendirme testidir (Wall 1996). Diğer yöntem ise düşük sinyal seviyesine sahip tayflarda daha iyi sonuçlar veren Spearman korelasyonudur (Spearman 1987). Spearman korelasyonu, uyumluluk katsayısı belirlemek için normal dağılım gözetmeyen bir rank korelasyonu çeşididir.

zFinder, ön işlemleri tamamlanmış tayfsal veriler üzerinde hesaplama yapmaktadır. Kullanılan yöntemler ile uyumluluk parametresi hesaplanarak en olası z değeri belirlenmektedir. Tayflara uygulanan ön işlemlere ilişkin ayrıntılar ve uyumluluk parametresinin hesabı aşağıdaki bölümlerde sunulmuştur.

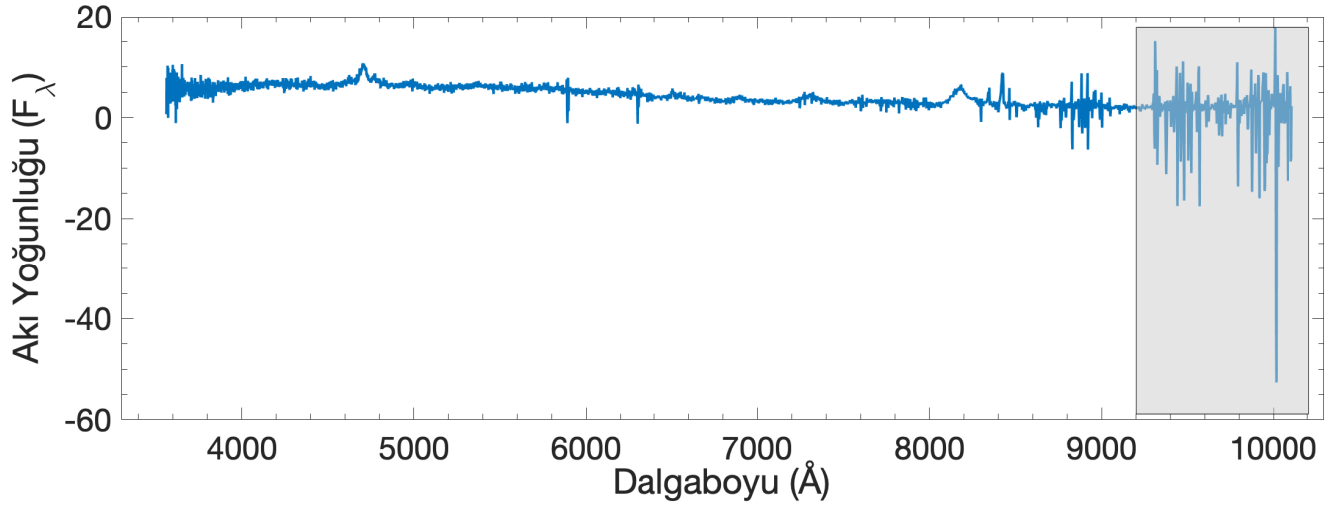
2.1 Tayfsal Verinin Hazırlanması

zFinder programı tayfsal indirgeme işlemleri (bias ve flat düzeltmeleri, dalgaboyu kalibrasyonu vb.) tamamlanmış verileri girdi olarak kullanmaktadır. Tayfsal indirgeme işlemleri çoğunlukla kaynağa ait olmayan sinyallerin ayıklanmasında başarılı sonuçlar verir. Buna karşılık artık-gök ışınımı, kozmik ışınlar ve aletsel etkiler gibi etkiler nedeniyle tayfın bazı bölgelerinde yüksek gürültüler oluşabilmektedir. Şekil 1'de bozuk verilerin yer aldığı bölgeye bir örnek olarak, SDSS'in *spec-4379-55881-490* referanslı tayfı gösterilmektedir.

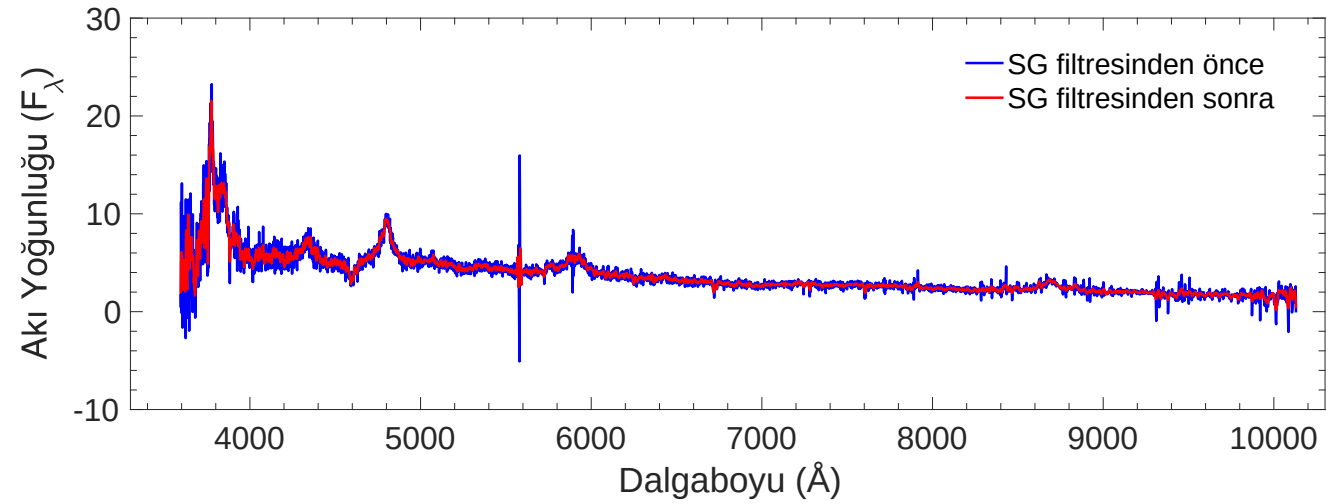
Tayfsal verilerin hazırlanması için ilk adımda, tayf üzerinde yüksek gürültülü veya uç değer barındıran bölgeler belirlenip ayıklanmaktadır. Bu bölgeler tayfın geri kalanından daha baskın olması nedeniyle, χ^2 ve korelasyon yöntemlerinin hesaplamalarını yanlış yönlendirmektedir. Bu bölgeler, genellikle tayfın ilk başında ve en sonunda yoğunlaşmış olarak bulunduğundan, herhangi bir salma çizgisinin olmadığı kısımlar sonraki işlem adımlarına dahil edilmemektedir.

Tayfta bulunabilecek eksik veya hatalı bölgeler de tayfın analizini olumsuz etkilemektedir. Bu problemler aletsel hata veya eksiklikler ve görüntü işlemenin hatalı veya eksik yapılmasından kaynaklı olabilmektedir. Kuazara ait veri içermeyen eksik veya hatalı veriler de yine herhangi bir salma çizgisi dahil edilmeyecek şekilde tayftan çıkarılmaktadır.

Fotonların doğası, kullanılan aletlerin hassaslığı veya uzun pozlama süresi tayfta gürültü oluşumuna neden olmaktadır. Sinyaller cismin yapısı hakkında bilgi içerir, ancak



Şekil 1. SDSS DR16Q katoloğundan alınmış *spec-4379-55881-490* referanslı kuazar tayfı. Tayfın 9000 Å'den sonraki kısmı, aşırı gürültülü bölge olarak belirlenmiş ve sonraki işlem adımlarına dahil edilmemiştir.



Şekil 2. SDSS DR16Q kataloğundan alınmış *spec-11055-58429-0995* referanslı kuazarın tayfının orijinali (kırmızı) ve SG filtresi uygulanmış hali (mavi). SG filtresi baskın sinyalleri olduğu gibi korurken gürültünün azaltılmasını sağlamaktadır.

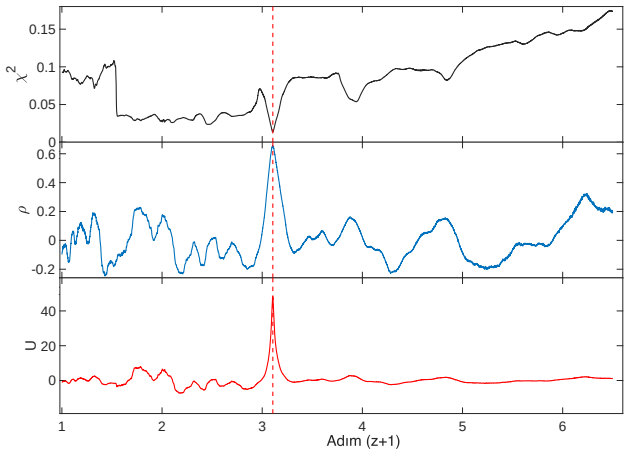
gürültünün fazla olması sinyal-gürültü oranını (S/N) düşürür ve sinyallerden oluşan salma ve soğurma yapılarını anlaşılmasını zorlaştırır. Yüksek gürültüye sahip tayf verilerinde, S/N oranını artırmak için yumuşatma filtreleri kullanılmaktadır (Savitzky & Golay 1964). *zFinder* programında sinyal yapılarını bozmayacak şekilde filtreleme ile veriler yumuşatılmaktadır. Bu işlem için Signal modülünde hazır fonksiyon olarak bulunan Savitzky-Golay (SG) Filtresi tercih edilmiştir. Şekil 2'de bir kuazar tayfının SG filtresi uygulaması öncesi ve sonrası kıyaslanmaktadır.

Farklı akı yoğunluğu etkilerinden kurtulup şablon tayf ile kuazar tayfını karşılaştırmak için, normalize değerler dikkate alınmaktadır. Normalizasyon işlemiyle tayfların süreklilikleri 1 değerine indirmektedir. Bunun için gözlenen tayfın sürekliliği üzerine ikinci ya da üçüncü dereceden bir polinom fiti uygulanır. Polinom fiti, sigma kırma iterasyonu içerisinde tüm verilerin standart sapma değerinden en az iki kat daha büyük değere sahip olan veriler hesaplama dışında bırakılır. Böylece, tayfın sürekliliğine aykırı veri noktalarının etkisi iteratif olarak azaltılmış olur.

Tayfsal verilerin hazırlanması aşamalarından sonra şablon tayf ve gözlenen tayf, sayısal metotlar ile kıyaslanarak uyumluluk parametresi hesaplamak için hazır hale getirilmiş olmaktadır.

2.2 zFinder Uyumluluk Parametreleri

zFinder, girdi olarak kullanılan veriler üzerinde temizleme işlemini tamamladıktan sonra, en iyi kırmızıya kayma (z) parametresini belirlemek için iki farklı yöntemin birleşkesi kullanmaktadır. Kuazar tayfının gözlenen dalgaboyları ($\lambda_{\rm obs}$), $n+1$'den başlayıp N'e kadar küçük adım aralıklarında doğrusal olarak arttırılarak bölünmektedir. Bu şekilde kuazar tayfı üzerindeki kozmolojik kırmızıya kayma adım adım azaltılarak,



Şekil 3. SDSS'in *spec-11055-58429-0995* referanslı kuazar tayfı için *zFinder* ile elde edilen χ^2 (siyah, üst panel) ve ρ (mavi, orta panel) parametrelerinin ve bu ikisinin oranından hesaplanan U uyumluluk parametresinin (kırmızı, alt panel), $z+1$ adımlarına göre değişimi. Uyumluluk parametresinin en büyük olduğu $z+1$ adımı (dikey kırmızı kesikli çizgi), kuazar tayfına en uygun olan z değerini vermektedir. Bu tayf için en iyi değer $z = 2.106$ bulunmuştur.

$z = 0$ için hazırlanmış olan Vanden Berk et al. (2001) şablon tayflarıyla örtüşür hale getirilmektedir. Şablon tayf ve gözlenen tayfının en iyi uyum gösterdiği z değerini belirlemek için her adımda hem χ^2 (Bağıntı 3) hem de korelasyon katsayısı olan ρ (Bağıntı 4) hesaplanarak uyumluluk parametresi elde edilmektedir.

$$\chi^2 = \frac{1}{N}\sqrt{\sum_{i=1}^{N}\frac{(T_i - \S_i)^2}{\S_i}} \tag{3}$$

Bağıntı 3'de verilen T_i ve $\S_i$ sırasıyla gözlenen ve şablon tayfı temsil etmektedir ve $T_i - \S_i$ işlemi tek bir dalgaboyuna karşılık gelen i. veri noktası için yapılır. N, işleme dahil edilen veri noktalarının sayısını vermektedir.

$$\rho = 1 - \frac{6\sum_{i=1}^{N}(T_i - \S_i)^2}{N(N^2-1)} \tag{4}$$

Bağıntı 4'de N, hesaplamaya dahil edilen toplam veri sayısı, T_i ve $\S_i$ sırasıyla gözlenen ve şablon tayflarındaki her bir veri noktasını temsil etmektedir.

Gözlenen tayf ve şablon tayf arasındaki uyumluluğun en iyi olduğu durumda, χ^2 değerinin en küçük ve ρ değerinin en büyük olması beklenir. Bu nedenle uyumluluk katsayısı (U); χ^2 ile ters, ρ ile doğru orantılı olmalıdır; $U = \rho/\chi^2$. U'nun en yüksek değeri verdiği adım, tayfı incelenen kaynağın z paramatresini belirlemek için kullanılır:

$$z + 1 = \mathrm{step}_{\max}\left(\frac{\rho}{\chi^2}\right) \tag{5}$$

Adımlar $(z+1)$ şeklinde tanımlandığından, kaynağın z değeri doğrudan hesaplabilmektedir.

Şekil 3'de uyumluluk parametresinin $z+1$ adım değerlerine göre değişimi bir örnek kuazar tayfı için verilmiştir. Şeklin üst panelinde χ^2 ve ρ değerlerinin adımlara göre değişimi gösterilmektedir. Uyumluluk parametresinin $z+1 = 3.106$ için en yüksek değeri verdiği görülmektedir.

3 *zFinder* Programın Test Edilmesi

Programı test etmek amacıyla, *zFinder* ile ölçilen z değerleriyle *spec1d* ile ölçülen z değerleri, seçilen 150 kuazar tayfı için kıyaslanmıştır.Kıyaslamalar için SDSS DR16 Kuazar Kataloğunda (Lyke et al. 2020) yer alan toplam $750,414$ kuazar içerisinden, tanımlı kırmızıya kayma değeri *spec1d* ile ölçülmüş ve $S/N \geq 10$ şartını sağlayan 33831 kuazar dikkate alınmıştır. Bunların içerisinden rastgele seçilen 150 örneklem için *spec1d* ile ölçülen z değerleriyle $(z(\mathrm{PIPE}))$ karşılaştırmalar yapılmıştır. Karşılaştırma sonucunda, iki ölçüm arasındaki farkların $(z(\mathrm{zFinder}) - z(\mathrm{PIPE}))$ dağılımı ve dağılımın, ölçülen $z(\mathrm{zFinder})$ değerine göre değişimi Şekil 4'de sunulmuştur. Ancak, $z(\mathrm{zFinder}) - z(\mathrm{PIPE}) = -6.104$ bulunan bir kuazar şeklin dışında bırakılmıştır.

Test sonuçları, örneklemin %90'lık bir kısmında iki ölçüm arasındaki farkların 0.005'den daha küçük olduğunu göstermektedir. Ölçüm farkları $|z(\mathrm{zFinder}) - z(\mathrm{PIPE})| \geq 0.01$ olan toplam beş kuazar tespit edilmiştir. Beş kuazarın ölçülen $z(\mathrm{PIPE})$ değerleri, Busca & Balland (2018) çalışmasından makine öğrenme yöntemine dayalı olarak ölçülen kırmızıya kayma değerleriyle kıyaslandığında, farkların ≤ 0.001 olduğu görülmüştür.

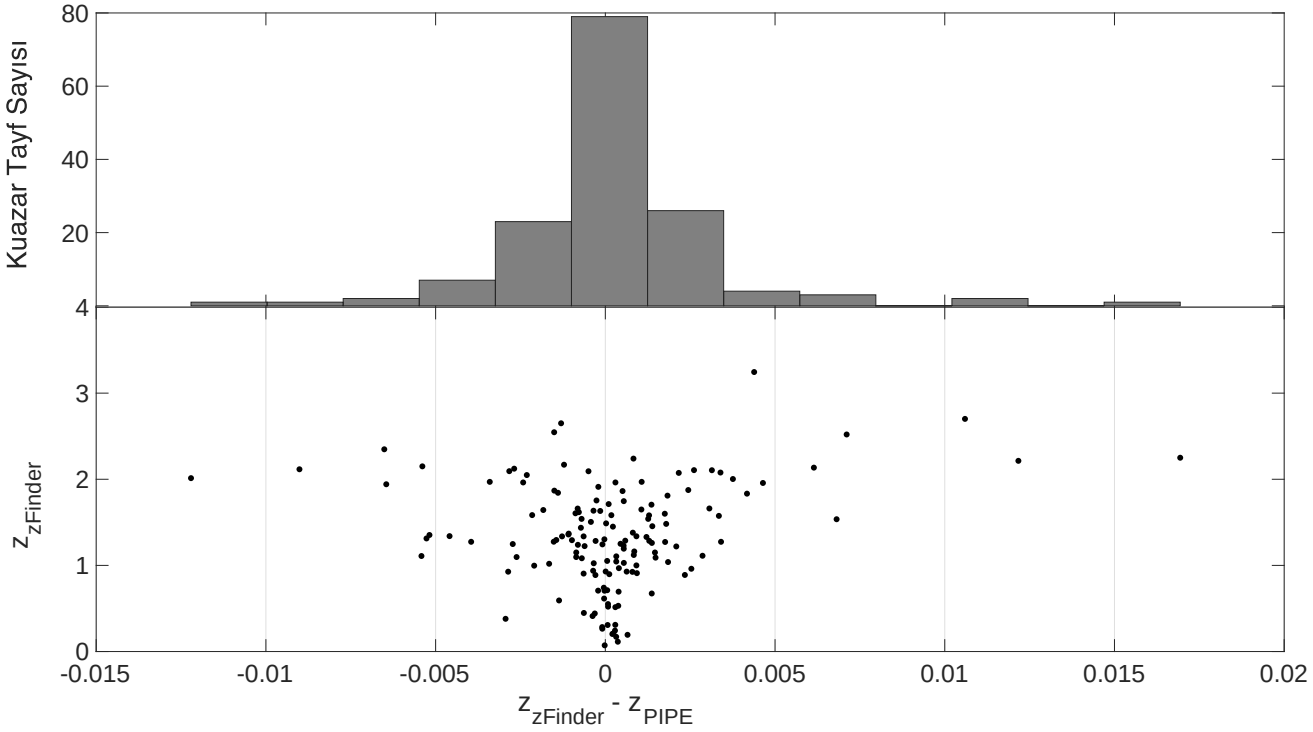
4 Tartışma ve Sonuç

§2'de algortiması tanımlanan *zFinder* programı, çok sayıda tayfsal verinin kullanıcı müdahelesine gerek olmadan kırmızıya kayma ölçümü yapabilecek bir program dizgesi olarak tasarlanmıştır. Program içerisinde en iyi kırmızıya kayma parametresini belirlemek için kullanılan uyumluluk parametresi, χ^2 ve ρ parametrelerinin bir bileşimi olarak ele alınmıştır.

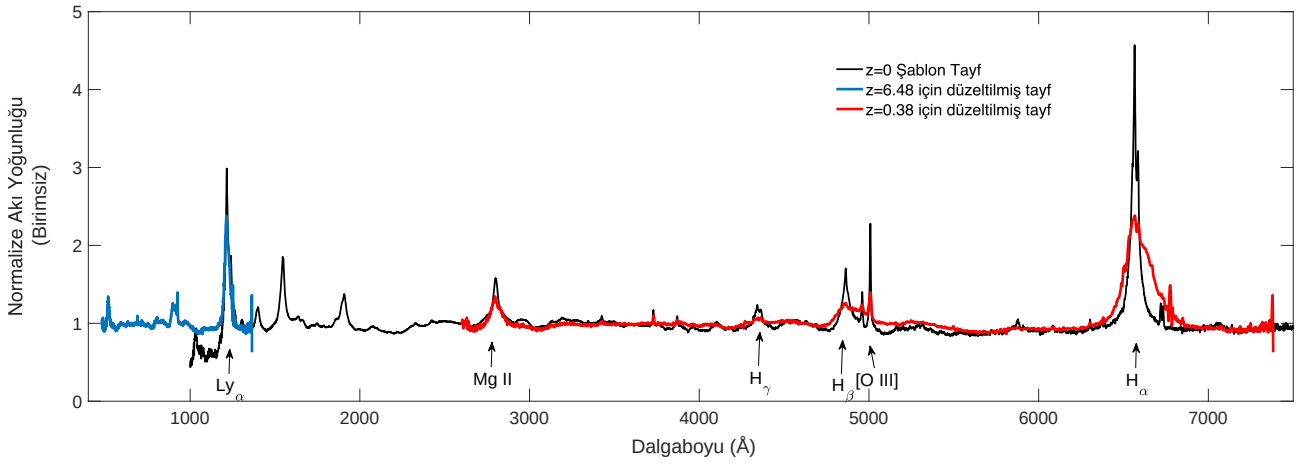
Programın test edilmesi amacıyla, seçilen 150 kuazar tayfı için SDSS *spec1d* dizgesinden elde edilen $z(\mathrm{PIPE})$ ölçümleri ve *zFinder* ile hesaplanan $z(\mathrm{zFinder})$ değerleri kıyaslanmıştır. Kıyaslamalar sonucunda, farkların yani $z(\mathrm{zFinder}) - z(\mathrm{PIPE})$ değerlerinin sıfır etrafında bir dağılım gösterdiği görülmüş ve mutlak ortalama fark $|z(\mathrm{zFinder}) - z(\mathrm{PIPE})| = 0.42$ şeklinde hesaplanmıştır (Şekil 4). Ancak, $z(\mathrm{zFinder}) - z(\mathrm{PIPE}) = -6.104$ bulunan bir kuazarın bu dağılımda aykırı veri olduğu görülmüştür. Bu kuazar istatistik hesaplamaların dışında bırakıldığında, mutlak ortalama fark $|z(\mathrm{zFinder}) - z(\mathrm{PIPE})| = 0.018$ değerine kadar küçülmüştür. Buna göre, $z(\mathrm{zFinder})$ sonuçlarının $z(\mathrm{PIPE})$ sonuçlarıyla büyük oranda uyumlu olduğu sonucuna varılmıştır.

Genel dağılıma aykırı davranış gösteren ve $z(\mathrm{zFinder}) - z(\mathrm{PIPE}) = -6.104$ elde edilen *spec-9174-58070-0876* referanslı tayf Şekil 5'de gösterilmektedir. Bu tayf için sonuçlar, $z(\mathrm{zFinder}) = 0.384$ ve $z(\mathrm{PIPE}) = 6.488$ şeklindedir. Gözlenen tayf, her iki değer için de şablon tayf ile karşılaştırılmıştır. Buna göre tayfta $8700 - 9400$ Å arasında gözlenen salma çizgisinin SDSS tarafından Lyα olarak ve *zFinder* tarafından Hα olarak tanımlandığı görülmektedir (Şekil 5).

zFinder, tayfta bulunan salma çizgilerini sırasıyla Mg II, Hγ, Hβ ve O III olarak tanımlamıştır. Kuazarın kırmızıya kaymasının $z(\mathrm{zFinder}) = 0.384$ alındığı durumda çok sayıda salma çizginin şablon tayf ile birebir örtüşmesi, *zFinder* ile elde edilen değerin doğru olduğunu ve *spec1d*'nin bu tayf çizgilerini hatalı tanımladığını göstermektedir. Kuazarların tayfsal gözlemlerini inceleyen Busca & Balland (2018) çalışması, kırmızıya kayma değerini makine öğrenmesi algoritması kullanarak belirlemektedir. Busca & Balland (2018)



Şekil 4. Seçilen 150 kuazar tayfı için *zFinder* programında ölçülen (z(zFinder)) ve SDSS DR16Q katoloğunda yer alan (z(PIPE)) ölçümlerinin farklarının (z(zFinder)$-z$(PIPE)) dağılımı (üst panel). Alt panelde, z(zFinder)$-z$(PIPE) değerlerinin z(zFinder)'a göre değişimi gösterilmektedir. z(zFinder) $-$ z(PIPE) $= -6.104$ bulunan bir kuazar panellerin dışında bırakılmıştır.



Şekil 5. Vanden Berk et al. (2001) çalışmasında oluşturulan kompozit kuazar tayfı (siyah), SDSS *spec-9174-58070-0876* referanslı gözleminin $z(\mathrm{zFinder}) = 0.384$ (kırmızı) ve $z(\mathrm{PIPE}) = 6.488$ (mavi) için kırmızıya kaymadan arındırılmış tayfları. *spec1d* ile ölçülen z değeri dikkate alındığında, şablon tayf ve gözlenen tayfın yalnızca Lyα çizgisi için eşleştiği görülmektedir. *zFinder*'ın ölçtüğü z değeri dikkate alındığında ise şablon tayfın Mg II, Hγ, Hβ ve O III salma çizgileri, gözlenen tayf ile uyumlu eşleşme sağlamaktadır.

çalışmasında bu tayf için elde edilen değeri ($z = 0.386$), *zFinder* ile belirlenen sonucu doğrulamaktadır.

4.1 Sonuç

Algoritması içerisinde hem Spearman korelasyon sonuçlarını hem de χ^2 test sonuçlarını birleştirerek bir uyumluluk parametresi tanımlayan *zFinder* programı, çok sayıda tayfsal gözlemin z değerini kullanıcı müdahelesine ihtiyaç duymadan belirleyebilecek bir program dizgesi formunda hazırlanmıştır. Programın algoritması, tayfsal verilerden önceden bir z tahmini yapılmasını ya da baskın çizgilerin önceden tanımlanmasını gerektirmediğinden, otomatik bir dizge olarak kullanılabilme avantajına sahiptir. Ayrıca, yalnızca belirli çizgilerin değil gözlenen dalgaboyu aralıklarındaki tüm tayf yapısının dikkate

alındığı programda, sistematik hatalara sebep olan yanlış çizgi tanımlaması en aza indirgenmiştir. Hazırlanan *zFinder* algoritması, SDSS kuazar kataloğundan rastgele seçilen kuazar tayflarına uygulanmış ve elde edilen sonuçlar, *spec1d* algoritmasından belirlenen z değerleriyle kıyaslanmıştır. Sonuçların genel olarak uyumlu olduğu görülmüştür. Örneklem içerisinde yer alan bir kuazar tayfı için iki farklı yöntemle elde edilen z değerleri çok farklı bulunmuştur. Bu farkın temelinde yatan sebepler araştırıldığında, *spec1d*'nin Hα çizgisini hatalı olarak Lyα çizgisi olarak tanımladığı görülmüştür. Bu durum sadece çizgileri dikkate alan algoritmaların, yüksek sistematik hataya sahip olma durumlarına belirgin bir örnektir. Aynı kuazara ait tayf için *zFinder* programı, tüm tayfı dikkate aldığından doğru çizgi tanımlaması yapabilmiştir.

Literatürde yaygın olarak kullanılan çapraz korelasyon testlerine kıyasla, sıralanmış verilerin göreli değişimini dikkate alan Spearman korelasyonunun yüksek gürültülü ve düşük çözünürlüklü verilerde avantaj sağlayacağı öngörülmüştür. Bu yönde araştırmaların yapılması için *zFinder* programıyla yapılan ölçümlerin farklı S/N değerleri için test edilmesi planlanmaktadır. Program, daha hassas sonuçlar elde edebilmek için belirli salma çizgilerinin profillerini dikkate alacak şekilde geliştirilecektir. *zFinder* programının kapsamlılığının ve güvenirliliğinin değerlendirilmesi için daha geniş bir z aralığına yayılmış, daha fazla örneklem ile ayrıntılı analizler yapılması bu çalışmanın bir devamı olarak görülmektedir.

Teşekkür

Çalışmaya verdikleri değerli katkılar için hakemlere teşekkür ederiz.

Kaynaklar

Bolton A. S., et al., 2012, AJ, 144, 144
Busca N., Balland C., 2018, preprint, (arXiv:1808.09955), ADS
Hewett P. C., Wild V., 2010, MNRAS, 405, 2302
Hubble E., 1929, Proceedings of the National Academy of Science, 15, 168
Lyke B. W., et al., 2020, ApJS, 250, 8
Padovani P., et al., 2017, A&ARv, 25, 2
Savitzky A., Golay M. J. E., 1964, Analytical Chemistry, 36, 1627, ADS
Schneider D. P., et al., 2010, AJ, 139, 2360
Soltis J., Casertano S., Riess A. G., 2021, The Astrophysical Journal Letters, 908, L5
Spearman C., 1987, The American Journal of Psychology, 100, 441
Tonry J., Davis M., 1979, AJ, 84, 1511
Vanden Berk D. E., et al., 2001, AJ, 122, 549
Wall J. V., 1996, QJRAS, 37, 519, ADS

Access:
M22-0304: Turkish J.A&A — Vol.3, Issue 3.