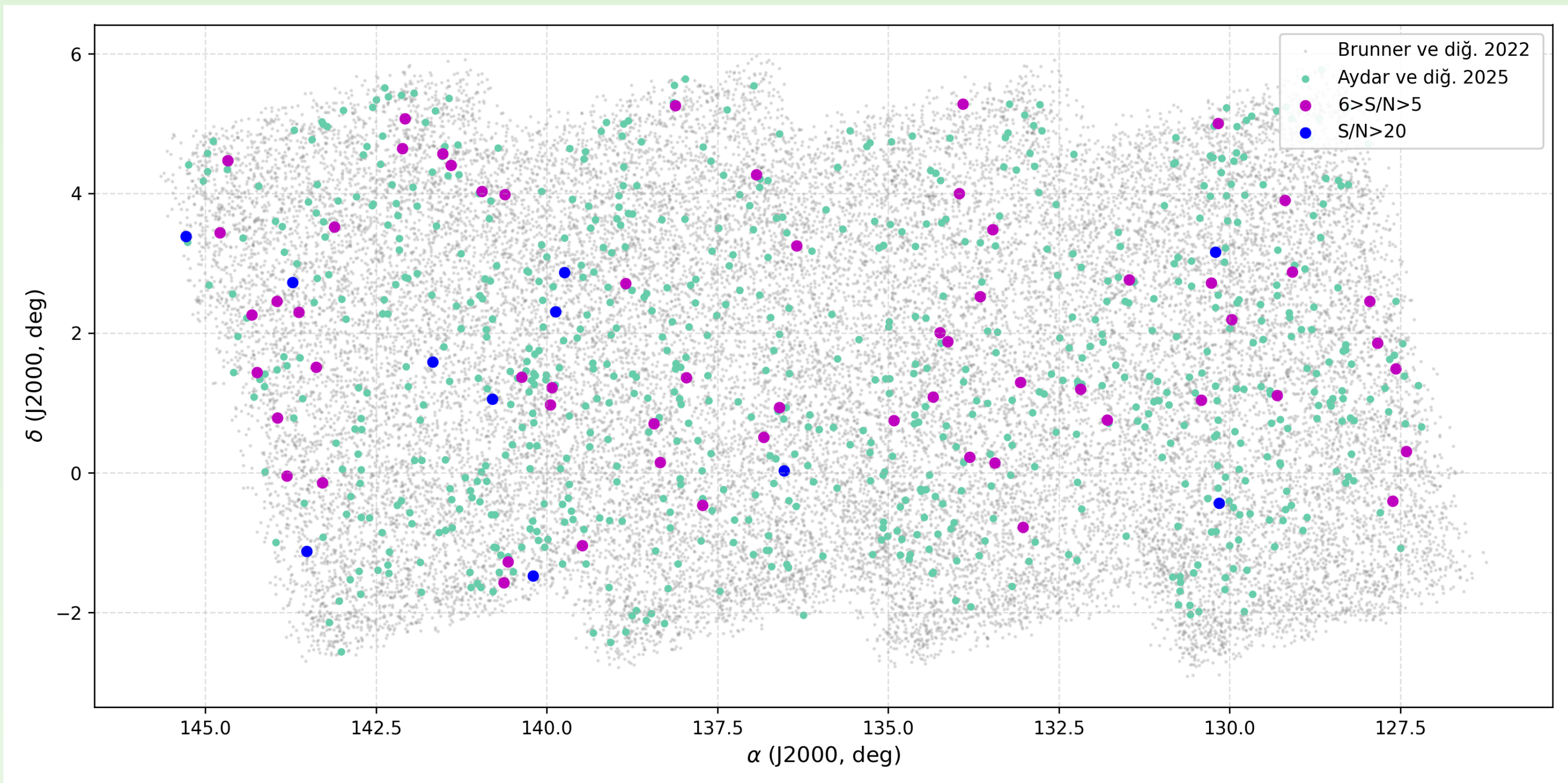


GİRİŞ

Galaksi evrimini anlamada Aktif Galaktik Çekirdeklerin (AGÇ) en parlak türlerinden biri olan kuasarların (QSO) ve merkezlerinde bulunan süper kütleli kara deliklerin rolü çok büyüktür. Bir kara deliğin kütle ve parlaklık bilgisi mevcutsa o kara deliğin içinde bulunduğu galaksinin yıldız üretimine devam edebileceği kalan zamana dair yorum yapılabilir. AGÇ’ler; radyo, gama ve X-ışın bölgeleri gibi çoğu galaksinin ışıma yapmadığı bölgeler de dahil olmak üzere bütün elektromanyetik tayfta ışıma yapar ve çoklu dalga boyu çalışmaları sayesinde bir AGÇ’ye dair farklı bilgiler edinmek mümkündür.

Sloan Digital Sky Survey’in (SDSS) en güncel sürümü olan 19. veri yayınının sağladığı görünür bölge tayfları sayesinde kara deliklerin haritalandırılması üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmada; kara delik haritalandırma çalışması için de araştırılan, kırmızıya kayma (z) aralığı 2 ile 3 olan eROSITA Final Equatorial-Depth Survey’den (eFEDS) alınmış X-ışın kaynağı AGÇ’lerden SDSS’de tayfı olan cisimler seçilmiştir. Araştırmayı en verimli şekilde yürütebilmek adına zWarning=0, zErr>0 maskelemesi yapılmıştır ve eFEDS ile SDSS koordinatı arasındaki farkın 5 yay saniyesinden düşük olduğu cisimler seçilmiştir. Aydar ve arkadaşlarının (2025) hazırladıkları katalog kullanılarak optik eşlenik doğrulaması yapılmış ve bu katalogdaki $2 \leq z \leq 3$ olan cisimler de örnekleme dahil edilmiştir. Ardından hesaplamaların, piksel başına sinyal gürültü oranına (S/N) olan bağlılığını görebilmek adına $20 \leq S/N$ olan 11 cisim ve $5 \leq S/N \leq 6$ olan 60 cisim seçilmiştir.



Aydar ve diğ. (2025) kataloğundan alınan $2 \leq z \leq 3$ olan cisimler yeşil, filtreleme sonucu ikiye ayrılan düşük ve yüksek S/N sırasıyla mor ve mavi olacak şekilde gösterilmiştir. Ayrıca Brunner ve diğ. (2022) kataloğundan yararlanılarak eFEDS’in tarama alanı eklenmiştir.

YÖNTEM

Bütün cisimler, kuasar fit etme programı olan **PyQSOFit** (Guo, Shen & Wang 2018) aracılığıyla fit edilmiş ve belirsizlik hesabı için Marcov Chain Monte Carlo simülasyonundan yararlanılmıştır. Fit etme işlemi sonucunda elde edilen çizgi genişliği (FWHM) ve ışıma gücü (L) bilgileri kullanılarak kara delik kütleleri hesaplanmıştır.

KARA DELİK KÜTLELERİ

Gözlemler, görünür bölgede yapıldığından ve $2 \leq z \leq 3$ olduğundan kütle hesaplamak için C IV ve Mg II çizgilerinden yararlanılmıştır ancak $z \geq 2,5$ olan cisimlerde Mg II çizgisi tayfta gözlenmediğinden o cisimlerde sadece C IV çizgisi kullanılarak hesaplama yapılmıştır. (Shen & Liu 2012)

$$\log \left(\frac{M_{\bullet}}{M_{\odot}} \right) = a + b \log \left(\frac{L}{10^{44} \text{erg s}^{-1}} \right) + c \log \left(\frac{FWHM}{\text{km s}^{-1}} \right)$$

Tür	a	b	c	σ (dex)	Kaynak
$FWHM_{Mg II}$	0,860	0,500	2,00	0,16	VO09
L_{3000}					
$FWHM_{C IV}$	0,660	0,530	2,00	0,40	VP06
L_{1350}					

Virial Kütle Formülü ve Temel Alınan Kalibrasyonlar

VO09: Vestergaard, M., & Osmer, P. S. 2009

VP06: Vestergaard, M., & Peterson, B. M. 2006

EDDINGTON ORANLARI

Eddington oranlarını hesaplamak adına her cisim için C IV çizgisiyle hesaplanan kara delik kütlesi ve bolometrik hesaplamalarda da 1450 Å üzerinden yapılan bolometrik düzeltme (BC) dikkate alınıp Eddington oranları hesaplanmıştır. (Chen ve diğ. 2025)

$$\lambda_{edd} = \frac{L_{bol}}{L_{edd}}$$

$$L_{edd} = 1,3 \times 10^{38} (M_{\bullet}/M_{\odot}) \text{erg s}^{-1}$$

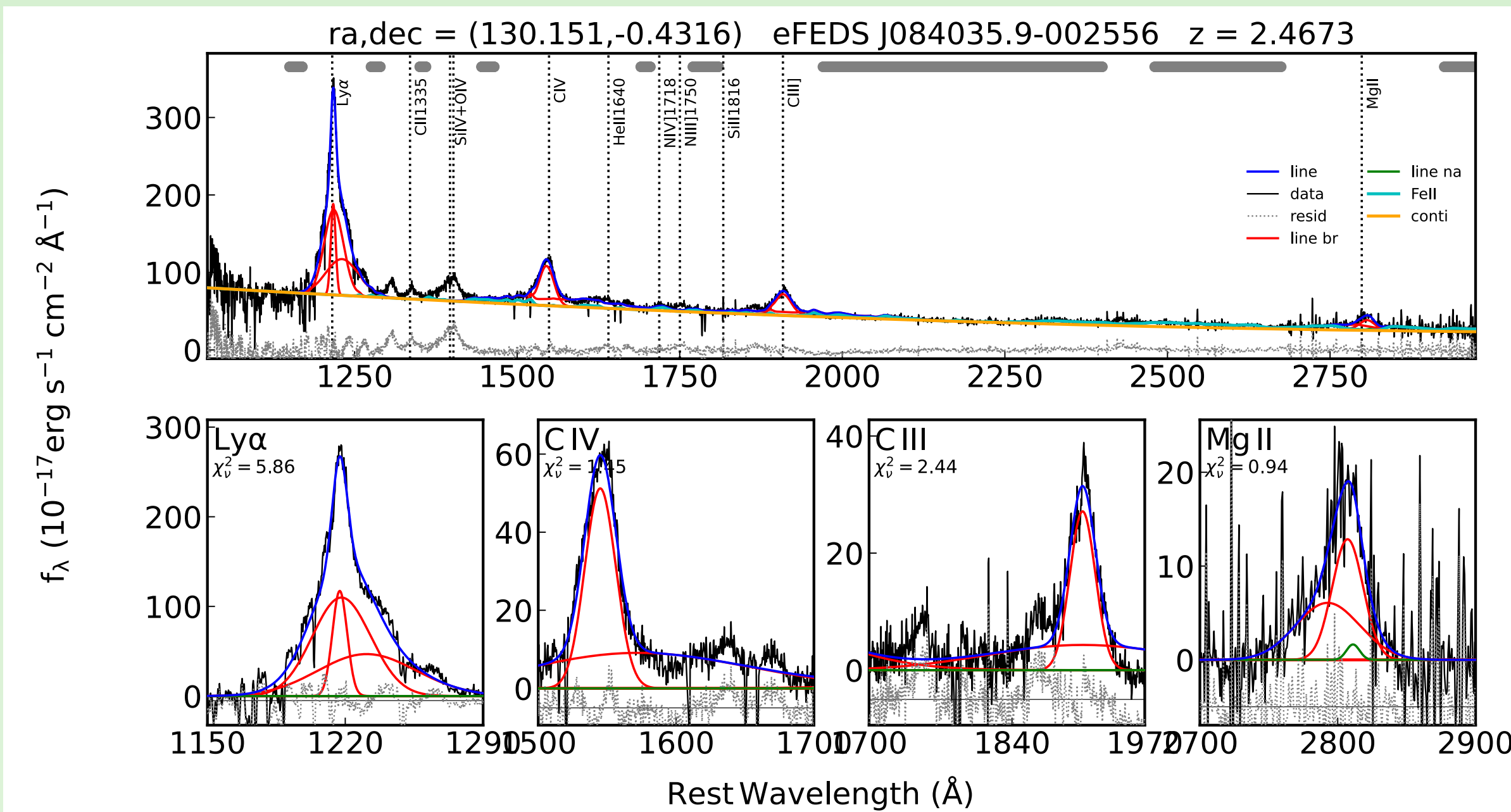
$$L_{bol} = BC_{\lambda} \lambda_{\lambda} = BC_{1450} L_{1450} = (2,93 \pm 0,64) L_{1450}$$

$$\log(L_{bol}) = (6,020 \pm 0,001) + (0,879 \pm 0,001) \log(L_{1450})$$

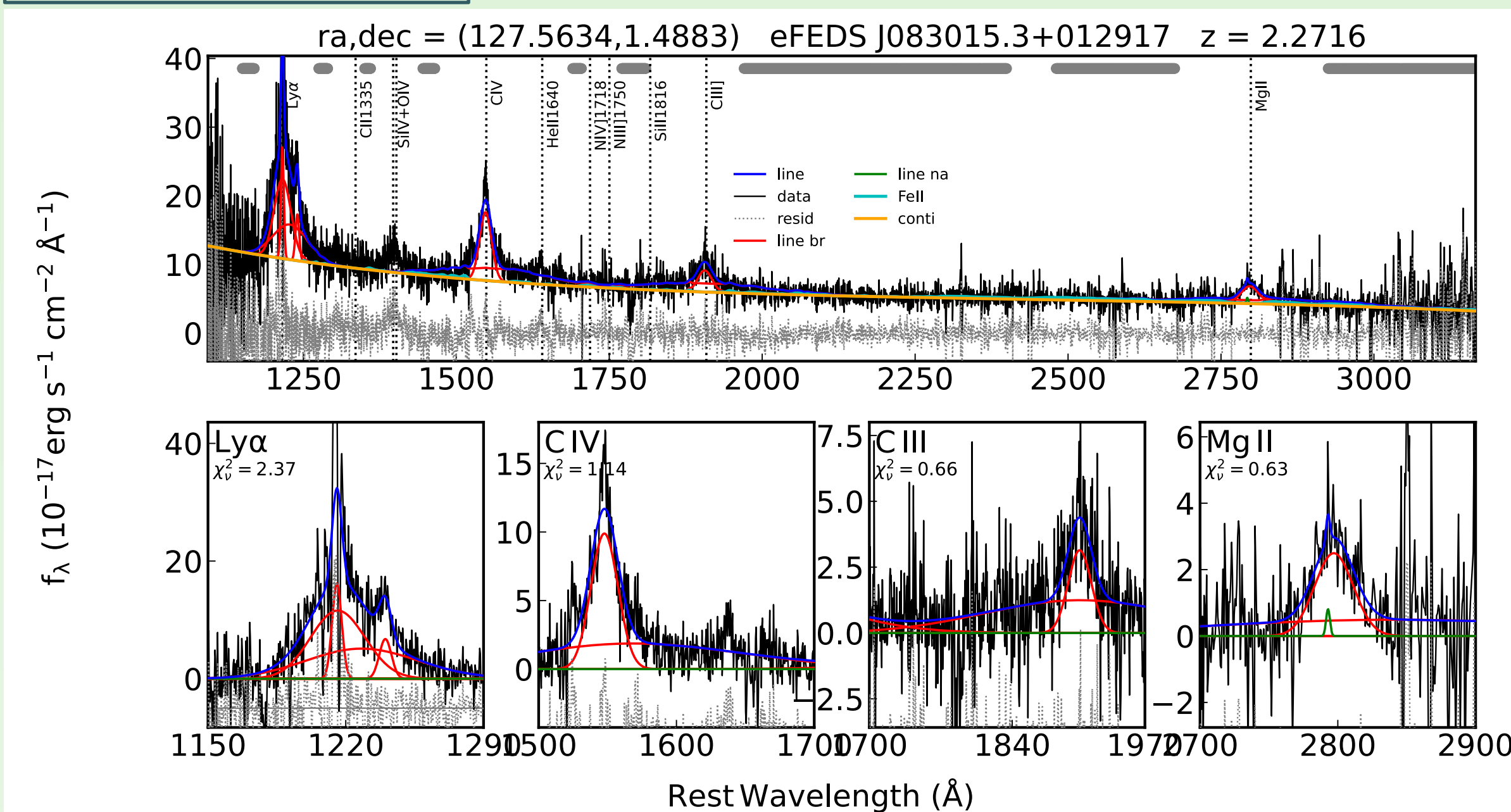
TARTIŞMA VE SONUÇ

Şekil 1’deki sonuçlara bakıldığında C IV çizgisi kullanılarak hesaplanan kara delik kütlelerinde, düşük S/N’nin düşük kütle ve yüksek S/N’nin yüksek kütle olarak hesaplandığı görülmektedir. Bu durumun sebebi, büyük kütleli kuasarların daha yüksek ışıma gücüne sahip olması ve dolayısıyla da yapılan gözlemlere daha yüksek S/N olarak yansması olayı olan gözlemsel seçim etkisidir. Mg II çizgisi kullanılarak hesaplanan kara delik kütlelerinde yüksek S/N’de z sebebiyle hesaplama yapılabacak cisim sayısı sınırlı olsa da düşük S/N’de $8,59 \leq \log[M_{\bullet}(Mg II)/M_{\odot}] \leq 10,61$ aralığında yer almaktadır. Bunlara ek olarak örneklemedeki cisimlerin Eddington oranları S/N’den bağımsız olarak $-1,25 \leq \log(\lambda_{edd}) \leq -0,22$ aralığında dağılmıştır, bu nedenle örneklemin etkin madde yığılmasına sahip ve alt-Eddington durumunda olduğu görülmektedir ki bu durum kozmik öğledeki cisimler için tutarlı bir sonuçtur.

SDSS S/N 22,5



SDSS S/N 5,2

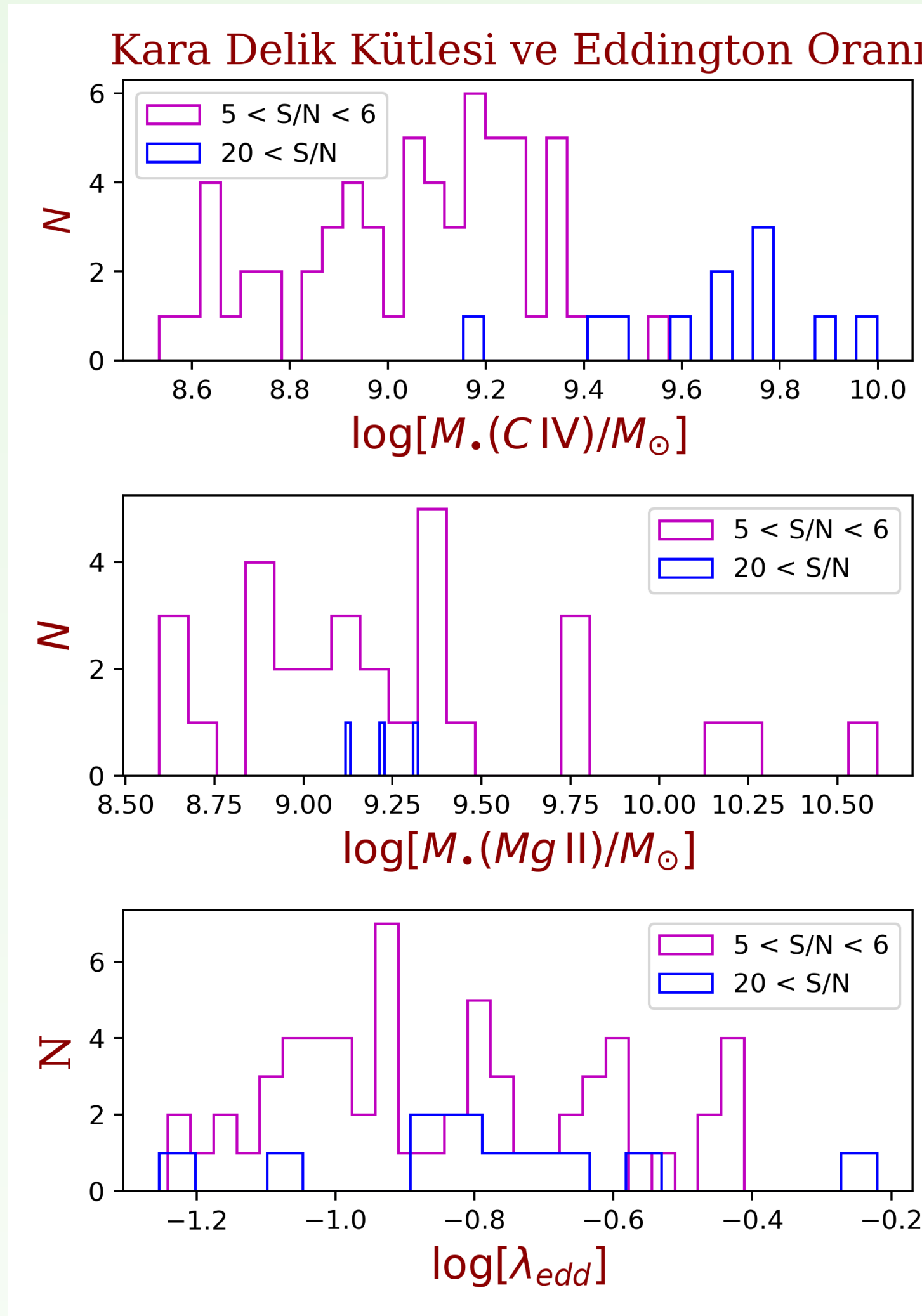


PyQSOFit programı aracılığıyla fit edilmiş yüksek ve düşük S/N’den 2 farklı tayf örneği

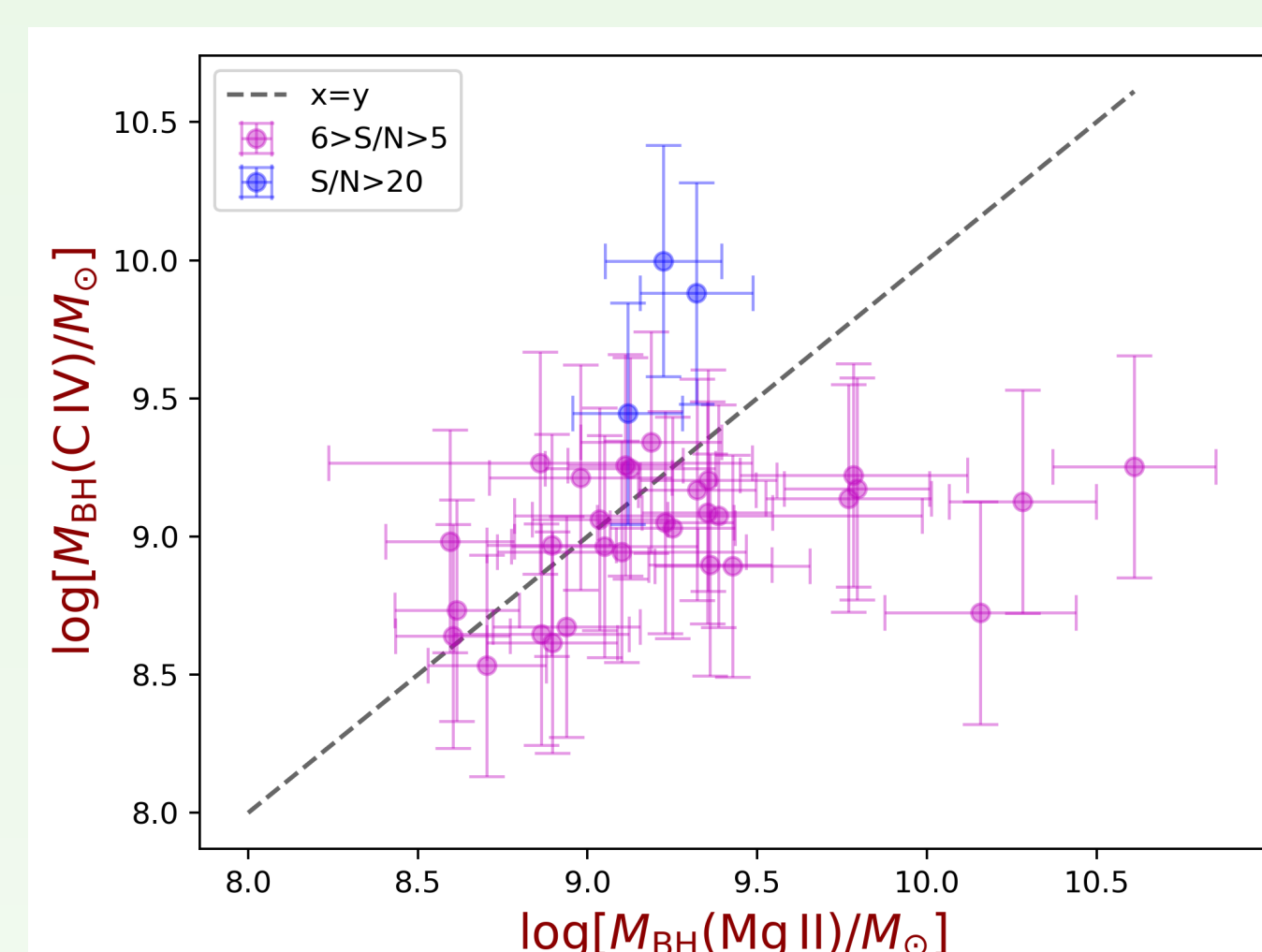
Şekil 2’ye bakıldığında iki farklı çizgiden hesaplanan kütlelerde, yüksek S/N’ye sahip olanların hepsinde C IV ile hesaplanan kütlelerin daha büyük olduğu görülmüştür. Düşük S/N’ye sahip tayflarda ağırlıklı olarak 1:1 çizgisi etrafında toplanma görölse de çoğunlukla C IV kütlesi daha düşük hesaplanmış ve $\log[M_{\bullet}(Mg II)/M_{\odot}]$ ’nin yaklaşık 9,5’i geçmesiyle birlikte Mg II ile hesaplanan kütlelerde ciddi bir artış gözlenmiştir.

Bunlara ek olarak yapısı gereği Mg II çizgisi, C IV kadar rüzgarlardan etkilenmese de ve dolayısıyla içsel saçılımı çok daha düşük olsa da z ve gözlemsel kısıtlamalar nedeniyle tayfın sonuna denk gelip ortalama S/N yüksekken Mg II için olan S/N’yi düşürmektedir. Bu sebeple, $z \geq 2$ olduğunda görünür bölge gözlemleri için kütle hesaplamalarında C IV çizgisinin tercih edilmesinin gözlemsel açıdan daha güvenilir olacağı sonucuna varılmıştır.

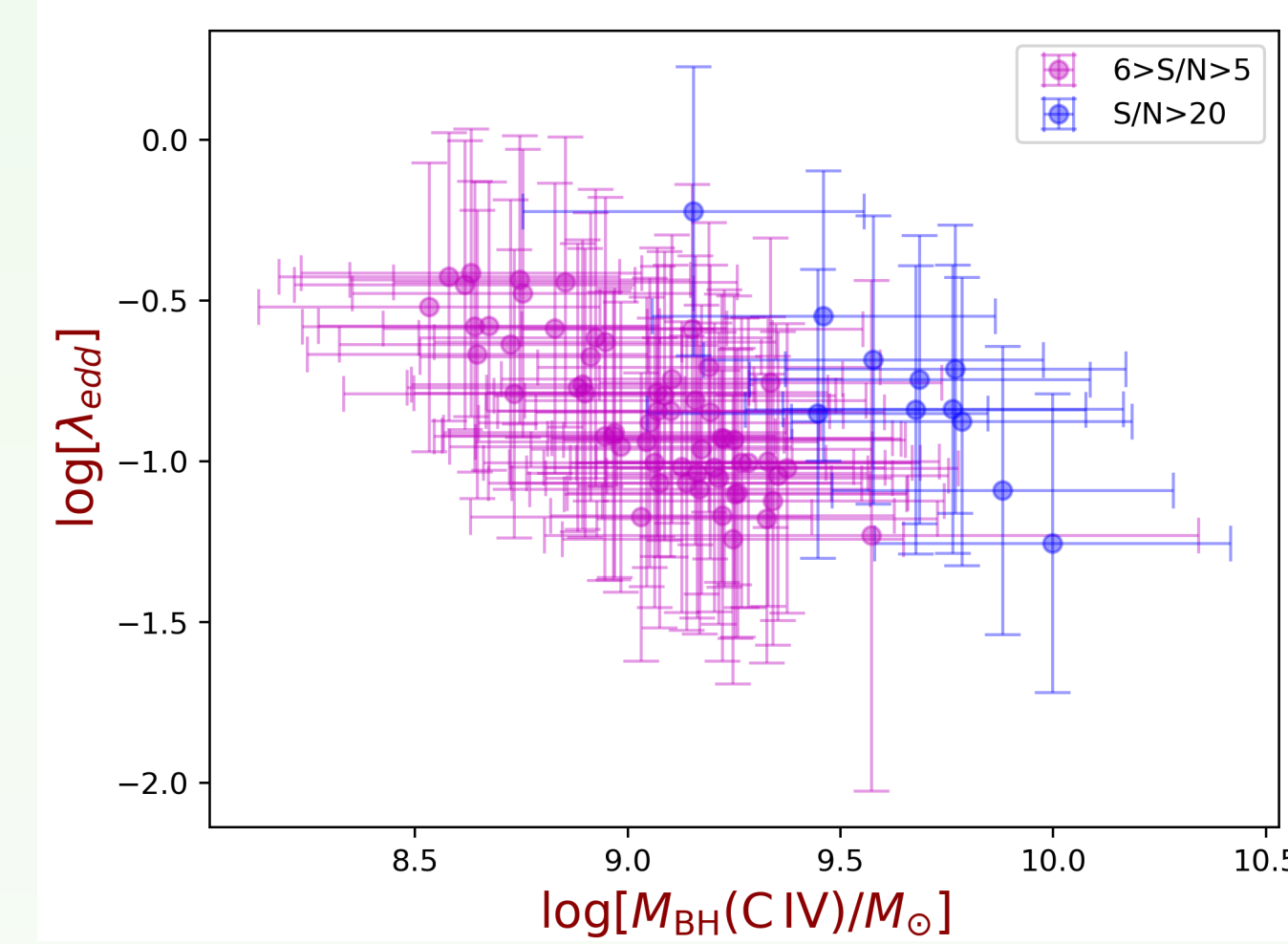
Dahası S/N’si düşük olan cisimler için kütlelerin Mg II kütlelerinin artmasıyla hata payları içinde tutarlı olmaması, S/N’nin hesaplanan kütlelere çok ciddi bir belirsizlik eklediğini göstermektedir.



Şekil 1



Şekil 2



Şekil 3

C IV çizgisine göre hesaplanan kara delik kütlelerinin S/N ile doğrudan ilişkili olduğunun belirgin bir şekilde görüldüğü şekil 3’te, Eddington oranının yüksek S/N ve düşük S/N için geniş bir aralıkta dağıldığı görülmektedir. Dahası kütle arttıkça azalan Eddington oranı, kütle büyüdükçe maddenin Eddington limitine kıyasla daha yavaş yığıldığının da bir göstergesidir.

$$\lambda_{edd} \propto \frac{L_{bol}}{M_{\bullet}}$$

Bunlara ek olarak araştırma sürecinde karşılaşılan durumlar, SDSS’nin otomatik veri işleme hattının sınırlarını göstermiştir. QSO olarak sınıflandırılmış ve tayf alındığı belirtilen cisimlerin, aslında yakınlardaki çok parlak bir yıldızın ışığı olduğu, gökyüzü gürültüsü olduğu veya aslında tayfının olmadığı gibi durumlarla karşılaşmıştır. Sonuç olarak SDSS’den çok sayıda cisim içeren sorgulamalar yapıldığında, sorguya ek koşulların dahil edilmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- *Aydar, C., Merloni, A., Dwelly, T., ve diğ. 2025, A&A, 698, 30
- *Vestergaard, M., & Osmer, P. S. 2009, ApJ, 699, 800
- *Vestergaard, M., & Peterson, B. M. 2006, ApJ, 641, 689
- *Brunner, H., Liu, T., Lamer, G., ve diğ. 2022, A&A, 661, A1
- *Shen, Y., & Liu, X. 2012, ApJ, 753, 12
- *Kollmeier J. A. ve diğ., 2006, ApJ, 648, 128

- *Guo, H., Shen, Y., Wang, S. 2018, ascl:1809.008.
- *Shen, Y. ve diğ. 2019, ApJS, 241, 345
- *SDSS Collaboration 2025, preprint (arXiv:2507.07093)
- *Chen, J., Jiang, L., Sun, S., Zhang, Z., & Sun, M. 2025, ApJ, 988, 204
- *Liu, X., Shen, Y., Bian, F., Loeb, A., & Tremaine, S. 2014, ApJ, 789, 140