

NGC 5474 Galaksisinde Bulunan bir AXK'nın Optik Karşılığı ve Çevresinin Araştırılması

Şenay Avdan^{1,2,*}, Hasan Avdan^{1,2}, Aysun Akyüz^{1,2}, Nazım Aksaker^{2,3},
Alexander Vinokurov⁴, Sergei Fabrika⁴

¹ Çukurova Üniversitesi, Fizik Bölümü, Adana

² Çukurova Üniversitesi, Uzay Bilimleri ve Güneş Enerjisi Araştırma ve Uygulama Merkezi (UZAYMER), Adana

³ Çukurova Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Adana

⁴ Special Astrophysical Observatory, Russian Academy of Sciences, Nizhny Arkhyz, Russia

Özet

Bu çalışmada, NGC 5474 galaksisinde bulunan bir AXK'nın X-ışın verileri tekrar analiz edilmiş ve optik karşılığı araştırılmıştır. *HST* görüntüleri incelendiğinde kaynağın optik karşılığının çok sönük olduğu ($m_V = 24.7$) belirlenmiştir. NGC 5474 X-1'in X-ışınlarında *Chandra* verilerinin analizi sonucu, kaynağın tayfına Power-law (PL) modeli en iyi uyumu göstermiştir ($\Gamma = 0.95$). PL modelinden elde edilen akı değeri kullanılarak kaynağın X-ışın ışımaya gücü $L_X = 1.7 \times 10^{40}$ erg s^{-1} olarak hesaplanmıştır. NGC 5474 X-1'in SAO RAS BTA-6m teleskobu ile alınan optik tayfı incelendiğinde kaynağın çok yakınında bulunan bir yıldızdan ($m_V = 23$) gelen ışımının katkısı dikkate alınmıştır. Ayrıca slit içerisinde bir ard-alan galaksisi ve yeni bir genç yıldız kümesi belirlenmiştir. AXK X-1 kaynağını daha iyi sınıflandırılabilmesi için L_X/L_{opt} değeri hesaplanmış ve bu değer ~ 7000 olarak bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: X-rays: binaries, Sıkı Nesnelere

1 Giriş

Aşırı-parlak X-ışın kaynakları (AXK, Ultraluminous X-ray Sources) bir galaksinin merkez bölgesi dışında bulunan ve X-ışın ışımaya güçleri ($L_x > 10^{39}$ erg s^{-1}) $10 M_\odot$ kütleli bir kara delik için Eddington limitini aşan noktasal kaynaklardır. Doğaları henüz net olarak bilinmemekte ve yüksek ışımaya güçlerini açıklamak için farklı modeller önerilmektedir (Feng ve Soria 2011). AXK'ların yıldız kütleli karadeliğe sahip olduğu varsayılarak öne sürülmüş modeller arasında geometrik hüzmelenme (King ve ark. 2001), diskten gelen süper-Eddington akısı (Begelman 2002) modelleri en yaygın bilinenleridir. Bunlara ek olarak bazı ULX'lerin yüksek ışımaya gücünün "orta kütleli karadelikler (Intermediate Mass Black Holes, IMBH)" tarafından sağlanabileceği düşünülmektedir (Miller ve Colbert 2004). AXK'ların olası doğasının anlaşılabilmesi için X-ışın gözlemlerinin yanısıra optik bölgedeki gözlemlerinin yapılması da önemlidir. AXK'lardan gelen optik emisyonun kaynağının ikincil bileşen ya da yığılma diskinin dış bölgeleri, hatta her iki durum da olabileceği düşünülmektedir. Bu nedenle bu kaynakların optik gözlemleri sistemin evrimi, ikincil bileşenin doğası, disk geometrisi ve kütle aktarım oranı gibi önemli bilgiler sağlamaktadır (Feng ve Soria 2011).

NGC5474 galaksisi, M101 sarmal galaksi grubunun üyesi olan sarmal bir çüce galaksidir. Uzaklığı 6.8 Mpc olarak hesaplanmıştır (Drozdovsky ve Karachentsev 2000). Bu çalışmada, NGC 5474 galaksisinde *Chandra* X-ışın kataloğunda bulunan bir AXK'nın optik bölgede karşılığının belirlenebilmesi ve kaynağın çevresinin araştırılması için, SAO (Special Astrophysical Observatory, Rusya)'da bulunan 6m'lik BTA teleskobu ile alınmış optik tayfı incelenmiştir. Kaynağın tayf gözlemine ek olarak, Hubble Uzay Teleskobu (*HST*) arşivinde bulunan

optik gözlem verilerinden de yararlanılmıştır. NGC 5474 X-1 kaynağı daha önce Swartz ve ark. (2011) tarafından AXK olarak sınıflandırılmış ve X-ışın ışımaya gücü $L_x = 1.4 \times 10^{40}$ erg s^{-1} olarak bulunmuştur.

2 Gözlemler ve Bulgular

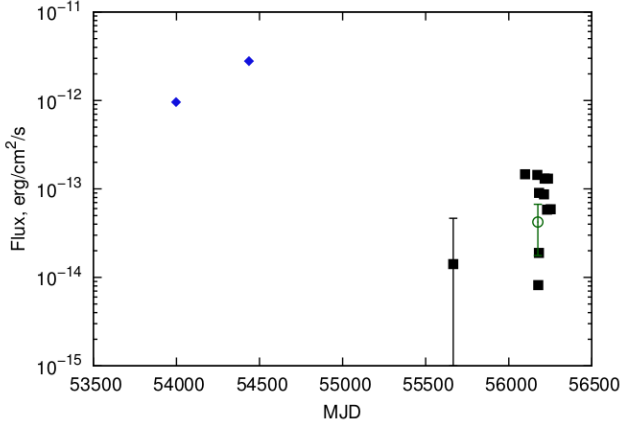
NGC 5474 *Chandra* X-ışın uydusu ile 10 Eylül 2006 (2 ks, ObsID 7086) ve 3 Aralık 2007 (30 ks, ObsID 9546) tarihlerinde gözlenmiştir. X-ışın tayf analizi için, daha iyi istatistik sağlayacağından, uzun gözlem verisi (ObsID 9546) kullanılmıştır. Veri analizi CIAO (*Chandra* Interactive Analysis of Observations) sürüm 4.6 yazılımı kullanılmıştır. SPECEXT-RACT komutu ile kaynağın 0.3–10 keV enerji bandındaki tayfı elde edilmiştir. Kaynağın X-ışın tayfsal analizleri XSPEC sürüm 12.8 yazılımı kullanılarak yapılmıştır.

Chandra verilerinin analizleri sonucunda kaynağın sert bir X-ışın tayfına sahip olduğu belirlenmiştir. PHABS*PL modeli tayfa en iyi uyumu göstermiştir ($\Delta\chi^2 = 1.12$). Model parametreleri ise $\Gamma = 0.94 \pm 0.6$ ve $N_H = 0.04 \pm 0.02 \times 10^{22}$ cm⁻² olarak hesaplanmıştır. Kaynağın X-ışın akısı ve ışımaya gücü ise 0.3–10 keV enerji bandında $F_x = 2.91 \times 10^{-12}$ erg cm⁻² s⁻¹ ve $L_x \approx 1.6 \times 10^{40}$ erg s⁻¹ olarak belirlenmiştir.

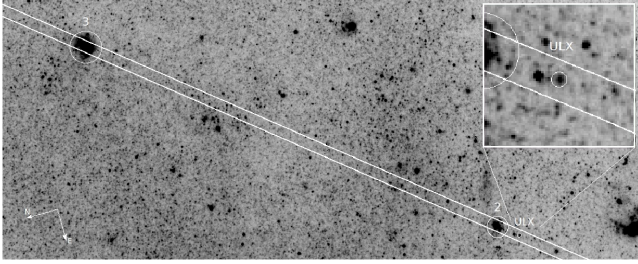
Kaynağın uzun dönemli ışık eğrisinin değişimini inceleyebilmek için *Swift* uydusunun arşiv verileri de analiz edilmiştir. Her iki uydunun verileri kullanılarak elde edilen uzun dönemli X-ışın ışık eğrilerine (Şekil 1) bakıldığında NGC 5474 X-1'in X-ışın ışımaya gücünde 10^2 kat bir değişim olduğu görülmüştür ($L_{x,Chandra} = 1.7 \times 10^{40}$, $L_{x,Swift} = 5 \times 10^{38}$).

NGC 5474 X-1'in optik karşılığının araştırılması için *HST*/ACS/F606W ve *HST*/ACS/F814W filtrelerinde yapılan arşiv gözlemleri kullanılmıştır. Kaynağın optik karşılığını belirleyebilmek için *HST* and *Chandra* görüntüleri arasında görece astrometrik düzeltme yapılmıştır. Bunun için 26 Şubat 2012 tarihli *HST*/ACS/F606W (JBT169010) görüntüsü ve uzun poz

* kayaci.s@gmail.com



Şekil 1. NGC 5474 X-1 kaynağının uzun dönemli ışık eğrisi: Mavi üçgenler *Chandra*, siyah kareler *Swift* verilerini temsil etmektedir. Yeşil daire ise 13 *Swift* gözleminin ortalamasını göstermektedir.

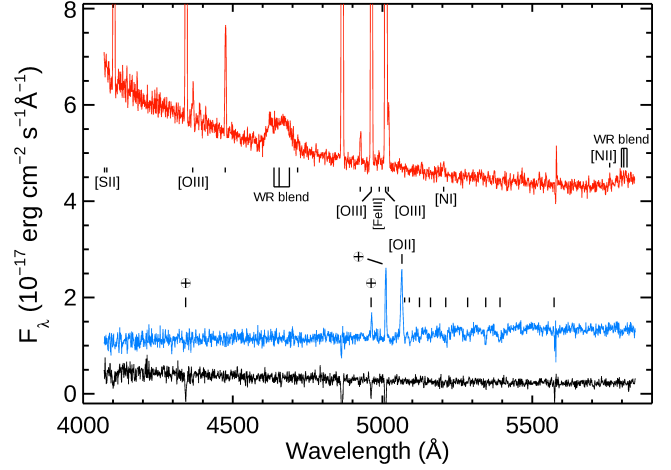


Şekil 2. NGC 5474 X-1 kaynağının *HST/ACS/F606W* görüntüsü üzerinde astrometrik düzeltme yapıldıktan sonraki *Chandra* pozisyonu. (2) nolu kaynak slit içine giren ard-alan kaynağını (3) nolu kaynak ise genç yıldız kümesini göstermektedir.

sürel *Chandra* görüntüsü kullanılmıştır. *Chandra* görüntüsünde akısı 30 sayımdan yüksek 6 tane nokta kaynak belirlenmiştir. Bu kaynaklar görel astrometrik düzeltme için referans olarak kullanılmıştır. Astrometrik düzeltme sonucunda NGC 5474 X-1'in *HST* görüntüsü üzerindeki optik karşılığının pozisyonu 0.16 açı saniye kesinlikle $R.A = 14\ 04\ 59.746$ Dec = +53 38 08.86 olarak belirlenmiştir. Kaynağın *HST/ACS/F606W* görüntüsü ve SAO BTA-6m teleskopu ile alınan tayfın slit alanı Şekil 2'de gösterilmiştir.

Optik karşılık belirlendikten sonra IRAF içerisindeki APPHOT paketi kullanılarak kaynağın fotometrik analizi yapılmıştır. Ardalanlar eş merkezli daireler kullanılarak belirlenmiştir. Parlaklık hesaplamaları 0.175 açı saniye yarıçaplı (3.6 piksel) açıklık kullanılarak yapılmıştır. Kırmızı ise SYNPHOT paketi ve $E(B-V) = 0.010$ Galaktik sönmleme değeri (Schlegel ve ark. 1998) kullanılarak düzeltilmiştir. X-1'in kırmızı çıkarılmış parlaklık değerleri $m_{F606W} = 24.58 \pm 0.04$ ve $m_{F814W} = 24.10 \pm 0.05$ olarak hesaplanmıştır.

Kaynağın tayfsal analizleri ise 2 Ocak 2014 tarihinde SAO BTA-6m teleskopu ile alınan veriler kullanılarak yapılmıştır. Gözlemler SCORPIO aleti ile VPHG1200G grism kullanılarak 4000–5700 Å dalga boyu aralığında yapılmıştır. Slit genişliği ise 1 açı saniyesi ve toplam gözlem süresi 5520 saniyedir. Verilerin analizleri IRAF v.2.16.1 içerisinde standart indirgeme işlemleri (dark, bias çıkarma ve flat düzeltmesi) yapılmış ve



Şekil 3. NGC 5474 X-1'in ve slit içine giren kaynakların BTA-6m teleskopu ile alınan tayfları. Yukarıdan aşağı: Genç yıldız kümesi, ard-alan galaksisi ve AXK.

kaynakların akı kalibrasyonu için Hz2 standart yıldızı kullanılmıştır (Oke 1990). Elde edilen tayflar Şekil 3'de verilmiştir. Şekil'de sırasıyla yukarıdan aşağı genç yıldız kümesi, ard-alan galaksisi ve AXK'nın tayfları görülmektedir. NGC 5474 X-1'in tayfında belirgin yayınım çizgileri görülmemektedir. Bunun nedeni ise kaynağın parlaklığının teleskobun limit değerlerinden daha sönük olmasıdır. Ayrıca kaynağın çok yakınında $m_{F606W} = 23$ parlaklığa sahip bir yıldız belirlenmiş ve kaynağın toplam ışımaya katkıda bulunduğu dikkate alınmıştır. Ard-alan galaksisinin tayfında ise belirgin olarak yalnızca bir yayınım çizgisi olduğu görülmektedir. Bu yayınım çizgisinin [OII] ($\lambda\ 3726$) olduğu varsayılarak kaynağın kırmızı kayna değeri $z=0.36$ olarak hesaplanmıştır. NGC 5474 galaksisinin kırmızı kayma değeri ($Z=0.0009$) ile karşılaştırıldığında kaynağın bir ard-alan galaksisi olduğu belirlenmiştir. Son olarak, genç yıldız kümesinin tayfında belirgin olarak [OII]($\lambda 4963$), H β ($\lambda 4866$), H γ ($\lambda 4344$) ve H δ ($\lambda 4104$) yayınım çizgileri görülmektedir. Bu çizgiler kullanılarak kaynağın kırmızı kayma değeri ($z=0.0008$) hesaplanmış ve NGC 5474 galaksisi ile aynı olduğu görülmüştür. Böylece bu kaynağın galaksiye ait olduğu doğrulanmıştır. Ayrıca 4650 Å civarında geniş bir yayınım çizgisi görülmektedir. Bu yapı genç yıldız kümelerinde Wolf-Rayet tümseği olarak bilinmektedir.

3 Tartışma ve Sonuç

NGC 5474 X-1 kaynağı için, X-ışınlarında ve optik bölgede ışımaya yapan kaynakların sınıflandırılmasında kullanılan bir metod olan, X-ışın akısının optik akıya oranı hesaplanmıştır. *Swift* X-ışın akısı ve optik akısı kullanılarak (en yakın 2 gözlem) kaynağın $L_X/L_{opt}=120 \pm 40$ olarak hesaplanmıştır (X-ışın akısı 0.3–10 keV enerji aralığında alınmıştır). Literatürde bulunan diğer AXK'lar için (NGC 6946 ULX-1, Holmberg IX X-1, Holmberg II X-1, NGC 5408 X-1, IC342 X-1, NGC 1313 X-1, NGC 1313 X-2, NGC 5204 X-1, NGC 4559 X-7 ve M81 X-6; (Tao ve ark. 2011; Yang ve ark. 2011; Vinokurov ve ark. 2013; Sutton ve ark. 2013; Pintore ve ark. 2014)) ortalama olarak bu oran $L_X/L_{opt}=1600$ olarak hesaplanmıştır (en düşük 260, en yüksek 4200). Aktif galaksi çekirdekleri (AGNs) için bu oran 0.1 ile 10 arasında bulunmuştur (Aird ve ark. 2010). Bazı ekstrem durumlar dahilinde bu oran 100'e kadar çıkmaktadır. Eğer NGC 5474 X-1'in sabit optik akıya sahip

olduğunu düşünürsek ve en yüksek akı değerini alarak (*Chandra* akısı) bu oranı tekrar hesapladığımızda $L_X/L_{opt}=7000$ olarak bulunmaktadır. Böylece bu kaynak bir AGN değil belirgin bir şekilde AXK olarak sınıflandırılmaktadır. Ayrıca X-1 kaynağı diğer AXK'ların değerinden çok daha yüksek L_X/L_{opt} oranına sahiptir, dolayısıyla optik bölgede ışınma gücü daha düşüktür.

NGC 5474 X-1 kaynağının diğer olağan AXK'ların L_X/L_{opt} oranları ile uygun bir değere sahip olduğu fakat optik ışınmasının diğer AXK'lara göre daha düşük olduğu görülmüştür. Bu iki değer dikkate alındığında bu kaynak yıldız kütleli bir karadeliğe ve süper-Eddington yığılma diskine sahip bir sistem olarak düşünülmürse kütle aktarım oranı çok düşük olan AXK'lar olarak sınıflandırabileceği sonucuna varılmıştır.

Teşekkür

Bu çalışma Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TUBİTAK) tarafından 113F039 no'lu proje ile desteklenmektedir.

Kaynaklar

- Aird, J., Nandra, K., Laird, E.S. ve ark.: The Evolution of the Hard X-ray Luminosity Function of AGN. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. **401** (2010) 2531–2551
- Begelman, M.C.: Super-Eddington Fluxes from Thin Accretion Disks?. *Astrophysical Journal*. **568** (2002) 97–100
- Drozdovsky, I.O., Karachentsev, I.D.: Vizier Online Data Catalog: BVRI Photometry of 6 Galaxies. *Astronomy and Astrophysics Supplement*. **142** (2000) 425–432
- Feng, H., Soria, R.: Ultraluminous X-ray sources in the Chandra and XMM-Newton era. *New Astronomy Reviews*. **55** (2013) 166–183
- King, A.R., Davies, M.B., Ward, M.J., Fabbiano, G., Elvis, M.: Ultraluminous X-ray sources in External Galaxies. *Astrophysical Journal*. **552** (2001) 109–112
- Miller, M.C., Colbert, E.J.M.: Intermediate-Mass Black Holes. *International Journal of Modern Physics D*. **13** (2004) 1–64
- Oke, J.B.: Faint Spectrophotometric Standard Stars. *Astronomical Journal*. **99** (1990) 1621–1631
- Pintore, F., Zampieri, L., Wolter, A., Belloni, T.: Ultraluminous X-ray Sources: A Deeper Insight into Their Spectral Evolution. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. **439** (2014) 3461–3475
- Schlegel, D.J., Finkbeiner, D.P., Davis, M.: Maps of Dusts Infrared Emission for use in Estimation of Reddening and Cosmic Microwave Background Radiation Foregrounds. *Astrophysical Journal*. **500** (1998) 525–553
- Sutton, A.D., Roberts, T.P., Middleton, M.J.: The Ultraluminous State revisited: Fractional Variability and Spectral Shape as Diagnostics of Super-Eddington Accretion. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. **435** (2013) 1758–1775
- Swartz, D.A., Soria, R., Tennant, A.F., Yukita, M.: A Complete Sample of Ultraluminous X-ray Sources Host Galaxies. *Astrophysical Journal*. **741** (2011) 49–59
- Tao, L., Feng, H., Grise, F., Kaaret, P.: Compact Optical Counterparts of Ultraluminous X-ray Sources. *Astrophysical Journal*. **737** (2011) 81–95
- Vinokurov, A., Fabrika, S., Atapin, K.: Ultraluminous X-ray Sources as Supercritical Accretion Disks: Spectral Energy Distributions. *Astrophysical Bulletin*. **68** (2013) 139–153
- Yang, L., Feng, H., Kaaret, P.: The Optical Counterpart of NGC 1313 X-1. *Astrophysical Journal*. **733** (2011) 118–124

Erişim:

051-1045: UAK-2015 Program — UAK Bildiri — Turkish J.A&A.