

İki Yakın Sarmal Galakside X-ışın Kaynak Popülasyonunun Araştırılması

Sinan Allak^{1,2,*}, Aysun Akyüz², Eda Sonbaş³, Kalvir S Dhuga⁴

¹Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fizik Bölümü, Çanakkale

²Çukurova Üniversitesi, Fizik Bölümü, Adana

³Adıyaman Üniversitesi, Fizik Bölümü, Adıyaman

⁴George Washington Üniversitesi, Fizik Bölümü, Washington, DC 20052, ABD

Özet

Bu çalışmada, NGC 925 ve NGC 4625 yakın sarmal galaksilerinde XMM-Newton ve Chandra X-ışın uydusu gözlemleri ile Aşırı Parlak X-ışın kaynaklarının dışında ilk kez belirlenen X-ışın kaynaklarının ($L_x > 10^{38}$ erg s⁻¹) tayfsal ve zamansal özellikleri incelenmiştir. Her iki uydunun arşiv verileri kullanılarak yapılan analizlerde belirlenen ayrık X-ışın kaynakları genel olarak, Aşırı parlak X-ışın kaynakları ve X-ışın çiftleri olarak sınıflandırılabilir. Bu kaynakların X-ışın tayflarına en iyi uyum veren modeller belirlenerek olası ışınım mekanizmaları tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: X-rays: general, Sıkı Nesnelere

1 Giriş

Önceki X-ışın uydularına göre çok daha iyi enerji ve açısal çözünürlüğe sahip XMM-Newton ve Chandra uyduları, yakın galaksilerden algılanan X-ışın yayınının doğasının anlaşılmasında önemli katkılar sağlamaktadır. Bir dizi ayrık (discrete) kaynağın yaydığı toplam ışınım, sıcak yıldızlararası gazın ve olası bir aktif galaktik çekirdeğin (AGN) yakın galaksilerden gözlenen X-ışın yayınının bileşenlerini oluşturmaktadır (Fabbiano 1989). Ayrıntılı çalışılan yakın galaksilerde; Örneğin M 31 (Pietsch 2005), M 81, M 101 (Pence ve ark. 2001) ve NGC 4395 (Akyuz ve ark. 2013) galaksilerdeki kaynaklar: X-ışın Çiftleri (X-ray Binaries), Süpernova Kalıntıları (SNRs), Aşırı Parlak Işın Kaynakları (Ultraluminous X-ray Sources; ULXs) ve Aşırı Yumuşak Kaynaklar (Supersoft Sources) olarak sınıflandırılabilir. XRBs ışıtmaları 10^{32} erg s⁻¹ ile Eddington ışıtması (1.3×10^{38} M/M_⊙) arasındadır.

2 Gözlemler ve Analizler

Bu çalışmada, uzaklığı 8.5 Mpc olan NGC 925 ve uzaklığı 8.2 Mpc olan NGC 4625 galaksileri için XMM-Newton (0.1-15 keV) ve Chandra (0.1 – 10 keV) verileri kullanılmıştır (Çizelge 1). Çizelge 1’de, her iki galaksinin X-ışın gözlemleri gösterilmiştir. Bu çizelgede; birinci sütun galaksi adı, ikinci sütun gözlem zamanı, üçüncü sütun gözlem numarasını ve dördüncü sütunda poz süreleri verilmiştir.

XMM-Newton verilerinin analizi için *XMM Newton Science Analysis System (SAS) ver 17.0*, Chandra verilerinin analizleri için ise *Chandra Interactive Analysis of Observations (CIAO) 4.10 and CALDB 4.7.9* yazılımları kullanılmıştır. XMM-Newton verileri ile, X-ışın kaynakları 0.3 - 10 keV enerji aralığında SAS programının *edetect-chain* taskı kullanılarak tespit edilmiştir. Chandra verileri için 0.3 – 10 keV enerji aralığında CIAO programının *wavdetect* taskı kullanılmıştır. Buna göre; NGC 925 için, XMM-Newton *EPIC pn* ve *mos* verilerinden 11, Chandra *ACIS-S* verilerinden 5 ve NGC 4625 için ise Chandra

Çizelge 1. NGC 925 ve NGC 4625 gözlemleri

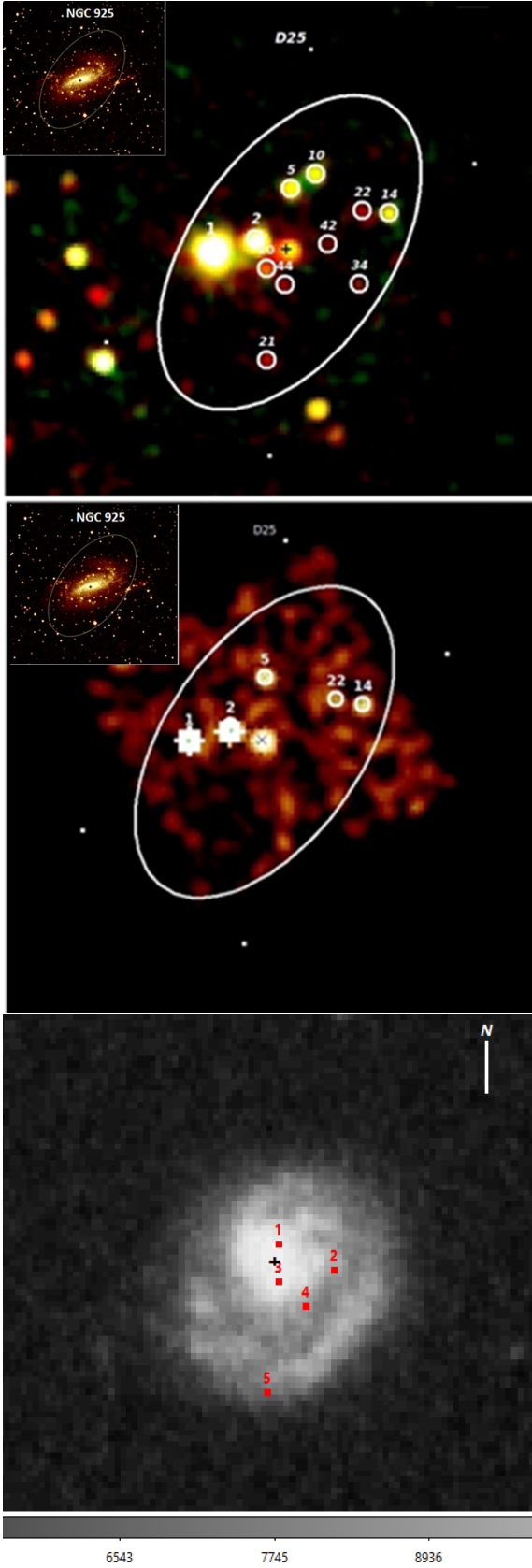
| Galaksi ve Veri | Tarih | Gözlem No. | Poz S. (s) |
|--------------------|------------|------------|------------|
| NGC 925 XMM-Newton | 2017-01-19 | 0784510301 | 50 |
| NGC 925 Chandra | 2005-11-19 | 7104 | 2.24 |
| NGC 4625 Chandra | 2006-02-08 | 7098 | 1.74 |
| NGC 4625 Chandra | 2008-03-05 | 9549 | 58.1 |

ACIS-S verisinden 5 noktasal X-ışın kaynağı tespit edilmiştir. XMM-Newton ve Chandra verileri ile NGC 925 galaksisinde D_{25} alanı içinde belirlenen kaynaklar ve NGC 4625 galaksisinde tespit edilen kaynaklar bu galaksinin DSS optik görüntüsü üzerinde Şekil 1’de gösterilmiştir. Belirlenen kaynakların numaraları ve koordinatları ile birlikte Çizelge 2, 3 ve 4’de verilmiştir.

2.1 Tayfsal Analiz

XMM-Newton ve Chandra verilerinin X-ışın tayfsal analizleri *XSPEC ver 12.10* programı ile yapılmıştır. NGC 925 için XMM-Newton verileri ile 6, Chandra verileri ile de sadece 1 kaynağın tayfsal analizleri yapılabilmektedir. Diğer kaynakların tayfsal analizleri için yeterli veri bulunmamaktadır. Verilere en iyi uyum veren modeller *Power Law (PL)* ve *DISKBB* olarak belirlenmiştir (Şekil 2). Elde edilen model parametreler Çizelge 5, 6 ve 7’de verilmiştir. X-ışın enerji tayfları elde edilemeyen kaynaklar (21, 22, 34, 42 ve 44 no’lu kaynaklar) için tayfsal parametreler, sayı oranı (count rate) ile hesaplanmıştır (Mateos ve ark. 2009). Chandra verilerinin tayfsal parametreleri için *CIAO srflux* taskı kullanılmıştır. Sonuçlar Çizelge 6 ve Çizelge 7’de gösterilmiştir. İstatiksel olarak zayıf XMM-Newton kaynaklarının ışınımsal sınıflandırılması için Hardness Ratio (Sertlik oranı) 0.2 - 0.5 keV, 0.5 - 1 keV, 1 - 2 keV, 2 - 4.5 keV ve 4.5-12 keV enerji bandları için hesaplanmıştır. Bu oran değerleri ile kaynakların sınıflandırılması için (Ducci ve ark. 2013) çalışmasındaki grafikler kullanılarak, belirlediğimiz kaynaklar bu grafikler üzerinde gösterilmiştir (Şekil 3).

* sinan.allak@hotmail.com



Şekil 1. NGC 925 XMM-Newton (üst panel), Chandra (orta panel) ve NGC 4625 optik (alt panel) X-ışın kaynakları gösterilmiştir.

Çizelge 2. XMM-Newton gözlemlerinden NGC 925' de belirlenen X-ışın kaynakları

| Kaynak No. | RA (deg) | Dec (deg) |
|------------|----------|-----------|
| 1 | 36.864 | 33.578 |
| 2 | 36.838 | 33.583 |
| 5 | 36.820 | 33.609 |
| 10 | 36.805 | 33.616 |
| 14 | 36.762 | 33.597 |
| 20 | 36.834 | 33.570 |
| 21 | 36.833 | 33.526 |
| 22 | 36.778 | 33.598 |
| 34 | 36.780 | 33.563 |
| 42 | 36.798 | 33.582 |
| 44 | 36.823 | 33.562 |

Çizelge 3. Chandra gözlemlerinden NGC 925' de belirlenen X-ışın kaynakları

| Kaynak No. | RA (deg) | Dec (deg) |
|------------|----------|-----------|
| 1 | 36.864 | 33.578 |
| 2 | 36.838 | 33.583 |
| 5 | 36.820 | 33.609 |
| 14 | 36.762 | 33.597 |
| 22 | 36.778 | 33.598 |

Çizelge 4. Chandra gözlemlerinden NGC 4625'de belirlenen X-ışın kaynakları

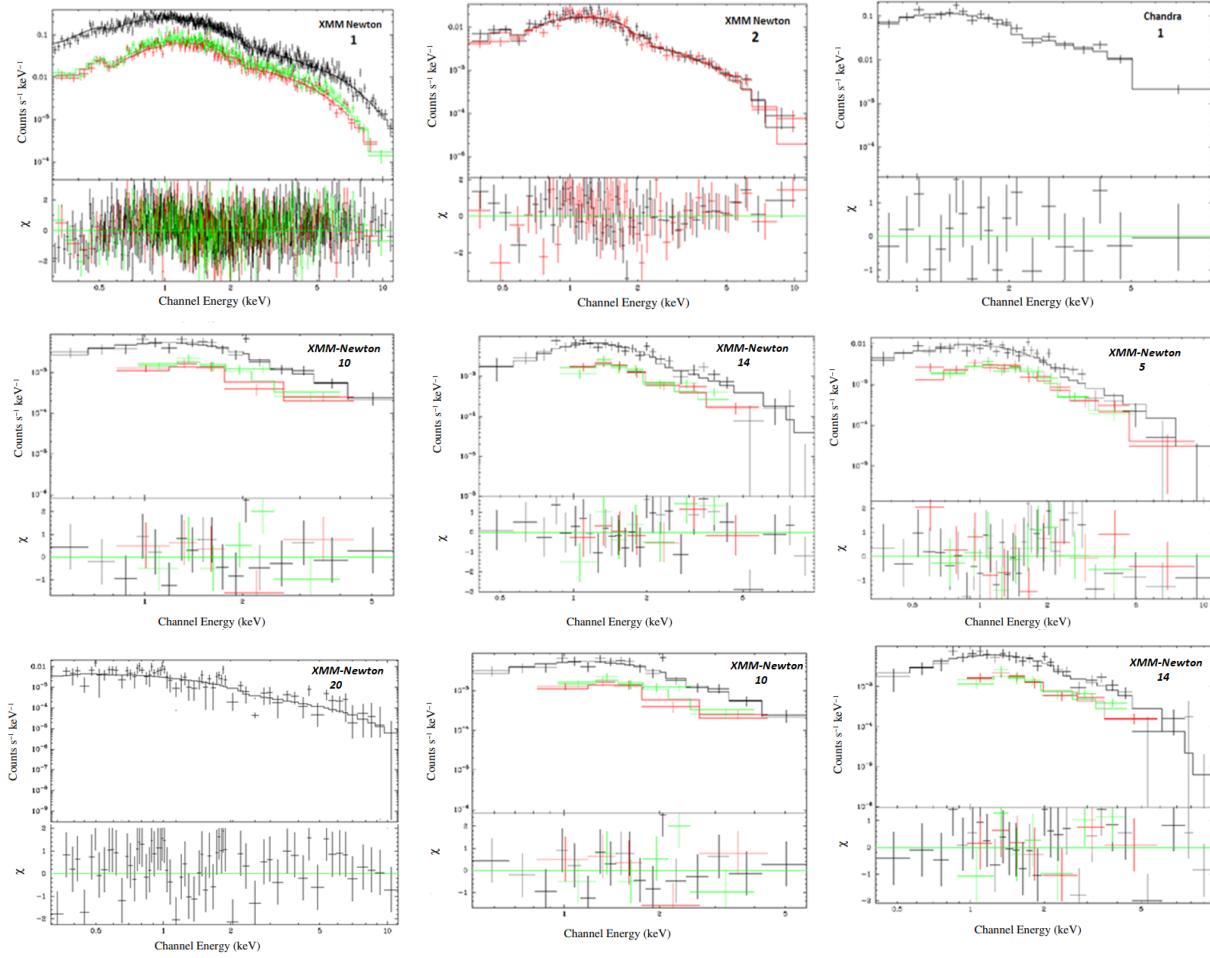
| Kaynak No. | RA (deg) | Dec (deg) |
|------------|----------|-----------|
| 1 | 190.469 | 41.275 |
| 2 | 190.463 | 41.273 |
| 3 | 190.469 | 41.272 |
| 4 | 190.466 | 41.270 |
| 5 | 190.470 | 41.263 |

2.2 Kısa Dönemli Değişim Analizi

Galaksilerde belirlediğimiz kaynakların kısa dönem değişikliklerini belirlemek için χ^2 testi kullanılmıştır. χ^2 testi ile P(var) olasılık değerleri birlikte elde edilerek; P (var) %95 değeri değişkenlik limiti olarak alınmıştır. Bu analiz için, NGC 4625 verileri yetersiz olduğundan sadece NGC 925'in XMM-Newton verileri kullanılmıştır. Kısa dönem değişim gösterdiği kabul edilen kaynaklar ve olasılık değerleri Çizelge 8' de gösterilmiştir.

3 Sonuçlar ve Tartışma

XMM-Newton ve Chandra verileri kullanılarak; NGC 925 ve NGC 4625 galaksilerinde, galaksi merkezinde bulunmayan, ayrık noktasal X-ışın kaynakları için analiz sonuçları sunulmuştur. NGC 925 ve NGC 4625 için; ilk defa X-ışın kaynak popülasyon çalışması yapılmıştır. NGC 925 için, D_{25} alanı içinde toplam noktasal 11 kaynak tespit edilmiştir. Bu kaynaklardan sadece 6'sının tayfi alınmıştır. Bu kaynaklar için en iyi model unabsorbed PL modeli ile elde edilirken, 10 ve 14 no'lu kaynaklar hem PL hem de *DISKBB* modeline uyum göstermiştir. Bu kaynakların (1 ve 2 no'lu kaynaklar hariç) ısıtma değerleri $(1-6) \times 10^{38}$ erg s^{-1} aralığında olduğu tespit edilmiştir. χ^2 istatistiği uygulanarak kısa dönem değişimleri araştırılmış ve 4 kaynağın kısa dönemli değişim gösterdiği belirlenmiştir. Sertlik oran değerlerine göre 21 no'lu kaynak SNR özelliği göster-



Şekil 2. NGC 925 galaksisi için, verilere en iyi uyum gösteren modeller. Sondan ilk iki grafik *DISKBB* modeli, diğer tüm grafikler *PL* modeli ile elde edilmiştir. Siyah, yeşil ve kırmızı sırasıyla *EPIC-pn*, *EPIC-mos1* ve *EPIC-mos2* verilerini göstermektedir. 20 no'lu kaynak için *mos1* ve *mos2* verileri yetersiz olduğundan sadece *pn* verisi kullanılmıştır.

mektedir. Sertlik oran değerlerine göre kaynakların genelde soft (yumuşak) ışıma özelliği gösteren XRBs olduğu tahmin edilmektedir.

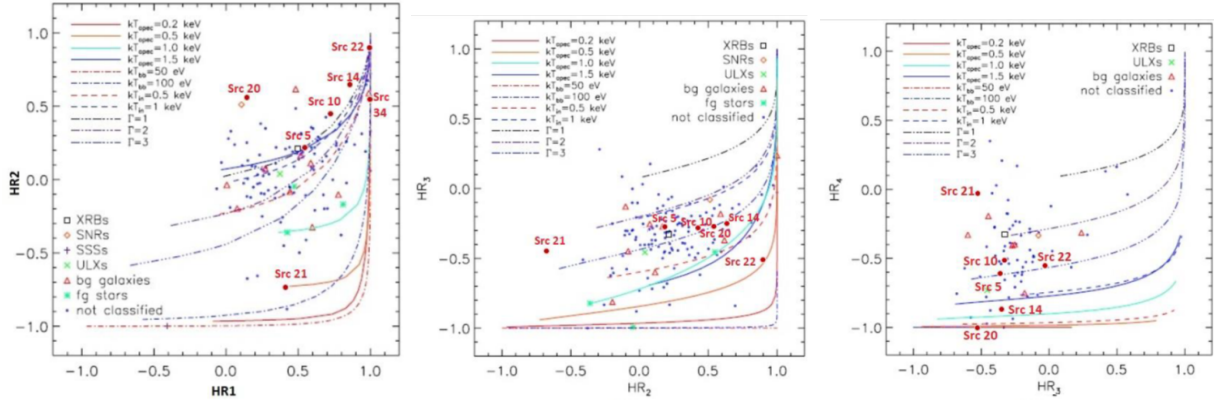
NGC 4625 için, D_{25} alanı içinde 5 noktasal kaynak tespit edilmiştir. Veri kalitesi istatistiksel olarak yeterli olmadığından analizler için uygun modeller elde edilememiştir. Bu kaynaklar sınıflandırılmamıştır. Bu kaynakların ışıma değerleri $(0.1-1.2) \times 10^{38}$ erg s $^{-1}$ aralığında hesaplandığından çok genel olarak XRBs sınıfına dahil edilebilirler. ULX Kataloğunda yer alan (Swartz ve ark. 2018) 1 no'lu kaynağın ışımasının beklenen bu sınıfın ışıma değerinden ($L_x > 10^{39}$ erg s $^{-1}$) yaklaşık 10 kat daha düşük olduğu belirlenmiştir. Bu durumda geçici (transient) kaynak özelliği gösteren bir ULX olma olasılığı ortaya çıkmıştır. Bu kaynağın geçici özelliği gösteren bir ULX olma ihtimali oldukça yüksektir. Belirlediğimiz kaynakların ışıma mekanizmaları ve belirgin sınıflandırmaları için daha fazla veriye ve özellikle çoklu dalga boyu (optik, kızıl-öte) gözlem verilerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Teşekkür

Bu çalışma Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından 117F115 no'lu proje ile desteklenmektedir.

Kaynaklar

- Akyuz, A.; Kayaci, S.; Avdan, H.; Ozel, M. E.; Sonbas, E.; Balman, S.: XMM-Newton Observations of Luminous Sources in Nearby Galaxies NGC 4395, NGC 4736, and NGC 4258. *The Astronomical Journal*, Volume 145, Issue 3, article id. 67,19 pp.
- Ducci, L.; Sasaki, M.; Haberl, F.; Pietsch, W.: X-ray source population study of the starburst galaxy M 83 with XMM-Newton. *Astronomy Astrophysics*, Volume 553, id.A7, 19 pp.
- Fabbiano, G. : X rays from normal Galaxies. *Annual review of astronomy and astrophysics*. Volume 27 (A90-29983 12-90). Palo Alto, CA, Annual Reviews, Inc., 1989, p. 87-138.
- Mateos, S.; Saxton, R. D.; Read, A. M.; Sembay, S.: Statistical evaluation of the flux cross-calibration of the XMM-Newton EPIC cameras. *Astronomy and Astrophysics*, Volume 496, Issue 3, 2009, pp.879-889
- Pence, W. D.; Snowden, S. L.; Mukai, K.; Kuntz, K. D.: Chandra X-Ray Sources in M101. *The Astrophysical Journal*, Volume 561, Issue 1, pp. 189-202.
- Pietsch, W. : An X-ray source population study of the Andromeda galaxy M 31. eprint arXiv:astro-ph/0511022.
- Swartz, Douglas A.; Soria, Roberto; Tennant, Allyn F.; Yukita, Miho: A Complete Sample of Ultraluminous X-ray Source Host Galaxies. *The Astrophysical Journal*, Volume 741, Issue 1, article id. 49, 10 pp.



Şekil 3. NGC 925 galaksisinde XMM-Newton gözlemlerinden belirlenen X-ışın kaynaklarının (kırmızı) sertlik oranlarının (Ducci ve ark. 2013) çalışmasında verilen grafikler üzerinde gösterimi.

Çizelge 5. NGC 925'de bulunan kaynakların en iyi uyum veren model parametreleri

| Kaynak | N_{H} 10^{22} cm^{-2} | Γ | χ^2/dof | L_{X} $10^{38} \text{ erg s}^{-1}$ |
|------------------------------|---|------------------------|---------------------|--|
| XMM Newton Kaynakları | | | | |
| tbabs x powerlaw | | | | |
| 1 | $0.23^{+0.05}_{-0.06}$ | $1.84^{+0.01}_{-0.01}$ | 1079.5/997 | $200^{+0.06}_{-0.08}$ |
| 2 | $0.24^{+0.02}_{-0.03}$ | $2.18^{+0.17}_{-0.14}$ | 136.83/124 | $30.1^{+0.02}_{-0.08}$ |
| 5 | $0.26^{+0.04}_{-0.05}$ | $2.36^{+0.17}_{-0.15}$ | 48.61/54 | $5.50^{+0.02}_{-0.03}$ |
| 10 | $0.42^{+0.08}_{-0.05}$ | $2.28^{+0.20}_{-0.15}$ | 26.42/29 | $3.20^{+0.02}_{-0.03}$ |
| 14 | $0.45^{+0.07}_{-0.05}$ | $2.18^{+0.17}_{-0.15}$ | 36.71/42 | $6.20^{+0.02}_{-0.03}$ |
| 20 | $0.08^{+0.06}_{-0.05}$ | $1.96^{+0.35}_{-0.31}$ | 68.29/65 | $1.20^{+0.03}_{-0.03}$ |
| Chandra Kaynakları | | | | |
| tbabs x powerlaw | | | | |
| 1 | $0.30^{+0.09}_{-0.07}$ | $1.74^{+0.17}_{-0.15}$ | 15.8/21 | $210.6^{+0.01}_{-0.03}$ |
| XMM Newton Kaynakları | | | | |
| tbabs x diskbb | | | | |
| 10 | $0.17^{+0.05}_{-0.03}$ | $1.01^{+0.10}_{-0.08}$ | 23.83/29 | $4.45^{+0.04}_{-0.05}$ |
| 14 | $0.20^{+0.04}_{-0.05}$ | $1.16^{+0.10}_{-0.15}$ | 30.14/42 | $5.38^{+0.02}_{-0.03}$ |

Erişim:

O25-1810: UAK-2018 Program — UAK Bildiri — Turkish J.A&A.

Çizelge 6. NGC 925 galaksisinde sayı oran değeri ile akı ve ısıtma değeri belirlenen X-ışın kaynakları

| Kaynak | Flux $10^{-14} \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ | L_{X} $10^{38} \text{ erg s}^{-1}$ |
|------------------------------|---|--|
| XMM-Newton Kaynakları | | |
| 21 | $4.53^{+0.07}_{-0.06}$ | $4.49^{+0.09}_{-0.08}$ |
| 22 | $2.07^{+0.05}_{-0.03}$ | $2.05^{+0.02}_{-0.08}$ |
| 34 | $3.17^{+0.06}_{-0.05}$ | $3.14^{+0.05}_{-0.03}$ |
| 42 | $1.82^{+0.08}_{-0.06}$ | $1.80^{+0.06}_{-0.07}$ |
| 44 | $1.67^{+0.07}_{-0.05}$ | $1.64^{+0.04}_{-0.03}$ |
| Chandra Kaynakları | | |
| 2 | $30.40^{+0.05}_{-0.06}$ | $33.70^{+0.07}_{-0.08}$ |
| 5 | $5.53^{+0.02}_{-0.03}$ | $5.48^{+0.02}_{-0.08}$ |
| 14 | $3.75^{+0.04}_{-0.05}$ | $3.71^{+0.02}_{-0.03}$ |
| 22 | $3.01^{+0.08}_{-0.05}$ | $2.98^{+0.05}_{-0.03}$ |

Çizelge 7. NGC 4625 galaksisinde sayı oranı ile akı ve ısıtma değeri belirlenen X-ışın kaynakları

| Kaynak | Flux $10^{-14} \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ | L_{X} $10^{38} \text{ erg s}^{-1}$ |
|---------------------------|---|--|
| Chandra Kaynakları | | |
| 1 | $1.50^{+0.05}_{-0.06}$ | $1.24^{+0.07}_{-0.03}$ |
| 2 | $0.31^{+0.04}_{-0.03}$ | $0.45^{+0.03}_{-0.05}$ |
| 3 | $0.30^{+0.06}_{-0.06}$ | $0.24^{+0.05}_{-0.03}$ |
| 4 | $0.22^{+0.08}_{-0.07}$ | $0.18^{+0.07}_{-0.07}$ |
| 5 | $0.53^{+0.05}_{-0.05}$ | $0.43^{+0.04}_{-0.06}$ |

Çizelge 8. NGC 925 X-ışın kaynaklarının χ^2 istatistik sonuçları

| Kaynak | Bin size (s) | χ^2 statistic χ^2/dof | $P_{\chi^2(\text{var})}$ |
|--------|-----------------|---|--------------------------|
| 5 | 200 | 154.85/218 | 0.99 |
| 10 | 500 | 55.18/92 | 0.99 |
| 14 | 400 | 64.32/111 | 0.99 |
| 20 | 500 | 46.60/92 | 0.99 |