

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Melike ÖZDOĞAN ELA

**NGC 4861, NGC 4449 GALAKSİLERİNDE AŞIRI PARLAK X-
IŞIN KAYNAKLARININ X-IŞIN VE OPTİK
ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

FİZİK ANABİLİM DALI

ADANA-2020

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**NGC 4861, NGC 4449 GALAKSİLERİNDE AŞIRI PARLAK X-IŞIN
KAYNAKLARININ X-IŞIN VE OPTİK ÖZELLİKLERİNİN
ARAŞTIRILMASI**

Melike ÖZDOĞAN ELA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FİZİK ANABİLİM DALI

Bu tez/.../2020 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

.....
Prof.Dr. Aysun AKYÜZ

DANIŞMAN

.....
Doç.Dr.Nazım

AKSAKER

ÜYE

.....
Dr.Öğr.Üyesi.İnci

AKKAYA ORALHAN

ÜYE

Bu tez Enstitümüz Fizik Anabilim Dalında hazırlanmıştır.

Kod No:

**Prof. Dr. Mustafa GÖK
Enstitü Müdürü**

Bu Çalışma TUBİTAK Tarafından Desteklenmiştir.

Proje No: 117F115

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

NGC 4861, NGC 4449 GALAKSİLERİNDE AŞIRI PARLAK X-IŞIN KAYNAKLARININ X-IŞIN VE OPTİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Melike ÖZDOĞAN ELA

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ FİZİK ANABİLİM DALI

Danışman : Prof. Dr. Aysun AKYÜZ
Yıl: 2020, sayfa: 105
Jüri : Prof. Dr. Aysun AKYÜZ
: Doç.Dr. Nazım AKSAKER
: Dr.Öğr.Üyesi. İnci AKKAYA ORALHAN

Aşırı parlak X-ışın kaynakları, galaksilerin merkez bölgesinin dışında bulunan ve Galaktik X-ışın çiftlerinden çok daha yüksek ışıma ($L_x > 10^{39}$ erg s⁻¹) değerine sahip çift yıldız sistemleridir. Bu çalışmada, NGC 4861 galaksisinde ULX-1, ULX-2 ve NGC 4449 galaksisinde ULX-1 kaynaklarının olası optik karşılıkları Hubble Uzay Teleskobu (HST) arşiv verileri kullanılarak ilk kez tanımlandı. NGC 4861’de yalnızca ULX-2 için hata yarıçapı 0.28" olan daire içinde iki optik aday (% 90 güvenilirlikte) belirlendi. Bu adayların mutlak parlaklıkları, M_v , -6 ve -5 olarak tanımlandı. Her iki optik adayın tayfsal tipi F0I ve yaşları ~31Myıl olarak belirlendi. Bununla birlikte, NGC 4449’da ULX-1 kaynağı için hata yarıçapı 0.20" olan daire içinde (%90 güvenilirlikte) belirlenen üç optik aday için mutlak parlaklıkları $-5 < M_v < -3$, tayfsal tipleri B0III- B3V ve yaşları 13Myıl - 63Myıl aralığında belirlendi. En yakın yıldız kümesinden 0.25" uzaklıkta bulunan NGC 4449 ULX-1’in küme üyeleriyle benzer özellikler taşıması nedeniyle küme elemanı olma olasılığı incelendi. Ayrıca önceki çalışmalarla karşılaştırma amaçlı, Chandra ve XMM-Newton teleskoplarının yeni (kullanılmamış) arşiv verileri analiz edildi ve kaynakların X-ışın tayfsal özellikleri incelendi. Kaynakların X-ışın karakteristiklerinde belirgin bir değişimler gözlenmedi.

Anahtar Kelimeler: X-ışın, ULX, Galaksi; NGC 4449, NGC 4861

ABSTRACT

MSc THESIS

INVESTIGATION OF X-RAY AND OPTICAL PROPERTIES OF ULTRALUMINOUS X-RAY SOURCES IN NGC 4861, NGC 4449 GALAXIES

Melike ÖZDOĞAN ELA

ÇUKUROVA UNIVERSITY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF PHYSICS

Supervisor : Prof. Dr. Aysun AKYÜZ
Year: 2020, Pages: 105
Jury : Prof. Dr. Aysun AKYÜZ
: Doç.Dr. Nazım AKSAKER
: Assoc. Dr. İnci AKKAYA ORALHAN

Ultraluminous X-ray Sources, (ULXs) are binary star systems located outside the nuclear region of galaxies and have much higher luminosities ($L_x > 10^{39}$ ergs⁻¹) than Galactic X-ray binary systems. In this study, possible optical counterparts of ULX-1, ULX-2 sources in the NGC 4861 galaxy and ULX-1 source in the NGC 4449 galaxy were first identified using Hubble Space Telescope (HST) archival data. Only for NGC 4861 ULX-2, two optical candidates with absolute magnitudes, M_v , -6 and -5 were defined within an error radius of 0.28" (90% confidence level). Spectral types and ages of both candidates were determined as F0I and ~ 31 Myrs, respectively. However, in NGC 4449, three optical candidates were identified for the ULX-1 source within an error radius of 0.20" (90% confidence level). M_v values of the optical candidates lie between -5 and -3. Their spectral types and ages are between B0III- B3V and 13Myr- 63Myr, respectively. Considering the location of ULX-1 (NGC 4449) to the nearby cluster, it was investigated whether there is an association with the cluster. In addition, for comparison with previous studies, new (unused) archival data of Chandra and XMM-Newton were analyzed and X-ray spectral properties of the sources were examined. No significant changes were observed in the X-ray characteristics of the sources.

Keywords: X-ray, ULX, Galaxy; NGC 4449, NGC 4861

GENİŞLETİLMİŞ ÖZET

Aşırı Parlak X-ışın Kaynakları (Ultraluminous X-ray Sources, ULXs), diğer galaksilerin merkez bölgesi dışında ve X-ışın ısıtma gücü $L_x \sim 10^{39} - 10^{41}$ erg s⁻¹ aralığında olan bir çift yıldız sistemidir. Bu sistemde bir sıkı cisim ve bir kütleli yıldız bulunmaktadır. ULX'ler ilk kez 1978'de uzaya gönderilen Einstein X-ışın uydusu tarafından keşfedilmiştir. Sonraki yıllarda daha iyi uzaysal çözünürlüğe sahip X-ışın uydularının (ROSAT, ASCA, Chandra, XMM-Newton, NuStar) gönderilmesiyle bu kaynaklarla ilgili yapılan araştırmalar daha ayrıntılı çalışılarak astrofizikte güncel konular arasına girmiştir.

Bu çift sistemlerin doğası ve ışıma mekanizması henüz iyi bilinmemekte ancak yüksek ışıma güçlerini açıklamak için farklı modeller önerilmektedir. Bu modeller arasında en popüler olanlardan biri: yıldız kütleli kara delik ($M_{BH} \leq 20M_{\odot}$) üzerine süper-Eddington yığılma oranına sahip sistemlerin bu yüksek ışıtmayı oluşturabileceğini, diğer model ise orta kütleli kara delikler ($10^2 M_{\odot} \leq M_{BH} \leq 10^4 M_{\odot}$) üzerine sub-Eddington (Eddington limitinin altında) yığılmaya sahip çift sistemlerin bu ışıtmayı oluşturabileceğini önermektedir (Colbert ve ark, 1999; Poutanen ve ark, 2007; Kaaret ve ark, 2017). Geçtiğimiz yıllarda, ULX'lerin bazılarında keşfedilen düzenli atımlar (pulsar) ile bu çift sistemlerin sıkı cisim olarak nötron yıldızı içerdiği belirlendi. Bu kaynaklar; M82 X-2 (Bachetti ve ark, 2014), NGC 7793 P13 (Fürst ve ark, 2016; Israel ve ark, 2017), NGC5907 ULX-1 (Fürst ve ark, 2017) NGC 300 ULX X-1'in (Carpano ve ark, 2018), NGC1313 X -2 (Sathyaprakash ve ark, 2019) ve M51 ULX-7 (Rodriguez Castillo ve ark, 2019). Son çalışmalarda ULX'lerin sıkı cisim olarak süper Eddington rejiminde yığılma yapan dönen nötron yıldızları ya da karadelik içeren X-ışın çiftleri içeren heterojen bir yapıda olduğu kabul edilmektedir.

Bu kaynakların doğasının anlaşılması için X-ışın ve optik gözlem verileri birlikte değerlendirilmektedir. ULX'lerden gelen optik yayınının sistemin ikincil bileşeninden, yığılma diskinin dış bölgesinden veya her ikisinden de gelebileceği

önerilmektedir. Bu nedenle bu kaynakların optik gözlemleri sistemin evrimi, ikincil bileşenin doğası, disk geometrisi ve kütle aktarım oranı gibi önemli bilgiler sağlamaktadır (Tao ve ark, 2011). Ayrıca ULX'lerin optik karşılığının incelenmesi, bu kaynakların genç yıldız kümeleri ya da yıldız oluşum bölgeleri ile ilişkili olduklarını ortaya koymaktadır (Grise ve ark, 2008; Feng ve Soria 2011; Avdan ve ark, 2016).

Bu tez çalışmasında, Chandra ve XMM-Newton X-ışın uydularıyla NGC 4449 ve NGC 4861 galaksilerinde belirlenmiş ULX'lerin optik gözlem verileri için Hubble Uzay Teleskobundan (Hubble Space Telescope, HST) alınan arşiv görüntüler kullanılmıştır. Çalışmamızda ULX'lerin optik karşılıkları belirlenmiş ve fotometrik özellikleri ayrıntılı olarak çalışılarak yakın çevrelerindeki yıldız kümeleri ya da yıldız grupları ile ilişkileri tartışılmıştır. Ayrıca Chandra ve XMM-Newton uydularının yeni (henüz kullanılmamış) arşiv verileri analiz edilerek ULX'lerin X-ışın özellikleri önceki çalışmalarla karşılaştırılmıştır.

NGC 4861 ULX-1 ve ULX-2 için Chandra, SDSS ve HST görüntüleri kullanılarak yapılan astrometrik düzeltme sonucu ULX-1'in optik karşılığı galaksideki yoğun HII bölgesi ile eşleştiğinden ayrık bir kaynak tanımlanamamıştır. Ancak ULX-2 için yarıçapı 0.28" olan bir daire içerisinde olası iki optik aday belirlenmiştir. Farklı filtrelerde HST verileri analiz edilerek çift sistemden gelen optik ışımının kaynağı ve sistemin yapısı incelenmiştir. ULX-2 için optik aday karşılıklarının renk-kadir diyagramları (Color Magnitude Diagram, CMD) ve tayfsal enerji dağılımı (SED) oluşturularak ikincil bileşenin olası yaş, kütle değeri, tayfsal tipi ve küme ile ilişkisi belirlenmiştir. NGC 4449 ULX-1 benzer şekilde Chandra ve HST görüntüleri kullanılarak yapılan astrometrik düzeltme sonucu yarıçapı 0.2" olan bir daire içerisinde olası üç optik aday belirlenmiştir. Optik adaylar için CMD ve SED oluşturularak ikincil bileşenin olası yaş, kütle değeri, tayfsal tipi ve küme ile ilişkisi belirlenmiştir. $H\alpha$ görüntüleri incelendiğinde ULX-1'in yoğun bir iyonize hidrojen (HII) bölgesinde bulunduğu belirlenmiştir.

Yeniden analiz edilen X-ışın arşiv verileri sonucu elde edilen X-ışın enerji tayfına uyan model parametreleri göz önüne alınarak kaynakların olası ışınma mekanizması değerlendirilmiş ve önceki çalışmalarda sunulan yorumlarla karşılaştırılmıştır.





TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde, her zaman değerli bilgilerini paylaşan, kullandığı her kelimenin hayatıma kattığı önemini asla unutmayacağım saygıdeğer danışman hocam Prof.Dr. Aysun AKYÜZ'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans eğitimim boyunca yardım, bilgi ve tecrübeleri ile bana sürekli destek olan hocalarım Doç.Dr.Nazım AKSAKER ve Doç.Dr. Yiğit YILDIZ'a çok teşekkür ederim. Ayrıca tezime olan katkılarından dolayı Dr.Öğr.Üyesi.İnci AKKAYA ORALHAN'a teşekkür ederim.

Çalışmalarım boyunca bana her konuda yardımcı olan sürekli desteğini hissettiğim Dr.Şenay AVDAN'a ve tezime katkılarından dolayı Sinan ALLAK'a teşekkürlerimi sunuyorum.

Bu süreçte yanımda olan, bana yol gösteren ve her konuda yardımlarını esirgemeyen 'dostum' Serhan ANAGÜL'e ve UZAYMER'de benimle birlikte çalışan yanımda olan arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunuyorum.

Son olarak, hayatım boyunca her zaman yanımda olan bu süreçte maddi manevi desteklerini hiç esirgemeyen canım annem Gülşen ÖZDOĞAN'a, babam Ziya ÖZDOĞAN ve kız kardeşim Ceren ÖZDOĞAN'a; beni hiç yalnız bırakmayan sevgili eşim Mehmet ELA'ya sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

İÇİNDEKİLER	SAYFA
ÖZ	I
ABSTRACT.....	II
GENİŞLETİLMİŞ ÖZET	III
TEŞEKKÜR.....	VII
İÇİNDEKİLER	VIII
ÇİZELGELER DİZİNİ	X
ŞEKİLLER DİZİNİ	XII
SİMGELER VE KISALTMALAR	XVI
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	5
3. MATERYAL VE METOD.....	15
3.1. X-ışın Çiftleri ve Madde Aktarımı	15
3.2. X-ışın Uyduları: XMM-Newton ve Chandra	17
3.3. X-Işın Görüntüleme Ve Tayfsal Özellikleri.....	22
3.4. X-Işın Veri İndirgeme.....	25
3.5. Hubble Uzay Teleskobu (Hubble Space Telescope, HST).....	29
3.5.1. İleri Tarama Kamerası (Advanced Camera for Surveys, ACS)	31
3.5.2. Geniş Alan Kamerası 3 (Wide Field Camera 3, WFC3).....	32
3.6. ULX'lerin Optik Işımasının Fotometrik ve Tayfsal Özellikleri	34
3.7. Optik Gözlem Veri İndirgeme	35
3.8. Galaksi NGC 4861 (Mrk59) 'in Genel Özellikleri.....	37
3.9. Galaksi NGC 4449'un Genel Özellikleri	39
4. ARAŞTIRMA VE BULGULAR	41
4.1. ULX'lerin X-Işın Veri Analizleri	41
4.2. Astrometrik Düzeltme Hesaplamaları.....	52
NGC 4861 ve NGC 4449 Galaksilerindeki ULX'lerin HST Veri Analizi ..	58
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	85

KAYNAKLAR.....	91
ÖZGEÇMİŞ.....	105



ÇİZELGELER DİZİNİ

SAYFA

Çizelge 3.1. XMM-Newton gözlemeviden alınan NGC 4449 ve NGC 4861 arşiv verileri.....	26
Çizelge 3.2. Chandra Gözlemeviden alınan NGC 4449 ve NGC 4861 arşiv verileri.....	27
Çizelge 3.3. NGC 4449 ULX-1 HST/ACS ve HST/WFC3' den alınan gözlem verileri.....	37
Çizelge 3.4. NGC 4861 ULX-1 ve ULX-2 HST/ACS ve HST/WFC3 gözlemleri.....	37
Çizelge 3.5. NGC 4861 ve NGC 4449 galaksisinin genel özellikleri.....	39
Çizelge 4.1. NGC 4449 ULX-1'in X-ışın tayfına en iyi uyum veren PL model parametreleri.....	44
Çizelge 4.2. NGC 4449 ULX-1'in X-ışın tayfına en iyi uyum veren DISKBB model parametreleri.....	44
Çizelge 4.3. NGC 4861 ULX-1'in X-ışın analizi sonucu iyi uyum veren PL model parametreleri.....	48
Çizelge 4.4. NGC 4861 ULX-1'in X-ışın analizleri sonucu iyi uyum veren PL+DISKBB model parametreleri.....	48
Çizelge 4.5. NGC 4861 ULX-1'in X-ışın analiz sonucu iyi uyum veren PL+DISKPBB model parametreleri.....	49
Çizelge 4.6. NGC 4861 ULX-2'nin X-ışın analizleri sonucu iyi uyum veren PL model parametreleri.....	50
Çizelge 4.7. NGC 4861 ULX-2'nin X-ışın analiz sonucunda iyi uyum veren DISKBB model parametreleri.....	50
Çizelge 4.8. NGC 4861 ULX-2'nin X-ışın analizi sonucu en iyi uyum veren DISKPBB model parametreleri.....	51
Çizelge 4.9. Chandra ve SDSS görüntülerinde eşleşen kaynakların koordinat değerleri arasındaki uzaklıklar ve uzaklık farkları.....	53

Çizelge 4.10. HST ve SDSS görüntüsünde eşleşen kaynakların koordinat değerleri arasındaki uzaklıklar ve uzaklık farkları.....	53
Çizelge 4.11. ULX'lerin düzeltilmiş yeni konumları.....	54
Çizelge 4.12. NGC 4861 ULX-2'de optik adayların HST/WFC3 verilerinden elde edilen parlaklıkları ve kızarmadan arındırılmış değerler.....	61
Çizelge 4.13. NGC 4861 ULX-2'de optik adayların HST/ACS verilerinden hesaplanan parlaklıkları ve kızarmadan arındırılmış değerler.....	61
Çizelge 4.14 NGC 4861 HST filtrelerinin galaktik sönmleme değerleri.....	67
Çizelge 4.15. NGC 4861 ULX-2 optik adayların pivot dalga boyu, hesaplanan akıları.....	68
Çizelge 4.16. NGC 4449 ULX-1 HST/ACS verileri ile elde edilen parlaklıklar.....	71
Çizelge 4.17. NGC 4449 ULX-1 HST/ACS verileri ile hesaplanan kızarmadan arındırılmış renk indisleri ve mutlak parlaklık değerleri.....	72
Çizelge 4.18. NGC 4449 ULX-1 HST/WFC3 verileri ile hesaplanan parlaklıklar.....	72
Çizelge 4.19. NGC 4449 ULX-1 HST/ACS, HST/WFC3 filtrelerinde hesaplanan akıları.....	79
Çizelge 4.20. NGC 4449 galaksisinde seçilen alan yıldızlarının HST/ACS, HST/WFC3 filtrelerinde hesaplanan akıları.....	81

ŞEKİLLER DİZİNİ

SAYFA

Şekil 3.1. X-Işın çifti şematik gösterimi (phys.org).....	16
Şekil 3.2. Roche şişimi dolan ikincil yıldızın birincil yıldıza madde aktarımı şematik gösterimi.	17
Şekil 3.3. X-ışın Teleskoplarında X-ışınlarının yolu.	18
Şekil 3.4. XMM-Newton uydusunun teleskop modülünün şematik bir gösterimi	20
Şekil 3.5. Chandra Uzay Aracı ve bilimsel aletleri.....	21
Şekil 3.6. ACIS odak düzleminin şematik bir çizimi.....	22
Şekil 3.7. ULX kaynağı ve Galaktik kara delik X-ışın çiftlerinde farklı tayfların karşılaştırılması	24
Şekil 3.8. NGC 4861 D ₂₅ alanında bulunan X-ışın kaynakları.	28
Şekil 3.9. Zamana göre D ₂₅ alanına düşen 6 kaynağın HR gösterimi.....	29
Şekil 3.10. HST uzay teleskobu ayna düzeni.....	30
Şekil 3.11. Bu şemada Hubble'ın bilimsel aletlerinin teleskopun içindeki yerleri gösterilmektedir.....	31
Şekil 3.12. CCD kamera ACS'nin en hassas ve en önemli parçalarından biridir	32
Şekil 3.13. UVIS ve IR dedektörleri için QE ve dalgaboyu eğrisi.	33
Şekil 3.14. NGC 4861'in R-bandı (solda) ve sürekli ışımaya-çıkarılmış H α (sağda) görüntüleri.....	38
Şekil 3.15. Dört renkli (F435W (B), F555W (V), F814W (I) ve F658N (H α))NGC 4449'un görüntüsü	40
Şekil 4.1. NGC 4449 XMM-Newton XM1'in EPIC pn renklendirilmiş görüntüsünde ULX-1'in konumu ve çevresinin ayrıntılı görüntüsü.	42

Şekil 4.2. NGC 4449 ULX-1'in XM3 veri seti kullanılarak elde edilen enerji tayfı. Burada uygulanan model en iyi uyum veren PL modelidir.....	45
Şekil 4.3. NGC 4449 ULX-1'in XM3 veri seti kullanılarak elde edilen enerji tayfı. Burada uygulanan model en iyi uyum veren DISKBB modelidir.....	45
Şekil 4.4. NGC 4449 ULX-1'in akı değerlerinin zamana göre değişimi.	46
Şekil 4.5. NGC 4861 Chandra C1 görüntüsünde ULX-1 ve ULX-2'nin konumu.....	47
Şekil 4.6. NGC 4861 ULX-1'in XM1 veri seti kullanılarak elde edilen enerji tayfı. Burada uygulanan model en iyi uyum veren PL modelidir.....	49
Şekil 4.7. NGC 4861 ULX-2'in XM1 veri seti kullanılarak elde edilen enerji tayfı. Burada uygulanan model en iyi uyum veren PL modelidir.....	51
Şekil 4.8. NGC 4861 ULX-1 ve ULX-2 nin akılarının zamana göre değişimi.	52
Şekil 4.9. ULX-1'in HST / ACS F606W üzerindeki konumu. Sarı alan 0.28" hata yarıçapı, kırmızı kutu ise daire içerisinde olası optik karşılıkları göstermektedir.	56
Şekil 4.10. ULX-2'nin HST/ACS F606W üzerindeki konumu. Sarı alan 0.28" hata yarıçapı, kırmızı kutu ise daire içinde olası optik karşılıkları göstermektedir.	56
Şekil 4.11. NGC4449 ULX-1'in HST/ACS F502N,F555W,F658N ve HST/WFC3 F336W daki konumu. Sarı renkli alan 0.2 açı saniyelik hata yarıçapını göstermektedir.....	58
Şekil 4.12. NGC 4861, ULX-1 ve ULX-2 kaynaklarının HST/ACS F606W filtresindeki konumu.....	59

Şekil 4.13. HST/WFC3 F487N,F547M ve F814W filtrelerinde NGC 4861 ULX-2'nin hata yarıçapı 0.28" daire içerisinde belirlenen optik adaylar.....	60
Şekil 4.14. NGC 4861 HST/ACS kamerasındaki F606W,F814W filtrelerindeki ULX-2'nin hata yarıçapı 0.28" daire içerisinde belirlenen optik adaylar.....	60
Şekil 4.15. NGC4861 ULX-2 için ULX sınırda olmak üzere yarıçapı 2.5" olarak seçilen alanda (mavi daire) bulunan kümenin konumu.	64
Şekil 4.16. NGC 4861 ULX-2'nin olası optik karşılıklarının ve yakınındaki yıldız kümesinin V-(V-I) renk-kadir diyagramı. Mavi ve kırmızı yıldızlar sırasıyla kaynak1 ve kaynak2'yi, içi dolu siyah noktalar ise 2.5" olarak seçilen alan içerisinde kalan yıldızlardır.....	65
Şekil 4.17. NGC 4861 galaksisinde ULX-2 sınırda olmak üzere seçilen alanın King profili.....	66
Şekil 4.18. NGC 4861 ULX-2'de optik adayların SED grafikleri. Üst panel Aday 1 için, alt panel Aday 2 için verilmiştir.	68
Şekil 4.19. NGC4449 ULX-1'in HST/WFC3 F336W filtresindeki konumu.....	69
Şekil 4.20. NGC 4449 ULX-1 HST/ACS F435W, F55W, F814W filtrelerinde optik adayların konumu.	70
Şekil 4.21. HST/ACS kamerasında ULX-1 sınırda olmak üzere yarıçapı 1" olarak seçilen alanda bulunan kümenin üç renk gösterimi.	73
Şekil 4.22. NGC 4449 ULX-1'in seçilen alandaki yıldızların ve optik adayların eşyaş çizgilerinden oluşan CMD. Mavi, kırmızı ve yeşil noktalar sırasıyla kaynak1,kaynak2 ve kaynak3' ü temsil etmektedir. Pembe renk ise yarıçapı 1" olarak seçilen daire içinde bulunan kümenin yıldızlarını gösterir.	74

Şekil 4.23. NGC 4449 ULX-1 için seçilen alandaki yıldızların ve optik adayların eşyaş çizgilerinden oluşan CMD. Mavi, kırmızı ve yeşil noktalar sırasıyla kaynak1,kaynak2 ve kaynak3' ü temsil etmektedir. Pembe renk ise yarıçapı 1" olarak seçilen daire içinde bulunan kümenin yıldızlarını gösterir.	75
Şekil 4.24. NGC 4449 ULX-1 yarıçapı 0.2" olan alan içerisinde bulunan üç optik aday kaynak için kütle eşyaş çizgilerine göre CMD.	76
Şekil 4.25. NGC 4449 ULX-1 sınırda olmak üzere seçilen alanın King profili.	77
Şekil 4.26. NGC 4449 ULX-1'in optik adaylar için oluşturulan SED.....	78
Şekil 4.27. HST/ASC F435W filtresinde NGC 4449 ULX-1'in yakınında seçilen alan yıldızları.	80
Şekil 4.28. NGC 4449 ULX-1'in yakınındaki alan yıldızlarının SED.	82
Şekil 4.29. NGC 4449 H α renklendirilmiş görüntüsü. Pembe çizgiler ULX-1'in konumu. Yeşil kontur eş parlaklık seviyelerini göstermektedir.	83
Şekil 4.30. NGC 4449 H α görüntüsünde beyaz daire içindeki alan kaynak ve çevresini içine alacak şekilde seçilen 40 piksellik alandır. Siyah daireler alan yıldızlarını. mavi daire ULX'in konumunu gösterir.	83

SİMGELER VE KISALTMALAR

AGN	: Aktif galaksi çekirdekleri (Active Galactic Nuclei)
BHB	: Karadelik çifti (Black hole binary)
DBB	: Disk kara cisim (Disk blackbody)
HMXB	: Büyük kütleli X-ışın çiftleri
IMBH	: Orta kütleli karadelik (Intermediate-mass black hole)
keV	: Kilo elektronvolt
LMXB	: Küçük kütleli X-ışın çiftleri
M_{\odot}	: Güneş kütlesi
Mpc	: Mega parsek
Myıl	: Milyon yıl
NS	: Nötron yıldızı (Neutron star)
ULX	: Aşırı parlak X-ışın kaynağı
μJ	: Mikro Jansky
Γ	: Tayfsal foton indisi (Spectral photon index)
L_x	: X-ışın ışıma gücü
erg	: Enerji Birimi
s	: Saniye
d	: Uzaklık



1. GİRİŞ

Aşırı Parlak X-ışın Kaynakları (Ultraluminous X-ray Sources, ULXs), henüz Samanyolu galaksimizde gözlenmemesine rağmen uzak galaksilerde gözlenen X-ışın çift sistemleridir. İkincil yıldızdan sıkı (compact) cisim (bir karadeliğe veya bir nötron yıldızı) üzerine kütle aktarımı yapan bu sistemler, galaksilerin merkez bölgesi dışında bulunmaktadır. ULX'ler, X-ışın ısıtma (L_x) değeri $>10^{39}$ erg s^{-1} dir. Bu kaynaklar, çift sistemdeki sıkı cismin $10M_{\odot}$ kütleyle sahip bir kara delik ve ışımının izotropik varsayıldığında gözlenen L_x değeri ile Eddington limitini ($1.2 \times 10^{38} M/M_{\odot}$) aşan ısıtmaya sahip galaksi ötesi gök cisimleri olarak tanımlanmaktadır (Feng ve Soria, 2011; Kaaret ve ark, 2017).

ULX'ler, ilk olarak Einstein X-ışını uydusuyla (Fabbiano ve ark, 1989) daha sonra ROSAT ve ASCA X-ışını uyduları tarafından gözlenmiştir (Mizuno ve ark, 1999; Warwick, 2000). 1999 yılında Chandra ve XMM-Newton, 2004 yılında Swift uydusu ve 2012 yılında, yüksek enerjilere oldukça duyarlı detektörlere sahip olan NuSTAR uydusu fırlatılmıştır. Bu uydular, ULX'lerin doğasının ve ışımaya mekanizmasının anlaşılması için yapılan çalışmalarda önemli gelişmeler sağlamıştır.

ULX'lerin yüksek ışımaya gücünün kaynağını ve olası ışımaya mekanizmasını açıklayabilmek için şimdiye kadar farklı modeller önerilmiştir (Feng ve Soria, 2011). Bu modeller arasında en yaygın tartışılardan birisi; sıkı cismin bir yıldız kütleli ($< 10^2 M_{\odot}$) karadeliğe olup, sistemde süper-Eddington yığılma gerçekleştiğini varsaymaktadır. Bir diğer model ise ULX'lerin sıkı cisim olarak orta kütleli ($10^4 - 10^4 M_{\odot}$) bir karadeliğe sahip olduğu ve sistemde sub-Eddington yığılma gerçekleştiğini varsaymaktadır. Ancak 2014 yılında M82 galaksisinde ULX X-2 kaynağından algılanan atımlar (puls) ile sıkı cismin bir nötron yıldızı olduğu keşfedilmiştir (Bachetti ve ark, 2014). Son yıllarda yapılan çalışmalarla pulsasyon yapan ULX sayısı 6'dır. Bazı ULX'lerin sıkı cisim olarak süper Eddington rejiminde yığılma yapan nötron yıldızlarını içerdiğinin belirlenmesi ile $< 2.5 M_{\odot}$

sahip nötron yıldızları içeren çift sistemlerin nasıl bir ışıma mekanizmasıyla bu kadar yüksek değerde X-ışın yayını yapabildiği henüz tam olarak açıklanmamıştır.

Bir kısmı orta ya da küçük kütleli karadelikler bir kısmı nötron yıldızları içeren homojen olmayan bir sınıf olarak önerilen ULX'lerin doğasının anlaşılmasında X-ışın verileri, optik, kızıl-öte ve radyo olmak üzere çoklu dalga boyu gözlemleri önemli katkılar sağlamaktadır. X-ışın verilerinin analizleri ULX'lerde bulunan sıkı cismin kütesinin sınırlandırılması ve madde aktarım sürecinin anlaşılmasında önemli katkılar sağlar (Tao ve ark, 2011). Optik bölgede yapılan gözlemlerle ULX'lerin optik karşılıkları (counterpart) belirlenebilir. Optik yayını, ikincil bileşen yıldızdan veya yığılma diskinden ya da her ikisinden de gelebileceği bilinmektedir. Optik verilerin analizlerinden çift sistemin evrimi, ikincil bileşenin doğası, disk geometrisi ve madde aktarım oranı hakkında önemli bilgiler elde edilebilmektedir (Tao ve ark, 2011). ULX'lerin optik gözlemlerinden, bunların önemli bir kısmının yıldız oluşum bölgelerinde veya yıldız kümelerinin çevresinde bulunmakta olduğunu gösterilmiştir (Poutanen ve ark, 2013). Bazı ULX'lerin kümeden ayrılarak şuanki konuma gelmiş olabileceği tartışılmaktadır (Grise ve ark, 2008; Poutanen ve ark, 2013).

1990 yılında fırlatılan ve görevine hala devam etmekte Hubble Uzay Teleskobu (HST)'nin gözlemleri, ULX'lerin optik karşılıklarını belirlemek için kullanılmaktadır. HST gözlemlerinde, atmosferimizin etkileri olmadığından yer-tabanlı teleskoplara göre çok daha yüksek çözünürlüklü görüntüler elde edilebilmektedir. Bu durum ULX'lerin çok sönük ($m_v > 22$) optik karşılıklarının belirlenmesi ve ayrıntılı fotometrik analizlerinin yapılabilmesini sağlamaktadır. HST uydusunun bir diğer avantajı ise birçok farklı filtrede uzun dönemli gözlem verileri sunmaktadır. Bu da kaynağın ışıma mekanizması ve doğasının anlaşılmasında önemli katkılar sunar.

Bu tez çalışmasında, NGC 4449'daki ULX-1, NGC 4861'deki ULX-1 ve ULX-2, kaynaklarının X-ışın ve optik özellikleri Chandra, XMM-Newton ve HST'nin arşiv gözlemleri ile araştırılmıştır.





2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Aşırı Parlak X-ışın Kaynakları (Ultraluminous X-ray Sources ULXs), yıldız kütleli sıkı (compact) cisimler için yayılım izotropik varsayıldığında X-ışın ışıtmaları Edington limitinin ($L_x \sim 1,38 \times 10^{38} (M/M_\odot) \text{ erg s}^{-1}$) üzerinde olan galaksi ötesi kaynaklardır. $10 M_\odot$ kütleli bir kara delik için X-ışın ışıtmaya değeri, $L_x > 10^{39} \text{ erg s}^{-1}$ ile ULX'ler 'normal' X-ışın çiftleri ve Aktif Galaktik Çekirdekler arasında yeni bir sınıf olarak tanımlanmaktadır.

Einstein Gözlemevi (1978-1982) ile ilk kez, özellikle yıldız oluşum oranlarının yoğun olduğu galaksilerde ve galaksi merkez bölgesi dışında $L_x > 10^{39} \text{ erg s}^{-1}$ ışıtmaya değeri az sayıda kaynak belirlendi (Long, 1981, Fabbiano, 1987). Ancak bu kaynakların yıldız-kütleli Galaktik kara deliklerden, X-ışın patlamaları ya da genç süpernovaları gibi geçici kaynaklardan farklı bir sınıf olup olmadığı belirlenemedi. Sonraki yıllarda, daha iyi tayfsal ve açısal çözünürlüğe sahip X-ışın uydularından ROSAT (1990-1999) ve ASCA (1993-2001) ile elde edilen verilerle yapılan çalışmalar, merkez dışında belirlenen bu parlak kaynakların tipik yıldız kütleli kara deliklerin sahip oldukları ışıma değerinin çok üzerinde olduğunu ve bunların süpernova kaynakları olamayacağını gösterdi (Komossa ve Schulz, 1998; Colbert ve Mushotzky, 1999). 1999 yılında uzaya gönderilen ve halen görevini sürdürmekte olan XMM-Newton ve Chandra uydularının önceki uydulara göre çok daha iyi açısal ve enerji çözünürlükleri ve diğer teknik özellikleri sayesinde ULX'lerin araştırmalarında önemli gelişmeler sağlandı. Ayrıca Suzaku (2005-2015), Swift (2004-) ve NuStar (2012-), uydu verilerden yararlanılarak bu kaynakların tayfsal, zamansal özelliklerinin modellenmesi ve diğer dalgaboylarında (radyo, optik) elde edilen veriler yardımıyla yapılarının anlaşılması astrofizikte güncel problemlerden biridir.

X-ışın çiftleri olan ULX'lerin bileşenleri ve ışıma mekanizması henüz iyi anlaşılmalı bir konu değildir. Bu sistemlerin sıkı cisim olarak bir nötron yıldızı, küçük ya da orta kütleli kara delikler ve farklı kütleli donör yıldızlara sahip karma

yapıda X-ışın çiftleri olabileceği belirtilmektedir. Bu sistemlerin X-ışınlarında yaydığı yüksek enerjili ($>10^{39}$ erg s^{-1}) açıklamaya çalışan farklı modeller önerilmektedir. Bu modeller arasında son yıllarda oldukça yaygın tartışılan iki popüler model vardır. Bunlardan ilki, bu sistemler standart yığılma disklerine sahip (10^2-10^4) M_{\odot} değerinde orta kütleli kara delikler (Intermediate Mass Black Hole, IMBH'ler) içerebilir (Colbert ve Mushotzky 1999). İkinci model; süper Eddington yığılma oranlarında yıldız kütleli kara delikleri (Stellar Mass Black Hole, SMBH) ($\sim 10M_{\odot}$) içerebilir (Poutanen ve ark, 2007). Ancak son yıllarda sayıları 6'yı bulan ULX'lerden algılanan pulslardan ve bu pulsların bunların kaynağının nötron yıldızı olduğunun keşfi ile bazı ULX'in sıkı cisim olarak sadece kara delikleri barındırmadığı anlaşılmaktadır. Pulsasyon (titreşim) yapan ULX'ler (PULXs) olarak tanımlanan bu kaynaklar: M82 X-2 (Bachetti ve ark, 2014), NGC 7793 P13 (Fürst ve ark, 2016; Israel ve ark, 2017), NGC5907 ULX-1 (Fürst ve ark, 2017) ve NGC 300 ULX X-1 (Carpano ve ark, 2018), NGC1313 X-2 (Sathyaprakash ve ark, 2019) ve M51 ULX-7 (Rodriguez Castillo ve ark, 2019)'dir. Bileşenlerden biri nötron yıldızı olan PULX'lerin X-ışınlarında $L_X > 10^{39}$ erg s^{-1} ışıltma değerine nasıl ulaşabildikleri ve bu ışıltmayı nasıl yayımlayabildikleri konusu güncel astrofizik problemlerinden biridir. Çözüm için önerilenler, nötron yıldızının çok yüksek manyetik alan değerine ($B \sim 10^{14}$ G) sahip olma olasılığı (Ekşi ve ark, 2015; Dall'Osso ve ark, 2015; Mushtukov ve ark, 2015) ya da düşük manyetik alan ($B \sim 10^9$ G) ile yığılma diskinin nötron yıldızının yüzeyine kadar uzaması (Kluźniak ve Lasota, 2015) olasılığı üzerine odaklanmaktadır.

X-ışın teleskoplarıyla gözlenen ULX'ler genel özellikleri verilerek kataloglandırılmıştır. Bu katalog çalışmaları X-ışın ışıma mekanizması ve galaktik çekirdeklerin X-ışını özellikleri gibi çeşitli konularda gelecekteki çalışmalara olanak vermektedir. Bu amaçla Chandra gözlemleriyle geniş bir kaynak taraması yapılmış (Liu ve ark, 2011) ve yakındaki (<40 Mpc) 479 X-ışın kaynağı kataloglanmıştır. Bunların sadece 324'ü ULX'tir. Kaynaklar, (0.3-8) keV enerji aralığında $L_X \sim 2 \times 10^{38}$ erg s^{-1} değerinde olanlar aşırı parlak süpersoft kaynağı olarak

sınıflandırılmıştır (Liu ve ark, 2011). Chandra verileri ile uzaklığı $<14,5$ Mpc olan 127 galakside $L_X > 10^{39}$ erg s^{-1} ışıtmaya sahip 107 kaynak ULX olarak kataloglanmıştır (Swartz ve ark, 2011). Daha sonra 2XMM Tesadüfi Tarama (2XMM Serendipitous Survey) ile Parlak Galaksilerin Üçüncü Referans Kataloğu (Third Reference Catalogue of Bright Galaxies) ilişkilendirerek, yakınlardaki gökadalarda yer alan 470 ULX adayından oluşan geniş bir katalog hazırlanmıştır (Walton ve ark, 2011). Yakın kızıl ötesi (NIR) bölgede ULX'ler için ilk sistematik araştırma yapılmış ve < 10 Mpc uzaklıklarda 37 galakside 62 ULX ten 17 aday NIR karşılık belirlenmiştir (Heida ve ark, 2014). Son yıllarda Earnshaw ve arkadaşları (2019) çok daha geniş kapsamlı bir çalışma ile XMM-Newton verilerini kullanarak diğer galaksilerde ve galaksilerin merkez bölgesinin dışında bulunan X-ışın kaynaklarının katalogunu hazırlamıştır. Katalog 1314 kaynak içermekte ve bunların 384'ü ULX aday olarak tanımlanmaktadır.

Çalışmalar, ULX'ler hem eliptik galaksilerde hem de sarmal/ düzensiz galaksilerde bulunduğunu göstermektedir. Ancak, en parlak olanları ağırlıklı olarak yıldız oluşum oranı yüksek olan (starburst) galaksilerde bulunur. Eliptiklerde bulunan ULX'lerin üçte ikisinden fazlası, $L_X = 2 \times 10^{39}$ erg s^{-1} ile en düşük parlaklık aralığındadır (Feng ve Soria, 2011). Sarmal galaksilerde ise, ULX'lerin üçte biri $(4-5) \times 10^{39}$ erg s^{-1} parlaklık değerine sahiptir ve yaklaşık %10'unda ise ışıtmaya 10^{40} erg s^{-1} değerindedir (Swartz ve ark, 2011; Walton ve ark, 2011). Erken tip sarmal galaksilerde ULX'ler bulunurken, geç tiplerde biraz daha fazla ULX'ler bulunmuştur (Feng ve Soria, 2011, Swartz ve ark, 2011).

ULX'lerin X-ışınlarında doğasının anlaşılması için yapılan tayfsal ve zamansal analiz sonuçları bazı durumlarda tartışmalı olmakla birlikte kaynak ayrıntılı bir şekilde araştırılmaya ve modellenmeye devam edilmektedir. X ışını çalışmalarının çoğu, yakın galaksilerde (< 10 Mpc) parlak ULX'lere odaklanmaktadır. Çünkü bunlar yüksek sinyal gürültü oranına sahip ve tayfsal, zamansal değişim analizleri yapılabilen kaynaklardır.

Gladstone ve arkadaşları (2009), iyi bilinen 11 ULX'in XMM-Newton verileriyle X-ışın tayfsal analizlerini gerçekleştirmiştir. ULX'lerin ışıma mekanizmasının yorumlanmasında yaygın olarak kullanılan basit tayfsal modellerin (güç yasası (PL) ve çok renkli diskli kara cisim modelleri (MCDB) yetersiz olduğunu bunun yerine, disk modeli ile birlikte Comptonized korona modellerinin daha iyi uyum verdiğini ancak korona sıcaklığının daha düşük ve optiksel derinliğin Galaktik çift sistemlerle karşılaştırıldığında çok daha fazla olduğunu belirtmektedirler. Bu durumun süper Eddington yığılma akışlarını temsil ettiğini ve yığılma diskinden gelen rüzgarın çok güçlü olacağını ve iç diskin büyük bir fotosferik yarıçapta soğuk tayfsal bileşeni üreteceğini önermektedirler.

NGC 5204 (ULX-1), Holmberg II (ULX-1), IC 342 (ULX-1 ve ULX-2), Antennae (ULX-11, ULX-16, ULX-42 ve ULX-44) galaksilerinde belirlenen ve ışıma güçleri 10^{40} erg s^{-1} olan ULX'lerin tayfsal özellikleri incelenmiştir (Feng ve Karet, 2009). Bunun için, kaynakların XMM-Newton veri arşivinde bulunan farklı zamanlı gözlem verileri kullanılmıştır. Her bir kaynağın X-ışın tayfına farklı modeller uygulanarak sıcaklık (kT), PL foton indisi (Γ), ışıma gücü (L) gibi model parametreleri arasındaki ilişki incelenmiştir. Antennae galaksilerindeki ULX'lerin sert (hard) duruma uygun foton indis değerlerine ($\Gamma \sim 1.1 - 2.2$) sahip olduğunu belirlemişlerdir. IC 342 X-2 kaynağının tayfında, açıklaması zor bir yumuşak yapıya sahip olduğunu ve X-1 kaynağının ise NGC 1313 X-2'dekine benzer şekilde, ışıma gücü ve disk sıcaklığı arasında negatif bir bağıntı ($L_{\text{disk}} \propto T^{-\alpha}$) sergilediğini belirtmişlerdir. NGC 5204 ULX-1 için kaynak yayını standart veya yarı standart bir yığılma diskinde bağlı olarak yorumlanır. Böylece sıkı cismin kütlesi için alt sınır $M > 80 M_{\odot}$ olarak hesaplanmıştır.

NGC 4861 galaksisinde Chandra ve XMM-Newton gözlemleriyle ULX-1 ve ULX-2'nin X-ışın özellikleri incelenmiştir (Thuan ve ark, 2014). X-ışın akıları incelendiğinde ULX-2 son 10 yılda çok az değişkenlik gösterirken, ULX-1 aynı dönemde ~ 4 çarpan değişkenlik göstermiştir. NGC 4861'in dört veri seti (1 Chandra, 3 XMM-Newton) analiz edildiğinde ULX-1 ve ULX-2 (0.5-10) keV

enerji aralığında ışınma gücü $\approx (2-9) \times 10^{39} \text{ erg s}^{-1}$ olarak hesaplanmıştır. İki parlak X-ışın kaynağı, yoğun HII bölgeleri ile uzaysal olarak çakışır. X-ışın tayfsal ve değişkenlik özellikleri her iki durumda da büyük kütleli X-ışın çiftleri (High Mass X-ray Binary, HMXB) olma olasılığını desteklemektedir. Bu nedenle, yoğun HII bölgelerine olan yakınlıkları, hem kendilerinin hem de karşılıklarının oldukça genç ve kütleli olduğu şeklinde yorumlanmaktadır.

M83 ULX-1'in Swift, Chandra ve XMM-Newton gözlemleri inceleyen Soria ve arkadaşları (2015), kaynağın bir dönemden sonra parlama yaparak ışınma gücünün arttığını belirtmişlerdir. Kaynağın parlama yapmasından itibaren 4 yıl süresince parlak durumda kaldığını ve M83 galaksisindeki en parlak noktasal kaynak olduğunu belirtmişlerdir. Tayfsal analiz için yeterli istatistiğe sahip farklı zamanlardaki XMM-Newton verileri ile tayfsal analiz için yeterli istatistiğe sahip farklı zamanlarda alınmış 3 veri setine disk modeli uygulanmış ve belirlenen parametreler ile sistemdeki karadeliğin $10 - 20 M_{\odot}$ aralığında bir kütle değerine sahip olabileceği tartışılmıştır.

NGC 925 galaksisinde X-1 ve X-2 olmak üzere iki ULX'in iyi istatistiğe sahip ve eş zamanlı alınmış XMM – Newton ve NuSTAR verilerinin analizleri Pintore ve arkadaşlarının (2018) çalışmasında sunulmuştur. XMM-Newton, NuSTAR tayfı X-1 kaynağının belirgin bir yüksek enerji kesilimi (cut-off) ile sert bir tayfsal duruma sahip olduğunu ve böyle bir tayfsal durumun genişletilmiş disk (broadened disc) ULX'leri sınıfına dahil olduğunu belirtmişlerdir. Yapılan ayrıntılı inceleme ile özelliklerinin tipik bir yıldız kütleli karadeliğe üzerine super-Eddington yığılma gösteren ULX'lerin özelliklerine daha yakın olduğu ve hatta X-ışın renk-kadir diyagramında X-1'nin konumu iyi bilinen diğer ULX'ler ile karşılaştırıldığında PULX'lere daha yakın olduğu ve X-1'nin sıkı cisim olarak bir nötron yıldızı içeren ULX adayı olabileceği belirtilmiştir. X-2 kaynağının tayfsal sınıflandırılmasının daha belirsiz olduğu ancak tayfsal/zamansal özellikleri orta kütleli bir kara delik üzerine yığılmayı işaret etmediği belirtilmektedir (Koliopanos

ve ark, 2017; Pintore ve ark, 2018; Walton ve ark, 2018b; Mushtukov ve ark, 2018).

X-ışın gözlemlerinin yanında optik gözlemlerinin yapılması ULX'lerin ısıtma mekanizmasının anlaşılmasında önemlidir. Optik dalga boyunda kaynakların karşılıklarının belirlenmesi ve bu kaynakların özelliklerinin incelenmesi ULX çalışmalarına önemli katkı sağlamaktadır. Günümüze kadar ~ 20 ULX'in optik karşılığı ya da adayları, HST, yer tabanlı optik teleskoplar ve kızılöte teleskoplar kullanılarak belirlenmiştir (Grise ve ark, 2008; Yang ve ark, 2011; Gladstone ve ark, 2013; Motch ve ark, 2014; Fabrika ve ark, 2015; Avdan ve ark, 2016b; Urquhart ve Soria 2016; Vinokurov ve ark, 2018; Avdan ve ark, 2019; Aksaker ve ark, 2019). Optik karşılığın yaşı, kütlesi, tayfsal sınıfı gibi özelliklerinin belirlenmesi çift sistemin özelliklerini anlamamıza yardımcı olabilir.

HST ve Chandra Gözlemevi'nden alınan arşiv verileriyle NGC 5204 ULX-1'in optik karşılığı tanımlanmıştır (Liu ve ark, 2004). Optik karşılığın, tayfsal enerji dağılımı ile bir O5V, O7 III veya bir B0 Ib yıldızı olduğu gösterilir. Farklı tayfsal tiplerdeki O / B yıldızlarını ayırt etmek için MAMA FUV tayf gözlemleri HST/STIS tarafından alınmıştır. Bu kaynağın uzak ultraviyole (FUV) tayfı, NV $\lambda 1240$ yayını çizgisi göstermekte ancak bu çizginin B tipi yıldızlarda yaygın olarak gözlemlenmediğini belirtmişlerdir. Bunun yanı sıra bu durum X-ışın ısıtmasına sahip diskler için öngörülür ve bazı X-ışın çiftlerinde görülebilir. FUV tayfının incelenmesi, B0 Ib süperdevin Roche şişiminin taşıdığı ve muhtemelen sıkı cisim bir kara delik olan, madde yığılması gerçekleşen ikili bir model ile açıklanır (Liu ve ark, 2004; Feng ve ark, 2004; Madhusudhan ve ark, 2008).

ULX'lerin, bir donör (kütle aktaran) yıldız ve bir sıkı cisim (kütle alan yıldız) içeren çift sistemler olduğunu varsayılarak, bu sistemler büyük kütleli veya küçük kütleli X-ışın çiftleri olarak sınıflandırılır. HMXB yaşları $<10^7$ olan genç yıldız popülasyonlu, O/Be tayf türünden yıldızları barındırır. Küçük kütleli X-ışın çiftlerinde (Low Mass X-ray Binary, LMXB), yaşları $>10^9$ olan yaşlı yıldız popülasyonlu, erken tayf türü yıldızları barındırır. HMXB'lerde madde aktarımı

yıldız rüzgarlarıyla, LMXB'lerde madde aktarımı Roche şişimi ile gerçekleşir (Giovannelli ve Sabau-Graziati, 2003).

M101 ULX-1'in HST ve Chandra ACIS-S görüntüleri karşılaştırılarak optik karşılığı tespit edilmiştir (Kuntz ve ark, 2005). Optik karşılığı $V=23.75$ kadir ve B süperdev olarak tanımlanır. Bu tanımlama Gemini teleskobuna takılı Çok Nesneli Spektrograf (Gemini Multi-Object Spectrograph, GMOS) gözlemleri ile HeII 4686, HeI 5876 yayının çizgileri belirlenmiş ve bu sonuçlar belirlenen optik karşılıkların ULX'lere işaret ettiğini göstermektedir. M101 ULX-1, ışımaya gücü (10^{36} erg s^{-1}) yumuşak olmasına rağmen, süper devler içeren tipik HMXB dir.

IC 342 ULX-1' in olası optik karşılığı olup olmadığını anlamak için HST ve Chandra gözlemeviden alınan veriler kullanılmıştır. Chandra ve HST görüntüleri arasında iki ön alan yıldızı kullanılarak görelî astrometrik düzeltme yapılmıştır. Hata yarıçapı 0.2" olan daire içerisinde bulunan iki optik aday tespit edilmiş ve bu adayların tayfsal tipleri F8-G0 Ib süperdevi olarak tanımlanmıştır (Feng ve Kaaret, 2008).

ULX'lerden gelen optik ışımının kaynağının çift sistemdeki ikincil bileşenden, doğrudan yığılma diskinden, diskin iç bölgesinden dış bölgesine doğru yayılan X-ışınlarının dış bölgeyi ısıtarak tekrar ışımaya oluşturmamasından ya da bu durumların kombinasyonu olabileceği önerilmektedir (Tao ve ark, 2011).

Yakın galaksilerde (<5 Mpc) HST ile gözlenen ULX'lerin optik karşılıklarının fotometrik analizi sunulmuştur (Gladstone ve ark, 2013). Bu sistemlerin optik karşılıklarını bulma şansını en üst seviyeye çıkarmak için araştırmalar yakınlardaki galaksilere odaklanmıştır. HST ve Chandra arşiv verilerine sahip 33 ULX'den 9'unun görünür bir karşılığı yoktur. Kalan 22 ULX'den 13 ± 5 'nin gerçek karşılıklar olduğu tahmin edilmiştir. Optik karşılıkların tek bir yıldız tipi olmadığı belirtilmiştir. Yapılan sınıflandırmalar, mavi OB yıldızlarından kırmızı M tiplerine kadar geniş bir aralıktan anakoldan süperdevlere kadar değişmektedir.

ULX'lerin yıldız kütleli ya da orta kütleli kara delikleri içerdiğinin belirlenmesi yalnızca yörünge periyotları ve dinamik kütleler ölçülerek çözülebilir. Bununla birlikte, çoğu ULX'in optik dalgaboylarında sönük, olması ≥ 8 metrelik teleskoplar kullanılsada, orta çözünürlüklü tayf görüntüleme için oldukça zordur. Yakın sarmal gökada NGC 7793'de (3.9 Mpc) ULX kaynağı P13'ün optik karşılığı belirlenmiştir. Diğer yakın galaksilerde ULX'in benzerlerinden on kat daha parlak bir ($V \sim 20.5$) kaynaktır. Optik karşılığı olan yıldızın tayfsal tipini ve çift sistemin dinamik kütlelerini ölçmek amacıyla ESO-VLT ile 2008 ve 2009 yıllarında alınan optik tayf, 10 ile 20 M_{\odot} arasında kütleli bir B tipi süperdev yıldız olduğunu ayrıca da, yüksek dereceli (high order) Balmer, He I ve Mg II yayınım çizgilerinin varlığını ortaya koymaktadır. Bu çizgiler hem karşılık yıldızın tayfsal tipinin hem de ışım sınıfının güvenilir bir gösterimini sağlar. Aynı zamanda doğru yörünge hızlarını ölçmek için araçlar sunar (Motch ve ark, 2011).

Birçok parlak ULX'in uzaysal olarak optik bir bulutsu ile ilişkili olduğu bulunmuştur. NGC 5408 ULX-1'in Chandra gözlemleri ile ULX etrafındaki optik bulutsu araştırılmıştır. ULX'in yakınında OB oymağının kaynakla ilişkisi belirlenmiştir. Eğer donör yıldız Roche lobunu doldurursa, böyle bir yıldızın düşük yoğunluklu olması gerektiği ve bu nedenle dev veya süperdev yıldız olacağı önerilmiştir (Kaaret ve ark, 2006). Donör yıldızların doğası hakkındaki diğer kısıtlamalar, çevreleri üzerinde yapılan çalışmalara dayanmaktadır (Grise ve ark, 2012).

İstatistiksel olarak, ULX'ler çoğunlukla yıldız oluşum oranı yüksek olan galaksilerde yoğun yıldız kümeleri veya süper yıldız kümeleri yakınında bulunma eğilimindedir ve bu durum ULX'ler ile süper yıldız kümeleri arasında fiziksel (yaş, kütle, ULX'lerin doğum yerleri, oluşum senaryoları) bir ilişki olduğunu gösterir (Frank ve ark, 2002; Kaaret ve ark, 2004, 2017; Poutanen ve ark, 2013).

NGC 1313 ULX-2, ESO VLT ve HST teleskoplarıyla gözlemlenmiş ve bu sistemlerde donör yıldız için yaklaşık 12 M_{\odot} üst sınırlar elde edilmiştir. NGC 1313 ULX-2'nin optik karşılıkları sırasıyla $m_v \sim 22.9$ ve 23.4 parlaklıkta ve $M_v \sim -5$ dir.

Kümenin yaşı 20Myıl olarak hesaplanmıştır. Optik tayfsal analizler kaynakların çevre ile etkileşimi ve ikili sistemin evrimsel sürecini sınırlamak için önemlidir. Ayrıca ULX'in doğum yerlerinin araştırılması, küme ile olan yaşları ve oluşum senaryoları hakkında daha fazla bilgi edinme olanağı sunmaktadır (Grise ve ark, 2008).

Annibalı ve arkadaşlarının (2008) HST'de F435W (B), F555W (V) ve F814W (I) geniş bant filtrelerinde ve F658N (H α) dar filtrede fotometri yapılmıştır. Elde edilen renk-kadir diyagramına göre genç ve orta yaştaki yıldızlar, galaktik merkeze doğru yoğunlaşma eğiliminde olmakla beraber yaşlı yıldızlar her yerde bulunur. Padua eş yaş çizgileri ile karşılaştırılması, NGC 4449'da 40 M $_{\odot}$ kadar büyük yıldızların mevcut olduğunu göstermektedir. Bu kadar yüksek kütleler yıldız oluşumunun ~5Myıl önce aktif olduğunu ve muhtemelen hala devam ettiğini gösterir. Ayrıca, galaksinin batı tarafında, genç yıldızlardan oluşan simetrik sarmal ile çevrili çözülmüş bir yıldız kümesi tespit edilmiştir.

NGC 4490/4485 galaksi çiftinde yedi ULX kaynağından beşinin (X-2, X-3, X-4, X-6 ve X-7) olası optik karşılıklarının tanımlandığı rapor edilmiştir. İki ULX (X-4 ve X-7) için tek bir aday belirlenirken geri kalan üçünün (X-2, X-3 ve X-6) birden fazla karşılığı vardır. Optik karşılıkların özelliklerini ve çevrelerini araştırmak için renk-kadir diagramı kullanılmıştır. X-3, X-4 ve X-7 karşılıklarının yerleri, yakınlardaki bir yıldız grubu ile olası bir ilişki kurarken, diğerleri bir yıldız kümesi veya yıldız grubu ile bir ilişkiye sahip olmadığı belirtilmiştir (Avdan ve ark, 2019).

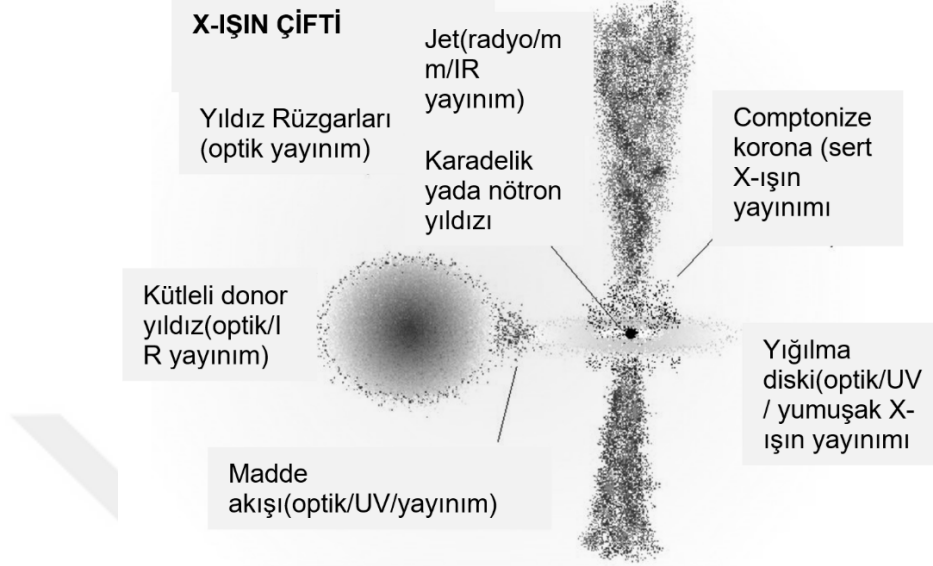
Bu tezde, bazı yakın gökadalarda belirlenen ULX'lerin özellikle madde aktarımı yapan ve sıkı yıldız içeren sistemlerin X-ışın ve özelliklerini araştırmak amaçlanmıştır. Yüksek ışıma değerlerine ($L_X > 10^{39}$ erg s $^{-1}$) sahip bu kaynakların X-ışınlarında tayfsal ve zamansal analizlerini yaparak ışıma mekanizmaları anlaşılmasına çalışılmıştır. İncelenen ULX kaynaklarının uzun süreli X-ışın parlaklık değişimleri incelenmiş ve olası optik karşılıkları belirlenmiştir. Bu optik adayların çevreleriyle olan bağlantıları araştırılmıştır.



3. MATERYAL VE METOD

3.1. X-ışın Çiftleri ve Madde Aktarımı

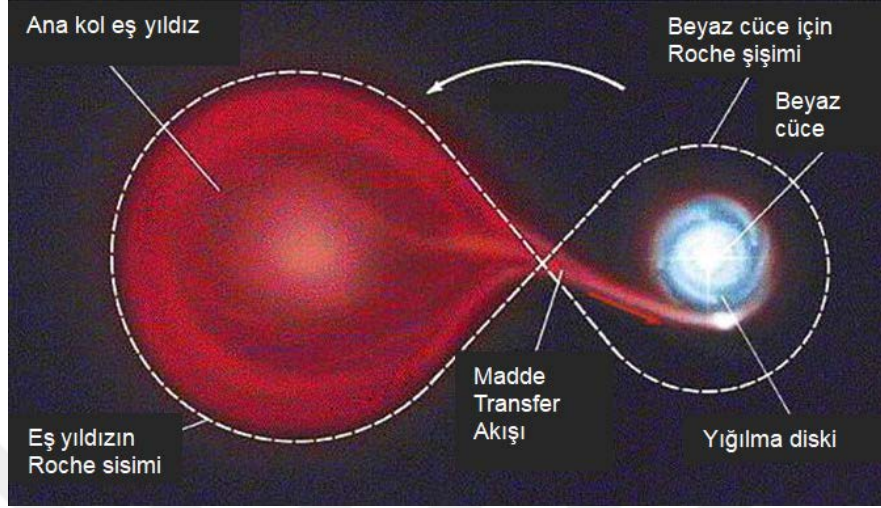
Galaksilerden alınan X-ışın yayını, yıldızlar arası ortamdan ve sıkı cisim içeren X-ışın çiftlerinden yayımlanmaktadır. X-ışın çiftleri, ortak bir kütle merkezi etrafında dolanan iki yıldızdır. Birincil yıldız, nötron yıldızı, beyaz cüce veya kara delik olarak tanımlanan sıkı cisimlerden birini içerir, ikincil yıldız ise genellikle normal bir yıldızdır. Tipik olarak bir çift yıldızın şematik görünümü Şekil 3.1'de verilmiştir. X-ışın yayını ikincil bileşenden birincil bileşene madde aktarımı sırasında serbest kalan kütleçekimsel potansiyel enerjinin maddeyi ısıtması ve ışımanın oluşmasına neden olur. Çift yıldızlar bileşen yıldızların konumlarına göre 3 sınıfa ayrılır: Ayrık Çiftler (Detached Binaries), Yarı Ayrık Çiftler (Semi-Detached Binaries) ve Değen Çiftler (Contact Binaries). Ayrık çiftlerde bileşenlerin ikisi de Roche şişimini doldurmamıştır. Yarı ayrık çift sistemlerde, bileşenlerden biri (genellikle kırmızı dev) Roche şişimini doldurmuşken, diğer bileşen doldurmamıştır. Değen çiftlerde ise her iki bileşen de Roche şişimini doldurmuştur. Roche şişimi, tüm kütleyle bir yıldızla bağlı tutan son eş potansiyel yüzeydir. Çift sistemlerde madde aktarımı iki şekilde gerçekleşebilir. Birincisi, ikincil yıldızın Roche şişimini (lobe) doldurmasıyla sıkı cisim üzerine doğru maddenin aktarılması olayıdır (Şekil 3.2). Bu aktarım Lagrange noktasından (L1) gerçekleşmektedir. L1 noktasının konumu önemlidir, çünkü yıldızın Roche şişiminin hangi noktada taşacağı ile ilgilidir, ancak Roche şişimi bir küre değildir, bu yüzden Roche şişiminin hacmi ile yıldızın hacim genişlemesi uyuşana kadar şişer. Yıldızlardan biri Roche şişimini tam olarak doldururken diğeri daha küçükse, ikili yan yana gelir. Eğer yıldız genişlemeye devam ederse, madde L1'in yakın yüzeyinde toplanır. Bu, hidrostatik dengenin artık mümkün olmadığı ve maddenin L1 noktasından ikincil yıldızın Roche şişimine akması anlamına gelir.



Şekil 3.1. X-ışın çifti şematik gösterimi (phys.org).

Madde aktarımının ikinci durum, yıldız rüzgârlarının etkisiyle ikincil yıldız yüzeyinden sıkı cisme madde aktarılmasıdır (madde yakalaması).

X-ışın çiftleri ikincil yıldızın kütlesine göre ikiye ayrılır: ikincil yıldızın kütlesi $\leq 1M_{\odot}$ ise küçük kütleli X-ışın çiftleri (Low Mass X-ray Binaries, LMXBs) olarak adlandırılmaktadır. Bir X-ışın çift sistemindeki ikincil yıldızın, $10M_{\odot}$ kütlesinden daha büyük bir kütlesi varsa sistem büyük kütleli bir X-ışını çifti (HMXB) olarak bilinir. LMXBs'lerde ikincil bileşen Roche şişimini doldurmuş durumdadır. Sonra açısal momentumun korunumu ile sıkı cismin etrafındaki bir yığılma diskine çekilir. Nötron yıldızı veya kara deliğin kütleçekimine madde yavaşça girdiğinden, X-ışınlarında sistemin çok parlak bir şekilde ışıma yapmasını sağlayacak şekilde milyonlarca Kelvin'e ısıtılır ve X-ışın yayılımı başlar. LMXBs ışımanın neredeyse tamamını X-ışınlarında yayar, bu nedenle X-ışın kaynakları gökyüzündeki en parlak nesnelere arasındadır, ancak optik dalga boyunda sönüktür.



Şekil 3.2. Roche şişimi dolan ikincil yıldızın birincil yıldıza madde aktarımı şematik gösterimi (http://web.pd.astro.it/mapelli/lecture4_mapelli.pdf).

HMXB'ler ise bu sistemlerde belirgin bir yığılma diski bulunmamaktadır. İkincil yıldız O veya B tayf türünde bir yıldızdır. Nötron yıldızına veya kara deliğe kütle transferi, Roche-şişimi taşması yoluyla birincil bileşene madde aktarılmaz, bunun yerine ikincil yıldızdan ışınma basıncı ile madde atılır ve yıldız rüzgarı ile birincil bileşen tarafından yakalanır. Bu nedenle madde sıkı cismin üzerine doğrudan düşer ve yığılma diski oluşmaz. Bu yayınının büyük çoğunluğu X ışınlarına dönüştürülür. Optik bölgede de gözlenebilmektedir.

3.2. X-ışın Uyduları: XMM-Newton ve Chandra

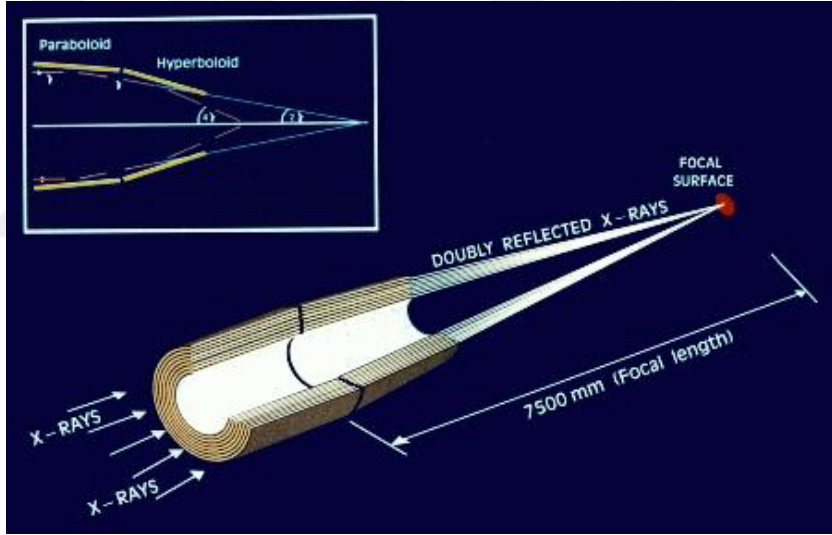
Avrupa Uzay Ajansı'nın (ESA) XMM-Newton (X-ray Multi Mirror Mission) gözlemevi, 10 Aralık 1999'da Ariane 504 tarafından fırlatıldı. Fizikçi ve astronom Sir Isaac Newton anısına atfedilen uzay aracı, yıldızlararası X-ışını kaynaklarını araştırmak, dar ve geniş aralıklı dalgalı boylarında tayfsal gözlemler yapmak ve mevcut optik teleskop ile cisimlerin eşzamanlı X-ışın ve optik gözlemlerini yapmakla görevlendirilmiştir. Yüksek enerjili X-ışın fotonları aynalar

yardımı ile bir noktaya odaklanabilir. Burada önemli olan, fotonların aynaya çarpma açılarıdır (<https://www.cosmos.esa.int/web/xmm-newton>).

XMM-Newton, 600 mm uzunluğunda toplam 306-700 mm arasında değişen 58 silindirik, iç içe geçmiş Wolter Tip-1 aynadan oluşur. Aynalar, en içteki ayna için 0,47 mm kalınlıkta, en dıştaki ayna için 1,07 mm kalınlıktadır ve her ayna arasındaki ayırım en içten en dışa doğru 1,5 ile 4 mm aralığındadır.

(<https://www.cosmos.esa.int/web/xmm-newton/technical-details-mirrors>).

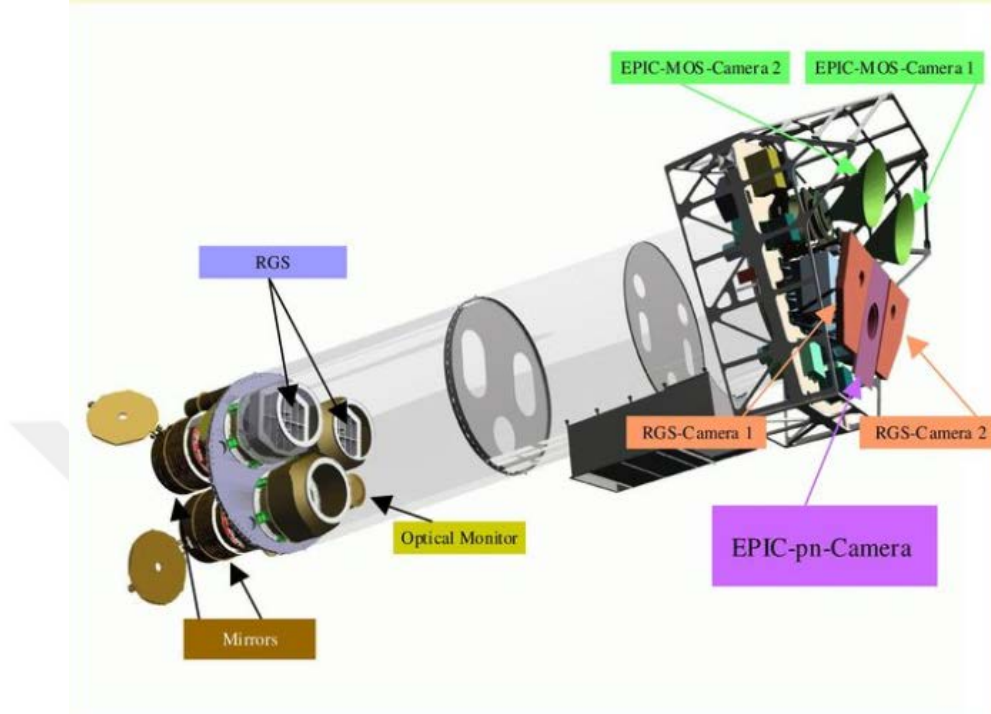
Şekil 3.3'de verilen her ayna modülü iki parçadan oluşmaktadır. Ön parçanın şekli parabol, yan parçanınki ise hiperboldür. Bu yapılandırma X-ışınlarının iki kere yansımını sağlayarak odaklanmasına sebep olmaktadır.



Şekil 3.3. X-ışın Teleskoplarında X-ışınlarının yolu (<http://xmm.esac.esa.int>).

XMM-Newton uzay aracı, Avrupa Foton Görüntüleme Kamerasını, (European Photon Imaging Camera, EPIC) içeren üç adet X-ışını CCD kamera taşımaktadır (Şekil 3.4). İlki pn kamerası olup, XMM-Newton X-ışını teleskobu FOV (field of view) görüş alanı ve 6 x 6 cm'lik bir görüntüleme alanına ve 150 x 150 mikronluk bir piksel boyutuna sahip (4.1 arcsec) ve 120 mikronluk bir konum

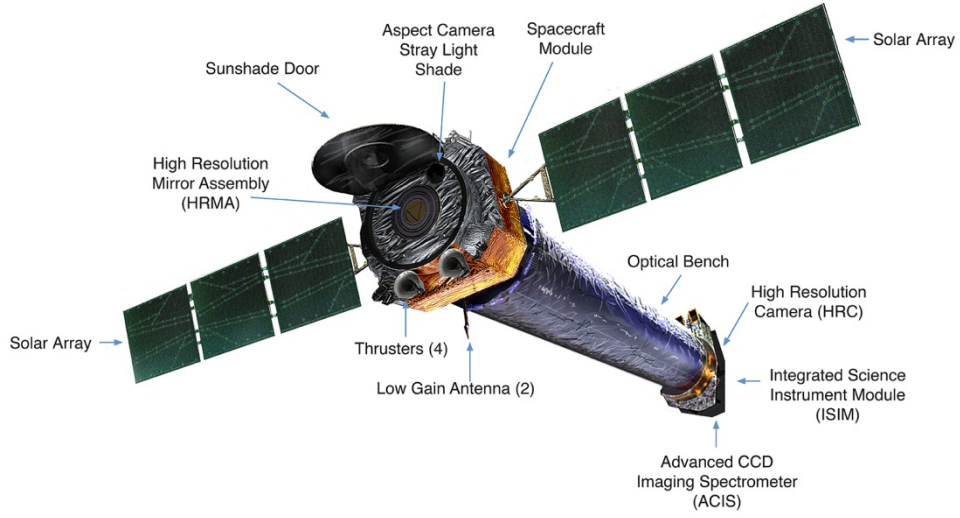
çözünürlüğüne sahip ayna, PSF için tasarlanmıştır. EPIC pn kamerasına gelen X-ışın fotonları herhangi bir engele maruz kalmadan doğrudan dedektöre ulaşmaktadır. Kameralardan ikisi MOS (Metal Oksit Yarı iletken) CCD dizileridir (MOS kameralar olarak adlandırılır). MOS CCD'leri genel olarak (0.2 -10) keV enerji aralığında iyi kuantum verimine sahiptir. Yansıma Izgaralı Spektrometreler'in (Reflection Grating Spectrometers, RGS) bulunduğu X-ışını teleskoplarının arkasına monte edilirler. Izgaralar, teleskoba gelen X-ışın fotonlarının yaklaşık yarısını RGS dedektörlerine doğru yönlendirir, böylece orijinal gelen akının yaklaşık % 44'ü MOS kameralara ulaşır. Üçüncü X-ışını kamerasının odak noktasındaki EPIC cihazı pn CCD'lerini kullanır ve pn kamerası olarak adlandırılır. EPIC kameralar, teleskopun 30 açı dakikalık FOV ve orta seviye tayfsal enerji çözünürlüğü ($E / \Delta E \sim 20-50$), açısal çözünürlük ile (0.15 – 15) keV enerji aralığında hassas gözlem yapma imkanı sunar. (PSF, 6 arcsec FWHM). Ayrıca EPIC dedektörleri ile X-ışınlarının dedektöre varış zamanı, dedektörün hangi algılayıcı kısmına çarptığı ve gelen X-ışınlarının enerjisi tespit edilebilir. Bu çalışmada EPIC pn ve MOS1, MOS2 verileri kullanılmıştır (<https://www.cosmos.esa.int/web/xmm-newton/technical-details>).



Şekil 3.4. XMM-Newton uydusunun teleskop modülünün şematik bir gösterimi (<https://slideplayer.com/slide/13249983/>).

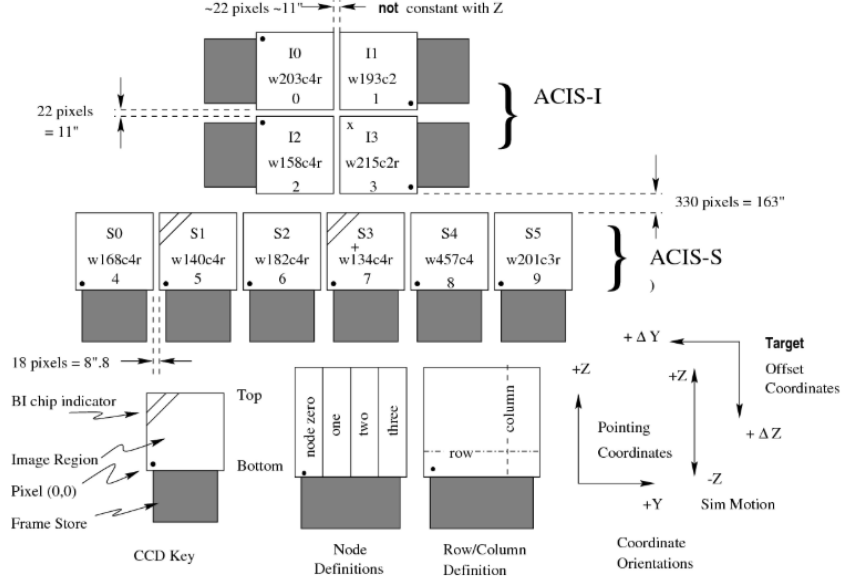
Chandra X-ışını Gözlemevi, 23 Temmuz 1999'da NASA tarafından gönderilmiştir. Chandra teleskobu, aynalarının yüksek açısal çözünürlüğü ile önceki X-ışın teleskoplarından 100 kat daha zayıf X-ışını kaynaklarına karşı hassastır. Şekil 3.5'de verilen Chandra teleskop sistemi, dört çift aynadan ve bunların destek yapısından oluşur. Şimdiye kadar, tüm yüksek çözünürlüklü X-ışını teleskopları gibi Chandra teleskobu da, Wolter tip I geometriye benzer silindirik aynaların iç yüzeylerinden ve sıyırma-yansımadan faydalanır. Gelen X-ışınları, aynalarla odaklanarak düzlem üzerinde, yaklaşık 30 metre uzaklıktaki küçük bir noktaya odaklanır. Gelen X-ışınları, aynaları geçtikten sonra odakta Gelişmiş CCD Görüntüleme Tayfölçeri (The Advanced CCD Imaging Spectrometer, ACIS) ve Yüksek Çözünürlüklü Kamera (The High Resolution Camera, HRC) tarafından yakalanmaktadır. Odak düzlemi aletleri ACIS ve HRC, aynaların oluşturduğu

keskin görüntüleri yakalamak ve gelen X-ışınlarının sayıları, konumları, enerjileri ve geliş zamanları hakkında bilgi vermek için kullanılmaktadır (<https://chandra.harvard.edu/about/>).



Şekil 3.5. Chandra Uzay Aracı ve bilimsel aletleri (<https://chandra.harvard.edu/>).

ACIS, toplam 10 düzlemsel, 1024×1024 piksel CCD içerir (Şekil 3.6). İki bölüme ayrılır: ACIS-I (I: Imaging, görüntüleme) ve ACIS-S (S: Spectroscopy, tayf ölçümü). ACIS-I'da dört çip, en iyi görüntülemeyi sağlayabilmek için bir kare oluşturacak şekilde dizilmiştir. ACIS-S'de 6 çip, tayf ölçümü için lineer olarak dizilmiştir. Bu çalışmada, Chandra ACIS-S ve ACIS-I verilerinden yararlanılmıştır (https://chandra.harvard.edu/about/science_instruments.html).



Şekil 3.6. ACIS odak düzleminin şematik bir çizimi (<https://cxc.harvard.edu/proposer/POG/html/chap6.html>).

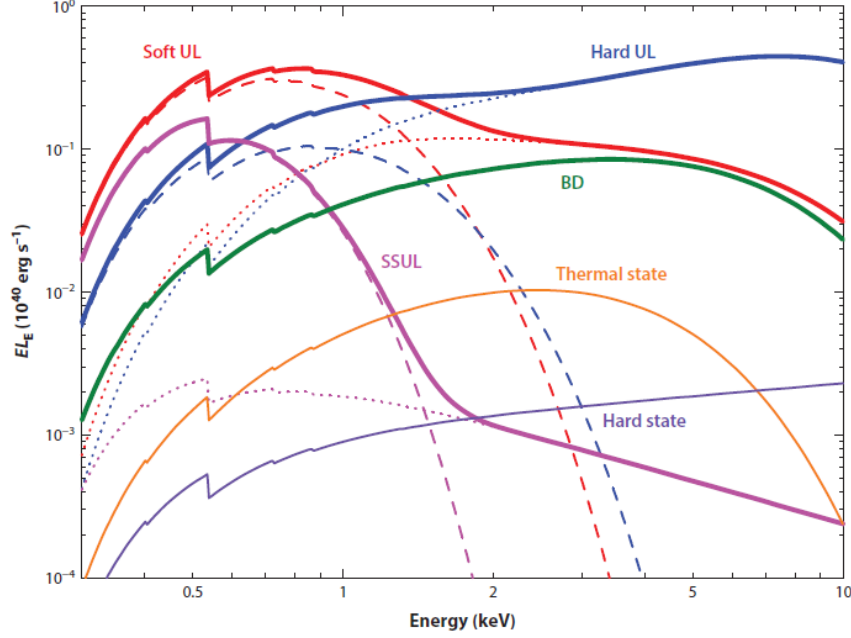
3.3. X-Işın Görüntüleme Ve Tayfsal Özellikleri

Kaynağın ışınım miktarının belirli bir enerji aralığında dağılımı incelenmektedir. XMM-Newton, Chandra ve NuStar gibi X-ışını gözlemevlerinden alınan verilerin tayf analizleri ile X-ışın bölgesinde incelen kaynakların ortamları, madde aktarımı ve sıkı cisim kütlesi gibi önemli bilgiler elde edilmektedir.

Tayfsal analizde, ULX'ler bir sıkı cisme madde aktaran ikincil bileşen yıldızla sahip parlak X-ışın çiftleri sınıfı olduğundan, Galaktik karadelik çiftlerinin (Galactic Black Hole Binary, Galactic BHB) özelliklerinin bilinmesi, ULX'lerin özelliklerinin yorumlanmasında önemli olabilir. Galaktik BHB'lerde iyi tanımlanmış üç aktif tayfsal durum (spectral state) bulunmaktadır; ısısal (thermal), sert (hard) ve dik güç yasası (steep power law, SPL). Isısal durumda yayınlanan ışınım, büyük oranda geometrik olarak ince ve optik olarak kalın olan yığılma diskinden kaynaklanmaktadır. Isısal olmayan durumda ise ışınım, güç yasası ($A(E)=KE^{-\alpha}$, α :güç yasasının foton indisi (boyutsuz), K :Normalizasyon sabiti

foton/keV/cm²/s) ile tanımlanabilir. Standart rejimde, güç yasası (powerlaw) bileşenin, korona içinde yığılma diskindeki termal fotonların sıcak elektronlarla ters-Compton saçılmasıyla oluştuğu önerilmektedir (Remillard, 2004). Sert güç yasası durumunda ise foton indisi $1.4 < \Gamma < 2.1$ aralığında kesme (cutoff) güç yasası veya kesik (broken) güç yasası ile tanımlanır. Dik güç yasası (SPL) durumu, $\Gamma \sim 2.5$ ile ısısal olmayan tayfin özellikleri ile bağlantılıdır (Remillard ve ark, 2004).

X-ışın tayfsal analizlerinde çift sistemin doğasını anlayabilmek için farklı modeller uygulanır. Isısal bileşene uyması için kullanılan model, Shakura ve Sunyaev (1973) tarafından standart, optik olarak kalın ve geometrik olarak ince bir yığılma diskinde dayanmaktadır. Bu model parametreleri kullanılarak sıkı cismin kütesinin sınırlanabileceği gösterilmektedir (Foschini ve ark, 2006). İnce bir disk standart bir diskten ayıran gözlemlenebilir özelliklerden biri düz radyal sıcaklık profilidir ($T(R) \propto R^{-p}$ burada standart disk durumunda $p \sim 0.75$ ancak $p \sim 0.5-0.6$ ise ince disk durumundadır ve R : Disk yarıçapı, $T(R)$: Yerel disk sıcaklığıdır.) Bunun için kullanılan model blackbody disk model DISKPBB'dir (Soria ve ark, 2015).



Şekil 3.7. ULX kaynağı ve Galaktik kara delik X-ışın çiftlerinde farklı tayfların karşılaştırılması (Kaaret ve ark, 2017).

Aşırı parlak (Ultraluminous, UL) kaynakların tayfları, sert (mavi) ve yumuşak (kırmızı) olarak sınıflandırılır (Şekil 3.7). Bir DBB (diskblackbody) (kesik çizgiler) artı Korona (noktalı çizgiler) olarak modellendiğinde, disk sıcaklığı tipik olarak 0.15–0.3 keV iken, korona sıcaklığı $\sim 1.5\text{--}3$ keV'dir. Korona optik olarak kalındır. Sert ve yumuşak her iki tayfta toplam ısıtma $L_X=10^{40}$ erg s^{-1} 'dir. Genişletilmiş disk (Broadened disk, BD) tayfları (yeşil) yığılma diski gibi görünmektedir, ancak standart çok renkli DBB'de olduğu gibi basit yığılma disk modellerine fit olmayacak kadar geniştir; burada, $kT_{in} \sim 1\text{--}2.5$ keV (kT_{in} : İç disk sıcaklığı) ve $p \sim 0.6$ içeren p-free disk modeli iyi uyum vermektedir. Bu tayf, $L_X = 2 \times 10^{39}$ erg s^{-1} 'dir. DBB+PL olarak modellendiğinde güç yasası (Power law, PL) bileşeni, genişlemiş disk tayfı gibi davranır. Süper yumuşak UL (Supersoft ultraluminous, SSUL) tayfı (eflatun), 0.3–10-keV bandında gerçek akınının %90'ından fazlasını üreten, $kT \sim 0.1$ keV ile soğuk (cool) bir kara cisim

bileşeni tarafından baskındır. Sert bileşen ($\Gamma \sim 2-4$) PL olarak modellenmişse bileşen zayıf, ancak yüksek kaliteli verilerde daha belirgindir. $L_X = 3 \times 10^{39} \text{ erg s}^{-1}$ ısıtma ile tayf bir BB+PL modeline uyar. Diğer eğriler standart Galaktik BHB tayflarını gösterir: $kT_{\text{in}} = 1 \text{ keV}$ ve $L_X = 2 \times 10^{38} \text{ erg s}^{-1}$ ile bir DBB ile temsil edilen termal baskın (turuncu) ; ve sert (mor) = 1.7 ve $L_X = 5 \times 10^{37} \text{ erg s}^{-1}$ ile bir PL ($R=1.7$) olarak gösterilir.

Vierdayanti ve arkadaşları (2006) ULX kaynaklarından NGC 5204 X-1, NGC 4559 X-7 / X-10 ve NGC 1313 X-2'nin enerji tayflarını oluşturmuş ve DISKPBB modelinin tayflara iyi bir uyum gösterdiğini belirtmişlerdir. p indisi değeri $\sim 0,5$ civarında ve ince disk tanımına uygundur. İncelenen dört ULX'in ısıtma ve sıcaklık arasındaki ilişkisi $L \propto T^4$ ile Galaktik BHB'lere benzer olduğu görülmüş ve ULX'lerin küçük ya da orta kütleli kara delikleri içerebileceği yorumu yapılmıştır.

12 galaksideki 13 ULX kaynağının (NGC55 X-1, M33 X-8, NGC1313 X-1 ve X-2, NGC2403 X-2, HoII X-1, M81 X-9, NGC3628 X-1, NGC4395 X-1, NGC4559 X-1, NGC4861 X-1, NGC5204 X-1, M83 X-1) XMM-Newton arşiv verilerinin analizleri Sutobart ve arkadaşları (2006) tarafından sunulmuştur. 0.3–10 keV aralığında tayfları ve tayfsal durumlarını ve en iyi tanımlayan modeller incelenmiştir. Soğurulma çıkarılmış PL veya DISKBB modelinin tek başına iyi uyum vermediği bunun yerine iki bileşenli (PL+DISKBB) modellerinin çoğu için daha iyi uyum verdiğini göstermişlerdir. Sonuç olarak, ULX'lerin büyük olasılıkla çoğunluğunun yüksek yığılma oranına sahip yıldız kütleli kara delikler ($\sim 80M_{\odot}$ kadar) içerdiğini, ancak var olan X-ışın verileriyle daha büyük, $\sim 1000M_{\odot}$ orta kütleli kara deliklerin varlığının da olası olduğunu belirtmişlerdir.

3.4. X-Işın Veri İndirgeme

X-ışın gözlem verilerinin analizleri, belirlenen $>10^{39} \text{ erg s}^{-1}$ ısıtma gücüne sahip ULX kaynaklarının fiziksel doğasını, ışımanın nereden geldiğini ve ışıma türleri ile ilgili bilgiler sağlar. Bu tez çalışmasında bu galaksilerde bulunan

ULX'lerin XMM-Newton ve Chandra arşiv verileri kullanarak tayfsal ve zamansal özellikleri incelenmiştir. XMM-Newton arşiv verileri NASA'nın Yüksek Enerji Astrofiziği Bilim Arşivi Arastırma Merkezi'nin (HEASARC) internet sitesinden indirilmiştir (<http://nxsa.esac.esa.int/nxsa-web/#search>). NGC 4449 ve NGC 4861 galaksileri için indirilen veriler Çizelge 3.1'de gösterilmektedir. Birinci sütun galaksi adı, ikinci sütun arşiv verilerinin gözlem numarası, üçüncü sütun görüntülerin gözlem tarihini ve dördüncü sütun ise alınan görüntülerin poz süresini göstermektedir.

Çizelge 3.1. XMM-Newton gözlemevinden alınan NGC 4449 ve NGC 4861 arşiv verileri.

Kaynak	Gözlem No	Gözlem tarihi	Poz süresi(ks)
NGC4449	0112521601 (XM1)	2002-05-25	23.97
	0112521701 (XM2)	2002-06-02	15.87
	0824450801 (XM3)	2018-05-11	87.00
NGC4861	0141150101 (XM1)	2003-06-14	28.50
	0141150104 (XM2)	2003-07-10	14.52
	0141150105 (XM3)	2003-12-03	21.85

SAS (v13.05) yazılımı kullanılarak XMM-Newton arşiv verilerinin ön indirgeme işlemleri yapılmıştır. Öncelikle arşivdeki güncel kalibrasyon dosyalarını (CCF), ODF (Observation Data Files) dosyasına dahil etmek için *odfingest* rutini (task) kullanılmıştır. Sonra *cifbuild* rutini ile belirli bir gözlem ve analiz tarihine uygun CIF oluşturmak için kullanılır. Olay (event) dosyaları EPIC pn ve MOS kameraları için *epchain* ve *emchain* rutinleri kullanılarak elde edilmiştir. *evselect* rutini ile (0.3-10) keV enerji aralığında filtreleme, kaynağın ve ardalın bölgesinin tayfsal ve zamansal dosyalarını oluşturmak için kullanılmıştır. Kaynak seçimi için yarıçapı 15 açı saniyelik dairesel alanlar seçilmiştir. Art alan için, aynı çipte fakat

ayrık kaynak içermeyen bölgeden daha büyük yarıçapta dairesel alan seçilmiştir. Tayfsal analiz için gerekli dosyalar *rmfgen* ve *arfgem* rutinleri ile oluşturulmuştur.

Benzer şekilde aynı kaynaklarla ilgili Chandra arşiv verileri indirilerek analizleri yapılmıştır. NGC 4449 ULX-1 ve NGC 4861 ULX-1, ULX-2 kaynakları için Chandra veri arşiv sayfasından (<https://cda.harvard.edu/chaser/dispatchocot.do>) tüm veriler indirilmiştir. İndirilen veriler Çizelge 3.2’de verilmiştir. Çizelgede sütunlar Çizelge 3.1 deki gibi tanımlanmıştır.

Çizelge 3.2. Chandra Gözlemeviden alınan NGC 4449 ve NGC 4861 arşiv verileri.

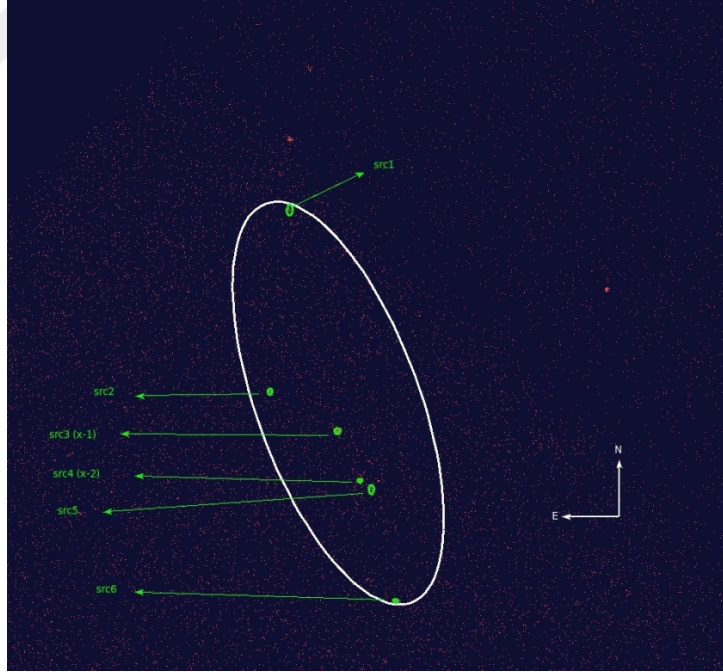
Kaynak	Gözlem No	Gözlem tarihi	Poz süresi (ks)
NGC4449	2031 (C1)	2001-02-04	26.6
	10125 (C2)	2009-03-04	14.95
	10875 (C3)	2009-03-07	59.39
NGC4861	12473 (C1)	2012-01-03	19.78
	19497 (C2)	2018-03-07	24.52
	20992 (C3)	2018-03-11	58.46
	20993 (C4)	2018-03-16	27.69
	21036 (C5)	2018-03-16	37.78

CIAO (v4.6) yazılımı kullanılarak Chandra arşiv verilerinin ön indirgeme işlemleri yapılmıştır. Arşivden indirilen Chandra verileri, *repro* rutini ile yeniden kalibre edilmek için kullanılır. Kaynak seçimi için yarıçapı 5 açılı saniyelik dairesel alan seçilmiştir. Art alan içinde kaynakla aynı çipte olmak şartıyla kaynağa yakın bölgeden herhangi bir kaynak içermeyen bir alan seçilmiştir. Tayfsal ve zamansal analizler için gerekli dosyalar *specextract* ve *dmextract* rutinleri kullanılarak oluşturulmuştur.

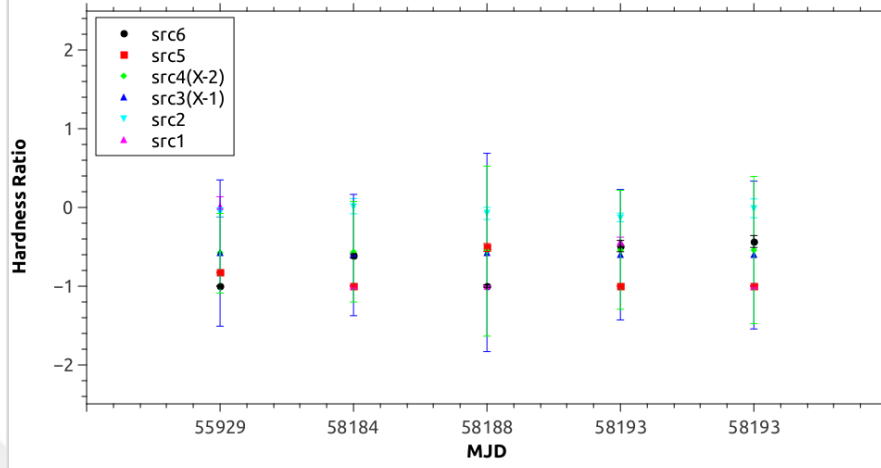
NGC 4449 ve NGC 4861 deki ULX kaynaklarının optik karşılığını bulmak için HST’den alınan optik veriler kullanılmıştır.

NGC 4861 galaksisinde D_{25} alanı içine düşen kaynakları bulmak için *wavedetection* rutini kullanılmıştır ($D_{25}=238.9''$;Thuan ve ark, 2004). D_{25} , optik bölgedeki B bandında 25 kadir/yay s^2 yüzey parlaklık değerine sahip merkezden uzaklık değeri olarak bilinir. Bu alana düşen kaynaklar Şekil 3.8’de gösterilmiştir. CIAO programında *fv* komutu ile her bir kaynağın count (sayım) değerleri hesaplanmıştır. NGC 4861 de D_{25} alanına giren kaynakların sertlik oranını (Hardness Ratio, HR) belirlemek için 0,3-2 keV(Soft), 2-8 keV(Hard) enerji aralığında sayım oranları hesaplanmıştır. Hesaplanan foton sayım oranlarından toplam 6 kaynağın sertlik oranı elde edilmiştir. H,sert enerji aralığını ve S ise yumuşak enerji aralığını temsil eder. Hesaplanan HR nin zamana göre grafiği Şekil 3.9’da verilmiştir. HR hesabına ait denklem (3.1) aşağıda verilmiştir.

$$HR = \frac{H - S}{H + S} \quad (3.1)$$



Şekil 3.8. NGC 4861 D_{25} alanında bulunan X-ışın kaynakları.



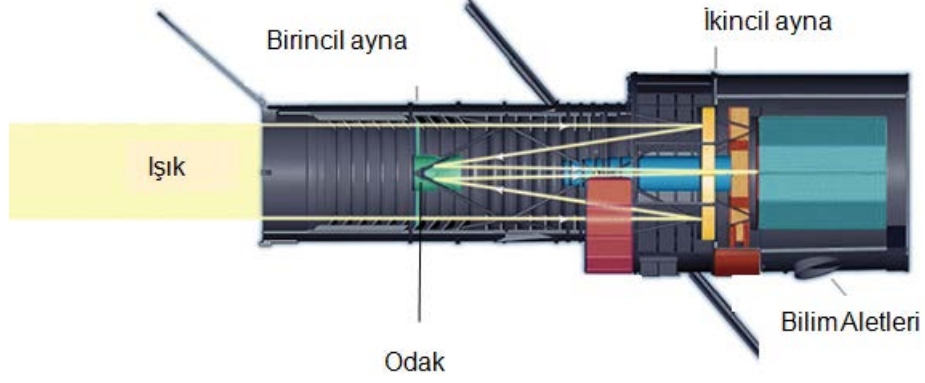
Şekil 3.9. Zamana göre D_{25} alanına düşen 6 kaynağın HR gösterimi.

3.5. Hubble Uzay Teleskobu (Hubble Space Telescope, HST)

Hubble Uzay Teleskobu (Hubble Space Telescope, HST), ismi Amerikalı astronom Edwin Hubble'in anısına verilmiş; Nisan 1990'da Uzay Mekiği Discovery tarafından Dünya'dan 600 km yukarıdaki yörüngesine taşınmış bir uzay teleskopudur. 20 Mayıs 1990 tarihinde gözlemlere başlamıştır. NASA (National Aeronautics and Space Administration) ve Avrupa Uzay Ajansı (ESA) arasında ortak bir çalışmadır. Dünya yörüngesine yerleştirilen ilk büyük optik teleskopdur. Dünya atmosferinin dışında konumlanması sayesinde, yeryüzündeki teleskoplara kıyasla pek çok avantaja sahip olabilmektedir. Gözlem yapılan dalga boyu aralığı 115nm-1000nm dir

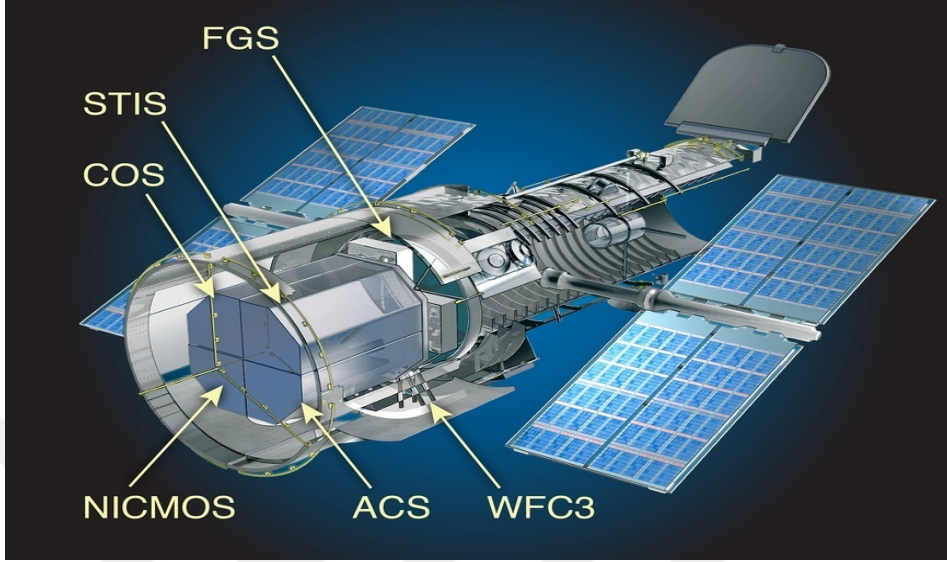
(https://www.nasa.gov/mission_pages/hubble/story/index.html).

Optik açıdan, HST, Ritchey-Chrétien tasarımına (Cassegrain) sahiptir. Şekil 3.10'da teleskobun aynaları ve ışığın odaklanması gösterilmiştir. HST'nin birincil aynası çapı 94,5 inç (2,4 m) dir. Bu ayna, 400 inç (1000 cm) ve yer tabanlı teleskoplarla karşılaştırıldığında küçüktür, ancak HST'nin atmosferin dışında konumu, önemli bir netlik sağlar.



Şekil 3.10. HST uzay teleskobu ayna düzeni
(<https://www.nasa.gov/content/goddard/hubble-space-telescope-optics-system>).

Işık, HST'nin içbükey birincil aynasına çarptığında, dışbükey ikincil aynaya yansır, ardından ana aynanın ortasındaki bir delikten geri döner. Orada, ışık odak noktasına gelir ve HST'nin odak düzlem aletlerine geçer. Ayna ışığı yakaladıktan sonra, Her bir bilim aleti, evreni farklı bir şekilde incelemek için tasarlanmıştır. HST'nin bilimsel aletleri Şekil 3.11'de gösterilmiştir.



Şekil 3.11. Bu şemada Hubble'ın bilimsel aletlerinin teleskopun içindeki yerleri gösterilmektedir (<https://hubble25th.org/education/21>).

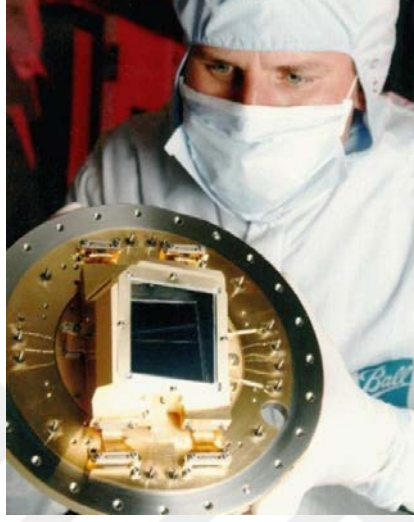
HST'nin çevresine yerleştirilmiş üç ince yönlendirme sensörü kullanır. İki FGS, teleskobu hedeflere doğrultur ve bu hedefi bilimsel aletlerin görüş alanı içinde tutar. Üçüncü FGS astrometri için bilimsel bir araç olarak kullanılır. Bu çalışmada ACS/WFC ve WFC3/UVIS aygıtlarından alınan veriler kullanılmıştır.

3.5.1. İleri Tarama Kamerası (Advanced Camera for Surveys, ACS)

Dalga boyu aralığı moröte, görünür ve yakın kızılötesi arasında uzanır. ACS kamera (Şekil 3.12) üçüncü nesil bir Hubble aracıdır. ACS, gökyüzünün geniş alanlarını ayrıntılı bir şekilde haritalama özelliğine sahiptir. ACS, her biri belirli hedefler için yenilenmiş üç kanaldan oluşur:

Geniş Alan Kanalı (Wide Field Channel, WFC) en çok kullanılan kameradır. Görüş alanı 202 x 202" (açı saniye) dir. Elektrik arızası nedeniyle 2007'den bu yana kalıcı olarak devre dışı bırakılan Yüksek Çözünürlüklü Kanal (High Resolution Channel, HRC) onarılamadı. Güneş-Gizli Kanalı (SBC),

dalgaboyunun uzak moröte bölgesinde küçük görüş alanı ile görüntüleme sağlamak için tasarlanmıştır (https://en.wikipedia.org/wiki/Advanced_Camera_for_Surveys).



Şekil 3.12. CCD kamera ACS'nin en hassas ve en önemli parçalarından biridir (<https://www.acsvcs.org/>).

3.5.2. Geniş Alan Kamerası 3 (Wide Field Camera 3, WFC3)

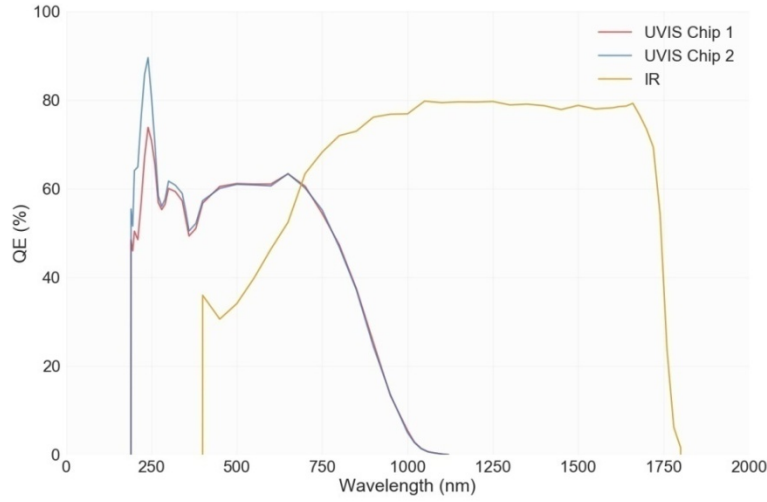
Cihazda moröte (UV) ve görünür ışık (UVIS) ve yakın kızılötesi (NIR) için iki kanal bulunur. WFC3 üzerindeki CCD 16 megapiksel yüksek hassasiyet ve düşük gürültü dizisine sahiptir. Çözünürlüğü ve görüş alanı, HST'nin diğer bilimsel aletlerinden çok daha büyüktür.

UVIS kanalı 200-1000 nm dalgaboyu aralığında 160" x 160" görüş alanına sahiptir. 62 adet geniş, orta ve dar bantlı filtre bulunur. UVIS WF / PC Seçilebilir Optik Filtre Düzenegi (SOFA) tekerleklerinde 48 adet filtre yuvası bulunmaktadır. Bu yuvalardan beşinde "dörtlü filtreler" vardır. Her dörtlü filtre dört farklı dalgaboyu özelliği gösterir.

IR kanalı 850-1700 nm dalgaboyu aralığında 123" x 137" görüş alanına sahiptir. IR kanalında 18 filtre yuvası vardır. 15'i 800 -1900nm arasında değişen geniş, orta ve dar bantlı dalga boylarını kapsar. WFC3 kamera 200 – 1700nm

arasındaki tüm dalga boylarında gözlem yapmaktadır. UVIS ve IR dedektörleri için QE (kuantum verimliliği) eğrileri Şekil 3.13 de gösterilmiştir. Dalga boylarının maximum verimini gösterir.

(<http://www.stsci.edu/hst/instrumentation/wfc3/instrument-design>).



Şekil 3.13. UVIS ve IR dedektörleri için QE ve dalgaboyu eğrisi (<http://www.stsci.edu/hst/instrumentation/wfc3/instrument-design>).

2021 yılında fırlatılması planlanan James Webb Uzay Teleskobu (JWST), HST'nin yerini alması planlanmaktadır. Kızılötesi ışığı algılayacak olan JWST; NASA, Avrupa Uzay Ajansı (ESA) ve Kanada Uzay Ajansı'nın (CSA) iş birliğiyle yürütülen bir projedir. 6,5 metrelik ayna çapına sahip bu teleskop, Dünya'dan 1.5 milyon kilometre(km) uzaklıkta L2 noktasına yerleştirilecektir. JWST üzerinde yer alacak olan hassas aygıtlar, evrende uzak cisimleri gözlemlemek, yıldızların ve gezegenlerin oluşumunu anlamak, ötegezegenler ve novalar gibi birçok astronomi ve astrofizik konularında önemli gelişmeler sağlaması beklenmektedir.

(<https://jwst.nasa.gov/content/about/comparisonWebbVsHubble.html>).

3.6. ULX'lerin Optik Işımasının Fotometrik ve Tayfsal Özellikleri

ULX'lerden gelen optik ışımının fotometrik özellikleri incelenerek; sistemin evrimi, ikincil bileşenin doğası, disk geometrisi ve kütle aktarım oranı gibi bilgiler sağlanmaktadır (Feng ve Soria, 2011; Kaaret ve ark, 2017). İyi çalışılmış ULX'lerin mutlak parlaklıkları $M_V \approx -6$ 'da bir maksimum değere sahip geniş bir dağılım gösterir ($-8 < M_V < -3$). ULX'lerin optik karşılıkları sönük ve genellikle V görünür kadir değerlerinin $m_V \geq 21$ olduğunu gösterilmiştir (Tao ve ark, 2011; Fabrika ve ark, 2017).

ULX'lerden gözlenen optik ışımaya, ikincil bileşenden veya yığılma diskinden ya da her ikisinden gelebilir. Bu nedenle bu kaynakların ULX'lerdeki sıkı cismin kütlesi çift sistemin dinamik kütle ölçümleriyle belirlenebilir ancak ikincil bileşenin çok sönük olmasından dolayı radyal hız eğrisinin elde edilmesinde ve kütle fonksiyonunun hesaplanmasında büyük zorluklar vardır. (Tao ve ark, 2011; Grize ve ark, 2012).

Yer tabanlı optik teleskoplar kullanılarak yapılan gözlemlerde ULX'lerin tayfları incelenmiştir ve bazı ortak özellikler belirlenmiştir. Kaynakların birçoğunun tayfında He II ($\lambda 4686$), H α ve H β yayını çizgileri görülmüştür (Fabrika ve ark, 1997, 2004). Birçok ULX'in optik bir bulutsu ile ilişkili olduğu bulunmuştur. Birçoğu, ortama etkileşime giren çift sistemin ışımının yarattığı şoklarla desteklenirken, birkaç durumda bulutsular fotoiyonizasyon ile güçlendirilir (Pakull ve Mirioni, 2003). Güçlü yüksek iyonlaşma çizgileri, HeII $\lambda 4686$ ve [NeV] $\lambda 3426$, fotoiyonizasyonun göstergesidir (Kaaret ve ark, 2017). Bazı çalışmalarda HeII çizgisinin yığılma diskinden de gelebileceği söylenmektedir (Grise ve ark, 2006; Pakull ve ark, 2006; Abolmasov ve ark, 2007).

ULX'lerin optik karşılıkların tanımlanması önemlidir çünkü bu nesnelerin çoğu yoğun yıldız kümelerine bulunur (Liu ve ark, 2009) ve yıldız oluşum bölgeleriyle ilişkilendirilir (Zezas ve Murray, 2001; Lira ve ark, 2002; Gao ve ark, 2003; Swartz ve Tennant, 2009). NGC 7793 P13, birincil yıldızın optik tayfsal özelliklerinin tespit edildiği bir ULX'tir. ESO-VLT ile 2008 ve 2009 yıllarında

yapılan orta çözünürlüklü optik tayf analizi ile 10-20M_⊙ kütlesi arasında bir B tipi süperdev olarak tanımlanmıştır. Fotosferik soğurma çizgileri üzerinde güçlü Hβ ve HeII λ4686 °A yayılım çizgileri görülmektedir. Bir aylık zaman aralığında yayılım ve soğurma çizgilerinden farklı radyal hız değişimleri tespit edilmiştir. Yüksek optik ısıtma değeri ve geç B tayfsal tipi, yıldızın ana kolu terk ettiğini ve şimdi hızlı bir şekilde kırmızı bir süperdeve doğru geliştiğini göstermektedir (Motch ve ark, 2011).

Aksaker ve arkadaşlarının (2019), yaptıkları çalışmada NGC 2500'deki ULX X-1'in optik karşılıkları belirlenmiştir. 0.3" hata yarıçapı içinde olası dört optik karşılık tespit edilmiştir ancak aday olarak ikisi incelenmiştir. ULX-1'in yakın çevresinde yıldız grubu veya küme belirlenmemiştir. İki optik karşılığın oluşturulan CMD ile kütleleri ~ 7M_⊙, yaşları 45Myıl olarak belirlenmiştir.

Birçok gökcismi için (AGN, galaksi kümeleri, normal galaksiler, normal yıldızlar ve X-ışın çiftleri gibi) X-ışın akısının optik akıya oranı (F_X/F_{opt}) hesaplanır ve her bir kaynak sınıfı için bu oranın farklı aralıkta olduğu belirlenmiştir (Maccacaro ve ark, 1982; Stocke ve ark, 1991). Bu oran;

$$\log(F_X/F_{opt}) = \log F_X + (m_v/2.5) + 5.37 \quad (3.2)$$

eşitliği ile tanımlanmaktadır (Maccacaro ve ark, 1982). Burada F_X , (0.3 – 3.5) keV enerji bandında, $\text{erg cm}^2 \text{s}^{-1}$ biriminde hesaplanan X-ışın akısını ve m_v görünür parlaklığı temsil etmektedir. Hesaplanan $\log(F_X/F_{opt})$ değeri bilinen ULX'lerin optik karşılığı için >2 olarak belirlenmiştir. AGN'ler için bu değer (-1 – 1.2) dir (Tao ve ark, 2011).

3.7. Optik Gözlem Veri İndirgeme

HST tarafından gözlenen kaynaklar, <https://mast.stsci.edu> adresinden ACS ve WFC3 kamera ve filtre tiplerine göre seçilir. Seçilen veriler, arşiv sitesinden (<https://archive.stsci.edu>) *.FLT ve *.DRZ uzantılı olarak indirilir. Bu tez çalışması

için araştırmayı hedeflediğimiz kaynaklar NGC 4449 ve NGC 4861 galaksilerindeki ULX'ler olduğundan bu kaynaklar için indirilen veriler sırasıyla Çizelge 3.3 ve Çizelge 3.4'de verilmektedir. Çizelgelerin ilk sütunu HST/ACS ve HST/WFC3 filtreleri, ikinci sütun verilerin gözlem numarası, üçüncü sütun kaynakların gözlem tarihini ve dördüncü sütun ise HST'nin gözlemi ile alınan görüntünün poz süresini gösterir. İndirilen verilerinin fotometrik analizinde DOLPHOT (Dolphin, 2000) yazılımı kullanıldı. Bu yazılımda görüntülerdeki kötü pikselleri (bad pixels) maskelemek için ACS kamerasında *acsmask*, WFC3 kamerasında *wfc3mask* rutinleri kullanılır. ACS/WFC ve WFC3/UVIS kameralarının iki çipini tek bir görüntü olarak gösteren dosyaları, *splitgroups* rutini kullanılarak ayrı ayrı ikişer dosya olacak şekilde ayrıştırılır. Daha sonra *calcsky* ile her bir görüntü için SKY dosyası elde edilir. Bu ön indirgeme işlemlerinden sonra *dolphot* rutini ile kaynakların fotometrik ölçümleri yapılır.

Çizelge 3.3. NGC 4449 ULX-1 HST/ACS ve HST/WFC3' den alınan gözlem verileri.

HST/ACS			
Filtre	Gözlem No	Gözlem tarihi	Poz süresi(s)
F435W	j9cd01040	10-11-2005	3600
F555W	j9cd01020	10-11-2005	2460
F814W	j9cd01030	10-11-2005	2060
F502N	j9dr01020	18-11-2005	428
F550M	j9dr01010	18-11-2005	400
F660N	j9dr01030	18-11-2005	620
F658N	J9cd03020	17-11-2005	1539
F814W	J9cd03010	17-11-2005	540
HST/WFC3			
F275W	icdm56050	09-07-2014	2481
F336W	icdm56050	09-07-2014	2361

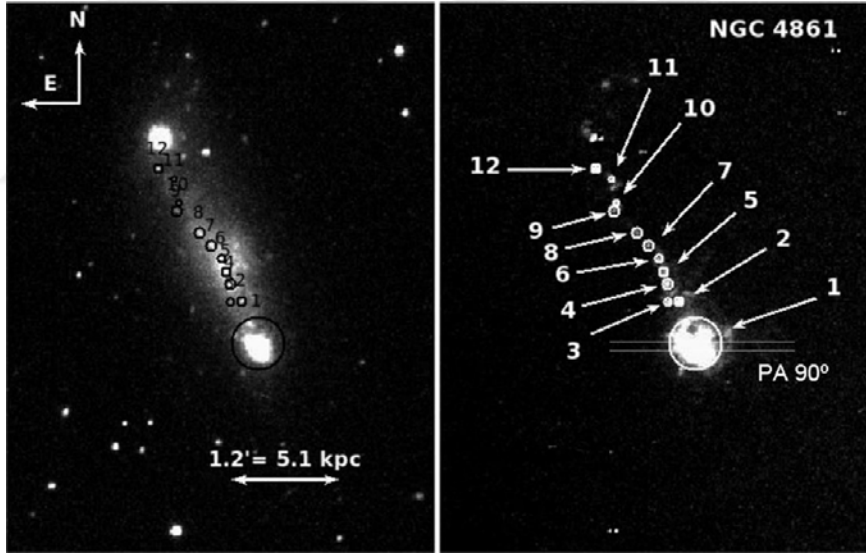
Çizelge 3.4. NGC 4861 ULX-1 ve ULX-2 HST/ACS ve HST/WFC3 gözlemleri.

HST/ACS			
Filtre	Gözlem No	Gözlem tarihi	Poz süresi (s)
F606W	jc9v72leq	13-08-2014	1000
F814W	jc9v72leq	13-08-2014	1000
HST/WFC3			
F487N	ibse02010	29-10-2012	2676
F547M	ibse02010	29-10-2012	1388
F814W	ibse02010	29-10-2012	1044

3.8. Galaksi NGC 4861 (Mrk59) 'in Genel Özellikleri

Bir mavi kompakt cüce galaksi olan NGC 4861 (Mrk 59), Loose ve Thuan (1985) tarafından "kuyruklu yıldız benzer" galaksiler olarak adlandırılan sınıfın ilk örneklerindedir. NGC 4861 galaksisi 9.55 Mpc uzaklıkta Güneyhaçı takımyıldızında bulunan düzensiz bir galaksidir (Tully ve ark, 2013). Galaksinin morfolojisi NGC 4861'in bir birleşme süreci geçirdiğini işaret etmektedir (Barth ve ark, 1994). Parlak bir düğüm gibi görünen güney bölgesi HII bölgesi veya OB oymağı olarak tanımlanabilir. HI haritalarından, bu galaksi kenardan gözlenebilen (edge-on) ve dönen bir disk sistemine sahip olduğunu göstermektedir (Conselice

ve ark, 2000). NGC 4861, tıkız mavi cüce galaksinin bir örneği olarak ayrıntılı incelenmiştir (Kobulnicky ve Skillman, 1998; Izotov ve ark, 1997; Izotov ve Thuan, 1999; Esteban ve ark, 2009). Alınan H α görüntüleriyle galaksinin yıldız oluşum aktivitesi araştırılmıştır. Galaksinin sürekli ışımaya çıkarılmış görüntüsü (Şekil 3.14) yıldız oluşum bölgesini ortaya koymaktadır. Parlak düğüm bölgesi (1 ile işaretlenmiş), birim alan başına en yüksek yıldız oluşum oranına sahip bölgedir (Karthick ve ark, 2014). NGC 4861 çok düşük metal bolluğuna ($Z=0.13Z_{\odot}$) sahip bir galaksi olduğundan orta kütleli kara delikleri ve ULX'leri aramak, ayrıca kara deliklerin oluşum ve gelişme sürecini incelemek için ideal bir yer olduğu belirtilmektedir (Yang ve ark, 2013). Galaksilerin genel özellikleri Çizelge 3.5'de verilmiştir.



Şekil 3.14. NGC 4861'in R-bandı (solda) ve sürekli ışımaya-çıkarılmış H α (sağda) görüntüleri (Karthick ve ark, 2014).

Çizelge 3.5. NGC 4861 ve NGC 4449 galaksisinin genel özellikleri.

Galaksi	NGC 4449	NGC 4861
Takımyıldızı	Av Köpekleri	Güneyhaçı
RA.	12 28' 11,9"	12 59' 01,8"
DEC.	+44 05' 40"	+34 51' 43"
Uzaklık (d)	3.7 Mpc	9.55 Mpc
Galaksi tipi	Düzensiz	Düzensiz
Açısal boyut	6,2' x 4,4'	4,2' x 1,6'

3.9. Galaksi NGC 4449'un Genel Özellikleri

NGC 4449, yaklaşık 12 milyon ışık yılı uzaklıkta Canes Venatici (Av köpekleri) takımyıldızında bulunan düzensiz, yıldız patlamalarına ev sahipliği yapan Magellan tipi bir galaksidir (Şekil 3.15) (Annibali ve ark, 2008). Çizelge 3.5'de genel özellikleri verilmektedir. Galaksinin yıldız oluşum oranının hızlı olması (starburst) muhtemelen başka bir galaksi ile etkileşimi ve birleşimi ile tetiklenmiş olabilir (Hunter ve ark, 1998; Calzetti ve ark, 2018). Çok parlak ($M_B = -18.2$) ve aktif bir düzensiz galaksi olan NGC 4449 bir yıldız oluşum bölgesine (Thronson ve ark, 1987) ve düşük bir metal bolluğuna ($Z = 0.004Z_\odot$) sahip en yakın düzensiz gökadalardan biridir; belirgin bir yıldız küme sayısına (≈ 80) sahiptir. Annibali ve arkadaşları (2011), NGC 4449 galaksisinde 81 küme belirleyerek (B-V) ve (V-I) renk-kadir diagramına göre 4 farklı sınıfa ayırmışlardır. Bu sınıflandırma; $B - V > 0.5$ ve $V - I > 0.9$ olan 27 küme kırmızı, $0 < B - V < 0.5$ ve $0 < V - I < 0.9$ olan 44 küme mavi, $B - V < 0$, $V - I < 0$ olan 4 çok mavi küme, $V - I < 0$ ve $B - V > 0$ olan 6 V-parlak küme olarak yapılmıştır. 81 kümenin 11'inde özellikle de 6 V-parlak kümede, çok mavi kümelerin 2'sinde ve mavi kümelerin 3'ünde bulutsu yayınımları bulunmuştur. Metal bolluğundan bağımsız olarak, kırmızı kümeler 1 Gyıl, mavi küme < 1 Gyıl ve çok mavi kümeler birkaç Myıl kadar gençtir. En genç kümeler için, $H\alpha$ yayınımları kümenin kendisi ile yakından ilişkilidir ve onu çevreleyen bir zarf şeklindedir, en yaşlılarda ise bulutsu yayınımları kümeden

daha geniş ve/veya uzaktır, muhtemelen büyük yıldız rüzgarları ve süpernovalar tarafından itilmiştir. Bu bulgular Whitmore ve ark (2011) sonuçları ile uyum içindedir. H α morfolojisi ile küme yaşı arasında yakın bir bağlantıya işaret etmektedir.



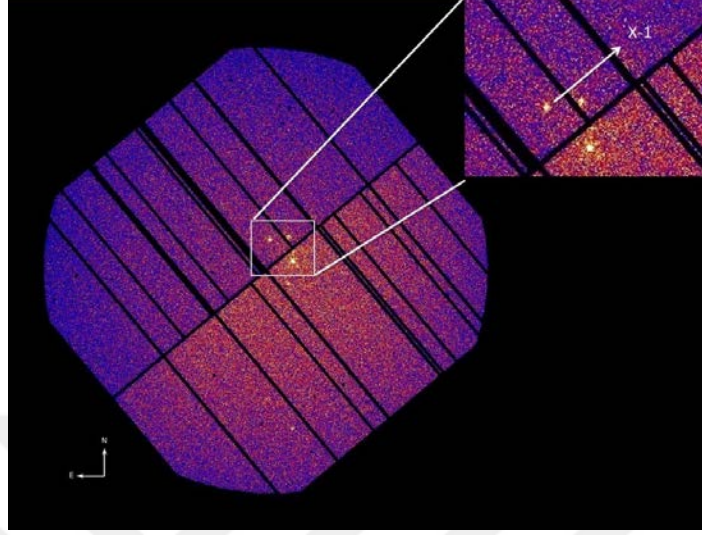
Şekil 3.15. Dört renkli (F435W (B), F555W (V), F814W (I) ve F658N (H α))NGC 4449'un görüntüsü (Annibali ve ark, 2008).

4. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

4.1. ULX'lerin X-Işın Veri Analizleri

XMM-Newton arşiv verilerinin tayfsal analizlerini yapmak için ön indirgeme işlemleri Bölüm 3.4'de açıklanmıştır. Bu tez çalışmasında 2 farklı galakside bulunan ULX kaynaklarının X-ışın ve optik arşiv verileri analiz edilmiştir. Bu galaksiler NGC 4449 ve NGC 4861'dir. Literatürde NGC 4861 ULX-1 ve ULX-2 kaynaklarının X-ışın özellikleri belirlenmiş ve optik özellikleri ile ilgili olarak sadece parlaklık hesabı yapılmıştır (Yang ve ark, 2013; Thuan ve ark, 2014). NGC 4449 ULX-1'de daha önce X-ışın özellikleri çalışılmış fakat optik özellikleri araştırılmamıştır (Summers ve ark, 2003; Swartz ve ark, 2011). Bu çalışmada ULX kaynakları için daha önce kullanılmamış yakın tarihli X-ışın arşiv verileri ile birlikte tüm veriler tekrar analiz edilmiştir.

NGC 4449 ULX-1'in XMM-Newton EPIC pn görüntüsünde konumu Şekil 4.1'de gösterilmiştir. Kaynağın X-ışın analizleri (0.3-10) keV enerji aralığında yapılmıştır.



Şekil 4.1. NGC 4449 XMM-Newton XM1'in EPIC pn renklendirilmiş görüntüsünde ULX-1'in konumu ve çevresinin ayrıntılı görüntüsü.

NGC 4449 ULX-1 için, Chandra ve XMM-Newton verilerinden kaynağın X-ışın tayf dosyaları elde edildikten sonra *grppha* komutu kullanılarak 30 foton sayımına sahip olacak şekilde gruplama işlemi yapılmıştır. Tayfsal analizler için HEASOFT paketi içinde bulunan XSPEC (v12.5) yazılımı (An X-ray Spectral Fitting Package, X-ışın Tayfsal Modelleme Paketi) kullanılmıştır. Kaynakların tayfi için uygun model parametrelerini bulabilmemiz için en uygun yazılımdır. Tüm verilere ULX'ler için çokça kullanılan modeller; Power law (PL), Diskblackbody (DISKBB), PL+DISKBB, blackbody disk model (DISKPBB), PL+DISKPBB uygulanmıştır. NGC 4449 ULX-1'in tayfsal model için iki N_H parametresi (Hidrojen kolon yoğunluğu) birlikte kullanılmıştır. İlk değer Galaktik $N_H=1,5 \times 10^{20}$ alınmış (Rangelov ve ark, 2011) ve bu değer sabit, ikinci N_H değeri serbest bırakılmıştır. Kaynakların model kullanılarak elde edilen akıları **cflux* rutini ile soğurma etkisi çıkarılmış (unabsorbed) olarak hesaplanmıştır. NGC 4449 ULX-1 için XMM-Newton XM1 ve XM2 veri setleri daha önce çalışılmış (Winter ve ark, 2006) ancak XM3 verisi ilk defa bu çalışmada analiz edilmiştir. NGC 4449 ULX-1

için en iyi uyum gösteren model parametreleri Çizelge 4.1, 4.2'de gösterilmiştir. Çizelge 4.1'de birinci sütun ULX-1 kaynak verilerini, ikinci sütun N_H , üçüncü sütun tayfsal indis (Γ), dördüncü sütun χ^2/dof (ki-kare /serbestlik derecesi), beşinci sütun akı (F) değerini, altıncı sütun ise ışıma gücünü (L) göstermektedir.

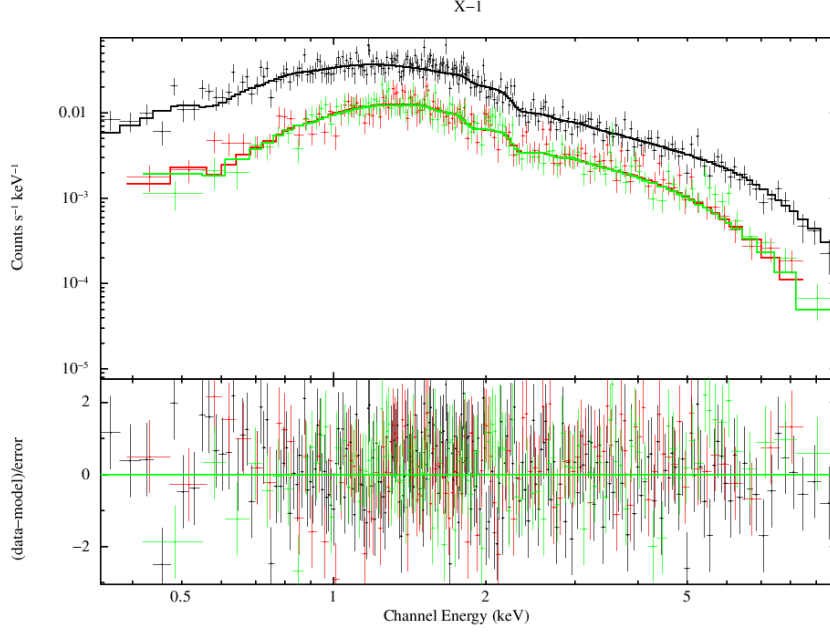
Çizelge 4.2'de birinci sütun ULX-1 kaynak verilerini, ikinci sütun N_H , üçüncü sütun iç disk sıcaklığını (kT_{in}), dördüncü sütun χ^2/dof (model ile verinin uyumunu gösteren istatistik), beşinci sütun akı değerini, altıncı sütun ise ışıma gücünü göstermektedir. Analiz sonucu gözlem verilerine uyum veren modelle kaynak için elde edilen enerji tayfları Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. NGC 4449 ULX-1'in X-ışın tayfına en iyi uyum veren PL model parametreleri

Kaynak	N_H (10^{22} cm^{-2})	Γ	χ^2/dof	$F(10^{-13})$ $\text{ergcm}^{-2}\text{s}^{-1}$	$L(10^{39})$ ergs^{-1}
C1	$0.58_{+0.08}^{-0.07}$	$1.96_{+0.15}^{-0.16}$	52.30/58(0.90)	$8.37_{+0.03}^{-0.02}$	1.36
C2	$0.65_{+0.33}^{-0.28}$	$2.53_{+0.52}^{-0.46}$	13.45/14(0.96)	$5.46_{+0.19}^{-0.13}$	0.89
C3	$0.80_{+0.10}^{-0.09}$	$2.51_{+0.20}^{-0.19}$	58.69/55(1.06)	$5.57_{+0.07}^{-0.06}$	0.91
XM1	$0.51_{+0.15}^{-0.13}$	$2.02_{+0.27}^{-0.24}$	61.40/53(1.15)	$7.44_{+0.07}^{-0.08}$	1.21
XM2	$0.48_{+0.06}^{-0.05}$	$2.16_{+0.12}^{-0.12}$	107.42/113(0.95)	$8.63_{+0.03}^{-0.03}$	1.41
XM3	$0.35_{+0.02}^{-0.02}$	$1.88_{+0.05}^{-0.05}$	486.29/475(1.02)	$5.83_{+0.01}^{-0.01}$	0.95

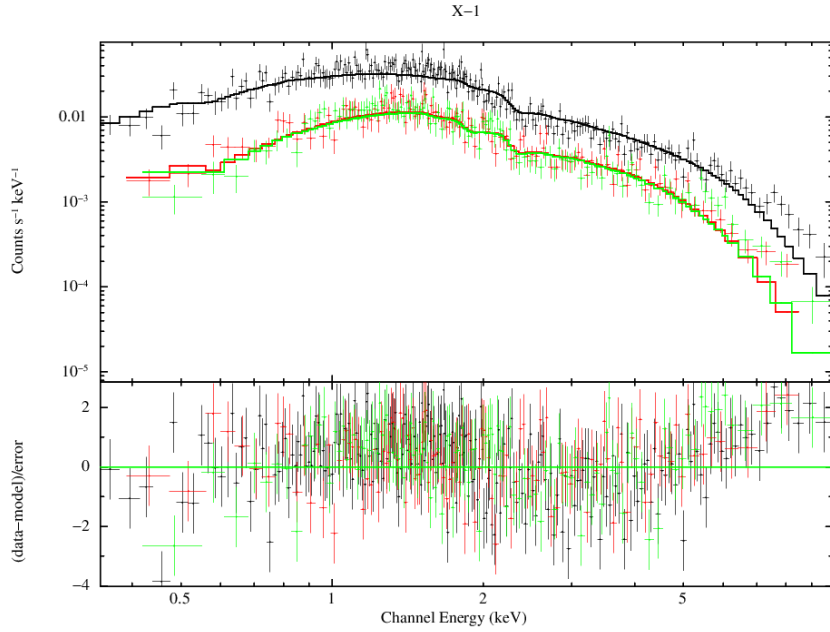
Çizelge 4.2. NGC 4449 ULX-1'in X-ışın tayfına en iyi uyum veren DISKBB model parametreleri.

Kaynak	N_H (10^{22} cm^{-2})	kT_{in} keV	χ^2/dof	$F(10^{-13})$ $\text{ergcm}^{-2}\text{s}^{-1}$	$L(10^{39})$ ergs^{-1}
C1	$0.31_{+0.05}^{-0.04}$	$1.42_{+0.17}^{-0.14}$	76.36/58(1.31)	$5.63_{+0.02}^{-0.02}$	0.92
C2	$0.25_{+0.22}^{-0.18}$	$1.00_{+0.26}^{-0.19}$	12.71/14(0.90)	$2.39_{+0.07}^{-0.07}$	0.39
C3	$0.38_{+0.06}^{-0.06}$	$0.84_{+0.06}^{-0.06}$	57.49/55(1.04)	$2.37_{+0.02}^{-0.02}$	0.38
XM1	$0.22_{+0.10}^{-0.08}$	$1.37_{+0.26}^{-0.21}$	68.19/53(1.28)	$4.88_{+0.07}^{-0.08}$	0.79
XM2	$0.20_{+0.03}^{-0.03}$	$1.26_{+0.10}^{-0.09}$	138.27/113(1.22)	$5.49_{+0.02}^{-0.02}$	0.89
XM3	$0.14_{+0.01}^{-0.01}$	$1.53_{+0.06}^{-0.06}$	627.57/475(1.32)	$4.25_{+0.04}^{-0.02}$	0.69



10-Jul-2019 10:59

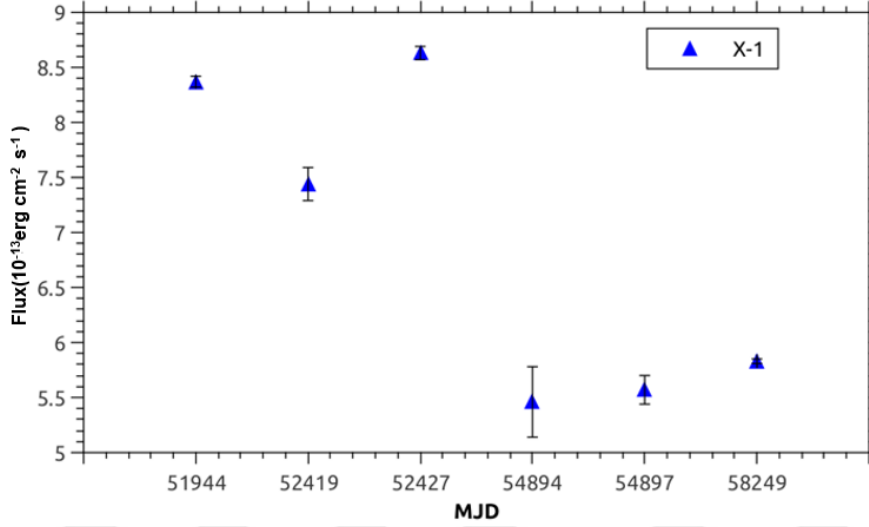
Şekil 4.2. NGC 4449 ULX-1'in XM3 veri seti kullanılarak elde edilen enerji tayfı. Burada uygulanan model en iyi uyum veren PL modelidir.



10-Jul-2019 11:06

Şekil 4.3. NGC 4449 ULX-1'in XM3 veri seti kullanılarak elde edilen enerji tayfı. Burada uygulanan model en iyi uyum veren DISKBB modelidir.

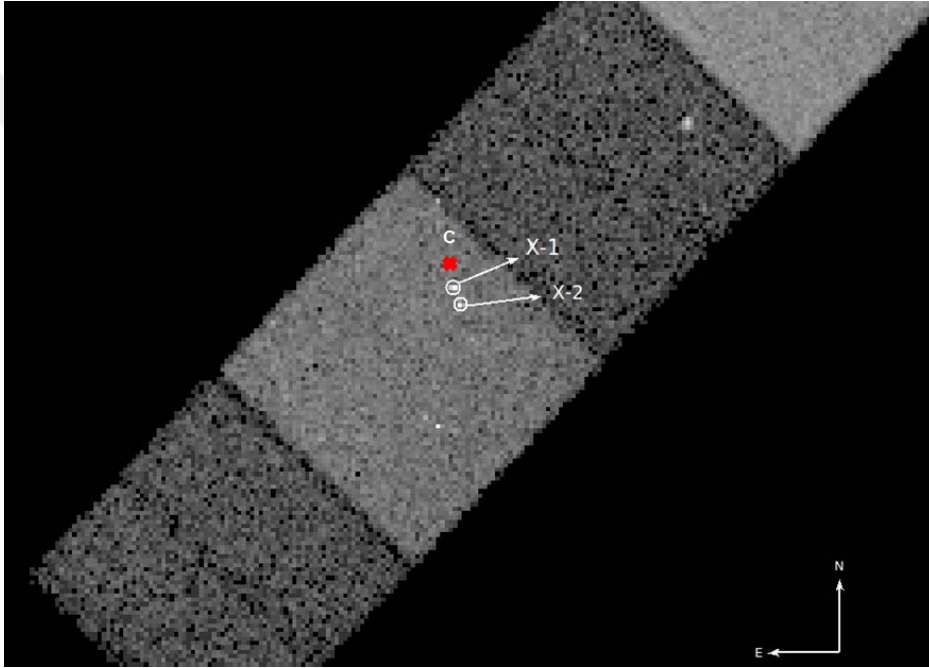
NGC 4449 ULX-1 için X-ışın analizleri sonucu hesaplanan akıların yıllara göre değişimi Şekil 4.4’de gösterilmiştir. Burada akı değerlerini hesaplamak için PL modeli kullanılmıştır.



Şekil 4.4 NGC 4449 ULX-1'in akı değerlerinin zamana göre değişimi.

NGC 4861 ULX-1 ve ULX-2 için Chandra (Şekil 4.5) ve XMM-Newton tayf analizi gerçekleştirilirken NGC 4449 ULX-1'e uygulanan aynı modeller uygulanmıştır fakat tek N_H kullanılarak yapılmıştır. Galaktik $N_H=1,1 \times 10^{20}$ alınmış ve bu değer sabit tutulmuştur. C1 verisi daha önce (Thuan ve ark, 2014) çalışılmış ancak C2, C3, C4, C5 verileri ilk defa bu çalışmada analiz edilmiştir. Model kullanılarak elde edilen akılar 0.3-10 keV enerji aralığında **cflux* rutini ile soğurma etkisi çıkarılmış olarak hesaplanmıştır. XMM-Newton ve Chandra veri setlerine en iyi uyum gösteren modeller ve parametreleri ULX-1 için Çizelge 4.3, 4.4, 4.5'te; ULX-2 için Çizelge 4.6, 4.7, 4.8'de gösterilmiştir. Çizelge 4.3 ve 4.6'da birinci sütun ULX kaynak verilerini, ikinci sütun tayfsal indisi, üçüncü sütun χ^2/dof , dördüncü sütun akı değerini, beşinci sütun ise ışınma gücünü göstermektedir. Çizelge 4.7'de birinci sütun ULX kaynak verilerini, ikinci sütun diskin iç sıcaklığı,

üçüncü sütun χ^2/dof , dördüncü sütun akı değerini, beşinci sütun ise ışıma gücünü göstermektedir. Çizelge 4.5’de birinci sütun ULX kaynak verilerini, ikinci sütun tayfsal indisi, üçüncü sütun iç disk sıcaklığını, dördüncü sütun χ^2/dof , beşinci sütun p-free değerini, altıncı sütun akı değerini, yedinci sütun ise ışıma gücünü göstermektedir. ULX-1 ve ULX-2 ye iyi uyum veren PL model tayfları ise Şekil 4.6 ve Şekil 4.7’de gösterilmiştir.



Şekil 4.5. NGC 4861 Chandra C1 görüntüsünde ULX-1 ve ULX-2'nin konumu.

Çizelge 4.3. NGC 4861 ULX-1'in X-Işın analizi sonucu iyi uyum veren PL model parametreleri.

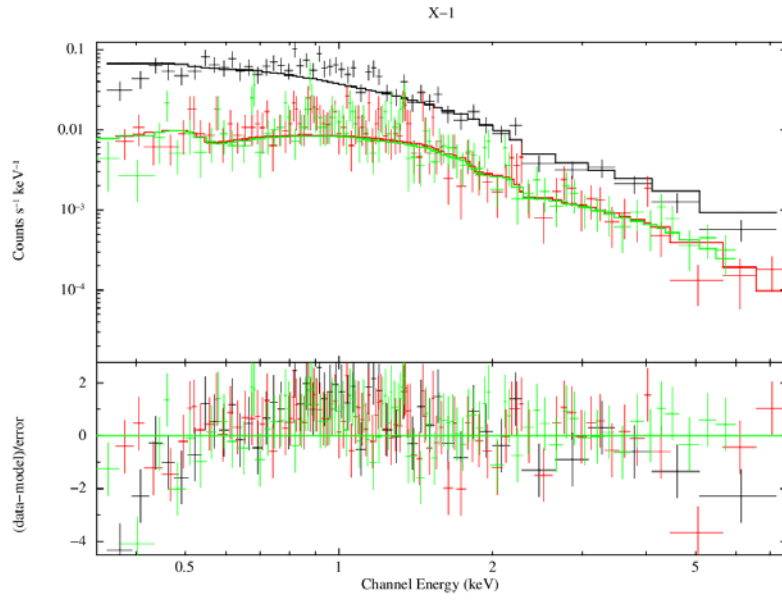
Kaynak	Γ	χ^2/dof	$F(10^{-13})$ $\text{ergcm}^{-2}\text{s}^{-1}$	$L(10^{39})$ ergs^{-1}
C1	$2.01_{+0.10}^{-0.10}$	42.43/38(1.11)	$5.91_{+0.02}^{-0.02}$	6.99
C2	$2.45_{+0.27}^{-0.26}$	15.99/14(1.14)	$1.75_{+0.03}^{-0.04}$	2.07
C3	$2.36_{+0.12}^{-0.12}$	50.34/50(1.0)	$1.73_{+0.02}^{-0.02}$	2.05
C4	$2.3_{+0.17}^{-0.16}$	21.32/23(0.92)	$1.78_{+0.03}^{-0.03}$	2.11
C5	$2.27_{+0.17}^{-0.16}$	36.81/30(1.22)	$1.76_{+0.03}^{-0.03}$	2.08
XM1	$1.86_{+0.05}^{-0.05}$	306.18/229(1.33)	$2.48_{+0.02}^{-0.03}$	2.94
XM2	$1.89_{+0.12}^{-0.12}$	36.23/41(0.88)	$2.19_{+0.06}^{-0.07}$	2.59
XM3	$2.2_{+0.19}^{-0.18}$	16.84/17(0.99)	$1.34_{+0.08}^{-0.08}$	1.58

Çizelge 4.4. NGC 4861 ULX-1'in X-ışın analizleri sonucu iyi uyum veren PL+DISKBB model parametreleri.

Kaynak	Γ	kTin keV	χ^2/dof	$F(10^{-13})$ $\text{ergcm}^{-2}\text{s}^{-1}$	$L(10^{39})$ ergs^{-1}
C1	$1.88_{+0.81}^{-0.23}$	$0.59_{+0.37}^{-0.83}$	40.65/36(1.12)	$5.75_{+0.03}^{-0.03}$	6.81
C2	$1.27_{+0.10}^{-0.10}$	$0.25_{+0.57}^{-0.27}$	10.12/12(0.84)	$2.37_{+0.21}^{-0.11}$	2.81
C3	$2.35_{+0.44}^{-0.01}$	$2.89_{+0.12}^{-0.12}$	50.34/48(1.04)	$1.80_{+0.04}^{-0.04}$	2.13
C4	$2.27_{+0.82}^{-0.02}$	$1.28_{+0.17}^{-0.16}$	21.46/21(1.02)	$9.63_{+2.52}^{-1.75}$	1.14
XM1	$1.23_{+0.28}^{-0.42}$	$0.47_{+0.04}^{-0.04}$	237.48/227(1.04)	$1.73_{+0.03}^{-0.03}$	2.04

Çizelge 4.5. NGC 4861 ULX-1'in X-ışın analiz sonucu iyi uyum veren PL+DISKPBB model parametreleri.

Kaynak	Γ	kTin keV	χ^2/dof	p	$F(10^{-13})$ $\text{ergcm}^{-2}\text{s}^{-1}$	$L(10^{39})$ ergs^{-1}
C2	$1.21_{+0.23}^{-0.09}$	$0.28_{+0.89}^{-1.97}$	10.25/11(0.93)	0.5	$2.34_{+0.30}^{-0.10}$	2.77
C3	$2.27_{+0.90}^{-0.15}$	$0.15_{+0.16}^{-0.75}$	49.41/47(1.05)	0.9	$1.71_{+0.03}^{-0.03}$	2.03
C5	$1.32_{+0.18}^{-0.04}$	$0.3_{+0.57}^{-1.07}$	29.24/27 (1.08)	0.9	$2.08_{+0.09}^{-0.07}$	2.46
XM1	$1.3_{+0.24}^{-0.31}$	$0.38_{+0.03}^{-0.02}$	273.79/228(1.2)	0.5	$2.05_{+0.08}^{-0.07}$	2.42
XM2	$1.65_{+0.1}^{-0.1}$	$0.45_{+0.12}^{-0.11}$	34.39/38(0.90)	0.6	$2.04_{+0.06}^{-0.12}$	2.41



Şekil 4.6. NGC 4861 ULX-1'in XM1 veri seti kullanılarak elde edilen enerji tayfı. Burada uygulanan model en iyi uyum veren PL modelidir.

Çizelge 4.6. NGC 4861 ULX-2'nin X-ışın analizleri sonucu iyi uyum veren PL model parametreleri.

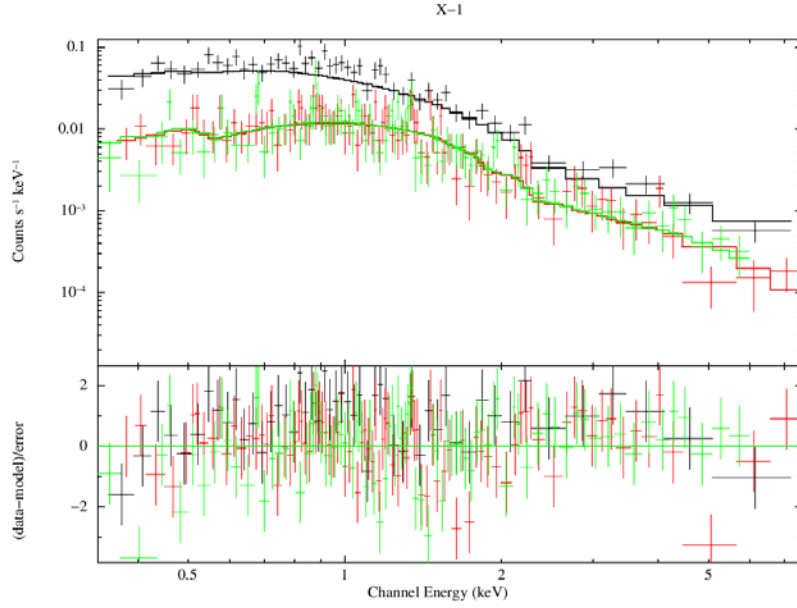
Kaynak	Γ	χ^2/dof	$F(10^{-13})$ $\text{ergcm}^{-2}\text{s}^{-1}$	$L(10^{39})$ ergs^{-1}
C1	$2.02_{+0.25}^{-0.23}$	20.59/19(1.08)	$1.53_{+1.77}^{-0.06}$	1.82
C2	$1.86_{+0.22}^{-0.21}$	16.53/16(1.03)	$1.96_{+0.07}^{-0.07}$	2.32
C3	$2.29_{+0.11}^{-0.11}$	76.67/41(1.94)	$1.41_{+0.02}^{-0.02}$	1.67
C4	$2.1_{+0.17}^{-0.16}$	19.80/19(1.04)	$1.16_{+0.04}^{-0.05}$	1.37
C5	$1.94_{+0.14}^{-0.14}$	67.17/41(1.63)	$1.47_{+0.03}^{-0.04}$	1.74
XM1	$1.97_{+0.07}^{-0.07}$	116.72/77(1.51)	$1.31_{+0.04}^{-0.04}$	1.56
XM2	$2.08_{+0.15}^{-0.14}$	33.26/27(1.23)	$1.22_{+0.08}^{-0.08}$	1.44
XM3	$2.13_{+0.25}^{-0.22}$	13.34/10(1.33)	$1.28_{+1.53}^{-0.08}$	1.52

Çizelge 4.7. NGC 4861 ULX-2'nin X-ışın analiz sonucunda iyi uyum veren DISKBB model parametreleri.

Kaynak	kTin keV	χ^2/dof	$F(10^{-13})$ $\text{ergcm}^{-2}\text{s}^{-1}$	$L(10^{39})$ ergs^{-1}
C1	$0.85_{+0.16}^{-0.13}$	18.46/16(0.97)	$1.09_{+0.05}^{-0.06}$	1.29
C2	$0.91_{+0.17}^{-0.13}$	14.20/16(0.88)	$1.21_{+0.07}^{-0.06}$	1.43
C3	$0.78_{+0.06}^{-0.06}$	56.12/41(1.36)	$1.07_{+1.13}^{-0.02}$	1.27
C4	$0.93_{+0.12}^{-0.11}$	13.71/19(0.72)	$1.71_{+0.03}^{-0.04}$	2.02
C5	$0.83_{+0.09}^{-0.08}$	55.89/41(1.36)	$1.04_{+0.03}^{-0.03}$	1.23
XM1	$0.64_{+0.05}^{-0.04}$	71.02/77(0.92)	$0.95_{+0.03}^{-0.03}$	1.13
XM2	$0.63_{+0.09}^{-0.08}$	40.97/27(1.51)	$0.82_{+1.73}^{-0.07}$	0.97

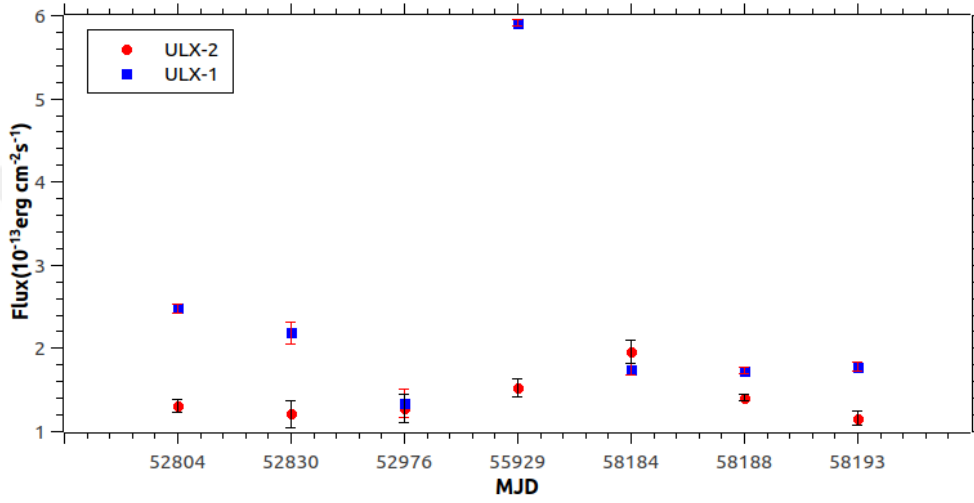
Çizelge 4.8. NGC 4861 ULX-2'nin X-ışın analizi sonucu en iyi uyum veren DISKPBB model parametreleri.

Kaynak	kTin keV	χ^2/dof	$F(10^{-13})$ $\text{ergcm}^{-2}\text{s}^{-1}$	p	$L(10^{39})$ ergs^{-1}
C1	$1.03_{-0.33}^{+4.46}$	17.84/18(0.99)	$1.17_{-0.08}^{+0.11}$	0.6	1.39
C2	$1.09_{-0.35}^{+3.81}$	13.64/15(0.90)	$1.42_{-0.13}^{+0.20}$	0.6	1.68
C3	$0.92_{-0.14}^{+0.19}$	62.50/57(1.09)	$1.14_{-0.03}^{+0.03}$	0.5	1.35
C4	$1.12_{-0.30}^{+0.72}$	12.35/18(0.68)	$1.21_{-0.07}^{+0.11}$	0.6	1.43
C5	$0.85_{-0.15}^{+0.31}$	55.87/40(1.39)	$1.04_{-0.05}^{+0.05}$	0.7	1.23
XM1	$0.78_{-0.11}^{+0.14}$	64.15/26(0.84)	$0.99_{-0.04}^{+0.03}$	0.6	1.17
XM2	$1.13_{-0.29}^{+2.09}$	30.62/26(1.17)	$0.97_{-1.73}^{+0.07}$	0.5	1.16
XM3	$0.61_{-0.21}^{+0.44}$	5.63/8(0.70)	$0.80_{-0.13}^{+0.11}$	0.7	0.95



Şekil 4.7. NGC 4861 ULX-2'in XM1 veri seti kullanılarak elde edilen enerji tayfı. Burada uygulanan model en iyi uyum veren PL modelidir.

NGC 4861 galaksisinde ULX-1 ve ULX-2’de PL modeline göre hesaplanan akıların yıllara göre değişim grafiği Şekil 4.8’de gösterilmiştir. ULX-1’deki değişkenlik 2012’de yaklaşık 4.4 çarpanı kadar daha yüksektir. Bununla beraber ULX-2’nin akı değerlerinde belirgin bir değişim gözlenmemektedir.



Şekil 4.8. NGC 4861 ULX-1 ve ULX-2 nin akılarının zamana göre değişimi.

4.2. Astrometrik Düzeltme Hesaplamaları

ULX’lerin optik adayların konumunun belirlenmesi için kaynak koordinatlarının hassas olarak düzeltilmesi gerekir. Bunun için referans kaynaklar alınarak görüntüler arasındaki görel astrometrik fark düzeltilerek ULX’in optik karşılığının olası konumu belirlenmektedir. NGC 4861’de belirlenen ULX-1 ve ULX-2 için astrometrik düzeltme yapılmıştır. Bu işlemde ULX kaynağın X-ışınlarında belirlendiği Chandra konumu ile HST konumu tam örtüşmemektedir. Bu nedenle Chandra, Sloan Digital Sky Survey (SDSS) ve HST görüntüleri karşılaştırılarak görel astrometrik koordinat düzeltilmesi yapılmıştır. ULX-1 ve ULX-2’nin optik karşılığı için, Chandra, SDSS ve HST gözlemleri arasında çok sayıda eşleşen referans kaynaklar kullanılmıştır. Chandra görüntüsü için en uzun pozlu ACIS gözlemlerinden biri (Obsid 20992) seçilmiş ve X-ışını kaynaklarını

tespit etmek için CIAO *wavdetect* aracı (tool) kullanılmıştır. Burada, HST gözlemleri için ACS/WFC F606W filtresi (Veri Seti jc9v72010) seçilmiştir. Bu görüntüler de referans kaynaklarının yetersizliği nedeniyle, Chandra ve HST görüntülerinde eşleşen çiftleri bulmak zor olduğundan, bu karşılaştırma için SDSS mozaik R filtre görüntüsü (DR12 Science Archive Server, SAS) kullanılmıştır. SDSS ve Chandra görüntülerinde eşleşen 5 kaynak ve SDSS ve HST görüntülerinde eşleşen 6 kaynak koordinat değerleri ve aralarındaki uzaklık farkı Çizelge 4.9 ve Çizelge 4.10'da gösterilmiştir. Benzer yöntem Wang ve arkadaşları (2015) tarafından da yapılmıştır.

Çizelge 4.9. Chandra ve SDSS görüntülerinde eşleşen kaynakların koordinat değerleri arasındaki uzaklıklar ve uzaklık farkları.

SDSS		CHANDRA		
RA	DEC	RA	DEC	Farkı (")
12:59:08.076	+34:47:31.25	12:59:08.182	+34:47:31.44	1.595
12:59:05.966	+34:47:22.36	12:59:06.116	+34:47:22.00	2.261
12:59:03.938	+34:47:02.75	12:59:04.070	+34:47:02.63	1.983
12:59:03.926	+34:53:53.72	12:59:04.062	+34:53:53.61	2.053
12:59:03.893	+34:53:15.23	12:59:04.076	+34:53:15.35	2.738

Çizelge 4.10. HST ve SDSS görüntüsünde eşleşen kaynakların koordinat değerleri arasındaki uzaklıklar ve uzaklık farkları.

SDSS		HST		
RA	DEC	RA	DEC	Farkı (")
12:59:07.843	+34:51:18.90	12:59:07.850	+34:51:18.63	0.287
12:59:01.517	+34:51:50.61	+34:51:50.28	12:59:01.524	0.352
12:58:55.020	+34:50:34.49	12:58:55.027	+34:50:34.09	0.410
12:59:03.041	+34:52:51.44	12:59:03.026	+34:52:50.62	0.852
12:59:06.898	+34:51:58.24	12:59:06.895	+34:51:57.88	0.362
12:58:58.080	+34:51:44.28	12:58:58.092	+34:51:43.95	0.380

Bulduğumuz bu referans kaynakların kayma miktarlarının ortalaması alınmış ve aşağıdaki denklem kullanılarak ortalama kaymalardan X-ışın koordinatları çıkarılmıştır.

$$\sum_n = \frac{(Ref1 - ort) + (Ref2 - ort) + \dots}{2n} \quad (4.1)$$

4.1 denklemi her iki (RA ve DEC) koordinat içinde kullanılmıştır. Böylece Chandra ve SDSS arasında ULX koordinatının kayma miktarı bulunur. Bu kayma miktarı Chandra ULX kaynağının, SDSS deki karşılığıdır. Aynı adımlar HST ve SDSS arasında da yapılır. ULX'in koordinatından HST referanslar ortalaması çıkarılır. Bulunan yeni koordinat HST ve SDSS arasındaki kayma miktarını temsil eder. SDSS ve Chandra arasında bulunan kayma miktarından HST ve SDSS arasındaki kayma miktarı çıkarılır. ULX koordinatının (HST deki karşılık) değeri elde edilir. Düzeltilmiş yeni koordinatlar Çizelge 4.11'de verilmiştir.

Çizelge 4.11. ULX'lerin düzeltilmiş yeni konumları.

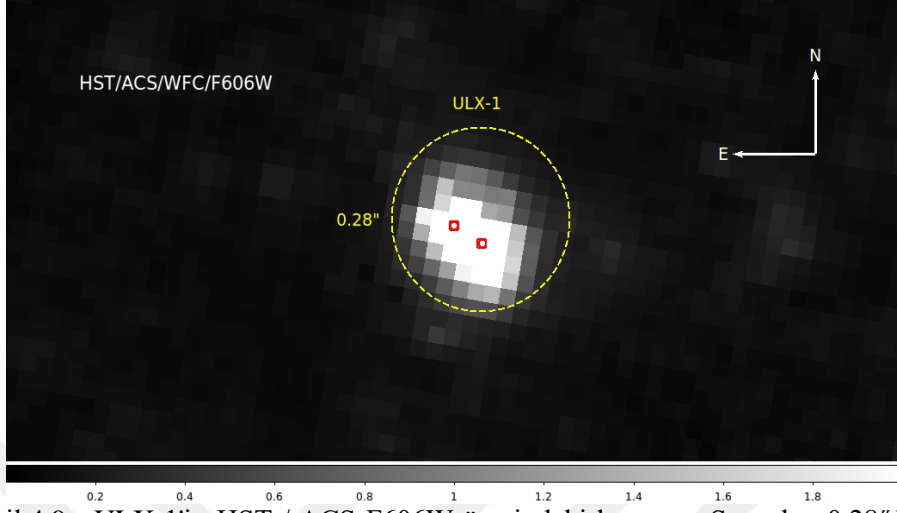
ULX'lerin Chandra Koordinatları		
	RA	DEC
ULX-1	12:59:01.949	+34:51:14.79
ULX-2	12:59:00.966	+34:50:47.90
SDSS görüntüsünde düzeltilmiş ULX koordinatları		
	RA	DEC
ULX-1	12:59:01.807	+34:51:14.83
ULX-2	12:59:00.823	+34:50:47.94
HST görüntüsünde düzeltilmiş ULX koordinatları		
	RA	DEC
ULX-1	12:59:01.810	+34:51:14.43
ULX-2	12:59:00.826	+34:50:47.54

Düzeltilmiş koordinatların hatalarını hesaplamak için;

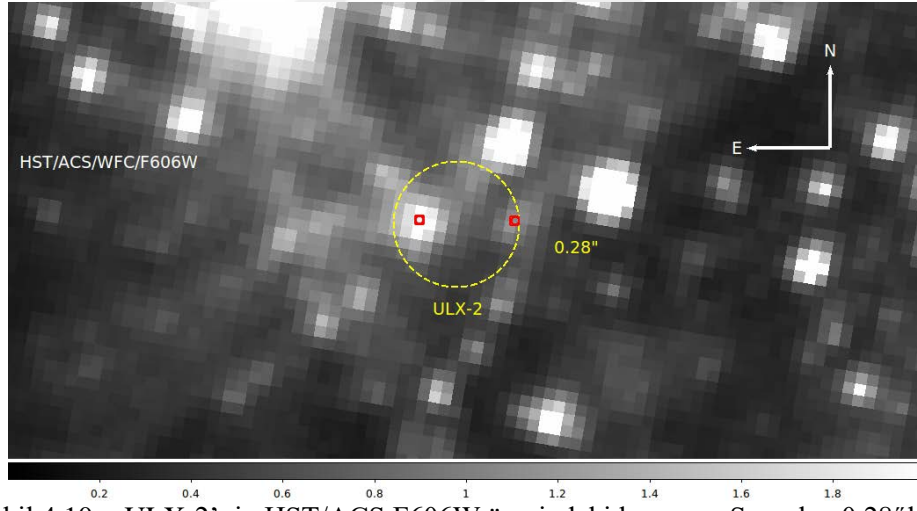
$$\sum RA = \left[\sum_{n=1}^n \frac{(RA(1) - ort)^2 + (RA(2) - ort)^2}{n(n-1)} \right]^{1/2} \quad (4.2)$$

$$\sum Dec = \left[\sum_{n=1}^n \frac{(Dec(1) - ort)^2 + (Dec(2) - ort)^2}{n(n-1)} \right]^{1/2} \quad (4.3)$$

Yukarıdaki denklemler (4.2 ve 4.3) kullanılarak sağ açıklık (RA) ve dik açıklık (DEC) değerlerinin hataları hesaplanır. SDSS-Chandra arasında ULX-1 ve ULX-2 düzeltilmiş koordinat RA(1), RA(2) ve DEC(1), DEC(2) dir. SDSS-HST arasında ULX-1 ve ULX-2 için düzeltilmiş koordinat RA(1), RA(2) ve DEC(1), DEC(2) için hesaplanır. Astrometrik hata SDSS-Chandra arasında RA için 2.12" ve DEC için 0.04", SDSS-HST arasında RA için 0.04" ve DEC için 0.42" dir. Son düzeltme, ULX-1 ve ULX-2'nin Chandra pozisyonunu HST görüntüsüne RA için $2.07'' \pm 1.08''$, Dec için $0.36'' \pm 0.02''$ çevirmek için kullanılır. Hata alanını bulmak için ULX koordinat hatalarının çarpımlarının karekökü alınır. Hata dairesinin yarıçapı $\sqrt{1.08'' \times 0.02''}$ olarak hesaplanır. ULX-1'in konumu Şekil 4.9'da ULX-2 nin konumu Şekil 4.10'da gösterilmiştir.



Şekil 4.9. ULX-1'in HST / ACS F606W üzerindeki konumu. Sarı alan 0.28'' hata yarıçapı, kırmızı kutu ise daire içerisinde olası optik karşılıkları göstermektedir.



Şekil 4.10. ULX-2'nin HST/ACS F606W üzerindeki konumu. Sarı alan 0.28'' hata yarıçapı, kırmızı kutu ise daire içinde olası optik karşılıkları göstermektedir.

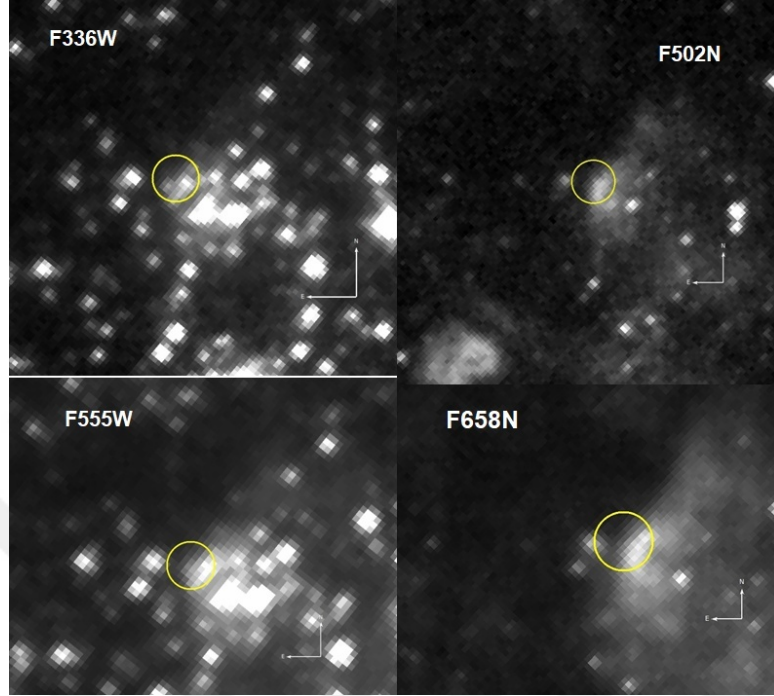
NGC 4449 galaksisinde Chandra ve HST arasında görelî astrometrik düzeltme yapılmıştır. Referans kaynağı olarak, bu galaksideki en parlak X-ışını kaynaklarından biri olan bir süpernova kalıntısı SNK 4449-1 (Mezcua, Lobanov,

Marti-Vidal, 2013) kullanılmıştır. Gelişmiş CCD Görüntüleme Spektrometresi (ACIS) ile poz süresi 59 ks olan Chandra gözlemi (ID10875) seçilmiştir. CIAO'daki *wavdetect* aracını kullanarak kaynakların X-ışınlarında konumları belirlenmiştir. Hem ULX hem de SNK, S3 çipinde, optik ekseninden 1,6 açı dakikadan daha küçük bir kayma bulunmuştur. ULX- 1 için RA = 12: 28: 17.831, Dec = + 44: 06: 34.10 ve SNK için RA = 12: 28: 10.960, Dec = 44: 06: 48.66.

SNK 4449–1, genç ve çok parlak oksijen açısından zengin bir SNK (Blair ve Fesen 1998) olarak tanımlandığından, 18 Kasım 2005'te ACS ile alınan dar bant F502N filtresinde HST gözlemi kullanıldı. F502N SNK pozisyonunu (RA = 12: 28: 11.036, Dec = + 44: 06: 49.68) kullanarak bu HST ve Chandra görüntüleri arasında RA'da 0.076" ve DEC'da 1.02" olarak kayma elde edilmiştir. Bir referans kaynağının seçilmesi, X-ışını ve optik görüntü arasındaki dönme düzeltilmesinin yapılmasını gerektirir. Bu nedenle Yang ve arkadaşlarının (2011) çalışmalarında izledikleri yol takip edilmiş ve Chandra ve Two Micron All Sky Survey (2MASS; Skrutskie ve ark, 2006) arasında yaklaşık 2 açı dakikalık bir dönme belirlenmiştir. ULX ve SNK arasındaki mesafe yaklaşık 75 açısanisesidir, bu nedenle dönmenin neden olduğu hata $d \cdot \tan(2') = 0.04''$ dahil edilerek toplam hata

$$\sigma = [(RA_{ULX_{\text{err}}})^2 + (Dec_{ULX_{\text{err}}})^2 + (d \cdot \tan(2'))^2 + (Ref_{RA_{\text{err}}})^2 + (Ref_{DEC_{\text{err}}})^2]^{1/2} \quad (4.4)$$

denkleminde hesaplanmıştır. Toplam hata yarıçapı yaklaşık 0.2" bulunmuştur (%90 güvenilirlikle). Astrometrik düzeltmelerden sonra F502N görüntüsünde ULX koordinatı RA=12:28:17.907 ve DEC=+44:06:35.12 dir. Hem F502N'de hem de diğer filtre görüntülerinde görülen 7-9 referans yıldız kullanılarak elde edilmiştir. Göreli astrometrik düzeltme ile hata yarıçapının 4 filtredeki görüntüsü Şekil 4.11'de verilmiştir.



Şekil 4.11. NGC4449 ULX-1'in HST/ACS F502N,F555W,F658N ve HST/WFC3 F336W daki konumu. Sarı renkli alan 0.2 açı saniyelik hata yarıçapını göstermektedir.

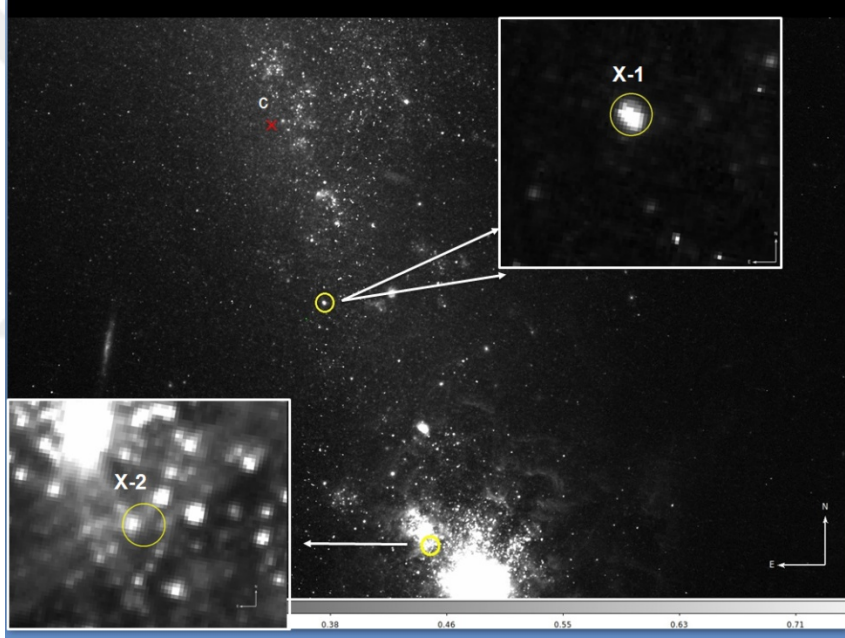
NGC 4861 ve NGC 4449 Galaksilerindeki ULX'lerin HST Veri Analizi

Belirlenen optik karşılıkların fotometrik analizleri DOLPHOT (v2.0) yazılımı içinde HST/ACS ve WFC3 kameraları ile yapılmıştır. Analizlerde *param* dosyası kullanılmıştır. NGC 4861 ULX-1 ve ULX-2 kaynakları için kullanılan param dosyasında $RA_{per}=5$ $SigFind=3.5$ parametreleri, NGC 4449 ULX-1 için kullanılan param dosyasında $RA_{per}=4$ $PSF_{phot}=1$ $SigFind=3.5$ parametreleri kullanılmıştır. Fotometrik işlemler için gerçekleştirilen adımlar Bölüm 3.7'de verilmiştir.

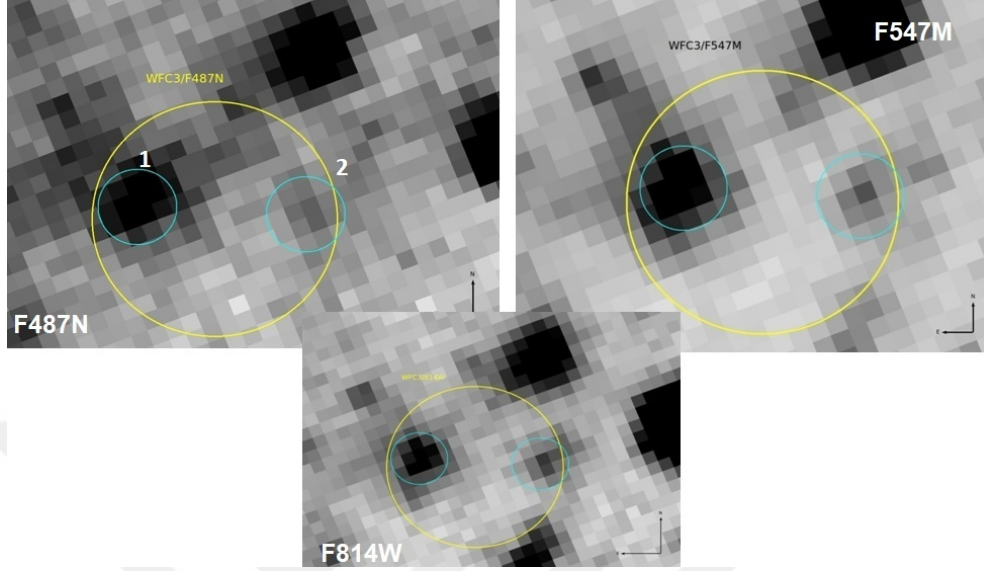
NGC 4861 galaksisinde ULX-1 ve ULX-2'nin konumu Şekil 4.12'de gösterilmiştir. ULX-1'in optik karşılığı 0.28" hata yarıçapı içinde bulunmaktadır. Şekil4.9'da görüldüğü gibi optik aday ya da adaylar ayrık bir kaynak olarak görülmemektedir. Bu yaygın görüntülü kaynak için daha fazla analiz yapılmamıştır.

Bir diğer kaynak olan ULX-2’de astrometrik düzeltme sonucu yine 0.28" hata yarıçap içerisinde iki ayrık optik karşılık belirlenmiştir (Şekil 4.10). HST/WFC3 F487N, F547M ve F814W filtrelerinde aday kaynaklar gösterilmiştir (Şekil 4.13) ve HST/ACS F606W, F814W filtrelerinde de bu kaynaklar Şekil 4.14’de gösterilmiştir.

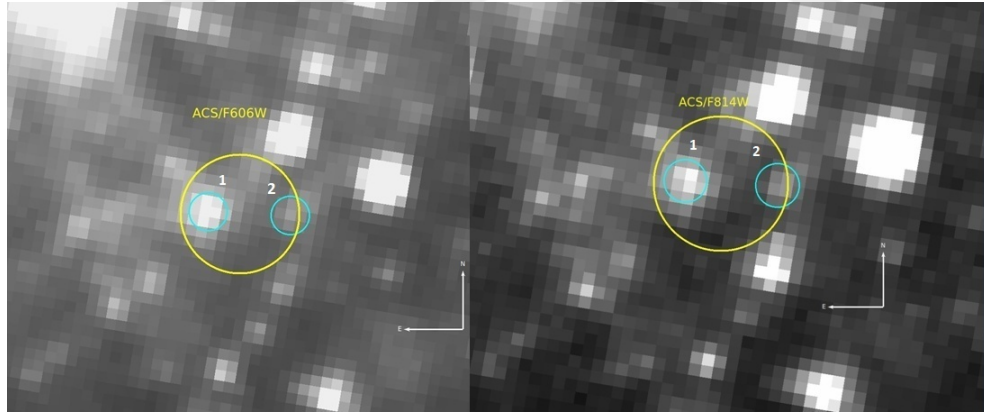
ULX-2’nin olası optik karşılıkların ACS ve WFC3 kamerası ile farklı filtrelerde alınan verilerin fotometrik analizleri sonucu elde edilen Vega parlaklıklar Çizelge 4.12 ve Çizelge 4.13’de verilmiştir.



Şekil 4.12. NGC 4861, ULX-1 ve ULX-2 kaynaklarının HST/ACS F606W filtresindeki konumu.



Şekil 4.13. HST/WFC3 F487N,F547M ve F814W filtrelerinde NGC 4861 ULX-2'nin hata yarıçapı 0.28" daire içerisinde belirlenen optik adaylar.



Şekil 4.14. NGC 4861 HST/ACS kamerasındaki F606W,F814W filtrelerindeki ULX-2'nin hata yarıçapı 0.28" daire içerisinde belirlenen optik adaylar.

Çizelge 4.12. NGC 4861 ULX-2’de optik adayların HST/WFC3 verilerinden elde edilen parlaklıkları ve kızarmadan arındırılmış değerler

Kaynak	Filtre	Vega Parlaklık (Kadir)
ADAY 1	F487N	23.05±0.19
	F547M	23.89±0.09
	F814W	24.20±0.13
	(B-V) ₀	-1.05
	(V-I) ₀	-0.11
	M _v	
ADAY 2	F487N	24.14±0.36
	F547M	24.88±0.16
	F814W	25.18±0.31
	(B-V) ₀	-0.76
	(V-I) ₀	-0.33
	M _v	-5.04

Çizelge 4.13. NGC 4861 ULX-2’de optik adayların HST/ACS verilerinden hesaplanan parlaklıkları ve kızarmadan arındırılmış değerler.

Kaynak	Filtre	Vega Parlaklık (Kadir)
ADAY 1	F606W	23.88±0.04
	F814W	24.20±0.08
	(V-I) ₀	-0.32
	M _v	-6.01
ADAY 2	F606W	24.63±0.07
	F814W	24.37±0.08
	(V-I) ₀	0.24
	M _v	-5.26

NGC 4861 ULX-2 alanına düşen iki optik karşılığın tayfsal tipini, kütlelerini ve yıldız kümeleriyle olan ilişkisini anlamak için Renk-Kadir Diyagramı (Color Magnitude Diagram, CMD) oluşturulmuştur (Şekil 4.16). CMD için ACS/WFC ile

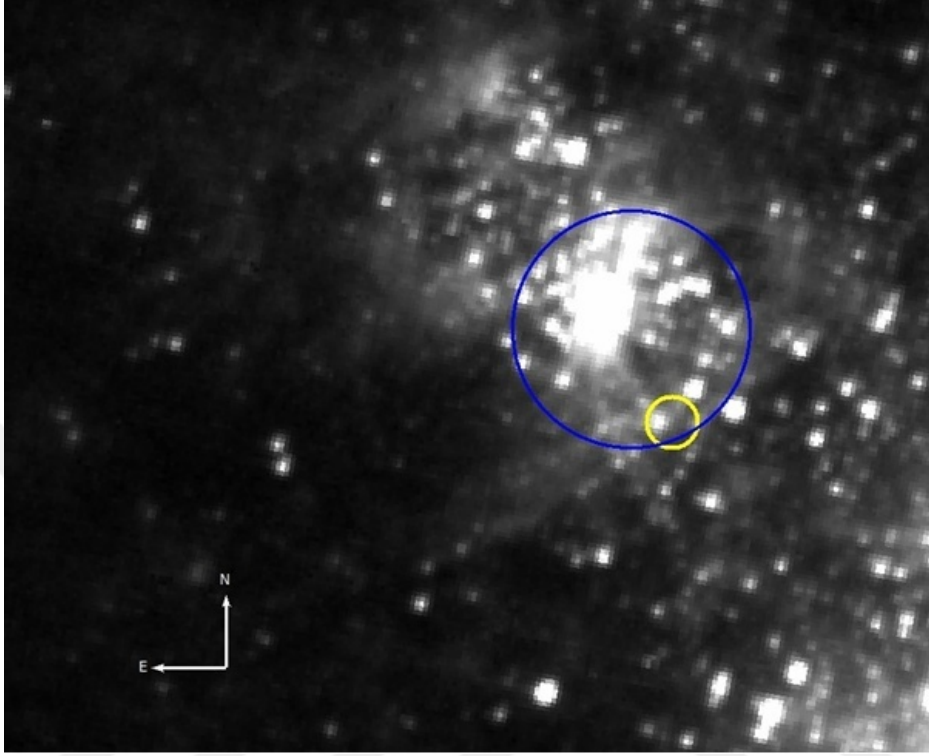
alınan F606W ve F814W filtreleri kullanılmıştır. PARSEC (Padova and Trieste Stellar Evolution Code-<http://stev.oapd.inaf.it/cgi-bin/cmd>) eşyaş çizgileri kullanılmıştır (Bressan ve ark, 2012). Kırmızı sürekli çizgiler ile gösterilen Padova eşyaş çizgileri, standart kızarma bağıntıları kullanılarak ve kızarma çizgisi boyunca kaydırılarak, küme yıldızları ile eşyaş çizgileri karşılaştırılmıştır. Şekilden de görüldüğü gibi, $Z=0.004$ (Karthick ve ark, 2014) metal bolluğunda ve $E(V-I)=0.010$ kızarma değerinde eşyaş çizgileri küme yıldızları ile iyi bir şekilde çakışmıştır. Uzaklık modülü $(m_v-M)=29.90$ kadir (9.55Mpc, Tully ve ark, 2016) alınmıştır. Küme oldukça yoğun bir yapıya sahip olup ULX-2'nin küme ile ilişkisini araştırmak için ULX kaynağı sınırda olmak üzere ve küme yıldızlarını da içerisine alacak şekilde yaklaşık 2.5" yarıçapa sahip bir dairesel alan seçilmiştir (Şekil 4.15). Kümenin yapısal parametrelerine ait bilgi edinebilmek için, kümenin radyal yoğunluk profili (RDP) elde edilerek King RDP uygulanmıştır (King, 1966) King fiti, yıldız yoğunlaşmalarının görüldüğü bölgelerde, küme yapılanması var ise ona ait yapısal parametreleri en iyi şekilde tanımlamaktadır. King fit parametreleri olan merkezi yüzey yıldız sayı yoğunluğu (σ_{OK}) ve çekirdek yarıçapı (R_{core}), RDP fit çözümlerinden elde edilir.

King profil fiti;

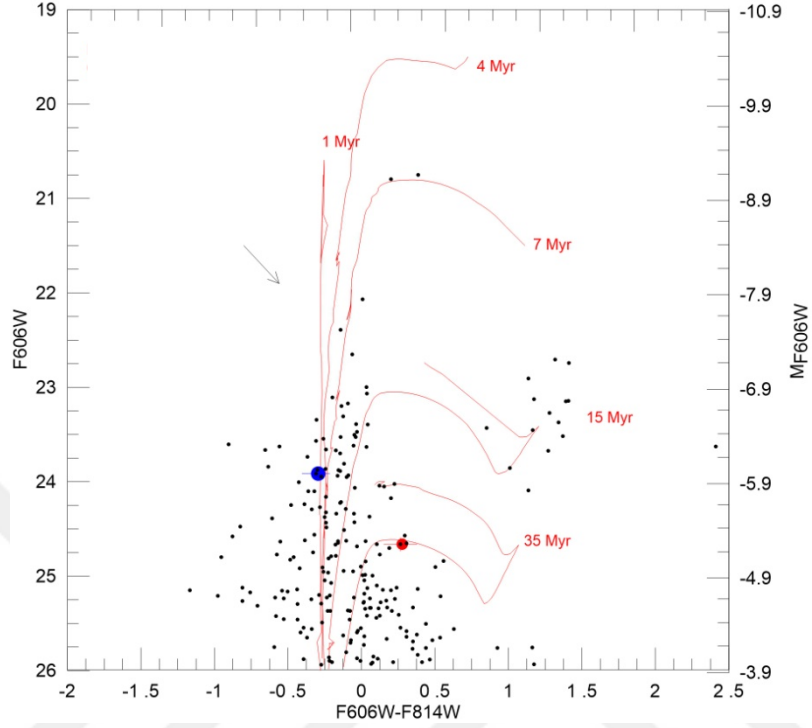
$$\sigma(R) = \sigma_{bg} + \sigma_{ok} / (1 + (R/R_{core})^2) \quad (4.5)$$

(4.5) denklemleri ile tanımlanır. Eşitlikteki σ_{bg} , σ_{ok} ve R_{core} parametreleri sırasıyla arka alan yıldız sayı yoğunluğunu, kümenin merkez yüzey sayı yoğunluğunu ve kümenin çekirdek yarıçapını tanımlar. Şekil 4.17'de NGC 4861 ULX-2'nin yakınında bulunan ve merkezi bir yoğunlaşma gösteren bölgeye ait RDP ve buna uygulanan King profil fiti bir küme oluşumuna işaret etmektedir. Böyle bir küme yapısının varlığı ULX-2'nin küme ile bir bağlantısı olup olmadığı araştırılmıştır. Böyle bir ilişkinin var olup olmadığının tartışılması için ULX-2 optik adayları ile kümenin, Padova eşyaş çizgilerinden elde edilen yaşlarının karşılaştırılması

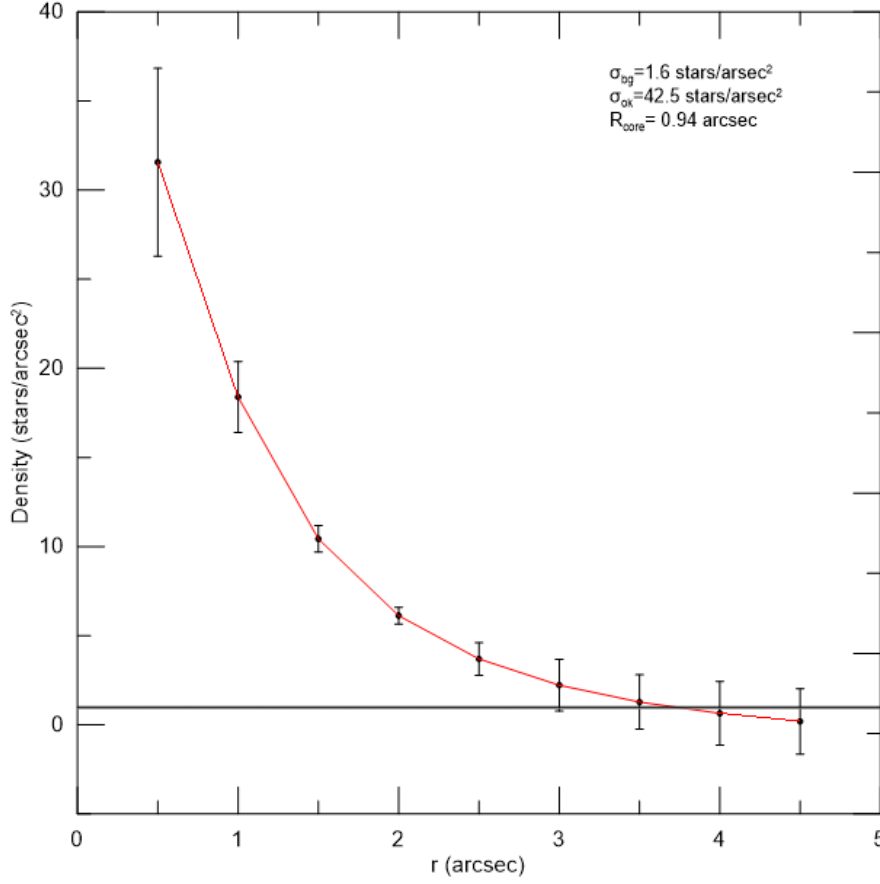
gerekir. Şekil 4.16'dan kümenin ortalama yaşı 7Myıl-15Myıl arasında değişmektedir. Kümenin olası en parlak üye yıldızları 7Myıl civarında bir yaşı sahiptir. Bunun yanında küme içerisinde 15Myıl eşyaş çizgisine yakın ve kırmızı dev kolunda yoğunlaşmış biraz daha genç yıldızların bulunması kümeyi oldukça ilginç hale getirmektedir. Kümenin oldukça yoğun bir yıldız oluşum bölgesinde olması ve HII bölgelerine olan yakınlıkları, kümenin farklı zamanlarda farklı evrim aşamalarından geçtiğini göstermektedir. Bu yüzden kümenin renk-kadir diyagramındaki yaşlarda oldukça büyük bir saçılma görülmektedir. ULX-2 nin optik bileşenlerinin yaşlarına bakıldığında ise her iki bileşen için iki farklı durum söz konusudur. Şekil 4.16'da mavi ile belirtilen kaynak daha parlak ve kümeden daha genç bir yaşa sahipken, kırmızı ile belirtilen daha sönük kaynak kümenin ortalama yaşından daha büyük yaşa sahip daha evrimleşmiş bir yıldızdır. Buna göre yıldız kümesinin ve ULX-2 nin optik bileşenlerinin HII bölgelerine yakın konumda olmasından dolayı parlak ve 1-4Myıl'lık yaşa sahip olan optik bileşen küme oluşumunun son zamanlarında oluşmuş ve kümeden fırlatılmış olabilir. Küme yakınında bulunan bu iki optik bileşen küme merkezinden yaklaşık 2.3" (=110 pc) bir ayrıklığa sahip olup, kümenin limit yarıçapını dikkate aldığımızda (yaklaşık 3") küme limit yarıçapı içerisinde kalmaktadır.



Şekil 4.15. NGC4861 ULX-2 için ULX sınırdaki olmak üzere yarıçapı 2.5" olarak seçilen alanda (mavi daire) bulunan kümenin konumu.



Şekil 4.16. NGC 4861 ULX-2'nin olası optik karşılıklarının ve yakınındaki yıldız kümesinin V-(V-I) renk-kadir diyagramı. Mavi ve kırmızı yıldızlar sırasıyla kaynak1 ve kaynak2'yi, içi dolu siyah noktalar ise 2.5" olarak seçilen alan içerisinde kalan yıldızlardır.



Şekil 4.17. NGC 4861 galaksisinde ULX-2 sınırda olmak üzere seçilen alanın King profili.

ULX-2'nin tayfsal tipini belirlemek için IRAF (v2.16) 'daki STSDAS SYNPHOT sentetik fotometri paket programı kullanılmıştır. Güneş metal bolluğuna sahip CK04 standart yıldız tayfları (Castelli ve Kurucz, 2004) kullanılarak SYNPHOT aracı *calcspec* ile hesaplanmıştır. NGC 4861 ULX-2'deki iki optik aday için tayfsal enerji dağılımları (SED'ler) HST çok bantlı gözlemlerinden oluşturulmuştur. Sönümlenme etkisi çıkarılmış Vega parlaklıklar için sönümlenme değerleri kullanılmıştır (Çizelge 4.14). Vega parlaklıklardan akı hesabı aşağıdaki denklem (4.6) ile yapılmıştır.

$$M_{\text{vega}} = -2.5 \log_{10}(F_{\lambda}) - 21.10 \quad (4.6)$$

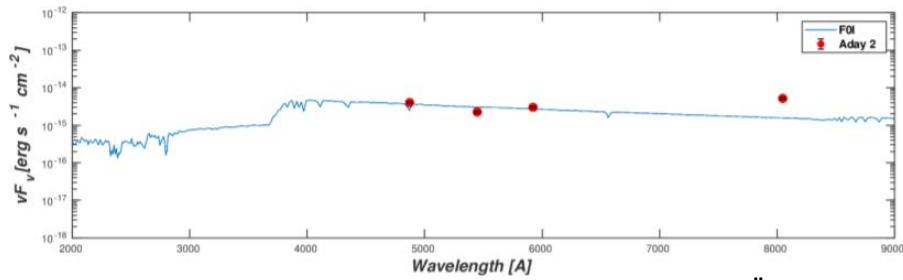
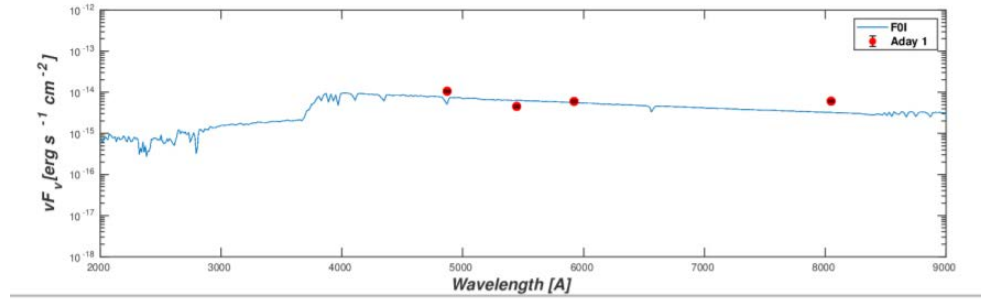
Bulunan F_{λ} akı birimi $\text{erg/s cm}^2 \text{Å}^{\circ}$ dır. Her bir filtrenin pivot (peak) dalga boyu ile çarpılarak yeni akı elde edilir ve birimi erg/s cm^2 dir. ULX-2'nin akı değerleri ve pivot dalga boyu Çizelge 4.16 da verilmiştir. Bu akı değerlerine en iyi uyum veren sentetik spektrum her iki aday için FOI tipi olarak belirlenmiştir. Şekil 4.18'de hesaplanan akılarla aday kaynakların tayfsal enerji dağılımı ve karşılık gelen tayfsal tipi gösterilmektedir.

Çizelge 4.14 NGC 4861 HST filtrelerinin galaktik sönmleme değerleri.

Filtre	Sönmleme Değerleri
F487N	0.035
F547M	0.031
F814W	0.016
F606W	0.026
F814W	0.016

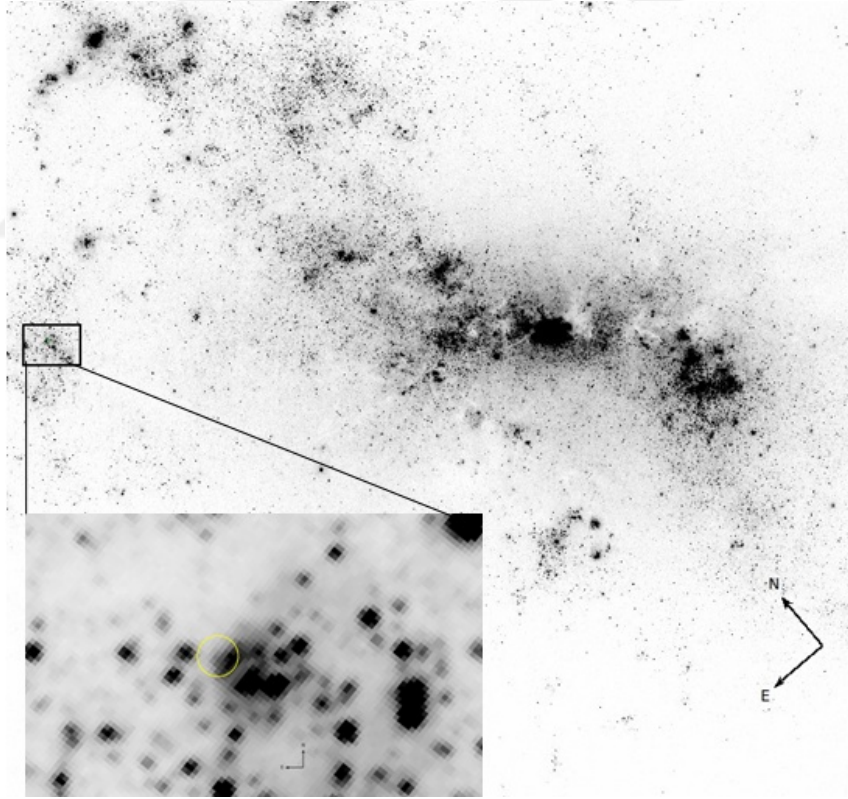
Çizelge 4.15. NGC 4861 ULX-2 optik adayların pivot dalga boyu, hesaplanan akıları.

ADAY 1	Filtre	λ (Å)	ν (10^{14} s^{-1})	νF_ν ($10^{-15} \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$)
WFC3/UVIS	F487N	4873.3	0.11	10.6
	F547M	5435.7	8.93	4.52
	F814W	7977.1	6.93	6.02
ACS/WFC	F606W	5921.9	0.10	6.00
	F814W	8044.9	8.93	6.08
ADAY 2				
WFC3/UVIS	F487N	4873.3	0.11	4.03
	F547M	5435.7	8.93	2.26
	F814W	7977.1	6.93	2.49
ACS/WFC	F606W	5921.9	0.10	3.01
	F814W	8044.9	8.93	5.19

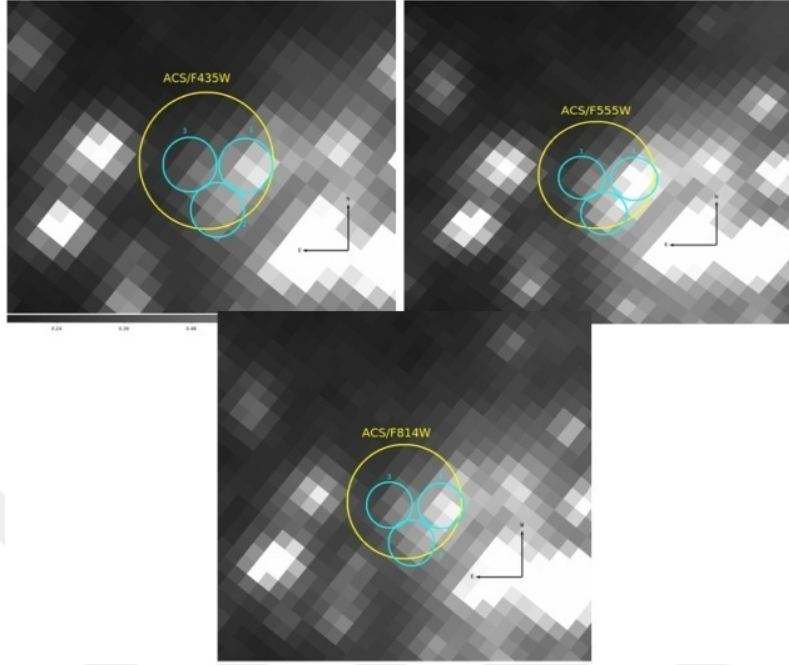


Şekil 4.18. NGC 4861 ULX-2’de optik adayların SED grafikleri. Üst panel Aday 1 için, alt panel Aday 2 için verilmiştir.

Bu tezde çalışılan bir diğer ULX, NGC 4449'da X-1 kaynağıdır. Bu kaynak için HST/ACS ve HST/WFC3 verileri kullanılmıştır. Şekil 4.19'da NGC 4449 ULX-1'in HST/WFC3 F336W filtresindeki konumu gösterilmiştir. Yapılan astrometrik düzeltmeler sonucu hata yarıçapı 0.2" olan daire içinde üç optik aday belirlenmiş ve Şekil 4.20'de gösterilmiştir. ULX-1'de üç adayın fotometrik analiz sonuçları Vega parlaklıkları Çizelge 4.16 ve Çizelge 4.18'de verilmiştir. Çizelge 4.17'de HST/ACS filtrelerin galaktik kızarmadan arındırılmış renk değerleri ve mutlak parlaklıkları verilmiştir. Birinci sütunda aday kaynaklar, ikinci sütunda (B-V)₀, üçüncü sütunda (V-I)₀, dördüncü sütunda ise mutlak parlaklık değerleri verilmiştir.



Şekil 4.19. NGC4449 ULX-1'in HST/WFC3 F336W filtresindeki konumu.



Şekil 4.20. NGC 4449 ULX-1 HST/ACS F435W, F555W, F814W filtrelerinde optik adayların konumu.

Çizelge 4.16. NGC 4449 ULX-1 HST/ACS verileri ile elde edilen parlaklıklar.

Kaynak	Filtre	Vega Parlaklık (Kadir)
Kaynak 1	F435W	23.07±0.02
	F555W	23.02±0.02
	F814W	23.35±0.03
	F502N	21.75±0.11
	F550M	23.86±0.09
	F660N	22.18±0.10
	F814W	23.83±0.12
Kaynak 2	F435W	23.47±0.03
	F555W	23.04±0.03
	F814W	23.34±0.04
	F502N	21.72±0.12
	F550M	24.38±0.14
	F660N	22.65±0.3
	F814W	23.24±0.06
Kaynak 3	F435W	23.84±0.03
	F555W	23.87±0.04
	F814W	24.07±0.06
	F502N	21.76±0.11
	F550M	24.12±0.10
	F660N	22.22±0.20
	F814W	24.04±0.12

Çizelge 4.17. NGC 4449 ULX-1 HST/ACS verileri ile hesaplanan kızarmadan arındırılmış renk indisleri ve mutlak parlaklık değerleri.

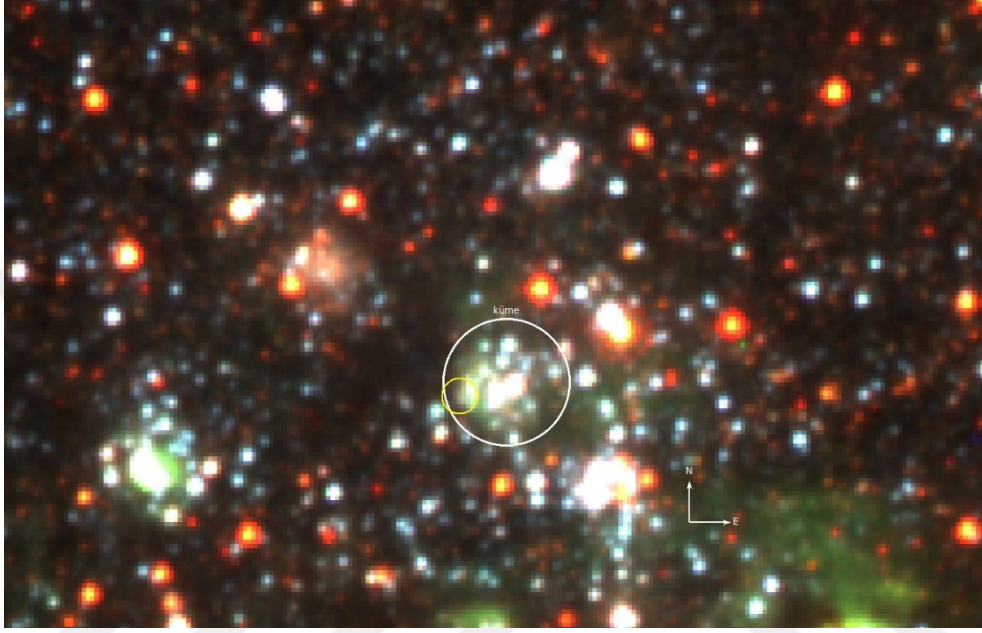
Kaynak	$(B-V)_0$	$(V-I)_0$	M_v
Kaynak 1	-0.09	-0.5	-4.81
Kaynak 2	0.29	-0.4	-4.79
Kaynak 3	-0.17	-0.3	-3.96

Çizelge 4.18. NGC 4449 ULX-1 HST/WFC3 verileri ile hesaplanan parlaklıklar.

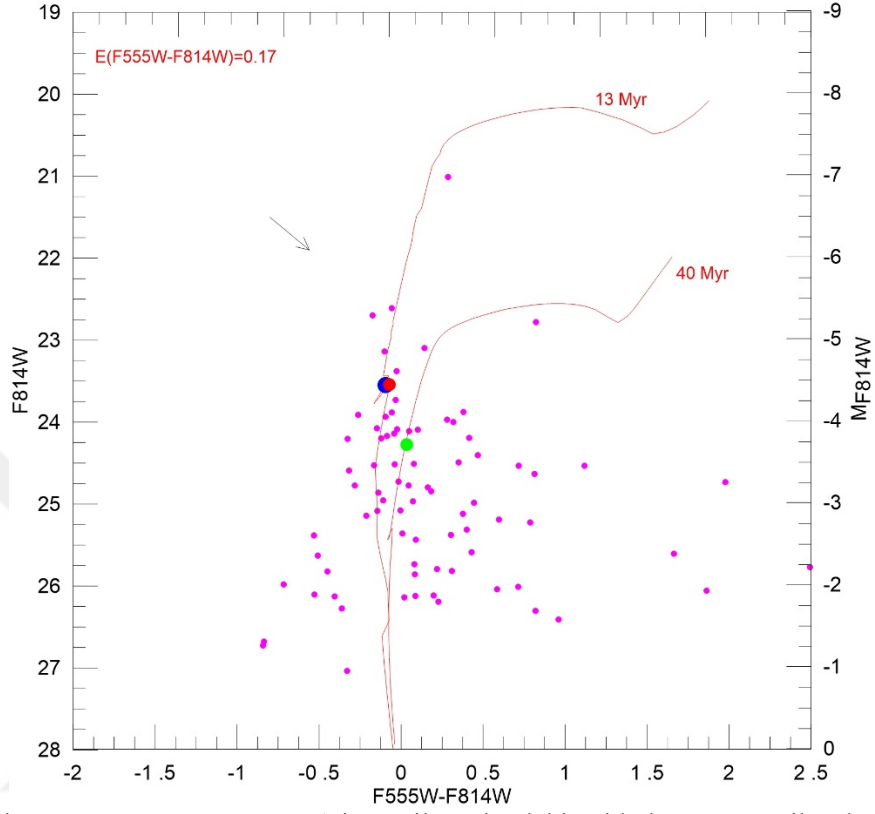
Kaynak	Filtre	Vega Parlaklık (Kadir)
Kaynak 1	F336W	22.32±0.05
	F275W	21.26±0.06
Kaynak 2	F336W	22.19±0.05
	F275W	21.98±0.07
Kaynak 3	F336W	22.42±0.05
	F275W	21.95±0.07

ULX-1'in yaş ve tayfsal tipini belirlemek için seçilen alan ve kaynakları içeren CMD oluşturulmuştur. Şekil 4.22 ve Şekil 4.23'de aday kaynakların yaş grafiğini, Şekil 4.24'de aday kaynakların kütle grafiği görülmektedir. NGC 4449 ULX-1 için literatürde verilen metal bolluğu $Z=0.004$ ve galaktik kızarma değeri $E(B-V)=0.14$ kullanılmıştır (Sabbi ve ark, 2018). Litaretürden alınan $E(B-V)$ değerinden $E(V-I)$ değerini elde etmek için $E(V-I)=1.25 \times E(B-V)$ bağıntısı kullanılarak belirlenmiştir. 3.7 Mpc (Swartz ve ark, 2011) uzaklık değeri kullanılarak uzaklık modülü $m_v-M=27.84$ hesaplanmıştır. CMD'yi oluşturmak için HST/ACS F435W, F555W ve F814W filtreleri kullanılmıştır. Fotometrik analizler sonucu elde edilen parlaklıklardan $A_v=0.43$ (Sabbi ve ark, 2018) $A_B=0.56$ ve $A_I=0.2$ kullanılarak sönmüleme etkisi çıkarılmıştır. NGC 4449 ULX-1'in konumunun yakın kümesiyle ilişkisi araştırılmıştır (Şekil 4.21). Küme için ULX-1 sınırda olmak üzere yarıçapı 1" olan dairesel alan seçilmiştir. ULX-1'in kümenin merkezine olan uzaklığı 0.25" dir. NGC 4861 ULX-2 için benzer yöntemler

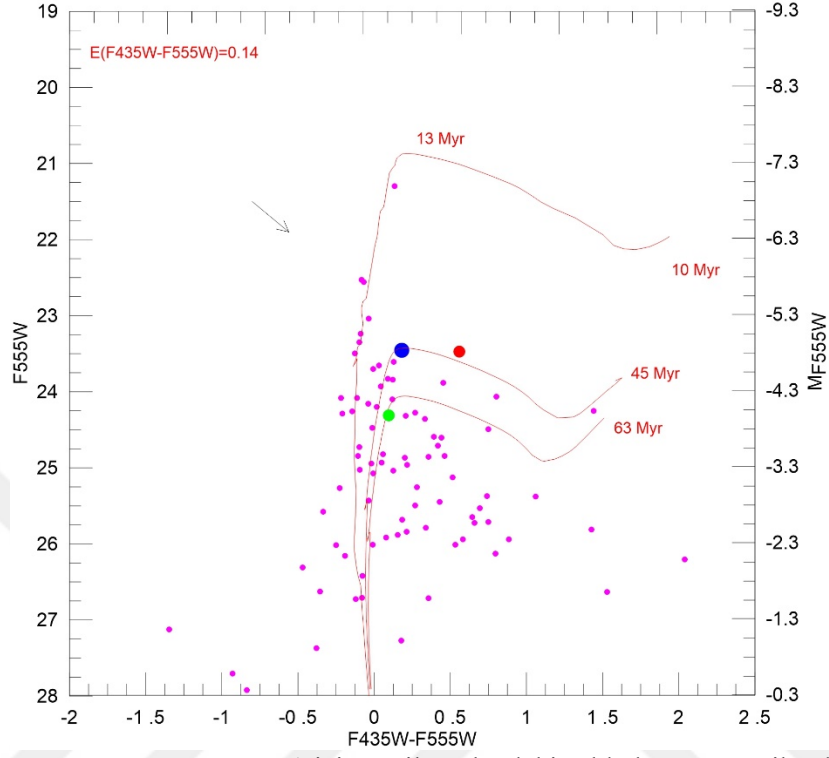
kullanılarak NGC 4449 ULX-1'in kümeye yakın olması sebebiyle kümenin yaklaşık yarıçapını belirlemek için King profili çizdirilmiştir (Şekil 4.25).



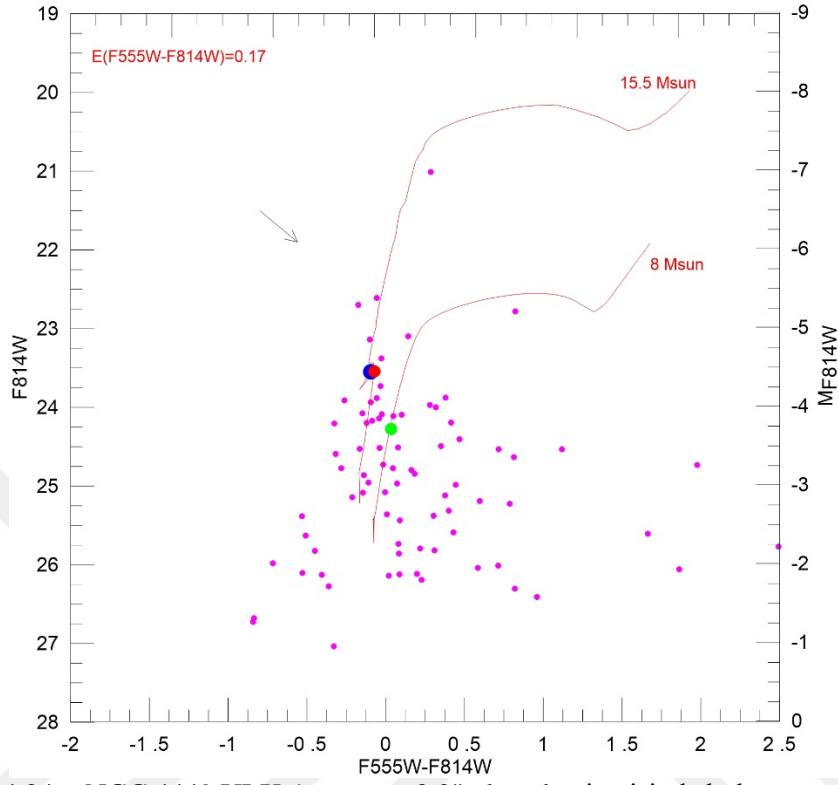
Şekil 4.21. HST/ACS kamerasında ULX-1 sınırda olmak üzere yarıçapı 1" olarak seçilen alanda bulunan kümenin üç renk gösterimi.



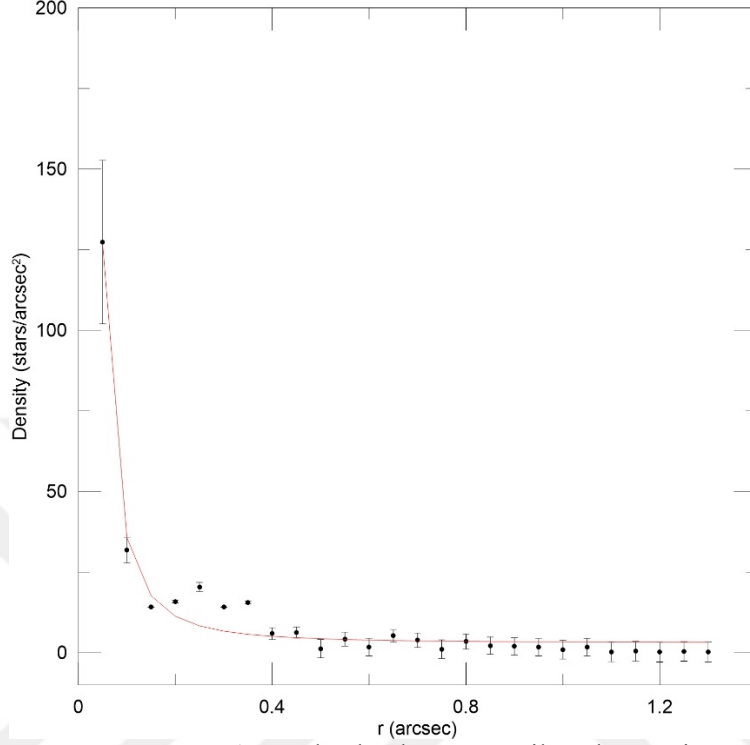
Şekil 4.22. NGC 4449 ULX-1'in seçilen alandaki yıldızların ve optik adayların eşyaş çizgilerinden oluşan CMD. Mavi, kırmızı ve yeşil noktalar sırasıyla kaynak1,kaynak2 ve kaynak3' ü temsil etmektedir. Pembe renk ise yarıçapı 1" olarak seçilen daire içinde bulunan kümenin yıldızlarını gösterir.



Şekil 4.23. NGC 4449 ULX-1 için seçilen alandaki yıldızların ve optik adayların eşyaş çizgilerinden oluşan CMD. Mavi, kırmızı ve yeşil noktalar sırasıyla kaynak1,kaynak2 ve kaynak3' ü temsil etmektedir. Pembe renk ise yarıçapı 1" olarak seçilen daire içinde bulunan kümenin yıldızlarını gösterir.



Şekil 4.24. NGC 4449 ULX-1 yarıçapı 0.2" olan alan içerisinde bulunan üç optik aday kaynak için kütle eşyaş çizgilerine göre CMD.



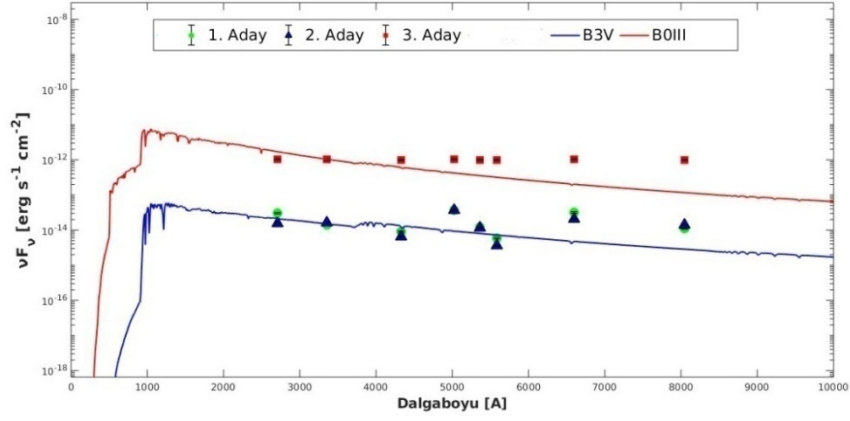
Şekil 4.25. NGC 4449 ULX-1 sınırda olmak üzere seçilen alanın King profili.

NGC 4449 ULX-1 deki üç optik adayın tayfsal tipini belirlemek için IRAF (v2.16)'da SYNPHOT paket programı kullanılmıştır. SED'ler üç optik adayın tayfsal tipini belirlemek için HST çok bantlı gözlemlerden elde edilen akıları ve pivot dalga boyu kullanılmıştır. Sönümlenme etkisinin çıkarılması için $A_V=0.43$ (Sabbi ve ark, 2018) değerinden; sönümlenme değerleri $A_B=1.324 \times A_V$, $A_I=0.482 \times A_V$ olarak hesaplanmış ve diğer filtrelerin sönümlenme değerleri,

$$A_\lambda = A_V \times \frac{5550}{\lambda_{eff}} \quad (4.7)$$

(4.7) denklemi ile hesaplanmıştır. Her bir dalga boyuna karşılık gelen akı değerleri Denklem (4.6) ile hesaplanmıştır. Belirlenen akı değerleri ve pivot dalga boyu Çizelge 4.19'da verilmiştir.

NGC 4449 ULX-1 hata yarıçapı 0.2" daire içinde bulunan üç optik aday için olası taysal tipleri Şekil 4.26'da gösterilmektedir. Üç optik adayı aynı grafikte göstermek amacıyla 3.adayın değerleri 100 ile çarpılmış dolayısıyla yukarıya kaydırılmıştır.

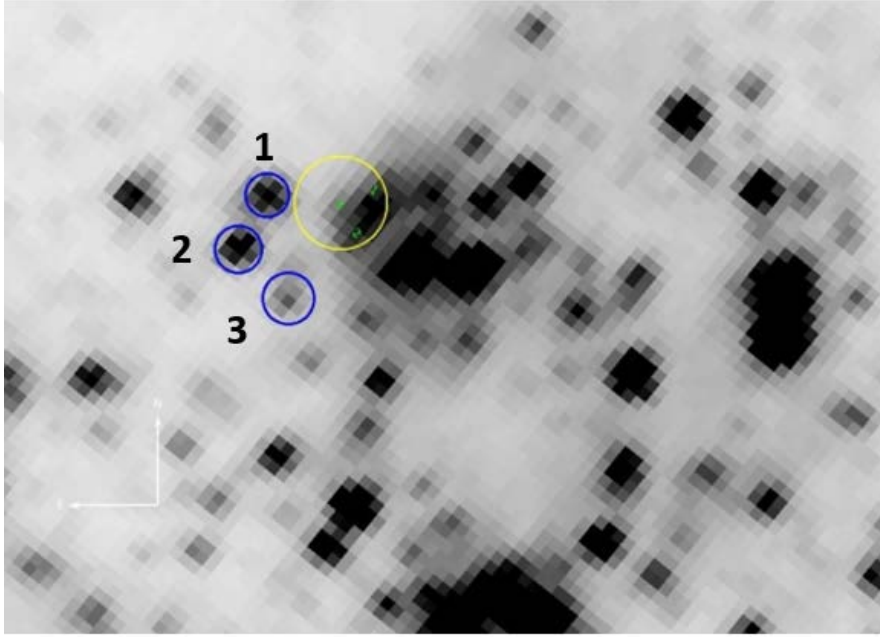


Şekil 4.26. NGC 4449 ULX-1'in optik adaylar için oluşturulan SED.

Çizelge 4.19. NGC 4449 ULX-1 HST/ACS, HST/WFC3 filtrelerinde hesaplanan akıları

Kaynak	HST	Filtre	λ (Å)	ν (10^{14} s^{-1})	νF_{ν} ($10^{-14} \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$)
ADAY 1	HST/ACS	F435W	4328.7	6.93	0.92
		F555W	5359.9	5.59	1.20
		F814W	8047.5	3.72	1.33
		F502N	5023.0	5.97	3.63
		F550M	5581.2	5.37	0.57
		F660N	6599.4	4.54	3.21
		F814W	8047.5	3.72	0.85
	HST/WFC3	F336W	3354.8	8.94	1.42
		F275W	2707.1	0.10	3.07
ADAY 2	HST/ACS	F435W	4328.7	6.93	0.64
		F555W	5359.9	5.59	1.18
		F814W	8047.5	3.72	1.34
		F502N	5023.0	5.97	3.74
		F550M	5581.2	5.37	0.35
		F660N	6599.4	4.54	2.08
		F814W	8047.5	3.72	1.47
	HST/WFC3	F336W	3354.8	8.94	1.62
		F275W	2707.1	0.10	1.58
ADAY 3	HST/ACS	F435W	4328.7	6.93	0.45
		F555W	5359.9	5.59	0.54
		F814W	8047.5	3.72	0.68
		F502N	5023.0	5.97	3.60
		F550M	5581.2	5.37	0.45
		F660N	6599,4	4.54	3,10
		F814W	8047.5	3.72	7.07
	HST/WFC3	F336W	3354.8	8.94	1.31
		F275W	2707.1	0.10	1.63

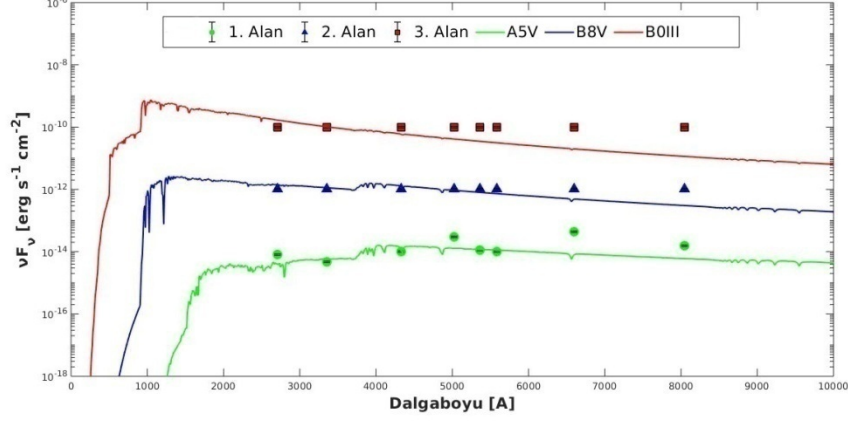
Şekil 4.26'daki SED grafiğinde dikkat çeken F660N ve F814W filtrelerindeki fazlalığı yorumlayabilmek için ULX'in yakınında bulunan üç alan yıldızı seçilmiştir (Şekil 4.27). Seçilen üç alan yıldızının belirlenen akı değerleri ve pivot dalga boyu Çizelge 4.20'de ve SED grafiği Şekil 4.28'de gösterilmiştir. Grafikte alan yıldızlarına ait SED'ler seçilebilsin diye ikinci adayın değerleri 100 ile üçüncü adayın değerleri 10^4 ile çarpılmış dolayısıyla yukarıya kaydırılmıştır.



Şekil 4.27. HST/ASC F435W filtresinde NGC 4449 ULX-1'in yakınında seçilen alan yıldızları.

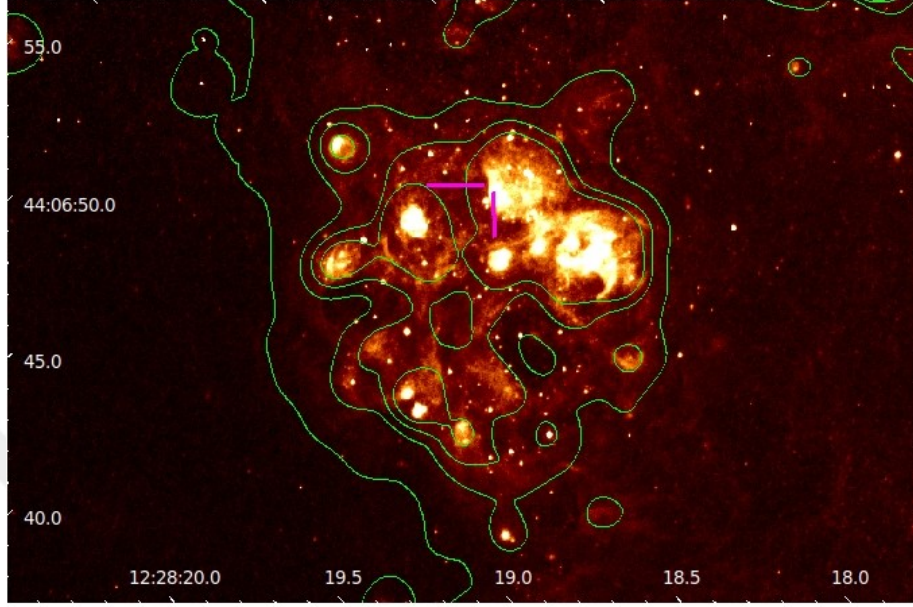
Çizelge 4.20. NGC 4449 galaksisinde seçilen alan yıldızlarının HST/ACS, HST/WFC3 filtrelerinde hesaplanan akıları

Yıldız	HST	Filtre	λ (Å)	ν (10^{14} s^{-1})	νF_{ν} ($10^{-14} \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$)
1	HST/ACS	F435W	4328.7	6.93	1.02
		F555W	5359.9	5.59	1.12
		F814W	8047.5	3.72	1.47
		F502N	5023.0	5.97	3.02
		F550M	5581.2	5.37	1.01
		F660N	6599.4	4.54	4.44
		F814W	8047.5	3.72	1.65
	HST/WFC3	F336W	3354.8	8.94	0.46
		F275W	2707.1	0.10	0.83
2	HST/ACS	F435W	4328.7	6.93	1.06
		F555W	5359.9	5.59	1.19
		F814W	8047.5	3.72	2.34
		F502N	5023.0	5.97	0.60
		F550M	5581.2	5.37	0.88
		F660N	6599.4	4.54	1.67
		F814W	8047.5	3.72	3.32
	HST/WFC3	F336W	3354.8	8.94	1.51
		F275W	2707.1	0.10	1.64
3	HST/ACS	F435W	4328.7	6.93	0.38
		F555W	5359.9	5.59	0.50
		F814W	8047.5	3.72	0.65
		F502N	5023.0	5.97	0.62
		F550M	5581.2	5.37	0.50
		F660N	6599,4	4.54	0.76
		F814W	8047.5	3.72	0.61
	HST/WFC3	F336W	3354.8	8.94	1.03
		F275W	2707.1	0.10	1.09

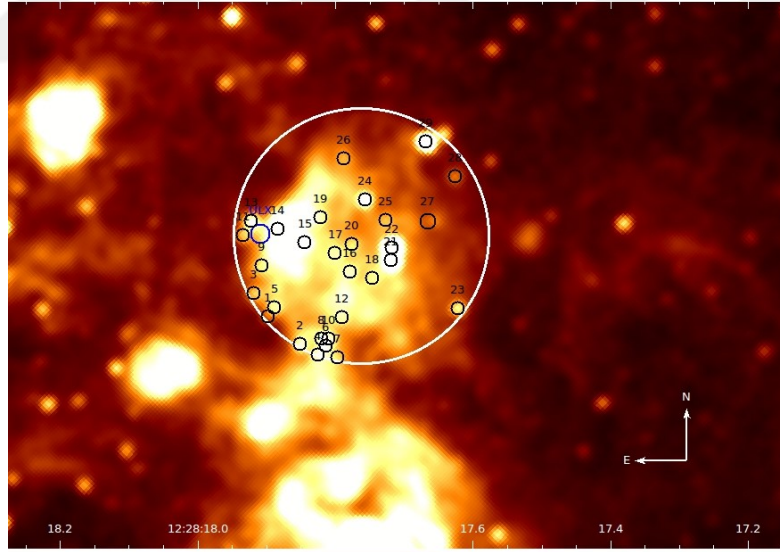


Şekil 4.28. NGC 4449 ULX-1'in yakınındaki alan yıldızlarının SED.

NGC 4449 ULX-1'in çevresini ve yıldız oluşum bölgelerini incelemek için H α görüntüsü (F658N) j9cd03020_Ha_drz.fits kullanılmıştır (Şekil 4.29). Kaynak ve çevresini içine alacak şekilde 40 pixel açıklıkta bir alan seçilmiştir (Şekil 4.30) ve alandan gelen akı 853.5 ADU (1ADU=1.3x10⁻¹⁸erg cm⁻²s⁻¹) olarak hesaplanmıştır. Alandaki yıldızların 2 pixel açıklık ile H α akılarının toplamı 144.21 ADU olarak belirlenmiştir. Dolayısıyla alandan gelen akı 853.5-144.21=709.3 ADU (922.09x10⁻¹⁸ erg cm⁻²s⁻¹dir) olarak hesaplanmıştır Bu hesaplamada IDL (Interactive Data Language, IDL-v8.7.2) programı kullanılmıştır.



Şekil 4.29. NGC 4449 H α renklendirilmiş görüntüsü. Pembe çizgiler ULX-1'in konumu. Yeşil kontur eş parlaklık seviyelerini göstermektedir.



Şekil 4.30. NGC 4449 H α görüntüsünde beyaz daire içindeki alan kaynak ve çevresini içine alacak şekilde seçilen 40 piksellik alandır. Siyah daireler alan yıldızlarını, mavi daire ULX'in konumunu gösterir.



5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında yakın (<10 Mpc) galaksiler NGC 4861 ve NGC 4449'da X-ışın gözlemlerinden belirlenen ULX'lerin optik karşılıkları araştırılmıştır. Bu amaçla HST arşiv verileri kullanılmıştır. Bunun yanı sıra Chandra ve XMM-Newton X-ışın veri arşivinde bulunan yeni (daha önce ULX çalışmalarında kullanılmamış) veriler analiz edilip oluşturulan X-ışın enerji tayfi modellenerek önceki çalışmaların sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.

NGC 4861 galaksisinde bulunan iki ULX kaynağının, X-ışın koordinatları kullanılarak HST görüntülerindeki optik karşılıklarının belirlenmesi için astrometrik düzeltme yapılmıştır. Bu hesaplama için Chandra, SDSS ve HST verileri kullanılmıştır. Astrometrik düzeltme sonucu hata yarıçapı $0.28''$ daire içerisinde optik adaylar belirlenmiştir. ULX-1 için bu hata alanı içerisinde belirgin ayrık kaynaklar belirlenememiştir. Bunun yanısıra ULX-2 için iki optik aday karşılık belirlenmiştir. Belirlenen iki optik adayın fotometrik analizi için HST/WFC3 ve HST/ACS gözlemleri kullanılmıştır. Birinci ve ikinci aday için görünür ve mutlak parlaklıklar sırasıyla $m_v=23.88$ $m_r=24.20$ $M_v=-6.01$ ve $m_v=24.63$ $m_r=24.37$ $M_v=-5.26$ olarak belirlenmiştir. Adayların mutlak parlaklık değerleri daha önce belirlenen ULX'lerin optik karşılıklarının değerleri ($-7 < M_v < -3$) ile uyumlu olduğu görülmüştür. Sönümleme etkisi çıkarılmış renk indisleri sırasıyla birinci kaynak için $(V-I)_0=-0.32$, ikinci kaynak için $(V-I)_0=0.24$ olarak hesaplanmıştır. ULX'lerden gelen optik ışıma ikincil yıldızdan veya sistemdeki birincil bileşen etrafında bulunan yığılma diskinden ya da her iki bileşenden de gelebilir. Fakat biz tüm optik ışımının ikincil yıldızdan geldiğini varsayarak hesaplarımızı tamamladık. NGC 4861 ULX-2 hata yarıçapı içerisinde bulunan optik aday kaynakların IRAF (v2.16)'daki STSDAS SYNPHOT sentetik fotometri paket programı ile tayfsal enerji dağılımı oluşturulmuştur. Optik karşılıkların tayfsal tipi birinci ve ikinci aday kaynak için FOI olarak belirlenmiştir. Her iki aday kaynağın yaşı 31Myıl olarak hesaplanmıştır. Bulunan bu değerler CMD kullanarak da elde

edilir. CMD için B,V, I parlaklıkları kullanılır. NGC 4861 ULX-2 için B filtresi dar (narrow) olduğundan bu filtreye ait eşyaş çizgileri bulunmamaktadır. Buyüzden sadece V, I filtreleri için CMD oluşturuldu. B ve B-V CMD'si oluşturulmadığından yalnızca V ve V-I diagramın verdiği kütle ve yaş değerlerinin güvenilirliği zayıf bulunmuştur.

Küme yakınında bulunan bu iki optik bileşen küme merkezinden yaklaşık 2.3 arcsec'lik (=110 pc) bir ayrıklığa sahip olup, kümenin limit yarıçapını dikkate aldığımızda (yaklaşık 3 açısaniye) küme limit yarıçapı içerisinde kalmaktadır. Bu durumda adaylarının küme elamanı olma olasılığı fazladır.

NGC 4861 ULX-1 ve ULX-2'in X-ışın enerji tayfi için PL model kullanılarak hesaplanan akılarının 2003-2018 yılları arasında alınan verilerinden ışık eğrisi elde edilmiştir (Şekil 4.8). ULX-1 kaynağının 2003 yılında alınan iki veri setinde akılar $(1.34-2.48) \times 10^{-13} \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ve 2012 veri setinde akı değeri $5.91 \times 10^{-13} \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ dir. Kaynağın minimum ve maksimum akı değerleri karşılaştırıldığında ~ 4.4 çarpan kadar arttığı hesaplanmıştır. 2018 yılındaki dört veri setinde akılar $(1.73-1.78) \times 10^{-13} \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ tekrar 2003 seviyesindeki akı değerine döndüğü görülmüştür. ULX-1 için uzaklık $d=9.55 \text{ Mpc}$ alınarak kaynağın ışıması $L_X=(1.58-6.99) \times 10^{39} \text{ erg s}^{-1}$ olarak hesaplanmıştır.

ULX-2 de 2003-2018 yılları arasında alınan veri setlerinde akılar $(1.16-1.96) \times 10^{-13} \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ve $L_X=(1.37-2.32) \times 10^{39} \text{ erg s}^{-1}$ aralığında olduğundan belirgin bir akı değişimi gözlenmemiştir.

NGC 4861'in X-ışın kaynak popülasyonu daha önce incelenmemiş olduğundan bu tez çalışmasında galaksinin D_{25} alanına düşen X-ışın kaynaklarını belirledik. Bu kaynakların foton sayım oranı yeterli istatistikte olmadığından kaynakların enerji tayfi elde edilememiştir. Bu durumda belirlenen 6 kaynağın (iki ULX dahil) belirli enerji aralıklarında foton sayım oranlarından (Şekil 3.9) sertlik oran değerleri (HR) elde edilmiştir. ULX-1 ve ULX-2 nin hesaplanan sertlik oranları $0 < HR < -1$ olduğundan yumuşak (düşük enerji yayılım) durumundadır.

Kalan diğer dört kaynak içinde $0 < HR < -1$ olduğundan durum benzer olup kaynaklar yumuşak durumdadır.

ULX'leri galaksi ötesi diğer X-ışın kaynakları olan AGN'lerden ayırt edebilmek için NGC 4861 ULX-2 için belirlenen iki aday kaynağın X-ışın – optik (V) akı oranı $\log(F_x/F_{opt})$ hesaplanmıştır. Bu oran için aynı tarihli X-ışın ve optik veriler gereklidir. Bizim kullandığımız arşiv verilerinde eşzamanlı X-ışın ve optik verileri olmadığından yakın tarihli veriler alınmıştır. Hesaplamamızda 2018 yılında alınan Chandra (ID20992) verisi ve 2014 yılında alınan HST (jc9v72leq) veri seti kullanılmıştır. Aday kaynaklar 1 ve 2 için oran değerleri sırasıyla 4.89 ve 5.19 hesaplanarak kaynağın bir AGN olma olasılığının çok düşük olduğu belirlenmiştir (bkz.Bölüm 3.3).

NGC 4861 ULX-1 ve ULX-2 için X-ışın arşiv verilerine Bölüm 4.1'de tanımlanan modeller uygulanmıştır. ULX-1'in enerji tayfına en iyi uyum veren (χ^2/dof değeri 0.9-1.3 aralığında) modeller PL, PL+DISKBB ve PL+DISKPBB'dir. PL model parametresi olan tayfsal foton indisi büyük çoğunlukla $1.4 < \Gamma < 2.1$ aralığındadır. Bu aralık ısısal olmayan güç yasasını ifade eder. Bu durumda X-ışın yayını koronadan gelebilir. PL+DISKBB model parametresi $T_{in}=(0.25-1.28)$ keV aralığındadır ve bu da ULX'ler için tanımlanan değerlere uygundur. PL+DISKPBB modelinde p indisinin değeri standart diski ($p \sim 0.75$) ince diskten ayırmak için kullanılır. Model sonuçlarına göre $p \sim 0.5-0.6$ ince diski temsil eder. Bu durumda diskin iç kısmında harcanan enerjinin önemli bir kısmı, standart yığılıma disk modelinde olduğu gibi aynı yarıçapta yeniden yayımlanmak yerine, disk içinde enerji radyal olarak taşınır.

Standart yapılan bir hesaplama yöntemi ile X-ışın ısıtmasının izotropik yayıldığı varsayılarak Eddington formülünden ($L_{edd} = 1.2 \times 10^{38} (M/M_{\odot})$) ULX-1'in içerdiği sıkı cismin kütlesi $12 M_{\odot}$ ve ULX-2'nin ise $10 M_{\odot}$ kütleli bir karadelik olma olasılığı belirlenmiştir.

NGC 4449 ULX-1 için Chandra ve HST görüntüleri arasında yapılan görelî astrometrik düzeltme ile hata yarıçapı $0.2''$ olan daire içerisinde üç optik aday

belirlenmiştir. Farklı HST filtreleri kullanarak parlaklıkları hesaplanmıştır. B parlaklığı; aday kaynaklar için $m_{B1}=23.07$, $m_{B2}=23.47$, $m_{B3}=23.84$ olarak hesaplanmıştır. Sönümlenme etkisi çıkarılmış renk indisleri sırasıyla $(B-V)_0=-0.09$, $(B-V)_0=0.29$, $(B-V)_0=-0.17$ ve mutlak parlaklıkları sırasıyla $M_v=-4.81$, $M_v=-4.79$, $M_v=-3.96$ kadirdir. Üç optik aday kaynak için SYNPHOT sentetik fotometri paket programı ile tayfsal enerji dağılımı oluşturulmuştur. Optik karşılıkların tayfsal sınıfları aday 1, 2 ve 3 için B0 III - B3 V aralığında belirlenmiştir. CMD oluşturmak için HST/ACS F435W, F555W ve F814W filtreleri kullanılmıştır. Optik aday karşılıklarının kütleleri $8M_{\odot}$ - $15M_{\odot}$ aralığında yaşları ise 13Myıl-63Myıl aralığında olduğu görülmüştür. Kümenin yaşının ise >13 Myıl olduğu belirlenmiştir. Optik aday kaynakların yakın konumu ($0.25''$), küme ile olan ilişkisini güçlendirmektedir. Kümeye ait King profilinde (Şekil 4.25) verildiği gibi küme yaklaşık olarak $1''$ civarında limit yarıçapa ulaşmakta ve küme yıldızlarının sayı yoğunlukları azalmaktadır. Buradaki üç optik aday kümenin limit yarıçapı içerisinde kalmaktadır. Aynı zamanda kümenin renk-kadir diyagramından da görüldüğü gibi kümeye ait olduğu düşünülen ve optik karşılıklara benzer parlaklıklarda bulunan küme yıldızlarının yaş dağılımları, kızarma değerleri ve kütle değerleri, bu üç optik aday karşılığın kümeye ait olma olasılığını kuvvetlendirmektedir.

Optik adayların H α görüntüleri incelendiğinde ULX-1'in yoğun bir iyonize hidrojen (HII) bölgesinde bulunduğu belirlenmiştir. Bu bölgedeki toplam Hidrojen akısı (922.09×10^{-18} erg cm $^{-2}$ s $^{-1}$) literatürdeki Hidrojen baloncukların akıları ile karşılaştırılmıştır. Buna göre bu bölgede ULX-1'in etrafında baloncukların akılarından büyük olduğu belirlenmiştir. Ancak bu bölgedeki hidrojenin iyonizasyonunun kaynağı ULX'den olup olmadığı açık değildir. Bunun için tayfsal gözlemlere ihtiyaç bulunmaktadır.

NGC 4449 ULX-1'in X-ışın tayf gözlemlerinden elde edilen sonuçlarla akının 2001-2018 yılları arasında değişimini görmek için ışık eğrisi çizilmiştir (Şekil 4.4). 2001 yılında alınan veri setinde akı 8.37×10^{-13} erg cm $^{-2}$ s $^{-1}$, 2002 yılı

akıları $(7.44-8.63) \times 10^{-13} \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ve 2009 yılı akıları $(5.46-5.57) \times 10^{-13} \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ aralığındadır. 2018 yılında alınan son veri setinde ise akı $5.83 \times 10^{-13} \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ dir. Dolayısıyla bu zaman aralığında yıllarda belirgin bir akı değişimi gözlenmemiştir. Bu yıllarda kaynağın ışıması ise uzaklık $d=3.7 \text{ Mpc}$ alınarak $L_X=(0.89-1.41) \times 10^{39} \text{ erg s}^{-1}$ olarak hesaplanmıştır.

NGC 4449 ULX-1’de bulunan her üç aday kaynağın X-ışın – optik (V) akı oranı $\log(F_X/F_{\text{opt}})$ hesaplanmıştır. 2002 yılında alınan C3 (ID10875) verisi, 2005 yılında alınan HST (j9cd01020) veri seti kullanılmıştır. Üç aday kaynak için akı oranları 3.97-4.31 bulunmuştur. NGC 4861 ULX-1 ve ULX-2 için AGN olmadığına dair yapılan yoruma benzer şekilde bu kaynaklarda AGN olarak yorumlamak zordur.

NGC 4449 ULX-1 için X-ışın arşiv verilerine modeller uygulanmıştır (Bölüm 4.1). ULX-1’in enerji tayfına en iyi uyum veren modeller PL, DISKBB’dir. PL foton indisi çoğunlukla $1.4 < \Gamma < 2.1$ aralığında ısısal olmayan bir güç yasası olarak nitelendirilmektedir. Bu durumda ışıma, geometrik olarak kalın, optik olarak ince olan bölgeden ters compton etkileşmesi (comptonization) ile oluşmaktadır. C2, C3 verilerinde farklı olarak $\Gamma > 2.4$ olduğundan SPL durumdadır. DISKBB modeli uygulanmış ve iyi uyum (χ^2/dof değeri 0.9-1.3 aralığında) vermiştir. Bu model ışımanın diskten geldiği durumu önermektedir. Model parametresinde $T_{\text{in}}=(0.84-1.4)\text{keV}$ kabul edilebilir bir aralıktadır.

NGC 4449 ULX-1’de içerdiği sıkı cismin kütlesi L_{edd} denkleminde kütlesi $8 M_{\odot}$ yıldız bir kütleli karadelik olması olasıdır.

Kaynakların genel karakteristiklerini anlamak için hem X-ışınlarında hemde optikte daha iyi istatistiğe sahip verilere ihtiyaç bulunmaktadır. Bu veriler ancak yeni nesil gözlem araçlarından sağlanabilir. 2019’da gönderilen eROSITA (0.5-10)keV ve 2030 yılında göreve başlayacak olan ATHENA (0.5-12)keV X-ışın astrofizikine önemli katkılar sağlayacaktır. 2021’de fırlatılacak olan James Webb Uzay Teleskobu, kızılöte ve optik bölgede çok daha önemli gelişmelere yol açması beklenmektedir.



KAYNAKLAR

- Abolmasov, P. K., Swartz, D. A., Fabrika, S., Ghosh, K. K., Sholukhova, O., & Tennant, A. F. 2007. Optical Spectroscopy of the Environment of a ULX in NGC 7331. *The Astrophysical Journal*, 668(1), 124–129.
- Annibali, F., Aloisi, A., Mack, J., Tosi, M., van der Marel, R. P., Angeretti, L., Sirianni, M. 2008. New HST/ACS Data of the Starburst Irregular Galaxy NGC 4449. *Galaxies in the Local Volume*, 269–270.
- Annibali, F., Tosi, M., Aloisi, A., & van der Marel, R. P. 2011. The Cluster Population Of The Irregular Galaxy Ngc 4449 As Seen By Thehubbleadvanced Camera For Surveys. *The Astronomical Journal*, 142(4), 129.
- Aksaker, N., Akyuz, A., Avdan, S., & Avdan, H. 2019. Optical Counterparts Of An Ultraluminous X-Ray Source X-1 In NGC 2500. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 488(4), 5935–5940.
- Akyüz, A., Kayacı, Ş., Avdan, H., Özel, M. E., Sonbaş, E., ve Balman, Ş., 2013. XMM-Newton Observations of Luminous Sources in Nearby Galaxies NGC 4395, NGC 4736, and NGC 4258. *The Astronomical Journal*, 145, 67-85.
- Avdan, H., Avdan, S., Akyuz, A., Balman, S., Aksaker, N., Akkaya Oralhan, I., 2016. X-ray Spectral and Optical Properties of a ULX in NGC 4258 (M106). *The Astrophysical Journal*, 828, 105.
- Avdan, S., Akyuz, A., Vinokurov, A., Aksaker, N., Avdan, H., Fabrika, S., Balman, Ş. 2019. Optical Counterparts of ULXs and Their Host Environments in NGC 4490/4485. *The Astrophysical Journal*, 875(1), 68.
- Bachetti, M., Harrison, F. A., Walton, D. J., ve ark., 2014. An ultraluminous X-ray source powered by an accreting neutron star. *Nature*, 514, 202-204.

- Barth, C. S., Cepa, J., Vilchez, J. M., & Dottori, H. A. 1994. CCD imaging of NGC 4861: Ionized gas properties and stellar formation. *The Astronomical Journal*, 108, 2069.
- Bressan, A., Marigo, P., Girardi, L., Salasnich, B., Dal Cero, C., Rubele, S., Nanni, A., 2012. PARSEC: stellar tracks and isochrones with the PAdova and TRieste Stellar Evolution Code. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 427, 127-145.
- Calzetti, D., Wilson, G. W., Draine, B. T., Roussel, H., Johnson, K. E., Heyer, M. H., Sánchez-Arguelles, D. 2018. Spatially Resolved Dust, Gas, and Star Formation in the Dwarf Magellanic Irregular NGC 4449. *The Astrophysical Journal*, 852(2), 106.
- Carpano, S., Haberl, F., Maitra, C., & Vasilopoulos, G. 2018. Discovery Of Pulsations From NGC 300 ULX1 And Its Fast Period Evolution. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society: Letters*, 476(1), L45–L49.
- Colbert, E. J., & Mushotzky, R. F. 1999. Compact X-ray sources in nearby galaxy nuclei. *Advances in Space Research*, 23(5-6), 847–850
- Colbert, E. J. M., Ptak, A. F., 2002. A Catalog of Candidate Intermediate-Luminosity X-Ray Objects. *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 143, 25-45.
- Conselice, Christopher J. 2000. The Evolution of Starburst Galaxies, *Astronomical Society of the Pacific*, 2002., p.414.
- Dall’Osso, S., Perna, R., & Stella, L. 2015. A Highly Magnetized Neutron Star With Super-Eddington Mass Accretion. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 449(2), 2144–2150.
- Dolphin, A. E., 2000. WFPC2 Stellar Photometry with HSTPHOT. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 112, 1383-1396.

- Earnshaw, H. P., Roberts, T. P., Middleton, M. J., Walton, D. J., & Mateos, S. 2018. A new, clean catalogue of extragalactic non-nuclear X-ray sources in nearby galaxies. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 483(4), 5554–5573.
- Ekşi, K. Y., Andaç, İ. C., Çıkıntoğlu, S., Gençali, A. A., Güngör, C., & Öztekin, F. (2015). The ultraluminous X-ray source NuSTAR J095551+6940.8: a magnetar in a high-mass X-ray binary. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society: Letters*, 448(1), L40–L42.
- Esteban, C., Bresolin, F., Peimbert, M., García-Rojas, J., Peimbert, A., & Mesa-Delgado, A. 2009. Keck Hires Spectroscopy Of Extragalactic H II Regions: C And O Abundances From Recombination Lines. *The Astrophysical Journal*, 700(1), 654–678.
- Fabbiano, G., & Trinchieri, G. 1987. X-ray observations of spiral galaxies. II - Images and spectral parameters of 13 galaxies. *The Astrophysical Journal*, 315, 46.
- Fabbiano, G. 1989. X Rays From Normal Galaxies. *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 27(1), 87–138.
- Fabrika, S. N., Abolmasov, P. K., Karpov, S. V., Sholukhova, O. N., & Ghosh, K. K. 2006. *Physics-Uspekhi*, 49(3), 324.
- Fabrika, S., Ueda, Y., Vinokurov, A., Sholukhova, O., Shidatsu, M., 2015. Supercritical accretion disks in ultraluminous X-ray sources and SS 433. *Nature Physics*, 11, 551-553
- Fabrika, S., 2017. Ultraluminous X-ray Sources. *Stars: From Collapse to Collapse*, 510, 395.
- Feng, H., Kaaret, P., 2008. Optical Counterpart of the Ultraluminous X-Ray Source IC 342 X-1. *The Astrophysical Journal*, 675, 1067-1075.
- Feng, H., Soria, R., 2011. Ultraluminous X-ray sources in the Chandra and XMM-Newton era. *New Astronomy Reviews*, 55, 166-183.

- Feng, H., Tao, L., Kaaret, P., & F., 2016. Nature of the Soft ULX in NGC 247: Super-Eddington Outflow and Transition between the Supersoft and Soft Ultraluminous Regimes. *The Astrophysical Journal*, 831, 117.
- Foschini, L., Tagliaferri, G., Pian, E., Ghisellini, G., Treves, A., Maraschi, L., Rosen, S. R. 2006. Simultaneous X-ray and optical observations of S5 0716+714 after the outburst of March 2004. *Astronomy & Astrophysics*, 455(3), 871–877.
- Frank J., King A., Raine D. J., 2002, *Accretion Power in Astrophysics*, 3rd edn. Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- Fürst, F., Walton, D. J., Harrison, F. A., Stern, D., Barret, D., Brightman, M., Webb, N. 2016. Discovery of Coherent Pulsations from the Ultraluminous X-ray Source NGC 7793 P13. *The Astrophysical Journal*, 831(2), L14.
- Fürst, F., Walton, D. J., Stern, D., Bachetti, M., Barret, D., Brightman, M., Rana, V. 2017. Spectral Changes in the Hyperluminous Pulsar in NGC 5907 as a function of super-orbital phase. *The Astrophysical Journal*, 834(1), 77.
- Gao, Y., Wang, Q. D., Appleton, P. N., & Lucas, R. A. 2003. Nonnuclear Hyper/Ultraluminous X-Ray Sources in the Starbursting Cartwheel Ring Galaxy. *The Astrophysical Journal*, 596(2), L171–L174.
- Gladstone, J. C., Roberts, T. P., 2009. The ultraluminous X-ray source population of NGC 4485/4490. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 397, 124-134.
- Grisé F., Pakull M. W., Motch C., 2006a, in Meurs E. J. A., Fabbiano G., eds, *Proc. IAU Symp 230, Populations of High Energy Sources in Galaxies*, in press (astro-ph/0603768)
- Grisé, F., Pakull, M. W., Soria, R., Motch, C., Smith, I. A., Ryder, S. D., & Böttcher, M. 2008. The ultraluminous X-ray source NGC 1313 X-2. *Astronomy & Astrophysics*, 486(1), 151–163.

- Grisè, F., Kaaret, P., Pakull, M. W., Motch, C., 2011. Optical Properties of the Ultraluminous X-Ray Source Holmberg IX X-1 and Its Stellar Environment. *The Astrophysical Journal*, 734, 23.
- Grisè, F., Kaaret, P., Corbel, S., Feng, H., Cseh, D., Tao, L., 2012. Optical Emission of the Ultraluminous X-Ray Source NGC 5408 X-1: Donor Star or Irradiated Accretion Disk?. *The Astrophysical Journal*, 745, 123.
- Grisè, F., Pakull, M. W., Soria, R., Motch, C., Smith, I. A., Ryder, S. D., Boumlttcher, M., 2008. The ultraluminous X-ray source NGC 1313 X-2. Its optical counterpart and environment. *Astronomy and Astrophysics*, 486, 151-163.
- Grisè, F., Pakull, M. W., Motch, C., 2006. The Ultraluminous X-ray Source in Holmberg IX and its Environment. *Populations of High Energy Sources in Galaxies*, 230, 302-303.
- Gutiérrez, C. M., López-Corredoira, M., 2005. The Nature of Ultraluminous X-Ray Sources. *The Astrophysical Journal*, 622, L89-L92.
- Heida, M., Jonker, P. G., Torres, M. A. P., Mineo, S., 2012. Accurate positions for the ultraluminous X-ray sources NGC 7319-X4 and NGC 5474-X1 and limiting magnitudes for their optical counterparts. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 424, 1563-1569.
- Harrison, F. A. 2014. Near-infrared counterparts of ultraluminous X-ray sources. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 442(2), 1054–1067.
- Hunter, T. R. 1998. A Submillimeter Imaging Survey of Ultracompact HiiRegions. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 110(747), 634–634.
- Israel, G. L., Esposito, P., Rodríguez Castillo, G. A., Sidoli, L., 2016. The Chandra A CIS Timing Survey Project: glimpsing a sample of faint X-ray pulsators. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 462, 4371-4385.

- Israel, G. L., Papitto, A., Esposito, P., Stella, L., Zampieri, L., Belfiore, A., Rodríguez Castillo, G. A., De Luca, A., Tiengo, A., Haberl, F., Greiner, J., Salvaterra, R., Sandrelli, S., Lisini, G., 2017. Discovery of a 0.42-s pulsar in the ultraluminous X-ray source NGC 7793 P13. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 466, L48-L52.
- Izotov, Y. I., Lipovetsky, V. A., Chaffee, F. H., Foltz, C. B., Guseva, N. G., & Kniazev, A. Y. 1997. SBS 0335–052, A Probable Nearby Young Dwarf Galaxy: Evidence Pro and Con. *The Astrophysical Journal*, 476(2), 698–711.
- Izotov, Y. I., & Thuan, T. X. 1999. Heavy-Element Abundances in Blue Compact Galaxies. *The Astrophysical Journal*, 511(2), 639–659.
- Kaaret, P., 2004. Multiwavelength Observations of Ultraluminous X-Ray Sources. *Bulletin of the American Astronomical Society*, 36, 49.06.
- Kaaret, P., Ward, M. J., Zezas, A., 2004. High-resolution imaging of the HeII λ 4686 emission line nebula associated with the ultraluminous X-ray source in Holmberg II. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 351, L83-L88.
- Kaaret, P., Simet, M. G., & Lang, C. C. 2006. A 62 Day X-Ray Periodicity and an X-Ray Flare from the Ultraluminous X-Ray Source in M82. *The Astrophysical Journal*, 646(1), 174–183.
- Kaaret, P., Feng, H., & Roberts, T. P. 2017. Ultraluminous X-Ray Sources. *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 55(1), 303–341.
- Karthick, M. C., López-Sánchez, Á. R., Sahu, D. K., Sanwal, B. B., & Bisht, S. 2014. Photometric and spectroscopic studies of star-forming regions within Wolf–Rayet galaxies. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 439(1), 157–178.
- King, I. R. 1966. The Structure Of Star Clusters. IV. Photoelectric Surface Photometry In Nine Globular Clusters. *The Astronomical Journal*, 71, 276.

- Kluźniak, W., & Lasota, J.-P. 2015. An ultraluminous nascent millisecond pulsar. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society: Letters*, 448(1), L43–L47.
- Koliopanos, F., Vasilopoulos, G., Godet, O., Bachetti, M., Webb, N. A., & Barret, D. 2017. ULX spectra revisited: Accreting, highly magnetized neutron stars as the engines of ultraluminous X-ray sources. *Astronomy & Astrophysics*, 608, A47.
- Kobulnicky, H. A., & Skillman, E. D. 1998. Testing CNO Enrichment Scenarios in Metal-poor Galaxies with Hubble Space Telescope Spectroscopy. *The Astrophysical Journal*, 497(2), 601–617.
- Komossa, S. ve Schulz, H. 1998. The Rosat View Of Ngc 1365 And The Luminous Highly Variable Off-Nuclear X-Ray Source Ngc 1365-X1. *Astronomy & Astrophysics*, 339, 345–354.
- Kuntz, K. D., Gruendl, R. A., Chu, Y.-H., Chen, C.-H. R., Still, M., Mukai, K., & Mushotzky, R. F. 2005. The Optical Counterpart of M101 ULX-1. *The Astrophysical Journal*, 620(1), L31–L34.
- Lira, P., Lawrence, A., & Johnson, R. A. 2002. Multiwavelength Study Of The Nuclei Of A Volume-Limited Sample Of Galaxies - I. X-Ray Observations. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 319(1), 17–42.
- Liu, J., Bregman, J. N., Lloyd-Davies, E., Irwin, J., Espaillat, C., ve Seitzer, P., 2005. A 2 Hour Quasi Period in an Ultraluminous X-Ray Source in NGC 628. *The Astrophysical Journal*, 621, L17-L20
- Liu, J., Bregman, J. N., ve McClintock, J. E., 2009. Hubble Space Telescope Monitoring Reveals a 6.1 Day Period for an Ultraluminous X-Ray Source in NGC 1313. *The Astrophysical Journal*, 690, L39-L42
- Liu, J., Bregman, J. N., Bai, Y., Justham, S., ve Crowther, P., 2013. Puzzling accretion onto a black hole in the ultraluminous X-ray source M 101 ULX-1. *Nature*, 503, 500-503.

- Luangtip, W., Roberts, T. P., & Done, C., 2016. The X-ray spectral evolution of the ultraluminous X-ray source Holmberg IX X-1. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 460, 4417-4432.
- Long, K. S., Dodorico, S., Charles, P. A., & Dopita, M. A. (1981). Observations of the X-ray sources in the nearby SC galaxy M33. *The Astrophysical Journal*, 246, L61.
- Loose, H.-H., & Thuan, T. X. 1985, in *Star-forming Dwarf Galaxies and Related Objects*, ed. D. Kunth, T. X. Van, & J. T. T Thuan (Gif-sur-Yvette: Editions Frontières), 73
- Maccacaro, T., Perola, G. C., & Elvis, M. 1982. X-Ray Observations With The Einstein Observatory Of Emission-Line Galaxies. *The Astrophysical Journal*, 257, 47.
- Madhusudhan, N., Rappaport, S., Podsiadlowski, P., & Nelson, L. 2008. Models for the Observable System Parameters of Ultraluminous X-Ray Sources. *The Astrophysical Journal*, 688(2), 1235–1249.
- Makishima, K., Kubota, A., Mizuno, T., & ark., 2000. The Nature of Ultraluminous Compact X-Ray Sources in Nearby Spiral Galaxies, *The Astrophysical Journal*, 535, 632-643.
- Mezcua, M., Lobanov, A. P., & Martí-Vidal, I. 2013. The Resolved Structure Of The Extragalactic Supernova Remnant SNR 4449–1. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 436(3), 2454–2460.
- Mizuno, T., Ohnishi, T., Kubota, A., Makishima, K., & Tashiro, M. 1999. ASCA Observations of Two Ultra-Luminous Compact X-Ray Sources in the Edge-On Spiral Galaxy NGC 4565. *Publications of the Astronomical Society of Japan*, 51(5), 663–671.
- Motch, C., Pakull, M. W., Grisé, F., & Soria, R. 2011. The supergiant optical counterpart of ULX P13 in NGC 7793. *Astronomische Nachrichten*, 332(4), 367–370.

- Motch, C., Pakull, M. W., Soria, R., Grise, F., ve Pietrzyski, G., 2014. A Mass Of Less Than 15 Solar Masses For The Black Hole In An Ultraluminous X-Ray Source. *Nature*, 514, 198-201.
- Mushtukov, A. A., Suleimanov, V. F., Tsygankov, S. S., & Poutanen, J. (2015). On The Maximum Accretion Luminosity Of Magnetized Neutron Stars: Connecting X-Ray Pulsars And Ultraluminous X-Ray Sources. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 454(3), 2539–2548.
- Mushtukov, A. A., Tsygankov, S. S., Suleimanov, V. F., & Poutanen, J. 2018. Ultraluminous X-Ray Sources As Neutrino Pulsars. *Monthly Notices Of The Royal Astronomical Society*, 476(3), 2867–2873.
- Orlik-rueckemann, K. J., 1966. Stability Derivatives Of Sharp Wedges In Viscous Hypersonic Flow. *AIAA Journal*, 71, 276.
- Pakull, M. W., Mirioni, L., 2003. Bubble Nebulae around Ultraluminous X-Ray Sources. *Revista Mexicana de Astronomia Astrofisica Conference Series*, 15, 197-199.
- Pakull, M. W., Grisé, F., & Motch, C. (2005). Ultraluminous X-ray Sources: Bubbles and Optical Counterparts. *Proceedings of the International Astronomical Union*, 1(S230), 293–297.
- Pintore, F., Belfiore, A., Novara, G., Salvaterra, R., Marelli, M., De Luca, A., Salvaggio, C. 2018. A New Ultraluminous X-Ray Source In The Galaxy NGC 5907. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society: Letters*, 477(1), L90–L95.
- Poutanen, J., Lipunova, G., Fabrika, S., Butkevich, A. G., & Abolmasov, P. 2007. Supercritically Accreting Stellar Mass Black Holes As Ultraluminous X-Ray Sources. *Monthly Notices Of The Royal Astronomical Society*, 377(3), 1187–1194.

- Poutanen, J., Fabrika, S., Valeev, A. F., Sholukhova, O., ve Greiner, J., 2013. On The Association Of The Ultraluminous X-Ray Sources In The Antennae Galaxies With Young Stellar Clusters. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 432, 506-519.
- Rangelov, B., Prestwich, A. H., & Chandar, R. 2011. The Connection Between X-Ray Binaries And Star Clusters In Ngc 4449. *The Astrophysical Journal*, 741(2), 86.
- Remillard, R. A. (2004). X-ray detectors for astrophysics. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, 531(1-2), 285–291.
- Remillard, Ronald A., ve McClintock, Jeffrey E., 2006. X-Ray Properties of Black-Hole Binaries. *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 44, 49-92.
- Roberts, T. P., & Warwick, R. S. 2000. A ROSAT High Resolution Imager survey of bright nearby galaxies. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 315(1), 98–114.
- Rodríguez Castillo, G. A.; Israel, G. L.; Belfiore, A.; Bernardini, F.; Esposito, P.; Pintore, F.; De Luca, A.; Papitto, A.; Stella, L.; Tiengo, A.; Zampieri, L.; Bachetti, M.; Brightman, M.; Casella, P.; D'Agostino, D.; Dall'Osso, S.; Earnshaw, H. P.; Fürst, F.; Haberl, F.; Harrison, F. A.; Mapelli, M.; Marelli, M.; Middleton, M.; Pinto, C.; Roberts, T. P.; Salvaterra, R.; Turolla, R.; Walton, D. J.; Wolter, A. 2019. Discovery Of A 2.8 S Pulsar In A 2 D Orbit High-Mass X-Ray Binary Powering The Ultraluminous X-Ray Source ULX-7 In M51., arXiv:1906.04791.
- Sabbi, E., Calzetti, D., Ubeda, L., Adamo, A., Cignoni, M., Thilker, D., Gouliermis, D. A. 2018. The Resolved Stellar Populations in the LEGUS Galaxies I. *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 235(1), 23.

- Sathyaprakash, R., Roberts, T. P., Walton, D. J., Fuerst, F., Bachetti, M., Pinto, C., Soria, R. 2019. The Discovery Of Weak Coherent Pulsations In The Ultraluminous X-Ray Source NGC 1313 X-2. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society: Letters*, 488(1), L35–L40.
- Shakura, N. I. ve Sunyaev, R. A., 1973. Black Holes In Binary Systems. *Observational Appearance.. Astronomy and Astrophysics*, 24, 337-355.
- Simpson, M., Sironi, G., Stewart, G., Stewart, I. M., Stobbart, A.-M., Tedds, J., Warwick, R., Webb, N., West, R., Worrall, D., Yuan, W., 2009. The XMM-Newton Serendipitous Survey. V. The Second XMM-Newton Serendipitous Source Catalogue. *Astronomy and Astrophysics*, 493, 339-373.
- Skrutskie, M. F., Cutri, R. M., Stiening, R., Weinberg, M. D., Schneider, S., Carpenter, J. M., Wheelock, S. 2006. The Two Micron All Sky Survey (2MASS). *The Astronomical Journal*, 131(2), 1163–1183.
- Soria, R., Kuntz, K. D., Winkler, P. ., Blair, W. P., Long, K. S., Plucinsky, P. P., ve Whitmore, B. C., 2012. The Birth of an Ultraluminous X-Ray Source in M83. *The Astrophysical Journal*, 750, 152-169
- Soria, R., Kuntz, K. D., Long, K. S., Blair, W. P., Plucinsky, P. P., ve Winkler, P. F., 2015. The Slim-disk State of the Ultraluminous X-Ray Source in M83. *The Astrophysical Journal*, 799, 140-149
- Stobbart, A.-M., Roberts, T. P., ve Wilms, J., 2006. XMM-Newton Observations Of The Brightest Ultraluminous X-Ray Sources. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 368, 397-413
- Stoeckle, J. T., Morris, S. L., Gioia, I. M., Maccacaro, T., Schild, R., Wolter, A., Henry, J. P. 1991. The Einstein Observatory Extended Medium-Sensitivity Survey. II The optical identifications. *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 76, 813.

- Summers, L. K., Stevens, I. R., Strickland, D. K., & Heckman, T. M. 2003. Chandraobservation Of NGC 4449: Analysis Of The X-Ray Emission From A Dwarf Starburst Galaxy. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 342(3), 690–708.
- Swartz, D. A., Tennant, A. F., & Soria, R. 2009. Ultraluminous X-ray Source Correlations With Star-Forming Regions. *The Astrophysical Journal*, 703(1), 159–168.
- Swartz, D. A., Soria, R., Tennant, A. F., ve Yukita, M., 2011. A Complete Sample of Ultraluminous X-ray Source Host Galaxies. *The Astrophysical Journal*, 741, 49-59.
- Tao, L., Feng, H., Grisé, F., Kaaret, P., 2011. Compact Optical Counterparts of Ultraluminous X-Ray Sources. *The Astrophysical Journal*, 737, 81.
- Tully, R. B., Courtois, H. M., Dolphin, A. E., Fisher, J. R., Héraudeau, P., Jacobs, B. A., Wu, P-F. 2013. Cosmicflows-2: The Data. *The Astronomical Journal*, 146(4), 86.
- Thuan, T. X., Bauer, F. E., Papaderos, P., & Izotov, Y. I. 2004. Chandra Observations of the Three Most Metal Deficient Blue Compact Dwarf Galaxies Known in the Local Universe, SBS 0335–052, SBS 0335–052W, and I Zw 18. *The Astrophysical Journal*, 606(1), 213–220.
- Thuan, T. X., Bauer, F. E., & Izotov, Y. I. 2014. The X-Ray Properties Of The Cometary Blue Compact Dwarf Galaxies Mrk 59 And Mrk 71. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 441(2), 1841–1853.
- Thronson, H. A., Jr., Hunter, D. A., Telesco, C. M., Decher, R., & Harper, D. A. 1987. Star Formation In The Magellanic Irregular Galaxy NGC 4449. *The Astrophysical Journal*, 317, 180.
- Urquhart, R., & Soria, R. 2016. Two Eclipsing Ultraluminous X-ray Sources in M51. *The Astrophysical Journal*, 831(1), 56.

- Vinokurov, A., Fabrika, S., & Atapin, K. 2018. Optical Counterparts of Ultraluminous X-Ray Sources NGC 4559 X-10 and NGC 4395 ULX-1. *The Astrophysical Journal*, 854(2), 176.
- Walton, D. J., Roberts, T. P., Mateos, S., & Heard, V. 2011. 2XMM ultraluminous X-ray source candidates in nearby galaxies. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 416(3), 1844–1861.
- Walton, D. J., Fürst, F., Heida, M., Harrison, F. A., Barret, D., Stern, D., Middleton, M. J. (2018). Evidence for Pulsar-like Emission Components in the Broadband ULX Sample. *The Astrophysical Journal*, 856(2), 128.
- Wang, S., Liu, J., Bai, Y., Guo, J., 2015. Two Candidate Optical Counterparts of M82 X-1 from HVEST Observations. *The Astrophysical Journal*, 812, L34.
- Warwick, R.S ve Roberts, T.P. 2000. A Rosat High Resolution Imager Survey of Bright Nearby Galaxies. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Volume 315, Issue 1, June 2000, Pages 98–114.
- Whitmore B. C, 2011. Luminous Stars in Galaxies Beyond 3 Mpc, *Astronomical Society of the Pacific Conference Series*, 161
- Winter, L. M., Mushotzky, R F., ve Reynolds, C. S., 2006. XMM-Newton Archival Study of the Ultraluminous X-Ray Population in Nearby Galaxies. *The Astrophysical Journal*, 649, 730-752
- Yang, L., Feng, H., Kaaret, P., 2011. The Optical Counterpart of NGC 1313 X-1. *The Astrophysical Journal*, 733, 118.
- Yang, L., g, M. Mezcua, F. Grise, S. Farrell, D. Cseh, T. J. Maccarone, A. K. H.Kong, D. M. Russell & J. Gladstone .,2013. Evidence of an Intermediate Mass Black Hole in the Center of Mrk 59, UvA-DARE is a service provided by the library of the University of Amsterdam.
- Zezas, A., Fabbiano, G., Prestwich, A., ve ark. 2001, The Central Kiloparsec of Starbursts and AGN: The La Palma Connection, 425.



ÖZGEÇMİŞ

16 Mart 1991 de Adana'nın Seyhan ilçesinde doğdu. İlköğrenimini ve ortaöğrenimini 2005 yılında, lise öğrenimini Adana'da 2009 yılında tamamladı. 2010 yılında yerleştiği lisans öğrenimini Erzurum Atatürk Üniversitesi Fen Bilgisi Öğretmenliği Bölümü'nde 2014 yılında tamamladı. 2017 yılında Çukurova Üniversitesi Fizik Anabilim Dalı Başkanlığı'nda Tezli Yüksek Lisans öğrenimine başladı.

