

Galaksi Kümelerinde Küme içi Gazın X-Işın Özelliklerinin İncelenmesi ile Kümelerin Dinamiksel Durumunu Belirleme ve Sınıflandırma

Zahide Yapucu¹  , Gülnur İkis Gün^{2†} 

¹ Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Çanakkale 17100, Türkiye

² Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Çanakkale 17100, Türkiye

†Vefat: 18 Nisan 2021.

Accepted: December 16, 2022. Revised: December 11, 2022. Received: November 5, 2022.

Özet

Bu çalışmada, A0961, A2108, A3390 ve A3854 galaksi kümelerinin, *XMM-Newton* uydusu X-ışın gözlem verileri kullanılarak küme içi gazın X-ışın özellikleri incelenmiştir. Galaksi kümelerinin her biri için 0.4-7.2 keV enerji aralığında oluşturulan MOS1, MOS2 ve PN verileri birleştirilerek EPIC görüntüleri oluşturulmuştur. Galaksi kümelerinin dinamiksel durumunu belirlemek için oldukça duyarlı olan X-ışını merkez kayması (w) parametrelerini hesaplamak için kümelerin X-ışın tayf analizleri yapılarak R_{500} bölgeleri belirlenmiştir. X-ışın merkez kayması parametreleri A0961, A2108 Doğu, A2108 Batı, A3390 ve A3854 için sırasıyla 0.0356, 0.0704, 0.0311, 0.0153 ve 0.0129 olarak hesaplanmış ve kümelerin dinamiksel durumları belirlenmiştir. Galaksi kümelerinin soğuk çekirdekli veya soğuk çekirdekli olmayan küme sınıflandırmaları için X-ışın yüzey parlaklık konsantrasyonu parametreleri (c_{SB}) kullanılmaktadır. Çalışmamızda A0961, A2108 Doğu, A2108 Batı, A3390 ve A3854 için X-ışın yüzey parlaklık konsantrasyon parametreleri (c_{SB}) sırasıyla 0.039, 0.024, 0.061, 0.076 ve 0.585 olarak elde edilmiştir. A0961 ve A2108 galaksi kümelerinin soğuk çekirdekli olmayan kümeler, A3390 ve A3854 galaksi kümelerinin ise soğuk çekirdekli kümeler olduğu belirlenmiştir.

Abstract

In this study, the X-ray properties of the gas within the cluster were investigated using the *XMM-Newton* satellite X-ray observation data of the galaxy clusters A0961, A2108, A3390 and A3854. For each of the galaxy clusters, EPIC images were created by combining MOS1, MOS2 and PN data generated in the 0.4-7.2 keV energy range. In order to calculate the X-ray centroid shift (w) parameters, which are very sensitive to determine the dynamical state of the galaxy clusters, X-ray spectral analyzes of the clusters were made and the R_{500} regions were determined. X-ray centroid shift parameters were calculated for A0961, A2108 East, A2108 West, A3390 and A3854 as 0.0356, 0.0704, 0.0311, 0.0153 and 0.0129, respectively. The dynamical states of the clusters were determined. X-ray surface brightness concentration parameters (c_{SB}) are used for classification of galaxy clusters with or without cool core. In our study, the X-ray surface brightness concentration parameters (c_{SB}) for A0961, A2108 East, A2108 West, A3390 and A3854 were obtained as 0.039, 0.024, 0.061, 0.076 and 0.585, respectively. A0961 and A2108 galaxy clusters were determined to be non-cool core clusters, while A3390 and A3854 galaxy clusters were determined to be cool core clusters.

Anahtar Kelimeler: X-rays – galaxies –clusters

1 Giriş

Galaksi kümeleri çok sayıda galaksi ve karanlık maddeden oluşan bilinen en büyük çekimsel bağlı nesnelere sahiptir. Galaksi kümelerinin toplam kütlesi 10^{13} - 10^{15} M_{\odot} 'e ulaşmasına rağmen kütlelerin sadece %15-20 kadarı optik ve X-ışın gözlemlerinde görülebilir ve karanlık madde doğrudan görülemez. Küme içi ortam (ICM), X-ışın bandında gözlemlenebilmektedir. ICM, küme içindeki galaksiler arasındaki boşluğu dolduran, sıcak ve iyonize olmuş plazmadır ve ortalama sayı yoğunluğu $n \sim 10^{-3}$ cm^{-3} 'tür. X-ışını yayan ICM 'nin ışınım gücü 10^{43} - 10^{46} erg s^{-1} ve sıcaklıkları ~ 2 -15 keV arasındadır (Forman ve diğ. 1985; Sarazin 1988; Jones & Forman 1999; Heldson ve diğ. 2001). Galaksi kümelerinin dinamik yapısı ve sınıflandırmaları

kümelerin evrimi hakkında bilgiler sağladığından dolayı önem taşımaktadır.

Galaksi kümelerinin optik sınıflandırmaları pek çok yazar tarafından yapılmıştır (Abell 1965; Bautz & Morgan 1970; Rood & Sastry 1971). Abell kümeleri için başlangıçta sadece düzenli (Regular – R) ve düzensiz (Irregular – I) iki sınıflandırma yapılmıştı. Birlikte ACO (Abell, Corwin ve Olowin kataloğu) kümeleri IR ve RI olmak üzere iki orta sınıf küme içermektedir (bkz. Çizelge 1). Abell sınıflandırmasında; R, küresel simetriye, yüksek merkezi konsantrasyona sahip kümelerdir ve kümelerin parlak üyelerinin tamamına yakını eliptik veya SO galaksileridir. IR, erken-tip galaksiler baskındır, galaksilerin dağılımı çok az simetri gösterir (Abell 1965; Abell ve diğ. 1989). Bautz & Morgan (1970) tarafından galaksi parlaklıkları derecesine ve Rood & Sastry (1971) tarafından yapı ve en parlak on galaksi dağılımına göre küme sınıflandırması yapılmıştır. Rood & Sastry (1971) L sınıfı kümelerde, en parlak galaksilerin en az üçü düz

* zahide.uygar@gmail.com

Çizelge 1. Kümelerin optik morfolojik sınıflarının özellikleri. Referanslar: [Abell \(1965\)](#), [Abell ve diğ. \(1989\)](#), [Bautz & Morgan \(1970\)](#), [Rood & Sastry \(1971\)](#), [Sarazin \(1988\)](#).

Sınıflandırma	Düzenli	Orta	Düzensiz
Abell sınıfı	Düzenli(R)	IR - RI	Düzensiz (I)
Zwicky sınıfı	Yoğun	Orta yoğun	Açık
Bautz-Morgan	I, I-II, II	II, II-III	II-III, III
Rood-Sastry	cD, B, L, C	L, C, F	F, I
Galaktik içerik	Elliptik-zengin	Spiral-fakir	Spiral-zengin
Simetri	Küresel	Orta	Düzensiz
Merkezi kons.	Yüksek	Orta	Düşük
Altkümelenme	Yok	Orta	Belirgin

çizgi içinde görülür, C sınıfında ise galaksiler arası uzaklıkta karşılaştırılabilir büyüklükte olan en parlak on galaksinin dört ya da daha fazlası küme çekirdeği oluşturur.

Galaksi kümelerinin X-ışını morfoloji sınıflandırmaları [Forman & Jones \(1982\)](#) tarafından kümedeki X-ışın dağılımı temel alınarak düzenli (evrimleşmiş) ve düzensiz (erken tip) olarak sınıflandırılmıştır. Düzenli kümeler, düzenli ve merkezi olarak yoğun X-ışın yapılarına sahiptirler. X-ışın dağılımı düzgün ve X-ışın yayım tepeleri bireysel galaksiler ile ilişkili değildir. Yüksek X-ışını ışınım gücüne ve gaz sıcaklıklarına sahiptirler. Düzensiz kümeler, düzgün olmayan X-ışın yüzey parlaklığına sahiptir, X-ışın yüzey parlaklıkları küçük tepelidir ve pek çoğu kümedeki bireysel galaksiler ile ilişkilendirilir. X-ışınım güçleri (L_x) ve X-ışın tayf sıcaklıkları (T_x) düşüktür. Alt kümeler ile düzensiz galaksi dağılımı ve düşük merkezi konsantrasyona sahiptirler, genellikle çok zengin değildirler ([Forman & Jones 1982](#)). Düzenli kümelerin düzensiz kümelerden dinamik olarak daha fazla evrimleştiği ve fiziksel aktivite sayısının azaldığı düşünülmektedir ([Abell 1965](#); [Sarazin 1988](#)).

Son yıllarda yapılan X-ışın çalışmalarında farklı morfolojik parametreler kullanılarak galaksi kümeleri rahatlamış (Relaxed-R) veya rahatsız (Disturbed-D) olarak sınıflandırılmaktadır ([Mann & Ebeling, 2012](#); [Parekh ve diğ. 2015](#); [Lovisari ve diğ. 2017](#)). Bununla birlikte galaksi kümelerinin, soğuk çekirdekli (cool core, CC), güçlü soğuk çekirdekli (strong cool core, SCC), orta soğuk çekirdekli (moderate, MCC), hafif soğuk çekirdekli (weak cool core, WCC) ve soğuk çekirdekli olmayan (non cool core, NCC) kümeler olarak sınıflandırma çalışmaları bulunmaktadır ([Chen ve diğ. 2007](#); [Santos ve diğ. 2008](#); [Zhang ve diğ. 2016](#)).

Bu çalışmada ACO kataloğundan seçilen en parlak, zengin ve düşük kırmızıya kayma değerlerine sahip olan A0961, A2108, A3390 ve A3854 galaksi kümelerinin *XMM-Newton* uydusundan alınan verileri kullanılarak küme içi gazın X-ışın özellikleri incelenmiştir. Küme içi gazın X-ışın özelliklerinin incelenmesi ile kümelerin dinamiksel durumlarını belirleme çalışması ve sınıflandırmaları yapılmıştır. §2'de kümelerin dinamiksel durumlarını belirleme ve sınıflandırmalarında kullanılan en önemli X-ışın morfolojik parametrelerinden ikisi hakkında bilgi verilmiştir. §3'te kümelerin literatürden toplanan bilgileri yer almaktadır. §4'te çalışmada kullanılan yöntem, kullanılan materyaller hakkında açıklamalar yapılmış, veri bilgisi, kümelerin X-ışın görüntülerinin oluşturulması ve X-ışın tayfi çalışması ile ilgili bilgiler sunulmuştur. §5'te galaksi kümelerinin morfolojik parametrelerinin belirlenmesindeki detaylar açıklanmış ve kümelerin dinamiksel durumları ve

sınıflandırmaları verilmiştir. §6'da literatürdeki çalışmalar ile sonuçlarımızın karşılaştırmaları yapılmıştır.

Çalışmamızda kozmolojik parametreler için $H_0=70 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$, $\Omega_\Lambda=0.7$ ve $\Omega_m=0.3$ kullanılmıştır.

2 X-ışın Morfolojik Parametreleri

2.1 Merkez Kayması

Merkez kayması (centroid shift, w) parametresi ilk olarak [Mohr ve diğ. \(1993\)](#) tarafından kümelerin dinamiksel durumunu karakterize etmek için tanımlanmıştır. Galaksi kümelerindeki dinamiksel bozukluğun belirlenmesinde, küme çekirdeğinin yer değiştirmesi iyi bilinen ve güvenilir bir yöntemdir ([Mohr ve diğ. 1995](#); [Poole ve diğ. 2006](#)). Galaksi kümelerinde X-ışın yayım merkezinin kayması, ICM düzenliliği hakkında önemli bilgiler sağlar. Dinamiksel olarak bozulmamış bir galaksi kümesinde kabaca küresel bir simetri beklenmektedir. Bu durumda X-ışın tepe noktası ve ağırlıklı merkezi X-ışın tepe noktasının örtüşmesi beklenir. Merkez kayması, X-ışın tepe noktası ve R_{ap} birimindeki ağırlıklı merkez arasında öngörülen aralığın standart sapmasıdır ve kümenin X-ışın tepesi üzerine merkezlenmiş dairesel aralıkların bir serisinden hesaplanmaktadır ([Poole ve diğ. 2006](#); [Maughan ve diğ. 2008](#); [Cassano ve diğ. 2010](#)).

$$w = \left[\left(\frac{1}{N-1} \right) \Sigma (\Delta_i - \langle \Delta \rangle)^2 \right]^{1/2} \times \frac{1}{R_{ap}} \quad (1)$$

Burada N , toplam aralık sayısı, Δ_i , X-ışını tepe noktası ile i . eşmerkezli halka içinde hesaplanan ağırlıklı merkez arasındaki uzaklık ve $R_{ap}=R_{500}$ 'dür ve aralık yarıçapı R_{ap} 'den 0.05 R_{500} 'e kadar %5'lik basamaklarla azalır ([Mohr ve diğ. 1995](#); [Maughan ve diğ. 2008](#)). R_{500} , ortalama küme yoğunluğunun, evrenin kritik yoğunluğunun 500 katı olduğu durumdaki küme yarıçapıdır. R_{ap} değeri yazarlar tarafından üretilmekte ve varsayılan değeri 0.5 R_{500} olarak alınabilmektedir. Aralık yarıçapı $R_{ap}=500 \text{ kpc}$ değeri kullanılan çalışmalarda bulunmaktadır ([Cassano ve diğ. 2010](#)).

[Lovisari ve diğ. \(2017\)](#), küme morfolojisi çalışmalarında X-ışın verileri kullanarak kümelerin dinamiksel durumlarını, sekiz farklı parametre kullanarak rahatlamış (R), rahatsız (D) ve karışık (Mix) olarak sınıflandırmıştır. Rahatlamış ve rahatsız kümeler arasındaki en iyi ayırımı konsantrasyon ve merkez kayması parametreleri olduğu belirtilmiştir. Bununla birlikte kümenin X-ışın görüntüsünde, tek objenin kontürlerinin eşit ışınım görüntüsü ve alt yapılı olmaması rahatlamış küme, iki ya da daha fazla obje olması ve birleşmenin açık kanıtlarının bulunması durumunda rahatsız küme, bu sınıflandırmaların dışında kalan küçük alt yapılı ya da sönük dağılımlı kümeler karışık olarak sınıflandırılmıştır ([Lovisari ve diğ. 2017](#)). Benzer çalışmalarda bir kümede, $\langle w \rangle < 0.01$ ise morfolojik olarak rahatlamış, $\langle w \rangle > 0.01$ ise morfolojik olarak rahatsız küme sınıflandırmaları yapılmıştır ([Pratt ve diğ. 2009](#); [Bartalucci ve ark. 2019](#)).

2.2 Yüzey Parlaklık Konsantrasyonu

Galaksi kümelerinde merkez yüzey parlaklığının (surface brightness, SB) fazlalığı soğuk çekirdeğin varlığının ilk göstergesi olarak kabul edilir ([Fabian ve diğ. 1984](#)). Yüzey parlaklık konsantrasyonu parametresi (c_{SB}), galaksi kümelerinin soğuk çekirdekli veya soğuk çekirdekli olmayan galaksi kümesi ayırımı yapmak için kullanılmaktadır ([Santos ve diğ. 2008](#)). Denklem 2'de verilen c_{SB} parametresi ile kümelerde tek parametre kullanılarak soğuk çekirdeklerin pratiksel olarak

ilk sınıflandırması yapılmıştır. Konsantrasyon parametresi hesaplamalarında R_{500} olarak ölçeklendirilmiş yarıçap yerine fiziksel yarıçap kullanılmaktadır.

$$c_{SB} = \frac{SB(r < 40 \text{ kpc})}{SB(r < 400 \text{ kpc})} \quad (2)$$

burada c_{SB} , X-ışın yüzey parlaklık konsantrasyonu, SB, X-ışın yüzey parlaklığıdır. c_{SB} parametresi ile soğuk çekirdekli galaksi kümeleri, soğuk çekirdekli olmayan, NCC ($c_{SB} < 0.075$), orta soğuk çekirdekli, MCC ($0.075 < c_{SB} < 0.155$) ve güçlü soğuk çekirdekli, SCC ($c_{SB} > 0.155$) olarak sınıflandırılmıştır. Ayrıca c_{SB} parametresinin kırmızıya kayma değerinden bağımsız olduğu (Santos ve diğ. 2008) ve kümelerde yarıçap farklılığından etkilenmediği ortaya konulmuştur (Lovisari ve diğ. 2017). R_{500} bölgesinde yüksek konsantrasyona sahip kümelerin, $0.5 R_{500}$ bölgesi için de yüksek konsantrasyona sahip olduğu ve bu sürekliliğin yüzey parlaklık profillerinin (SB), küme görüntüsünde görünür altyapıların kaldırılmasından sonra düzleştirilmiş görüntülerden elde edilmesinden kaynaklandığı belirtilmiştir. Galaksi kümelerinin dinamiksel yapılarının belirlenmesinde küme X-ışın görüntülerinden faydalanılarak, merkez kayması 0.021 değerinden daha düşük ve konsantrasyonu 0.15 değerinden daha yüksek olan kümeler rahatlamış olarak sınıflandırılmıştır (Lovisari ve diğ. 2017).

3 Önceki Çalışmalar

A0961'in optik morfolojik sınıflandırması, Rood & Sastry, "L-çizgi" (Struble & Rood 1987b) ve Bautz & Morgan, "II-III" olarak yapılmıştır (Abell 1958). A0961 galaksi kümesinin ROSAT verileri ile X-ışın sıcaklığı $kT=5.2$ keV, ışınım akısı $0.1-2.4$ keV enerji aralığı için $f_x=4.8 \times 10^{-12}$ erg cm^{-2} s^{-1} ve X-ışın ışınım gücü $L_x=3.14 \times 10^{44}$ erg s^{-1} olarak hesaplanmıştır (Ebeling ve diğ. 1998). Sloan Digital Sky Survey (SDSS) verileri ile fotometri ve tayf analizleri yapılarak küme yoğunluğu $C=0.45$ elde edilmiş ve altyapılı olmayan küme olarak belirlenmiştir (Jensen & Pimblet 2012). A0961 kümesi rahatlamış küme olarak tanımlanmıştır (Sifón ve diğ. 2015).

A2108'in optik morfolojik sınıfı, Rood & Sastry, "C-çekirdek" (Struble & Rood 1987b) ve Bautz & Morgan, "III" olarak tanımlanmıştır (Abell 1958). ROSAT verileri ile X-ışın sıcaklığı $kT=4$ keV ve foton sayım oranı 0.32 ± 0.10 sayım s^{-1} olarak bulunmuştur. Enerji aralığı $0.1-2.4$ keV için ışınım akısı $f_x=5.3 \times 10^{-12}$ erg cm^{-2} s^{-1} , X-ışın ışınım gücü $L_x=1.92 \times 10^{44}$ erg s^{-1} olarak elde edilmiştir (Ebeling ve diğ. 1996). SDSS verileri kullanılarak fotometri ve tayf analizleri ile kümenin karakteristik özellikleri belirlenmiş, küme yoğunluğu $C=0.51$ elde edilmiş ve kümenin altyapılı olmadığı belirtilmiştir (Jensen & Pimblet 2012). A2108 galaksi kümesi, Chandra ve XMM-Newton verileri ile X-ışınlarında ve radyo yayımlarında incelenmiş, iki alt kümesi olan ve birleşme geçiren bir sistem olarak nitelendirilmiştir. Alt kümelerden biri batıda daha parlak ve düzenli diğeri doğuda oldukça bozuk bir morfolojiye sahip parlak bir X-ışın tepesi etrafında ortalanmıştır. Her iki alt kümede de soğuk çekirdeğin varlığı tespit edilememiştir (Schellenberger ve diğ. 2022).

A3390'nın optik morfolojik küme sınıflandırması Abell, "IR" (Abell 1965; Abell ve diğ. 1989) ve Bautz & Morgan, "II" olarak yapılmıştır (Abell ve diğ. 1989). ROSAT verileri ile X-ışın sıcaklığı $kT=1.8$ keV bulunmuştur (Ebeling ve diğ. 1996). Kümenin iki tepeli X-ışın yayımına sahip olduğu belirtilmiştir (De Grandi ve diğ. 1999). XMM-Newton verileri kullanılan A3390'nun X-ışın tayfına APEC tayf modeli uygulanarak $0.5-7$

keV enerji aralığı için X-ışın sıcaklığı, $T_x=1.58 \pm 0.06$ keV ve $0.1-2.4$ keV aralığı için X-ışın ışınım gücü, $L_x=1.41 \pm 0.11 \times 10^{43}$ erg s^{-1} olarak hesaplanmıştır. Kümenin iki X-ışın tepesinin her biri için tayf analizi yapılmış ve farklı kırmızıya kayma değeri bulunamamıştır (Lovisari ve diğ. 2015).

A3854'ün optik morfolojik küme sınıfı, Abell, "R" ve Bautz & Morgan, "II" olarak tanımlanmıştır (Abell 1965; Abell ve diğ. 1989). ROSAT verileri kullanılan A3854'ün analizinde $N_H=1.1 \times 10^{20}$ cm^{-2} ve $z=0.1214$ değerleri kullanılarak, Raymond-Smith tayf modeli ile $kT=6$ keV, enerji aralığı $0.1-2.4$ keV için $f_x=7.7 \times 10^{-12}$ erg cm^{-2} s^{-1} ve $L_x=4.79 \times 10^{44}$ erg s^{-1} olarak hesaplanmıştır (Ebeling ve diğ. 1996). Diğeri bir çalışmada $H_0=50$ km s^{-1} Mpc^{-1} varsayılarak güç kanunu tayfindan $L_x=3.84 \pm 0.59 \times 10^{44}$ erg s^{-1} bulunmuştur (De Grandi ve diğ. 1999).

XMM-Newton verileri ile A3854'ün X-ışın tayfı oluşturulmuş ve APEC tayf modeli uygulanarak X-ışın analizi yapılmış ve kümenin morfolojik parametreleri hesaplanarak ($R_{500}=1061$ kpc, $c=0.25 \pm 0.01$, $w=0.22 \pm 0.04 \times 10^{-2}$, gibi) dinamik durumu belirlenmeye çalışılmıştır. Morfolojik parametrelerin değerlendirilmesi ve kümenin X-ışın görüntüsünün görsel olarak incelenmesi sonucunda A3854 kümesinin dinamik durumu rahatlamış (R) olarak belirlenmiştir (Lovisari ve diğ. 2017).

4 Yöntem ve Materyal

ACO kataloğu her birinin en az 30 üye galaksisi bulunan 4073 zengin galaksi kümesinin tüm gökyüzü kataloğudur. Büyüklük (kadir) oranları m_3 ile m_3+2 değerlerindedir (m_3 , üçüncü en parlak küme üyesinin büyüklüğüdür) ve kümelerin ağırlıklı olarak kırmızıya kayma değerleri 0.2 'den daha küçük olan galaksi kümelerini içerir (Abell ve diğ. 1989). XMM-Newton uydusunun gözlem yaptığı enerji aralığı $0.15-15$ keV arasında ve görüş alanı $30'$ 'dir. XMM-Newton uydusunun çözünürlüğü $6''$ 'dir, bu yüksek çözünürlük X-ışını verileri ile yapılan çalışmaların daha sağlıklı sonuçlar vermesi bakımından önemlidir (Jansen ve diğ. 2001). XMM-Newton uydusu MOS1, MOS2 ve PN olarak üç detektöre sahiptir. Mikro meteoritler çarpması sonucu MOS1 dedektöründe bulunan iki CCD (CCD#3 ve CCD#6) işlev görmemektedir. Galaksi kümelerinin X-ışın görüntüleri incelenerek hangi CCD'nin işlev görmediği kolayca tespit edilebilmektedir (Snowden & Kuntz 2014).

4.1 Veri Bilgisi

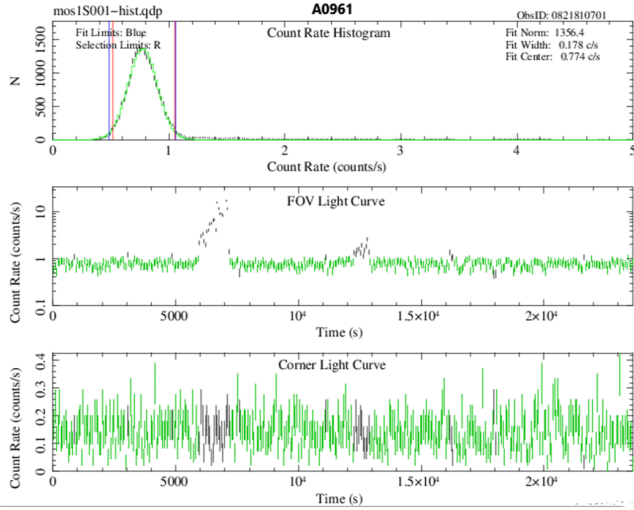
Bu çalışmada ACO kataloğundan seçilen en parlak, zengin ve düşük kırmızıya kayma ($0.03 < z < 0.15$) değerlerine sahip olan A0961, A2108, A3390 ve A3854 galaksi kümelerinin "HEASARC Browse XMMMASTER, XMM-Newton Master Log & Public Archive"den alınan X-ışın gözlem verileri kullanılmıştır (Çizelge 2). Galaksi kümelerinin X-ışın verilerinin analizinde SAS (Science Analysis Software) Bilimsel Analiz Programının SAS 18.0.0 versiyonu, XMM-Newton uydu verilerinin yaygın kaynak analizi için üretilmiş olan ESAS (Extended Source Analysis Software) paket programı ve XMM-Newton verileri analizi için gerekli olan python3.6.2, heasoft-v6.27.2, perl-v5.24.1, ds9-8.1v(2019) analiz paketleri kullanılmıştır.

4.2 Görüntü oluşturma

Çalışmamızda, kümelerin X-ışın görüntülerini oluşturmak için ESAS-Cookbook (Snowden & Kuntz 2014) standart

Çizelge 2. İncelenen galaksi kümelerinin *XMM-Newton* uydusu X-ışın verileri gözlem bilgileri. Kırmızıya kayma referansları: (1) [Struble & Rood \(1987a\)](#), (2) [Struble & Rood \(1999\)](#). N_H değerleri NASA/NED veri tabanından alınmıştır.

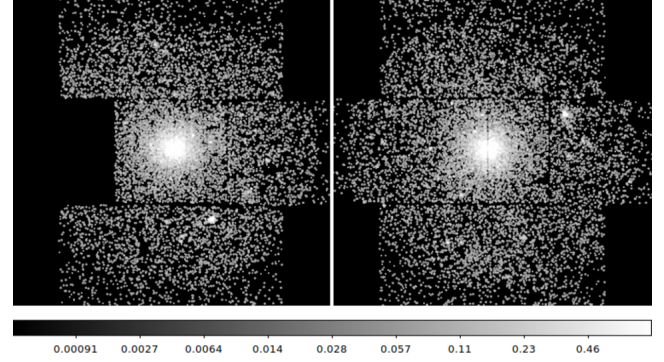
Küme Adı	z	Ref.	N_H ($\times 10^{20}$ cm $^{-2}$)	RA	DEC	Tarih	Süre (s)	MOS1 (s)	MOS2 (s)	PN (s)
A0961	0.1241	(2)	1.48	10 16 23.99	+33 37 20.0	2018-10-27	25000	23621	23607	21761
A2108	0.0919	(1)	2.71	15 40 03.97	+17 52 19.0	2019-02-19	26000	24622	24607	22762
A3390	0.0333	(2)	7.07	06 24 37.00	-37 20 09.0	2017-10-11	22800	21455	21427	19841
A3854	0.1492	(2)	1.22	22 17 43.30	-35 43 34.3	2005-05-12	26918	26674	26676	22740



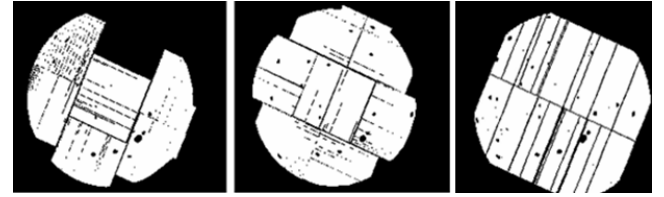
Şekil 1. A0961 kümesinin MOS1 dedektöründen elde edilen ışık eğrisi. Yeşil kısımlar kabul edilebilir zaman aralıklarını göstermektedir.

analiz basamakları ve *XMM-Newton* veri analizi komut dizileri kullanılmıştır. Analiz için *XMM-Newton* arşivinden veriler alınmış, MOS-CCD'ler için emchain, PN-CCD için epochain ve epochain withoutoftime=true görevleri ile olay dosyaları üretilmiş ve olay dosyalarının filtrelenmesi için mos-filter ve pn-filter görevleri kullanılmıştır. Bu görevlerin çalıştırılmasıyla gözlemede uygun kısımlar tespit edilmiş ve yumuşak proton parlamasından etkilenen kısımlar çıkartılarak ışık eğrisi temizlenmiştir. MOS1, MOS2 ve PN dedektörleri için ışık eğrileri oluşturulmuş, ışık eğrilerinin kabul edilebilir zaman aralıkları ve Gauss fiti uygunlukları incelenerek tüm ışık eğrilerinin kabul edilebilir zaman aralıklarına sahip olduğu belirlenmiştir (Ör: Şekil 1).

Kümelerin MOS1 ve MOS2 dedektörlerinin tüm CCD'leri incelenerek veri alamayan veya anomali durumları olan CCD'ler belirlenmiştir. Veri alamayan CCD'ler analizden çıkartılmıştır. Her kümenin MOS1 ve MOS2 dedektörlerinin yumuşak bant (0.2-1.0 keV) görüntüleri incelenerek anomali durumları olan CCD'ler için düzeltme görevleri uygulanmıştır. A3854'ün MOS1 ve MOS2 yumuşak bant (0.2-1.0 keV) görüntüsü Şekil 2'de verilmiştir. PN dedektörü görüntülerindeki anomali durumlarının düzeltilmesi PN_0oT dosyalarının oluşturulmasıyla sağlanmıştır. ICM gazı incelemelerinde kirlilik oluşturan nokta kaynaklar cheese görevi ile belirlenmiş, maske görüntüleri oluşturulmuş ve gerekli durumlarda küme görüntüsünden çıkartılmıştır. A3854'ün nokta kaynakları için oluşturulan maske görüntüleri Şekil 3'de verilmiştir. Kümelerin üç dedektörünün her CCD'si için X-ışın sertlik oranı grafikleri oluşturularak incelenmiş ve analiz için uygun olmayan CCD'ler analizlerden



Şekil 2. A3854 galaksi kümesinin MOS1 (sol) ve MOS2 (sağ) dedektörlerinin yumuşak bant (0.2–1.0 keV) görüntüleri.



Şekil 3. A3854 galaksi kümesinin MOS1 (sol), MOS2 (orta) ve PN (sağ) dedektörlerindeki nokta kaynakların çıkartılması için oluşturulan maske görüntüleri.

çıkartılmıştır. A3854'ün MOS1 CCD'leri için oluşturulan sertlik-oran grafiği Şekil 4'de verilmiştir.

XMM-ESAS görevleri olan mos-spectra, pn-spectra, mos_back ve pn_back ile üretilmiş olan ara ürün dosyaları kullanılarak durgun parçacık arka plan (QPB) görüntüleri ve tayfi oluşturulmuştur. Durgun parçacık arka planı, yumuşak proton arka planı (SP) ve güneş rüzgarları yük değiştirme arka planı (SWCX) verileri küme görüntülerinden çıkarılmıştır. Kümelerin her biri için 0.4-7.2 keV enerji aralığında ve arka plandan arındırılmış MOS1, MOS2 ve PN verileri birleştirilerek EPIC dosyaları elde edilmiştir. EPIC dosyaları ds9 görüntüleme programı kullanılarak düzenlenmiştir (Şekil 5 ve Şekil 6).

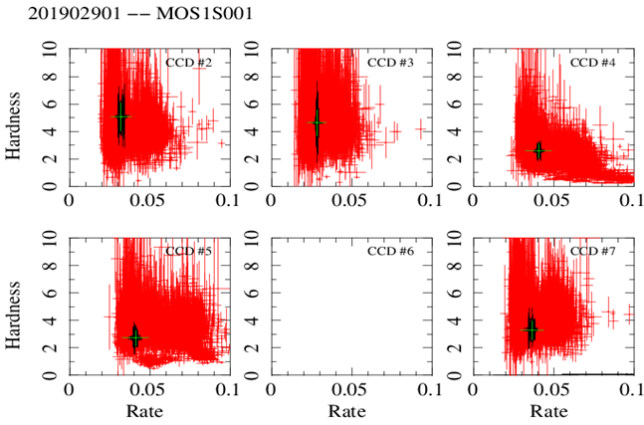
4.3 Tayf hazırlama

Galaksi kümelerinin dinamik durumunun kapsamlı bir görünümünü elde etmek için morfolojik analizlerde genel olarak R_{500} içindeki bölge kullanılmaktadır ([Lovisari ve diğ. 2017](#)).

Küme tayfları oluşturulurken arka plan verilerinden arındırılmış EPIC verileri kullanılmış ve ESAS komut dizileri takip edilmiştir. Çalışmamızda incelenen galaksi kümelerinin R_{500} değerlerini belirlemek için kümelerin 1'-4' arasındaki

Çizelge 3. Analizleri yapılan galaksi kümelerinin: (1) küme adı, (2) kümenin 1'lık uzaklık değeri, (3) hesaplanan R_{500} , (4) hesaplanan yüzey parlaklık konsantrasyon parametresi c_{SB} , (5) hesaplanan X-ışın merkez kayması (w), (6) Santos ve diğ. (2008) kriterleri ile belirlenen, kümelerin soğuk çekirdek sınıflandırması, (7) Lovisari ve diğ. (2017) kriterleri gözönüne alınarak belirlenen, kümelerin dinamiksel durumları. A2108 galaksi kümesi alt yapıları olduğundan merkez kayması parametresi (w) hesaplamalarında R_{500} tercih edilmemiş, A2108 Doğu için $R_{ap}=3$ kpc, A2108 Batı için $R_{ap}=4.3$ kpc yarıçaplı bölgeler kullanılmıştır. Çizelgede literatürdeki sınıflandırma gösterimleri kullanılmıştır.

Küme Adı	1' uzaklık (kpc)	R_{500} (kpc)	c_{SB}	w	Sınıflandırma	Dinamiksel durum
A0961	134.83	1090	0.039 ± 0.001	0.0356 ± 0.0058	NCC	M/D
A2108 Doğu	103.27	-	0.024 ± 0.002	0.0704 ± 0.0114	NCC	D
A2108 Batı	103.27	-	0.061 ± 0.003	0.0311 ± 0.0050	NCC	D
A3390	40.33	706	0.076 ± 0.001	0.0153 ± 0.0025	CC	R
A3854	155.91	1066	0.585 ± 0.073	0.0129 ± 0.0021	CC	R



Şekil 4. A3854 kümesi MOS1 dedektöründeki herbir CCD için sertlik oran grafikleri.

bölgelerinin ICM tayfı oluşturulmuştur. Kümelerin ICM tayf analizi XSPEC programında, 0.4-7.2 keV enerji aralığında ve APEC tayf modeli uygulanarak yapılmıştır. Kümeler için Çizelge 2'de verilen kırmızıya kayma (z), hidrojen kolon yoğunluk (N_H) değerleri sabit tutularak fit edilmiştir. A0961, A3390 ve A3854 kümelerinin X-ışın sıcaklıkları, T_x , sırasıyla 3.79 ± 0.10 , 1.59 ± 0.02 ve 3.64 ± 0.28 keV olarak hesaplanmıştır.

İncelediğimiz galaksi kümelerinin R_{500} değerleri Evrard (1997)'deki yöntem takip edilerek ve $R_{500}-T$ ilişkili Denklem 3 kullanılarak hesaplanmış ve Çizelge 3'de verilmiştir.

$$R_{500}(T_x) = (1.24 \pm 0.09) \left(\frac{T_x}{10 \text{ keV}} \right)^{1/2} h^{-1} \text{ Mpc} \quad (3)$$

5 Morfolojik parametrelerin belirlenmesi

Galaksi kümelerinin, nokta kaynakları çıkartılmış, lineer ölçeklendirilmiş, Gauss fonksiyonu ($\sigma=3$) ile düzleştirilmiş ve geniş enerji aralığı (0.4-7.2 keV) için oluşturulan EPIC görüntülerinden, X-ışın tepe noktası ve ağırlıklı merkezi X-ışın tepe noktası arasındaki değişim oranlarının değerlendirilmesiyle belirlenen merkez kayması parametresi (w), Denklem 1'den yararlanılarak hesaplanmıştır. Merkez kayması hesaplanırken A0961 ve A3854 kümeleri için $R_{ap}=0.5 R_{500}$ kullanılmıştır. A3390 kümesinin kırmızıya kayma değerinin çok küçük olması ve küme görüntüsünün tamamının görüş alanı (FOV) içinde olmasından dolayı $R_{ap}=0.2 R_{500}$ olarak alınmıştır.

A2108 kümesinin X-ışın görüntüsünde kuzeyde bir arka plan kümesi ile doğu ve batıda iki alt küme tespit edilmiştir (Schellenberger ve diğ. 2022). A2108 kümesinin alt yapıları

olmasından dolayı duyarlı bir hesaplama yapabilmek için A2108 Batı ve A2108 Doğu'nun R_{ap} değerleri için R_{500} yerine fiziksel (kpc) yarıçaplar kullanılmıştır. Alt kümelerin X-ışın tepesi merkez alınarak A2108 Batı için $2.5''$ (4.3 kpc) yarıçaplı, A2108 Doğu için $1.8''$ (3 kpc) yarıçaplı bölgelerin merkez kayması parametreleri hesaplanmıştır. Merkez kayması ve kümelerin X-ışın görüntüleri birlikte değerlendirilerek kümelerin rahatlamış veya rahatsız olarak morfolojik sınıflandırmaları yapılmıştır (bkz. Çizelge 3).

A0961, A3390 ve A3854 kümelerinin nokta kaynakları çıkartılmış, logaritmik ölçeklendirilmiş ve düzleştirilmemiş EPIC görüntülerinde, küme X-ışın tepesi merkez alınarak 40 kpc ve 400 kpc'lik yarıçaplı bölgelerin yüzey parlaklık (SB) değerleri bulunmuştur. A2108 kümesi içindeki alt kümelerin yüzey parlaklık konsantrasyonlarını belirlemek için parlaklık profilleri küçük boyutlarda çıkartılmıştır. A2108 batı alt küme için 0.56 kpc ve 3.5 kpc yarıçaplı bölgelerin, A2108 doğu alt küme için 0.35 kpc ve 3 kpc yarıçaplı bölgelerin yüzey parlaklık değerleri Denklem 2 kullanılarak oranlanmış ve c_{SB} parametreleri hesaplanmıştır. Hesaplamalar sonucunda elde edilen c_{SB} değerlerine göre kümelerin soğuk çekirdekli veya soğuk çekirdekli olmayan morfolojik sınıflandırması yapılmıştır (bkz. Çizelge 3).

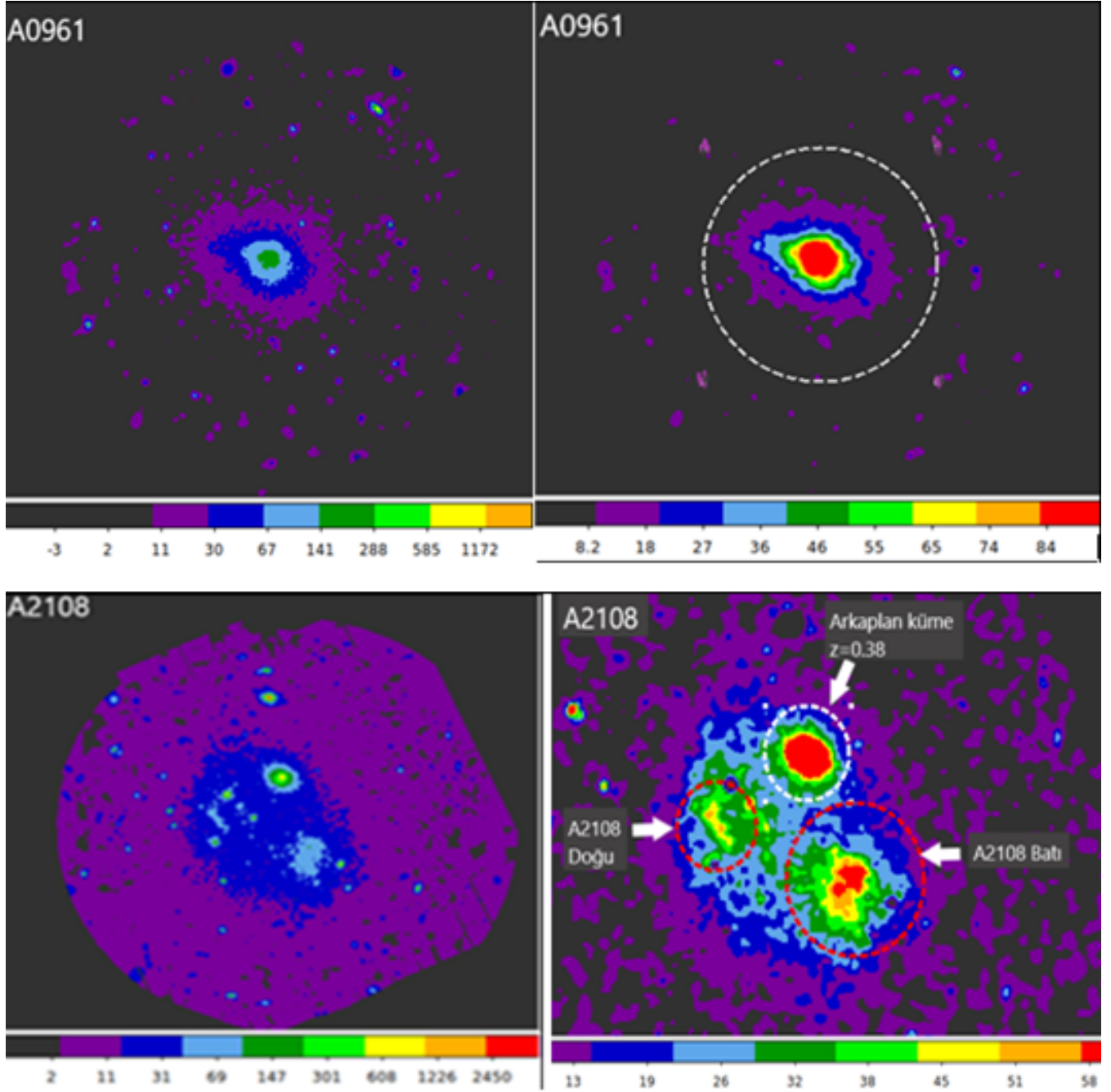
6 Tartışma ve Sonuçlar

Bu çalışmada, galaksi kümelerinin, ICM X-ışın özellikleri incelenerek, galaksi kümelerindeki bozukluk derecesinin daha nicel bir ölçüsünü sağlamak için merkez kayması (w) ve yüzey parlaklık konsantrasyon (c_{SB}) parametreleri hesaplanmıştır (Çizelge 3). Kümelerin X-ışın görüntüleri, w ve c_{SB} parametreleri değerlendirilerek kümelerin dinamiksel durumları belirlenmiş ve morfolojik sınıflandırmaları yapılmıştır.

A0961'in X-ışın dinamiksel sınıflandırması ilk kez bu çalışmada yapılmış ve karışık/rahatsız küme olarak nitelendirilmiştir. A0961 için sonuçlarımız önceki optik çalışmalardan Jensen & Pimblet (2012) ve Sifón ve diğ. (2015)'dan biraz farklı olmakla birlikte Abell (1958) ve Struble & Rood (1987b)'un çalışmasıyla uyumludur.

A2108'in X-ışın dinamiksel sınıflandırması, rahatsız küme olarak belirlenmiştir. A2108 için sonuçlarımız literatürdeki optik çalışmalardan, Jensen & Pimblet (2012)'den farklı, Struble & Rood (1987b)'a yakın ve Abell (1958) ile uyumludur. Schellenberger ve diğ. (2022)'nin X-ışın çalışması ile uyumludur.

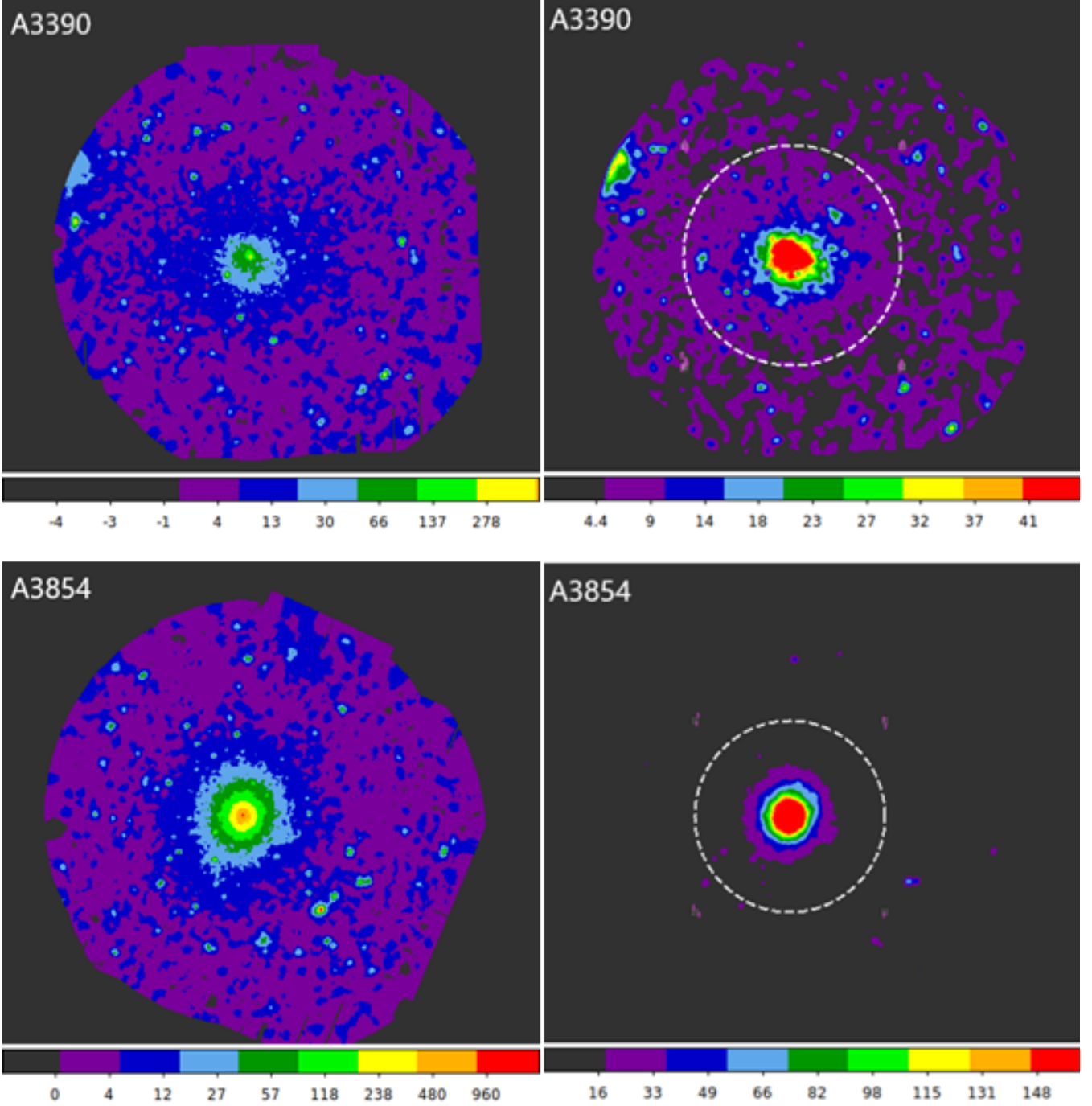
A3390'nun X-ışın dinamiksel sınıflandırması, rahatlamış küme olarak sınıflandırılmıştır. Sonuçlarımız literatürdeki optik sınıflandırmalarla yakın uyum içerisinde (Abell 1965; Abell



Şekil 5. (Sol panel) A0961 ve A2108 kümelerinin nokta kaynakları çıkartılmamış, logaritmik ölçeklendirilmiş, düzleştirilmemiş ve geniş enerji aralığında (0.4-7.2 keV) oluşturulmuş EPIC görüntüleri. (Sağ panel) A0961 ve A2108 kümelerinin nokta kaynakları çıkartılmış, lineer ölçeklendirilmiş, Gauss fonksiyonu ($\sigma=3$) ile düzleştirilmiş ve geniş enerji aralığında (0.4-7.2 keV) oluşturulmuş EPIC görüntüleri. A0961 için beyaz kesikli daire, kümenin X-ışın tepe noktası merkez alınarak oluşturulan, $0.5 R_{500}$ bölgesini göstermektedir. A2108 için beyaz kesikli daire, arka plan kümesini göstermektedir (A2108 için bkz. Schellenberger ve diğ. (2022)). A2108 için kırmızı kesikli daireler A2108 Doğu ve A2108 Batı alt kümelerinin X-ışın tepe noktası merkez alınarak oluşturulan, sırasıyla $R_{ap}=3$ kpc ve $R_{ap}=4.3$ kpc bölgelerini göstermektedir.

ve diğ. 1989) olmasına rağmen X-ışın çalışmalarından (De Grandi ve diğ. 1999; Lovisari ve diğ. 2015) farklıdır. X-ışın yayım tepesi ile X-ışın yayım ağırlıklı merkezi arasında göreceli olarak yüksek ayrılmalara sahip olan kümeler düzensiz veya rahatsız kümeler olarak nitelendirilir (Mohr ve diğ. 1993). Kümenin tamamının görüş alanı içinde olmaması durumunda ağırlıklı yayım merkezi belirlenememekte ve bu durumda sadece

X-ışın yayım tepesi kullanılmaktadır (Lovisari ve diğ. 2015). Çalışmamızda, A3390 kümesinin kırmızıya kayma değerinin çok küçük olması ve küme görüntüsünün tamamının görüş alanı (FOV) içinde görüntülenememesi sebebiyle X-ışın yayım tepesi kullanılmış ve küme için $R_{ap}=0.2 R_{500}$ olarak alınmıştır. Önceki X-ışın çalışmalarında farklı enerji aralıklarının (0.5-2.0 keV) kullanılmış olması (De Grandi ve diğ. 1999) veya R_{500}



Şekil 6. (Sol panel) A3390 ve A3854 kümelerinin nokta kaynakları çıkartılmamış, logaritmik ölçeklendirilmiş, düzleştirilmemiş ve geniş enerji aralığında (0.4-7.2 keV) oluşturulmuş EPIC görüntüleri. (Sağ panel) A3390 ve A3854 kümelerinin nokta kaynakları çıkartılmış, lineer ölçeklendirilmiş, Gauss fonksiyonu ($\sigma=3$) ile düzleştirilmiş ve geniş enerji aralığında (0.4-7.2 keV) oluşturulmuş EPIC görüntüleri. Beyaz kesikli daireler, kümelerin X-ışın tepe noktası merkez alınarak oluşturulan, A3390 için 0.2 R_{500} ve A3854 için 0.5 R_{500} bölgesini göstermektedir.

değerlerinin farklı alınması (Lovisari ve diğ. 2015) farklı sonuçlar elde edilmesine neden olabilir. Bu nedenlerle A3390 kümesinin sıcaklık haritalamasının yapılmasına ihtiyaç vardır.

A3854'ün X-ışın dinamiksel sınıflandırması bu çalışmada rahatlamış olarak belirlenmiştir. A3854 galaksi kümesi için sonuçlarımız literatürdeki optik çalışmalarla (Abell 1965; Abell

ve diğ. 1989) ve X-ışın çalışmalarıyla (Lovisari ve diğ. 2017) oldukça uyumludur.

A0961 ve A2108 galaksi kümelerinin X-ışın analizlerinde soğuk çekirdekli olmayan kümeler, A3390 ve A3854 galaksi kümelerinin soğuk çekirdekli kümeler oldukları ilk kez bu çalışmada belirlenmiştir.

Teşekkür

Bu çalışmaya birlikte başladığım tez hocam Gülnur İkis Gün Covid-19 nedeniyle vefat etmiştir. Kendisini makaleye katkılarından dolayı saygılarımla anıyorum.

Kaynaklar

- Abell, G. O., 1958, ApJS, 3, 211
 Abell, G. O., 1965, ARA&A, 3, 1
 Abell, G.O., Corwin, H.G. ve Olowin, R. P., 1989, ApJS, 70, 1
 Bartalucci, I., Arnaud, M., Pratt, G. W., Démoclès, J. ve Lovisari, L., 2019, A&A, 628, A86
 Bautz, L. P., Morgan, W. W., 1970, ApJ, 162, L149
 Cassano, R., Ettori, S., Giacintucci, S., ve diğ. 2010, ApJL, 721, L82
 Chen Y., Reiprich T. H., Böhringer H., Ikebe Y., Zhang Y.-Y., 2007, A&A, 466, 805
 De Grandi, S., Böhringer, H., Guzzo, L., ve diğ. 1999, ApJ, 514, 148
 Ebeling, H., Edge, A. C., Böhringer, H. ve diğ. 1998, MNRAS, 301, 881
 Ebeling, H., Voges, W., Böhringer, H. ve diğ. 1996, MNRAS, 281, 799
 Evrard, A. E., 1997, MNRAS, 292, 289
 Fabian, A. C., Nulsen, P. E. J. ve Canizares, C. R. 1984, Nature, 310, 733
 Forman, W., Jones, C., 1982, ARA&A, 20, 547
 Forman W., Jones C., Tucker W. 1985, ApJ, 293, 102
 Heldson S., Ponman T., O'Sullivan E., Forbes D., 2001, MNRAS, 325, 693
 Jansen, F., Lumb, D., Altieri, B. ve diğ. 2001, A&A, 365, L1
 Jensen, P. C., Pimblet, K. A. 2012, MNRAS, 422, 2841
 Jones C., Forman W., 1999, ApJ, 511, 65
 Lovisari, L., Reiprich, T. H., Schellenberger, G., 2015, A&A, 573, A118
 Lovisari L., Forman W. R., Jones C. ve diğ. 2017, ApJ, 846, 51
 Mann, A.W. ve Ebeling, H., 2012, MNRAS, 420, 2120
 Maughan, B. J., Jones, C., Forman, W., Van Speybroeck, L. 2008, ApJS, 174, 117
 Mohr, J. J., Evrard, A. E., Fabricant, D. G., Geller, M. J., 1995, ApJ, 447, 8
 Mohr, J. J., Fabricant, D. G., Geller, M. J., 1993, ApJ, 413, 492
 Parekh, V., van der Heyden, K., Ferrari, C., Angus, G., Holwerda, B., 2015, A&A, 575, A127
 Poole, G. B., Fardal, M. A., Babul, A. ve diğ., 2006, MNRAS, 373, 881
 Pratt G. W., Croston J. H., Arnaud M., Böhringer H., 2009, A&A, 498, 361
 Rood, H. J., Sastry, G. N., 1971, PASP, 83, 313
 Santos, J. S., Rosati, P., Tozzi, P. ve diğ., 2008, A&A, 483, 35
 Sarazin C. L., 1988, X-ray Emission from Clusters of Galaxies. Cambridge Univ. Press, Cambridge
 Schellenberger, G., Giacintucci, S., Lovisari, L. ve diğ., 2022. ApJ, 925, 91
 Sifón, C., Hoekstra, H., Cacciato, M. ve diğ., 2015, A&A, 575, A48
 Snowden S. L., Kuntz K. D., 2014, Cookbook for Analysis Procedures for XMM-Newton EPIC Observations of Extended Objects and The Diffuse Background. <https://heasarc.gsfc.nasa.gov/docs/xmm/esas/cookbook/xmm-esas.html>
 Struble, M. F. ve Rood, H. J., 1987a, ApJS, 63, 543
 Struble, M. F. ve Rood, H. J., 1987b, ApJS, 63, 555
 Struble, M. F. ve Rood, H. J., 1999, ApJ, 125, 35
 Zhang, C., Xu, H., Zhu, Z. ve diğ., 2016, ApJ, 823, 116

Access:

M23-0323: [Turkish J.A&A](#) — Vol.4, Issue 3.