

A1831 GALAKSİ KÜMESİNİN SUZAKU UYDUSU X-IŞINI VERİLERİ KULLANILARAK ELEMENT BOLLUKLARININ BELİRLENMESİ

Ebru AKTEKİN¹, Fatma GÖK²

¹ Akdeniz Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, Antalya
(eposta: aktekinebru@gmail.com¹)

² Akdeniz Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Fizik Eğitimi Bölümü, Antalya
(eposta: gok@akdeniz.edu.tr)

Özet: Bu çalışmada A1831 galaksi kümesinin ($z=0.0613$), küme içi galaksiler arası sıcak plazmadaki (ICM) element bolluğunun ve bu bolluğun sebebinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla SUZAKU arşivinden X-ışın görüntü spektrometresi verileri alınmıştır. Alınan veriler analiz edilerek X-ışını tayfi elde edilmiştir. Elde edilen tayfa ısısal çarpışmalı plazma için üretilmiş olan $apec$ modeli uygulanarak en uygun fit belirlenmeye çalışılmıştır. Elde edilen fit parametreleri kullanılarak kümeye ait bolluk değerleri belirlenmiştir (güneşteki bolluk biriminde $O = 0.26 \pm 0.01$, $Mg = 0.36 \pm 0.02$, $Si = 0.25 \pm 0.02$, $S = 0.15 \pm 0.01$, $Fe = 0.43 \pm 0.04$ ve $Ni = 1.92 \pm 0.21$). Ağır elementler SN patlamaları ile oluşur (Dupke ve Arnaud 1999, Fabian 1994, Gastaldello ve Molendi 2004), bu elementlerin bolluk oranları ise, SN patlama türüne bağlıdır. Bilindiği gibi tip Ia SN patlamaları sonunda en fazla Ni ve Fe ağır elementleri üretilir. SN tip II, Ib ve Ic 'lerde ise O, Si, Mg ve S daha fazla açığa çıkar. Bu teoriye göre, A1831 kümesi için elde edilen sonuçlar küme içerisindeki galaksilerde SN tip Ia patlamalarının baskın olduğunu göstermektedir. Ayrıca, küme merkezinden radyal dışa doğru element bolluğunun değişimine bakıldığında, A1831 kümesinin cD (Merkezinde baskın bir galaksi içeren) türünden olduğu ve kümede soğutma akışının başladığı görülmektedir.

1. Giriş

Galaksi kümeleri kendi kütle çekim etkileriyle bir arada bulunan, devasa yapılarıdır. Evrendeki toplam kütlelerin hesaplanması, morfolojisinin belirlenmesi ve kimyasal elementlerin kökeninin ortaya konulabilmesi gibi henüz tam olarak cevaplanamamış sorulara yanıt verebilecek niteliktedir. Galaksi kümelerinin sıcaklıkları $10^7 - 10^8$ K, kütlesi $10^{14} M_{\odot}$, yoğunluğu (n) 1 parçacık/litre ve çapları 2 – 4 Mpc civarındadır. Ortalama bir galaksi kümesinin kütlelerinin yaklaşık olarak, %10' u galaksilerden, %20' si hidrostatik dengede sıcak iyonize gaz (ICM-IntraCluster Medium)' dan ve %70' i karanlık maddeden oluşur (Frederiksen vd 2009). Kümeyi bir arada tutan kütle çekimsel etkinin, kümenin kütlelerine önemli miktarda katkı sağlayan karanlık madde olduğu düşünülmektedir (Sarazin 1986).

A1831 galaksi kümesi de Bootes süper kümesine aittir. Koordinatları $\alpha: 13^{\text{sa}} 59^{\text{dk}} 10^{\text{s}}$, $\delta: +27^{\circ} 59' 28''$, B bandındaki parlaklığı 15.40 kadir, V bandındaki parlaklığı 13.90 kadir ve yarıçapı 2.27 Mpc' dir (Kopylov ve Kopylova 2010). Kümeye ait kırmızıya kayma değeri 0.0613 olarak bilinmektedir (Pierpaoli vd 2001). Merkezinde baskın bir galaksi içeren cD tipi galaksi kümesidir.

¹ Bu araştırma EA' nın doktora tezinin bir bölümünden oluşmaktadır.

2. Materyal ve Metod

2.1. SUZAKU Uydusu

SUZAKU, Japonya' nın uzaysal X-ışın kaynaklarının gözlemine adanmış X-ışın astronomi uydularının beşincisidir. 10 Temmuz 2005' de Japon Uzay Keşif Ajansı (JAXA) tarafından Uchinoura Uzay Merkezinden M-V roketi ile fırlatılmıştır. Adını Asya mitolojisine göre gökkürenin 4 gardiyanından güney muhafızı kırmızı renkli Anka kuşundan almıştır.

SUZAKU, ayrı amaçlara yönelik kullanılan 3 bilimsel cihaz taşımaktadır. Birinci cihaz, yüksek enerji çözünürlüğüne sahip (0.3–12 keV enerji aralığında çözünürlük 7 eV' dir) X-ışını spektrometresidir (XRS). XRS, sıvı helyum kaybından dolayı şu anda çalışmamaktadır. İkinci cihaz görüntülemesiz yüksek enerjili X-ışın cihazı olan "Yüksek Enerjili X-ışın Detektörü" dür (HXD). HXD, 10–700 keV aralığında 4eV çözünürlüğünde çalışmaktadır (Mitsuda vd 2007).

Son cihaz ise X-ışın duyarlılıklı 4 adet CCD kamerasıdır (X-ışın görüntü spektrometresi-XIS). Her bir XIS kamera 17'.8 x 17'.8 görüş alanına sahiptir ve 1024 x 1024 pikselden oluşmaktadır. Her bir piksel büyüklüğü 24µm x 24µm' dir. Enerji çözünürlüğü 6 keV' de yaklaşık 130 eV' dur. XIS CCD' lerden üçü önden aydınlatmalı (Front Illuminated; enerji aralığı 0.4–12 keV, isimleri XIS0, XIS2 ve XIS3) ve bir tanesi de arkadan aydınlatmalıdır (Back Illuminated; enerji aralığı 0.2–12 keV ismi XIS1).

2.2. X-ışını analizi

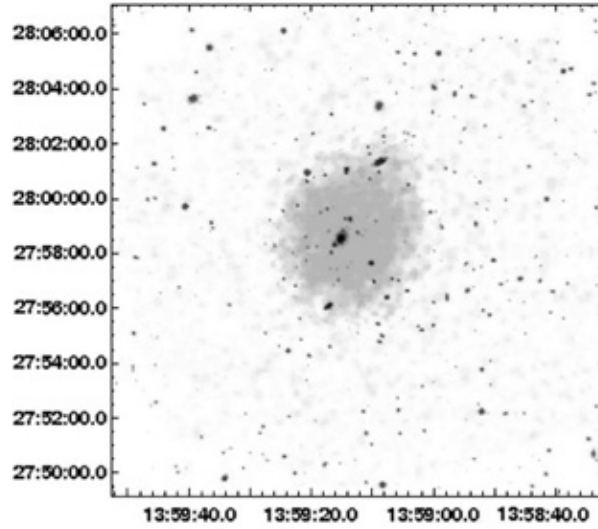
SUZAKU X-ışını gözlem verileri <http://heasarc.gsfc.nasa.gov/db-perl/W3Browse/w3browse.pl> adresinde arşivlenmiş ve kullanıma sunulmuştur. SUZAKU gözlem verilerinin analizi için Yüksek Enerji Astrofiziği Yazılımı (Heasoft–High Energy Astrophysics Software) programı kullanılır. Heasoft farklı analizler için kullanılan çeşitli yazılımlar içermektedir. Bu yazılımlardan xselect V2.4a sürümü ve xspec 2.14.1 sürümü SUZAKU X-ışını analizi için ve DS9 yazılımını görüntüleme için kullanılmaktadır. Alınan X-ışını verilerinin analizleri için uygulanacak adımlar şu şekilde sıralanabilir.

- a) Veri dosyalarının aletsel etkilerden arındırılması
- b) Bölge ve ardalan seçimi
- c) Karşılık (Response) dosyalarının oluşturulması
- d) Gruplama
- e) Tayfın elde edilip modellenmesi

Yukarıdaki işlemler sonucunda seçilen kaynağın enerji grafiği elde edilecektir.

3. Bulgular

A1831 kümesi SUZAKU uydusu tarafından XIS kullanılarak 21 Temmuz 2006' da 18 ks boyunca gözlenmiştir (Gözlem no: 801077010). Bu gözlemden XIS0, XIS1, XIS2 ve XIS3 alıcıları kullanılmıştır. Gözlem verileri 8 Ağustos 2007 tarihinde genel kullanıma açılmıştır.



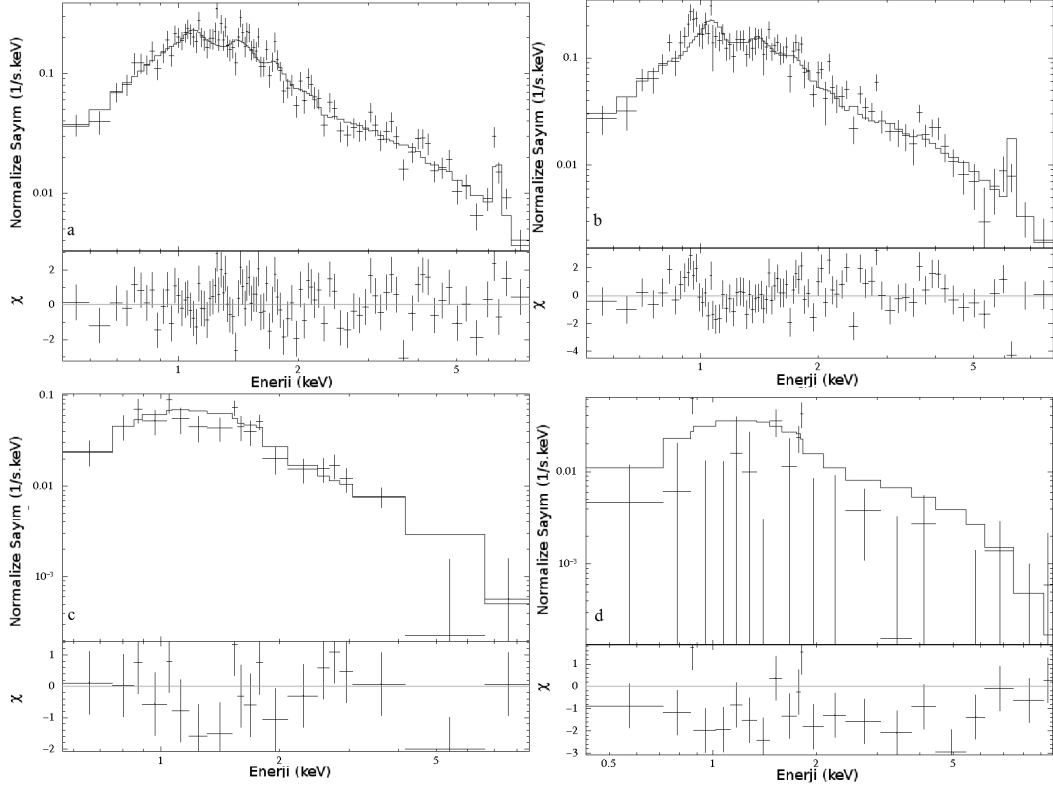
Şekil-1. A1831 kümesine ait parlaklık haritası. Yatay eksen sağaçıklığı ve dikey eksen ise dikaçıklığı (J2000) ifade etmektedir. Şekilde 300–700 eV aralığı mavi, 1200–5000 eV aralığı sarı ve SDSS görüntüsü pembe renkle verilmiştir. Küme merkezi, mavi ve sarı renkli bölgelerin üst üste binmesinden dolayı yeşil renkte görülmektedir. Kümenin merkezlerindeki belirgin galaksi hem optik hem de X-ışını bölgesinde görüntülenebilmiştir.

Galaksi kümelerinin X-ışını çalışmaları ile kümenin sıcaklığı ve ortamdaki element bolluğu belirlenmektedir. Kümenin merkezine ait sıcaklık değerinin belirlenmesi ve küme içerisinde sıcaklık dağılımının bulunması soğutma akışı modeli hakkında bilgi edinilmesini sağlar. ICM’deki element bolluğunun belirlenmesi ise küme içerisindeki galaksilerde meydana gelen SN patlama türleri hakkında bilgi verir.

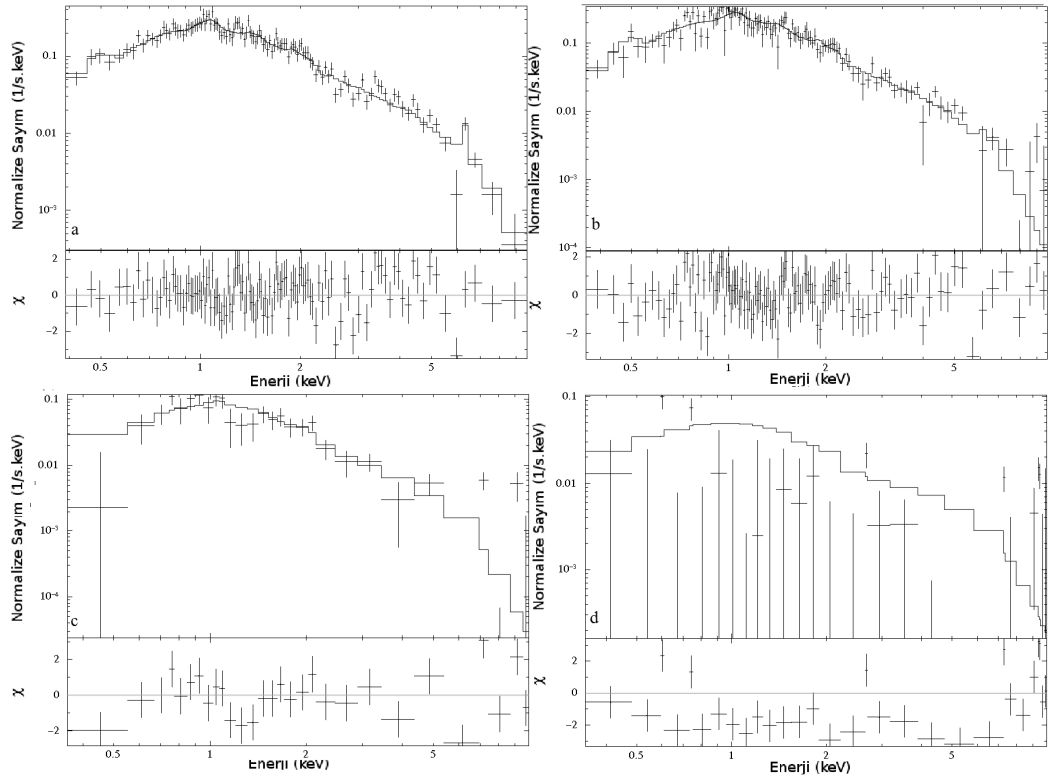
Bu amaçla, kümelerin merkezinden itibaren dışa doğru sıcaklık ve ağır element bolluğunun dağılımına bakılmıştır. İnceleme, kümenin merkezinden başlanarak en dış kısma kadar belirli bölgeler seçilerek yapılmıştır. Kümenin merkezinde $2'$ yarıçaplı dairesel bir alan seçilmiş ve seçilen bölgenin sıcaklık ve element bolluğu hesaplanmıştır.

Merkezden dışarıya doğru gidildikçe küme içi gazın davranışının anlaşılabilmesi için, yarıçap $2'$ artırılarak alanlar seçilmiş, oluşan yeni dairesel alandan bir önceki dairesel alan çıkarılarak kalınlığı $2'$ olan halkalar elde edilmiştir. Böylece, seçilen alanlar merkezden itibaren, $0'-2'$, $2'-4'$, $4'-6'$ ve $6'-8'$ aralıklarını kapsamaktadır. Veriler 30 foton 1 grup olacak şekilde gruplandırılmıştır.

Astrofizikte plazma için kullanılan modeller fotoiyonizasyon ve çarpışmalı modeller olmak üzere iki gruba ayrılır. Galaksi kümelerinde ICM için çarpışmalı modeller uygundur. Bu amaçla üretilmiş iki model bulunmaktadır, bunlar *meka* (Mewe–Kaastra–Liedahl ısısal plazma modeli) (Kaastra 1992) ve *apec*’tir (Astrofiziksel Plazma Salma Kodu) (Smith vd 2001). Her iki model de ısısal çarpışmalı plazmayı tarif eder. Aralarındaki fark *apec* modelin yüksek çözünürlüklü verilerde kullanılabilmesidir. SUZAKU verileri *apec* modeli uygulandığında daha iyi sonuçlar vermektedir (Mitsuda vd 2007, Fukazawa vd 2011, Smith vd 2001). İnceleme kapsamında her iki model de kullanılmış, fakat daha uygun olmasından dolayı sadece *apec* modeli ile elde edilen tayflar Şekil-2 (XIS1) ve Şekil-3’de (XIS0, XIS2 ve XIS3 verilerinin toplanmış hali) verilmiştir.



Şekil-2. A1831 galaksi kümesine ait XIS1 verileri siyah, uygulanan model mavi renktedir, bölgeler merkezden dışarıya doğru a, b, c ve d olarak verilmiştir



Şekil-3. A1831 galaksi kümesine ait XIS0, XIS2 ve XIS3' ün toplanmış verileri siyah ve uygulanan model mavi renktedir, bölgeler merkezden dışarıya doğru a, b, c ve d olarak verilmiştir

Galaksi kümelerinde plazmanın incelenmesi için X-ışını tayfına, *apec* ve *meka* modelleri uygulanmıştır. Modeller uygulanırken kümeye ait kırmızıya kayma değerleri literatürde verilen değerlere sabitlemiştir. Ayrıca galaksi kümelerine ait tayflarda baskın olarak görülen O, Mg, Si, S, Fe ve Ni elementleri serbest bırakılıp diğer elementler Güneşteki bolluk değerlerine (Anders ve Grevesse 1989) sabitlendiğinde en iyi $\chi^2/d.o.f$ değeri elde edilmiştir. Dolayısıyla uygulanan modeller ile her bir bölge için sözü geçen elementlerin bolluk değerleri (güneş bollukları cinsinden “hidrojen çekirdeği başına çekirdek sayısı”) ve sıcaklıkları (kT) hesaplanmıştır. Her bir küme için uygulanan *apec* ve *meka* modelleri için elde edilen, kT, element bolluk değerleri ve elementlerin demir element bolluğuna oranları Çizelge-1’de verilmiştir.

Çizelge-1. A1831 galaksi kümesine ait X-ışını analizlerinin sonuçları. Analizlerde *meka* ve *apec* modelleri uygulanmıştır. Çizelgede her bir bölge için tüm sonuçlar görülmektedir

A1831 Parametreler	0'-2'		2'-4'		4'-6'		6'-8'	
	APEC	MEKA	APEC	MEKA	APEC	MEKA	APEC	MEKA
kT (keV)	4.37±0.07	4.40±0.14	5.19±0.18	4.87±0.24	6.12±0.37	6.06±0.43	7.37±1.42	10.08±3.11
[O/H] _{baglı}	0.26±0.01	0.21±0.11	0.11±0.02	0.06±0.04	0.07±0.02	0.06±0.04		
[Mg/H] _{baglı}	0.36±0.02	0.43±0.32	0.42±0.03	0.34±0.05	0.07±0.04	0.03±0.04		
[Si/H] _{baglı}	0.25±0.02	0.14±0.12	0.23±0.02	0.33±0.02	0.03±0.03	0.03±0.03		
[S/H] _{baglı}	0.15±0.01	0.11±0.07	0.12±0.01	0.08±0.03	0.05±0.02	0.05±0.03		
[Fe/H] _{baglı}	0.43±0.04	0.34±0.04	0.27±0.09	0.24±0.04	0.11±0.10	0.13±0.12	0.05±0.04	0.04±0.05
[Ni/H] _{baglı}	1.92±0.21	1.99±0.56	1.86±0.13	1.97±0.15	0.72±0.15	0.67±0.23	0.04±0.03	0.03±0.06
$\chi^2/d.o.f$	1.09	1.29	1.34	1.47	1.20	1.22	1.44	1.52
O/Fe	0.60	0.62	0.41	0.25	0.64	0.46		
Mg/Fe	0.84	1.26	1.56	1.42	0.64	0.23		
Si/Fe	0.58	0.41	0.85	1.38	0.27	0.23		
S/Fe	0.35	0.32	0.44	0.33	0.45	0.38		
Ni/Fe	4.47	5.85	6.89	8.21	6.55	5.15	0.80	0.75

4. Tartışma ve Sonuç

İnceleme kapsamında A1831 galaksi kümesinin SUZAKU X-ışını analizleri ve sonuçları sunulmuştur. Elde edilen sonuçlar şu şekilde sıralanabilir.

1. X-ışını çalışmalarının ilk adımı, kümelerin merkez bölgelerindeki sıcaklık değerlerinin bulunmasıdır. Bilindiği üzere ICM’ nin yüksek sıcaklığı ($\sim 10^6$ °K) ortamdaki enerji akışından kaynaklanmaktadır, bu enerji akışı ortamı ısıtarak iyonlaşmaya neden olur.

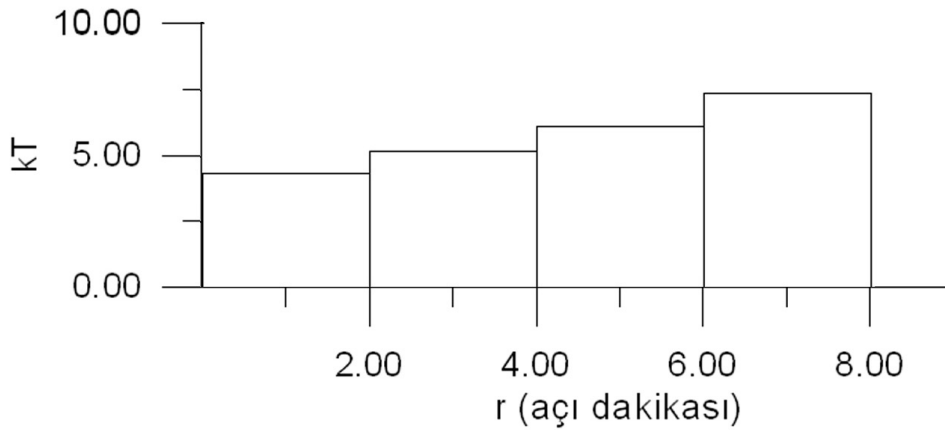
A1831 galaksi kümesinin merkez bölgesine ait kT değerleri hesaplanmıştır. Aynı veriler kullanılarak kT değerleri Shang ve Scharf (2009) tarafından bulunmuştur. Ebeling vd (1996), 2–10 keV enerji aralığı için, A1831 kümesinde dahil olduğu, 242 tane Abell kümesinin merkez bölgesinin kT değerlerini hesaplamıştır. Çizelge-2’ de incelenen küme için tezde hesaplanan, Shang ve Scharf (2009) ve Ebeling vd (1996) tarafından bulunan kT değerleri listelenmiştir.

Çizelge-2. A1831 kümesine ait inceleme kapsamında 0.3–10 keV enerji aralığında hesaplanan ve aynı kümeler için Shang ve Scharf (2009) ve Ebeling vd (1996) tarafından hesaplanan kT (keV) sıcaklık parametresi değerleri

küme	Sıcaklık (kT) (0.3-10 keV)	Sıcaklık (kT) (0.3-10 keV) (Shang ve Scharf 2009)	Sıcaklık (kT) (Ebeling vd 1996) (2-10 keV)
A1831	3.9 keV	4.2 keV	4.0 keV

Abell kümeleri için beklenen kT değerleri 2–8 keV aralığındadır (Fabian 1994). İnceleme kapsamında elde edilen sonuçlar, Abell kümeleri için beklenen aralıktadır. Hesaplanan kT değerleri ile Ebeling vd (1996) tarafından hesaplanan değerler arasındaki farkın nedeni, seçilen enerji aralığının farklı olmasıdır. Shang ve Scharf (2009) ile incelemede elde edilen değerlerin farklı olmasının nedeni küme merkezinden itibaren seçilen bölgelerin farklı genişlikte seçilmesidir.

- İncelenen kümede soğutma akışının araştırılabilmesi için kümelerin merkezinden uzaklaştıkça sıcaklık dağılımına bakılmıştır. Bu dağılım Şekil-4’ de grafik olarak gösterilmektedir.



Şekil-4. A1831 kümesinin merkezden dış kısma doğru X-ışını tayflarından elde edilen kT (keV) sıcaklık parametresi değerlerinin dağılımı

Bu bilgi bizi A1831 kümesi için iki olası sonuca götürür. İlk olası sonuç, küme merkezinde soğuma olayının gerçekleşmiş olduğunu gösterir. Çünkü yeni oluşmuş bir küme merkezi sıcaktır, zamanla soğutma akışı nedeniyle merkez soğumaya ve dış kısma madde aktarmaya başlayacaktır. Dolayısıyla merkez bölgenin daha soğuk olması, küme merkezinde soğutma akışının çok önceden başladığını, kümenin yeni oluşmuş bir küme olmadığını söyler. Düşünülen ikinci olası durum ise merkezden uzaktaki galaksilerin birbirleri arasında etkileşimin olması ve buldukları ortamı ısıtmalarıdır.

- Küme içerisindeki ağır element bolluk oranları bulunmuştur. Ağır elementler SN patlamaları ile oluşurlar (Dupke ve Arnaud 1999, Fabian 1994, Gastaldello ve Molendi 2004), bu elementlerin bolluk oranları ise SN patlama türüne bağlıdır. Tip Ia SN patlamaları sonunda en fazla Ni ve Fe ağır elementleri üretilirken, SN Tip II, Ib ve Ic’ lerde ise O, Si, Mg ve S daha fazla açığa çıkar. Hesaplanan element

bollukları bize küme içi galaksilerde meydana gelen SN patlamalarının türü hakkında bilgi verir. Nomoto vd (1997a ve 1997b) tarafından yapılan çalışmalarda SN patlamaları sonrasında oluşan element bollukları Çizelge-3’de verilmiştir.

Çizelge-3. SN patlamaları sonucunda ortaya çıkan element bolluk oranları (Nomoto vd 1997a ve 1997b)

SN Ia	SN II
$O \approx Mg \approx 0.035 Fe$	$O \approx Mg \approx Si \approx 3.7 Fe$
$Ne \approx 0.006 Fe$	$Ne \approx S \approx 2.5 Fe$
$Si \approx S \approx 0.5 Fe$	$Ni \approx 1.7 Fe$
$Ni \approx 4.8 Fe$	

İnceleme kapsamında, kümenin merkez bölgesinden itibaren ağır element bollukları hesaplanmıştır. Kümenin merkez bölgesi için bulunan element bolluk değerlerinin Fe bolluğuna oranı Çizelge-4’de görülmektedir.

Çizelge-4. A1831 galaksi kümesinin merkez bölgesine ait element bolluklarının demir bolluğuna oranları

Kümelere	O/Fe	Mg/Fe	Si/Fe	S/Fe	Ni/Fe
A1831	0.60	0.84	0.58	0.35	4.47

Elde edilen bu oranlar kullanılarak aşağıdaki sonuçlar çıkarmak mümkündür:

A1831 galaksi kümesinde, küme içi galaksilerde Tip Ia SN patlamalarının daha fazla olduğunu göstermektedir. Ayrıca ICM serbest-serbest soğurma konusunda optikçe incedir. Merkezde üretilen Fe-K α ışınımı plazma içerisindeki Fe iyonları tarafından soğrulup geri saçılır (resonant scattering). Bu soğrulma Fe-K β ışınımı için %20 daha azdır. Bu etki Fe-K β / Fe-K α oranının artmasına neden olur (Dupke ve Arnaud 1999). Bu oranın optikçe ince plazma için geçerli değerde olabilmesi için Ni/Fe oranının güneş değerinin birkaç katı olması gerekir (Dupke ve Arnaud 1999). Eğer bulduğumuz sonuçlarda Ni/Fe oranının büyük olmasının tek nedeni rezonans saçılması olsaydı merkezden uzaklaştıkça oranın belirgin bir şekilde azalması gerekirdi. Azalmanın olmaması, sistemde hem rezonans saçılmasının hem de SN Tip Ia tarafından üretilen Ni elementinin varlığını göstermektedir.

Ayrıca Diğer element bolluklarının beklendiği gibi merkezden uzaklaştıkça azalması, kümelerin cD tipi olduğunu göstermektedir.

4. İncelenen kümeye ait X-ışını tayflarında göze çarpan en belirgin durum, He-Fe çizgisinin varlığıdır ki bu çizgi cD türü kümelerde görülmektedir. A1831 kümesi cD türü kümelerdir dolayısıyla X-ışını tayflarında He-Fe (6.67 keV) çizgisinin varlığı beklenen bir sonuçtur.

5. Kaynaklar

- ANDERS, E. and GREVESSE, N. 1989. Abundances of the elements – Meteoritic and solar. *Geochimica et Cosmochimica Acta* (ISSN 0016–7037), 53: 197–214.
- BAUTZ, L. P. and MORGAN, W. W. 1970. On the Classification of the Forms of Clusters of Galaxies. *The Astrophysical Journal Letters*, 162: 149–153.
- DUPKE, R. A. and ARNAUD, K. A. 1999. Central Elemental Abundance Ratios in the Perseus Cluster: Resonant Scattering or SN IA Enrichment? *The Astrophysical Journal*, 548: 141–149.
- EBELING, H., VOGES, W., BOHRINGER, H., EDGE, A. C., HUCHRA, J. P. and BRIEL, U. G. 1996. Properties of the X-ray–brightest Abell–type clusters of galaxies (XBACs) from ROSAT All–Sky Survey data – I. The sample. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 281: 799–829.
- FABIAN, A.C. 1994. Cooling flows in clusters of galaxies. *Annual Reviews Astronomy and Astrophysics*, 32: 277–318.
- FREDERIKSEN, T. F., HANSEN, S. H., HOST, O. and RONCADELLI, M. 2009. Determining All Gas Properties in Galaxy Clusters from the Dark Matter Distribution Alone. *The Astrophysical Journal*, 700: 1603–1608.
- FUKAZAWA, Y. HIRAGI, K., YAMAZAKI, S., MIZUNO, M., HAYASHI, K., HAYASHI, K. O., NISHINO, S., TAKAHASHI, H. and OHNO, M. 2011. Suzaku View of X-Ray Spectral Variability of the Radio Galaxy Centaurus A: Partial Covering Absorber, Reflector, and Possible Jet Component. *The Astrophysical Journal*, 743 (2): 124–139.
- GASTALDELLO, F. and MOLENDI, S. 2004. Ni Abundance in the Core of the Perseus Cluster: An Answer to the Significance of Resonant Scattering. *The Astrophysical Journal*, 600 (2): 670–680.
- KAastra, J. S. 1992. An X-ray spectral code for optically thin plasmas. Internal SRON–Leiden Report, version 2.0.
- KOPYLOV, A. I. and KOPYLOVA, F. G. 2010. Structure of clusters with bimodal distribution of galaxy line-of-sight velocities III: A1831, *Astrophysical Bulletin*, 65(3): 205–216.
- MITSUDA, K., BAUTZ, M., INOUE, H., KELLEY, R. L., KOYAMA, K., vd 2007. The X-Ray Observatory Suzaku. *Publications of the Astronomical Society of Japan*, 59: 1–7.
- NOMOTO, K., HASHIMOTO, M., TSUJIMOTO, T., THIELEMANN, F. K., KISHIMOTO, N. and KUBO, Y. 1997a. Nucleosynthesis in type II supernovae. *Nuclear Physics A*, 616: 79–90.
- NOMOTO, K., IWAMOTO, K. and KISHIMOTO, N. 1997b. Type Ia supernovae: their origin and possible applications in cosmology. *Science*, 276: 1378–1382.
- PIERPAOLI, E., SCOTT, D. and WHITE, M. 2001. Power–spectrum normalization from the local abundance of rich clusters of galaxies. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 325: 77–88.
- SARAZIN, C. L. 1986. X-ray emission from clusters of galaxies. *Reviews of Modern Physics*, 58: 1–115.
- SHANG, C. and SCHARF, C. 2009. A Low-Redshift Galaxy Cluster X-Ray Temperature Function Incorporating Suzaku Data, *The Astrophysical Journal*, 690 (1): 879–890.
- SMITH, R.K., BRICKHOUSE, N. S., LIEDAHL, D. A. and RAYMOND, J. C. 2001. Collisional Plasma Models with APEC/APED: Emission–Line Diagnostics of Hydrogen–like and Helium–like Ions. *The Astrophysical Journal*, 556: 91–95.