

SUZAKU X-IŞIN UYDUSU ve GALAKSİ KÜMELERİ VERİ SONUÇLARI

M. Hüdaverdi¹, E. N. Ercan¹, M. Bozkurt¹, A. Furuzawa², H. Kunieda²

1- Boğaziçi Üniversitesi, Fizik Bölümü, 34342, İstanbul

Email: murat.hudaverdi@boun.edu.tr

2- Nagoya Üniversitesi, Fizik Bölümü, Furu-cho, Chikusa, 464-8602, Japonya

ÖZET

JAXA/ISAS (JP) ve NASA (US) ortak yapımı olan X-ray uydusu *Suzaku*, 2005 yılında yörüngeye fırlatıldı. Geniş algı aralığı (0.3-600 keV), yüksek enerji çözünürlüğü ($\sim 6.5\text{eV}@6\text{keV}$) ile sıcak X-ışın plazmasının dinamik hareketleri üzerine önemli sonuçlar sunmaktadır. Biz bu çalışmamızda uydunun tanıtımı ve son durumu, galaksi kümeleri gözlemleri ve analiz sonuçlarımızı özetledik. Teorik modeller ile gözlem sonuçları kıyaslamaları, salınım çizgileri ışığında küme içi galaksiler arası gazın dinamik hareketleri tartışıldı.

Anahtar Kelimeler: *X-Işın uyduları, SUZAKU uydusu, Galaksi kümeleri*

ABSTRACT

Suzaku is JAXA/ISAS and NASA joint mission, launched on 2005. Having large energy range (0.3-600 keV) and high spectral resolution ($\sim 6.5\text{eV}@6\text{keV}$), the mission is very promising to study dynamics of X-Ray plasma. In this work, we introduce *Suzaku* with brief information about the latest status, summarize observations of galaxy clusters and present our analysis results. Theoretical models are compared with the observational results, based on the information derived from emission lines dynamics of ICM plasma is discussed.

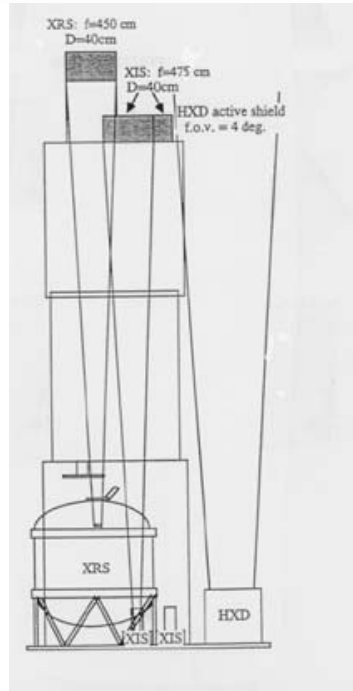
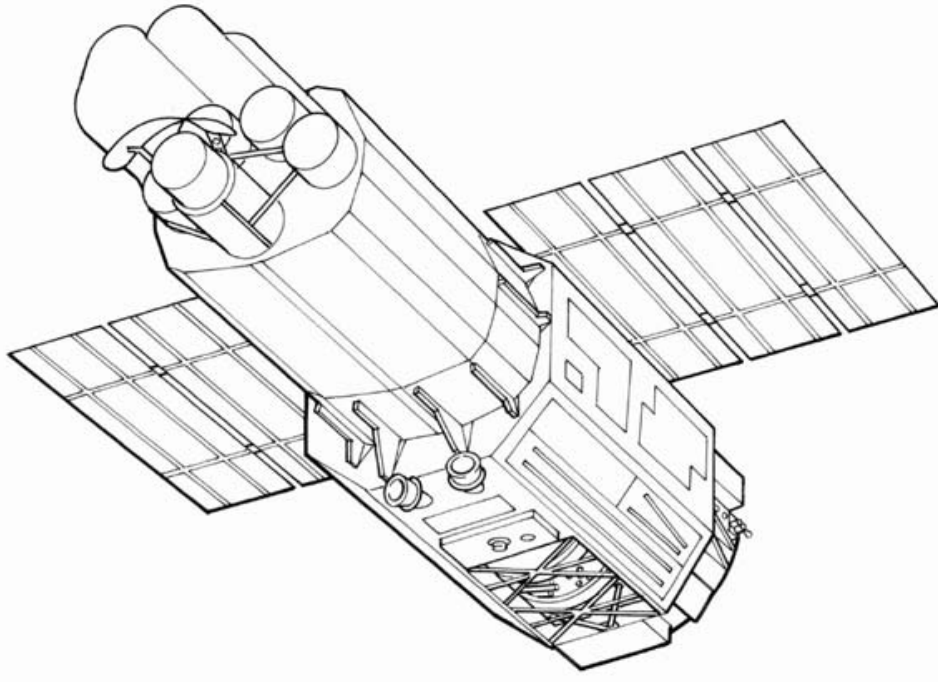
Key Words: *X-Ray missions, Suzaku, Clusters of Galaxies*

1.Giriş

Japonya'nın 5. X-ışın uydusu Astro-E2, 2005 yılı Temmuz ayında yörüngeye fırlatıldı. Kısa süre sonra Asya mitolojisine göre güney gökkürenin muhafızı anka kuşuna ithafen *Suzaku* olarak ismi değiştirildi. 570 km yükseklikteki dairesel yörüngesini yaklaşık 96 dk tamamlamaktadır. Kalibrasyon dönemlerinde başarılı olan X-Işın Tayfölçeri (XRS) mikro-kalorimetresi, katı neon ve sıvı helium karışımı soğutucu tankındaki arıza sebebiyle sıvı helium uzaya sızmış, ve sistemi çalışmaz hale getirmiştir. Uydunun diğer kısımları performansı iyi durumdadır. *Suzaku* uydusu, geniş algı aralığı, düşük gürültü kirliliği ve CCD enerji çözünürlüğü ile astrofizik sorularımıza çözüm sunmada önemli bir araçtır.

2. *Suzaku* Genel Özellikler

Suzaku noktalama, yörünge ve takip özellikleri ile *ASCA*'ya çok benzese de, ağırlığı 4 kat fazladır (1706 kg). 5 adet X-ışın ayna seti ve bunlara eş 5 adet detektörü bulunmaktadır (Şekil 1). Uydu 6.5m odak uzaklığına sahiptir. Uydu yüksekliği 4 set reaksiyon tekeriyle sabitlenirken, 3 adet jiroskop ve 2 yıldız takip kamerasıyla ölçülmektedir. Gökkürenin herhangi bir alanı yılda en azından 2 görüşe sahiptir.



Şekil 1: *Suzaku* şematik çizimi (sol) ve uydunun yandan görünümü (sağ).

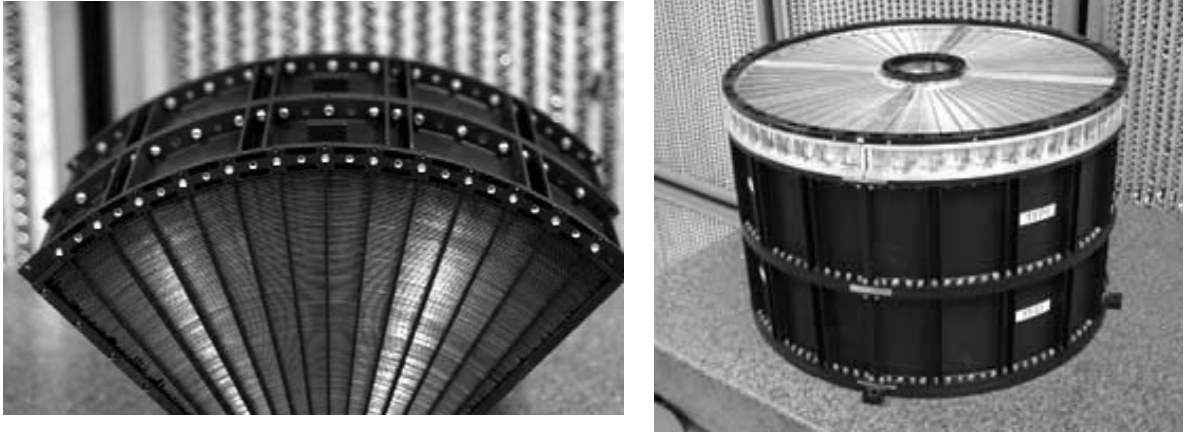
3. Teknik Özellikler

Suzaku uydusunun 3 adet eş-yönlü enstrümanı bulunmaktadır. İlk alet XIS'in dört adet görüntüleme CCDsi ortalama enerji çözünürlüğüne sahiptir (Koyama ve diğ. 2007). Herbir XIS, x-ışın teleskoplarının (XRT) odağına yerleştirilmiştir (Serlemitsos ve diğ. 2007). 10-600 keV algı aralığı (Kokubun ve diğ. 2007) ile

uydunun görüş aralığını büyük ölçüde artıran, ikinci alet HXD (Takahashi ve diğ. 2007) görüntüleme özelliğine sahip değildir. Son alet XRS sıvı-helium sızıntısı sonrası devre dışı kaldığı için burada anlatılmayacaktır.

3.1 X-Işın Teleskobu (XRT)

NASA/GSFC, Nagoya Üniversitesi, Tokyo Metropolitan Üniversitesi, ISAS/JAXA ortak yapımı olan X-Işın Teleskobu (XRT), 5 set olarak üretildi. Bunlar sık olarak yuvalanmış 175 adet ince-foil konik aynalardan oluşmaktadır. Şekil 2’de aynaların geometrik yapısı görülmektedir. 20 kg ağırlığındaki aynaların enerji görüş aralığı 0.2-12 keVdir. XRT’lerin 4 seti, XIS detektörlerine odaklanmıştır. XRT açısal çözünürlüğü $1'.8-2'.3$ arası değerdedir. Etkin alan 1.5keV’de 440cm^2 , 8keV’de 250cm^2 olarak kaydedilmiştir.



Şekil 2: 175 adet yuvalanmış çok katlı XRT aynaları. Sol panelde teleskobun 1/4’lik quadran kısmı, sağ panelde 20kg ağırlığında XRT görünüyör.

3.2 X-Işın Görüntüleme Takyölçer (XIS)

Suzaku’nun şekil 3’de gösterildiği gibi 4 X-ışın Görüntüleme Takyölçeri (XIS) bulunmaktadır. Bunlarda, foton-sayım modunda işleyen ASCA SIS, *Chandra* ACIS, ve *XMM-Newton* EPIC çiplerine özdeş silikon CCDler yer alır. X-ışın CCDleri gelen x-ışın fotonunu yüklü iyon bulutuna dönüştürme prensibi ile çalışır. Yük miktarı gelen x-ışın foton enerjisiyle orantılıdır. Yüklü iyonlar zaman-değişkenli elektrik potansiyel uygulamasıyla çıkış transistörü kapısına doğru kayarlar. Tüm bu işlemler ‘pulse hight’ olarak adlandırılan,

voltaj seviyesi oluşumu ile neticelenir. Algı aralığını olabildiğince yukarıya çekerek geniş bir hassasiyet aralığı oluşturmaktadır.

X-ışın teleskoplarının odak düzleminde yer alan 4 *Suzaku* XIS detektörü XIS0, 1, 2 ve 3 olarak adlandırılır. XRT-I0, XRT-I1, XRT-I2, ve XRT-I3 olarak da bilinirler . Herbir CCD, 1024*1024 piksele sahiptir ve 18`*18` görüş alanına sahiptirler. Piksel $24\mu\text{m}^2$, ve herbir CCD 25mm*25mm. XIS1 detektöründe *back-side illumine*, diğer detektörlerdeyse *front-side illumine* chip kullanılmıştır. XIS birçok kurumda üretilen (MIT: CCD sensor, analog elektronik, thermo-elektrik soğutucu, ısı kontrol ünitesi; Kyoto, Osaka, Rikkyo, Ehime Univ. ve ISAS: dijital elektronik ve sersör yuvaları) parçaların birleştirilmesi ile oluşturuldu.

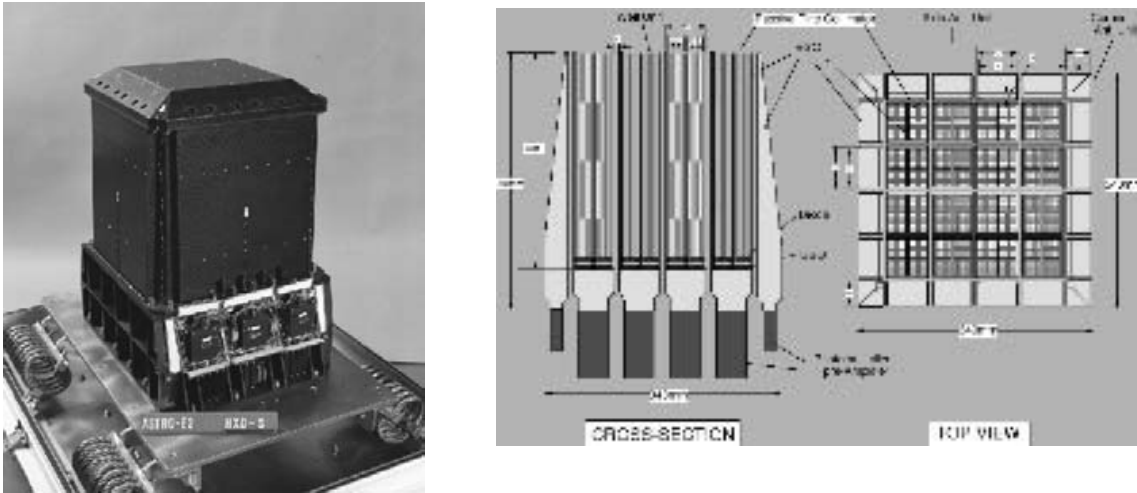


Şekil 3: Suzaku'da yer alan 4 XIS detektörü.

3.3 Sert X-Işın Detektörü (HXD)

10-600 keV enerji aralığına duyarlı HXD görüntüleme özelliği olmayan bir detektördür. Şekil 4 genel görünüm ve işleyiş mekanizmasını göstermektedir. Üretiminde temel amaç *Suzaku*'nun duyarlılık aralığını olabildiğince yukarıya çekerek geniş bir algı aralığı oluşturmaktır.

HXD-sensör böceklerdeki gibi çoklu göz sistemi ile çalışır. Sıralı (4*4) 16 ana algaç bulunur. Aktif kalkanlama 20 kiristal sintilatör ile sağlanır. Sintilatör sinyalleri photomultiplier tüpler tarafından okunur. Şekil 4 sağ panel şematik çizimi göstermektedir. HXD etkin alanı 20keV'de 160cm² ve 100keV'de 100cm² olarak kaydedilmiştir. PIN diyotları için enerji çözünürlüğü 4.0 keV (FWHM), sintilatör için ise $7.6/(E)^{1/2}$ % (FWHM). Burada E enerjidir ve MeV birimindedir. HXD 61µs zaman çözünürlüğüne sahiptir.



Şekil 4: Suzaku HXD (sol-panel). HXD şematik çizimi (sağ-panel).

4. Galaksi Kümeleri

Galaksi kümeleri evrendeki en büyük yapılardır. Evreni en iyi temsil eden birimler oldukları için çalışmalarını evrenin oluşumu ve kimyasal yapısı hakkında önemli bulgular sunar. Kümenin kütlesi galaksiler (%10), sıcak yaygın X-ışın plazma (%20) ve kara madde (%70)den ibarettir (Şekil 5). Şuanki bilgilerimizle, kümeyi bir arada tutan çekimsel güç kara-madde olduğunu biliyoruz. Ancak kara-maddenin doğası ve evrendeki dağılımı halen esrarını korumaktadır. X-ışınım gazı (ICM) küme içini, galaksiler arasını doldurur ve kara-madde dağılımı hakkında ipuçları sunar. *Suzaku*'nun yüksek enerji

çözünürlüğü x-ışın plazmasının detaylı çalışılmasına imkan sunar. *Suzaku* bu gazın hareketlerini ölçecek donanıma sahiptir. Plazma kümenin merkezine doğru, ışıını yapıarak, soğuyarak düşer. *Suzaku* öncesi uydular beklenen ışıınmaları tayfsal olarak yakalayacak kapasitede değillerdi. *Suzaku* bu çizgiler, şayet gerçekten orada iseler, yakalayabilecektir.



Şekil 5: Kurşun kümesi (A576). Galaksiler sarı, X-ışın kırmızı, kararmadde mavi.

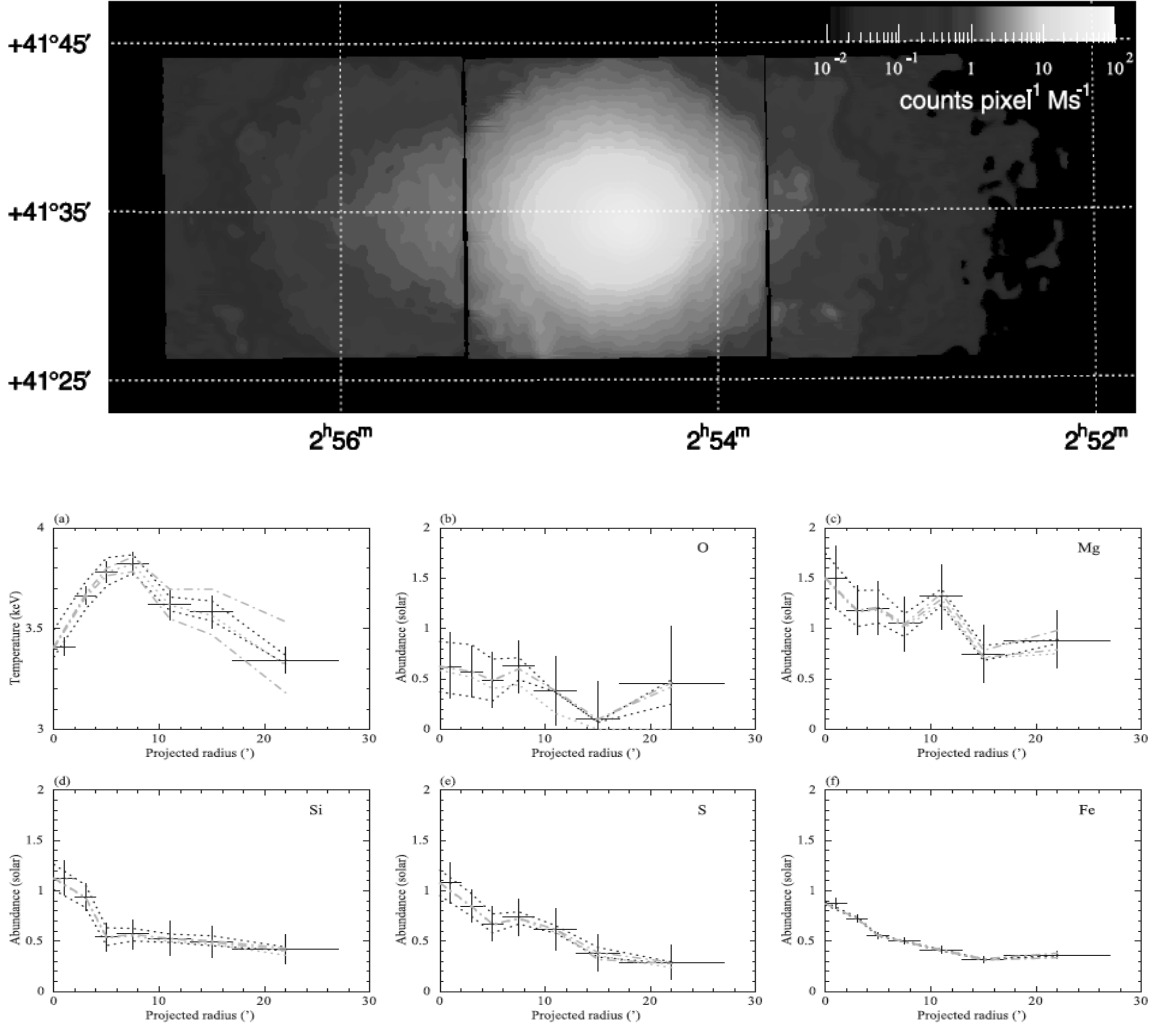
5. Galaksi Kümelerinde Metal Dağılımları

Metallerin kimyasal bolluk çalışması, galaksi kümelerinin oluşum evrim süreci hakkında önemli ipuçları sunar. Galaksi kümeleri çok büyük (2~3 Mpc) yapılar oldukları için, oluşumlarından beri üye galaksilerden bırakılan bütün metalleri barındırmaları beklenilir. Her bir metalin bolluk miktarı supernova patlamaları (SNe Ia ve SNe II) ile üretilen toplam kadar olmalıdır.

6. AWM 7 kümesi

AWM 7 galaksi kümesi SUZAKU ile 3 kere gözlemlendi. Sıcaklık ve metal radial profilleri detaylı olarak çalışıldı. Sıcaklık 3.8 keV'den 3.4 keV'ye küçük bir düşme göstermektedir. Si, Mg, O, S ve

Fe dağılımlarından tip-II supernova (O ve Mg) ile tip-Ia supernova (Si ve Fe) bariz farklılıklar gösterdiği anlaşıldı (Sato ve diğ. 2008). Şekil ve tablolar bu dağılımların detaylarını göstermektedir.

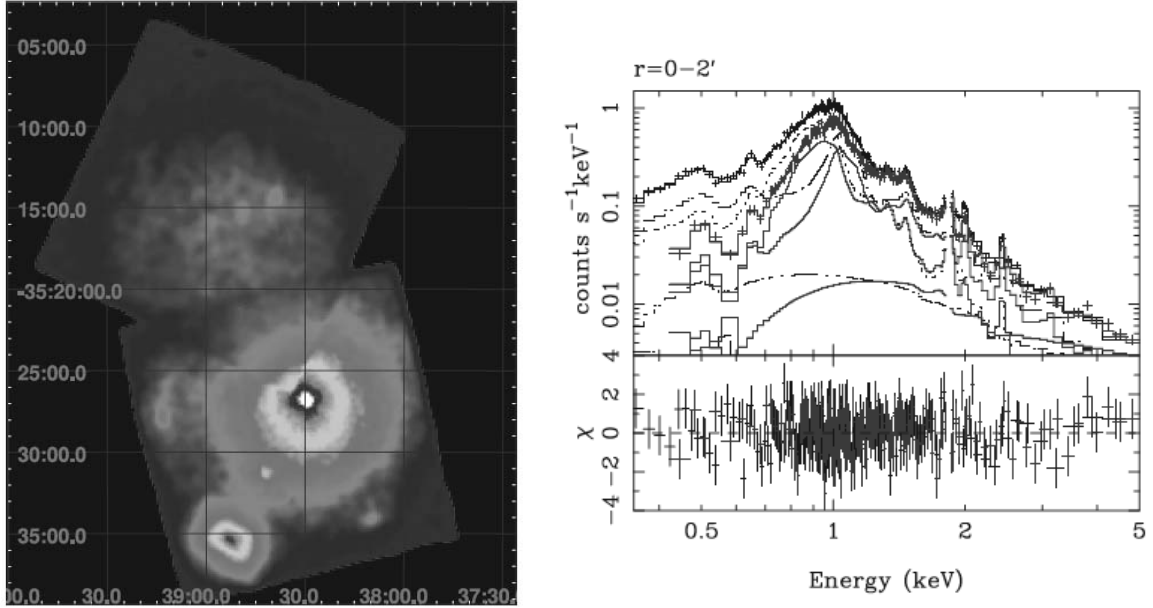


Region	$Norm^\dagger$	kT (keV)	O (solar)	Ne (solar)	Mg (solar)	Si (solar)	S (solar)	Fe (solar)	Ni (solar)	χ^2/dof
0'-2'	1007 ± 36	$3.41^{+0.04}_{-0.04}$	$0.62^{+0.34}_{-0.31}$	$2.11^{+0.40}_{-0.37}$	$1.50^{+0.32}_{-0.31}$	$1.13^{+0.18}_{-0.17}$	$1.08^{+0.20}_{-0.20}$	$0.87^{+0.05}_{-0.04}$	$1.71^{+0.61}_{-0.58}$	1872/1493
2'-4'	595 ± 16	$3.66^{+0.04}_{-0.04}$	$0.57^{+0.26}_{-0.25}$	$1.65^{+0.28}_{-0.27}$	$1.18^{+0.24}_{-0.24}$	$0.94^{+0.13}_{-0.13}$	$0.85^{+0.16}_{-0.15}$	$0.73^{+0.03}_{-0.03}$	$1.47^{+0.47}_{-0.46}$	1899/1493
4'-6'	342 ± 10	$3.78^{+0.05}_{-0.05}$	$0.49^{+0.28}_{-0.26}$	$1.38^{+0.29}_{-0.28}$	$1.20^{+0.27}_{-0.27}$	$0.54^{+0.14}_{-0.14}$	$0.67^{+0.17}_{-0.17}$	$0.56^{+0.03}_{-0.03}$	$0.56^{+0.53}_{-0.52}$	1805/1493
6'-9'	182 ± 5	$3.82^{+0.06}_{-0.06}$	$0.63^{+0.25}_{-0.27}$	$1.33^{+0.28}_{-0.29}$	$1.05^{+0.26}_{-0.27}$	$0.57^{+0.14}_{-0.15}$	$0.74^{+0.18}_{-0.18}$	$0.50^{+0.03}_{-0.03}$	$2.11^{+0.57}_{-0.56}$	1816/1493
9'-13'	113 ± 4	$3.62^{+0.08}_{-0.08}$	$0.39^{+0.33}_{-0.34}$	$1.08^{+0.33}_{-0.32}$	$1.32^{+0.32}_{-0.33}$	$0.53^{+0.17}_{-0.17}$	$0.62^{+0.21}_{-0.21}$	$0.41^{+0.04}_{-0.04}$	$2.33^{+0.70}_{-0.68}$	2361/2014
13'-17'	72 ± 2	$3.58^{+0.08}_{-0.08}$	$0.10^{+0.37}_{-0.10}$	$0.86^{+0.30}_{-0.31}$	$0.75^{+0.29}_{-0.28}$	$0.50^{+0.16}_{-0.15}$	$0.38^{+0.19}_{-0.18}$	$0.32^{+0.03}_{-0.03}$	$1.22^{+0.64}_{-0.61}$	2370/2014
17'-27' [‡]	29 ± 1	$3.34^{+0.07}_{-0.07}$	$0.46^{+0.57}_{-0.46}$	$0.91^{+0.32}_{-0.31}$	$0.88^{+0.29}_{-0.27}$	$0.42^{+0.15}_{-0.14}$	$0.29^{+0.17}_{-0.17}$	$0.36^{+0.04}_{-0.04}$	$1.88^{+0.64}_{-0.60}$	— [‡]

Şekil 6: AWM 7 Suzaku görüntüsü, sıcaklık ve metal dağılımları

7. Fornax Kümesi

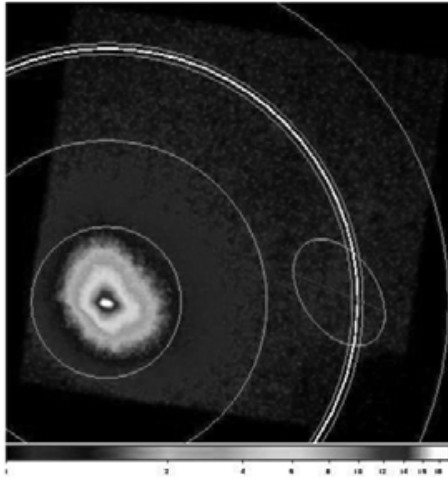
O, Mg, Si, S ve Fe dağılımları Fornax Kümesinde de detaylı bir şekilde çalışıldı. 2 *Suzaku* gözlemiyle taranan küme alanı ve merkezi bölgenin detaylı x-ışın tayf modellemesi Şekil-7'de görülmektedir. Matsushita ve diğ. (2007) Fornax kümesi üye galaksilerden olan metal püskürmelerini detaylı şekilde çalışmıştır.



Şekil 7: Fornax mozaik gözlemi ve XIS merkezi bölge tayfı.

8. Abell 2204

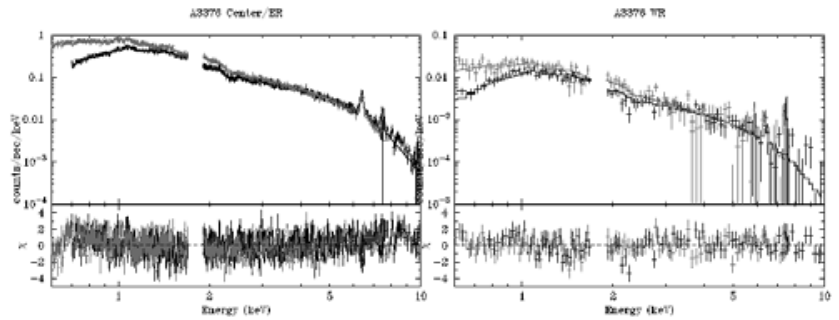
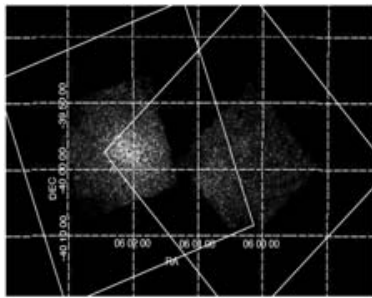
A2204 kısmen uzak kümelerdendir ($z=0.152$). Diğer uydular ile de gözlemlense de, *Suzaku* düşük arka alan ışınması sayesinde x-ışın plazması radyal özellikler detaylı şekilde çalışılmıştır (Reiprich ve diğ. 2008). Şekil-8 A2204 *Suzaku* mozaik görüntüsü ve yeşil çizgilerle gösterilen bölgelerden alınan x-ışın tayf radial analiz tablosu görülmektedir. Tablo *Suzaku* (siyah nokta), *Chandra* (üçgen) ve *XMM-Newton* (elmas) verilerini göstermektedir.



Şekil 8: A2204 *Suzaku* gözlemi ve radial profil sıcaklık dağılımı.

9. Abell 3376

A3376 yakın uzay ($z=0.046$) galaksi kümelerindedir. ikili alt bir küme yakınlaşma halindedir. ICM sıcaklığı Fukuzawa ve diğ. (2004) tarafından ~ 4 keV olarak tanımlanmıştır. A3376 termal ışımanın yanında, non-termal özelliklerin birlikte çalışmak amacıyla gözlenmiştir. Kawano N. ve diğ. (2008) kümenin *Suzaku* verilerini detaylı olarak analiz etmişlerdir. *Suzaku* XIS detektörü 0.5-8 keV bandı mozaik görüntüsü ve heriki (sol ve sağ) alt grubun merkezi bölgelerinin tayf modellemeleri şekil-9'da gösterilmiştir. Kümenin geniş alan radyo ışıması da yapması, dinamik sürecini tamamlamış olmadığını düşündürmektedir.

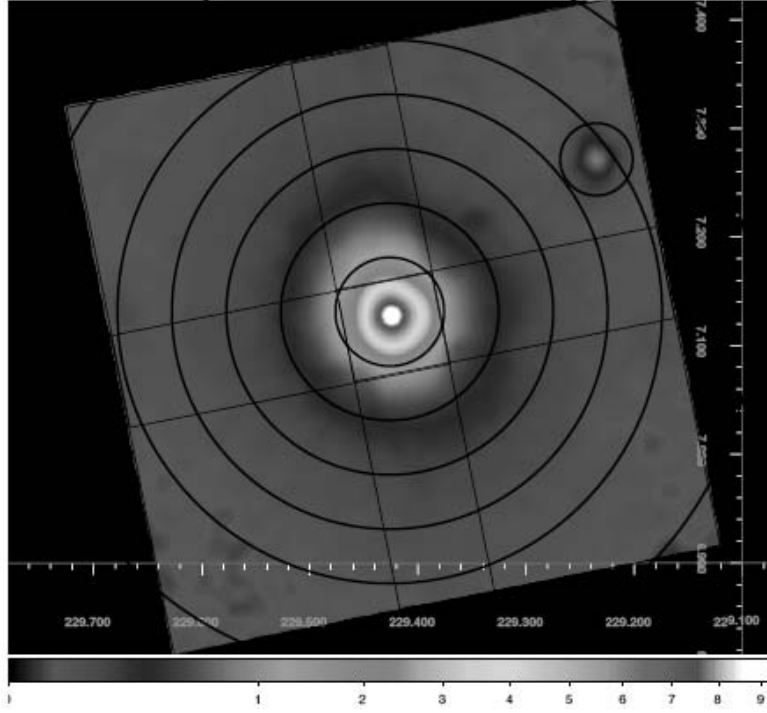


Şekil-9: A2204 *Suzaku* gözlemi ve radial profil sıcaklık dağılımı.

10. Abell 2052

Suzaku performans kontrolü sırasında gözlemlenen kaynaklardan birisi A2052'dir ($z=0.0356$). Düşük x-ışın emisyon fazlalığına bir açıklama bulmak amacı ile ağustos 2005'de 4 kere

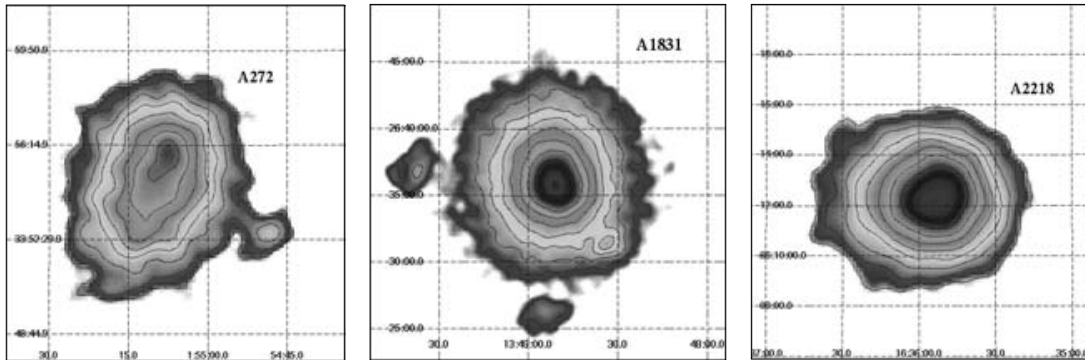
gözlemlendi. Şekil-10 Mozaik *Suzaku* 1-3 keV görüntüsünü göstermektedir. Kirlilik veren kaynak sağ-üst halka ile işaretlenmiştir. Tamura ve diğ. (2008) kaynağı detaylı olarak çalışmışlardır.

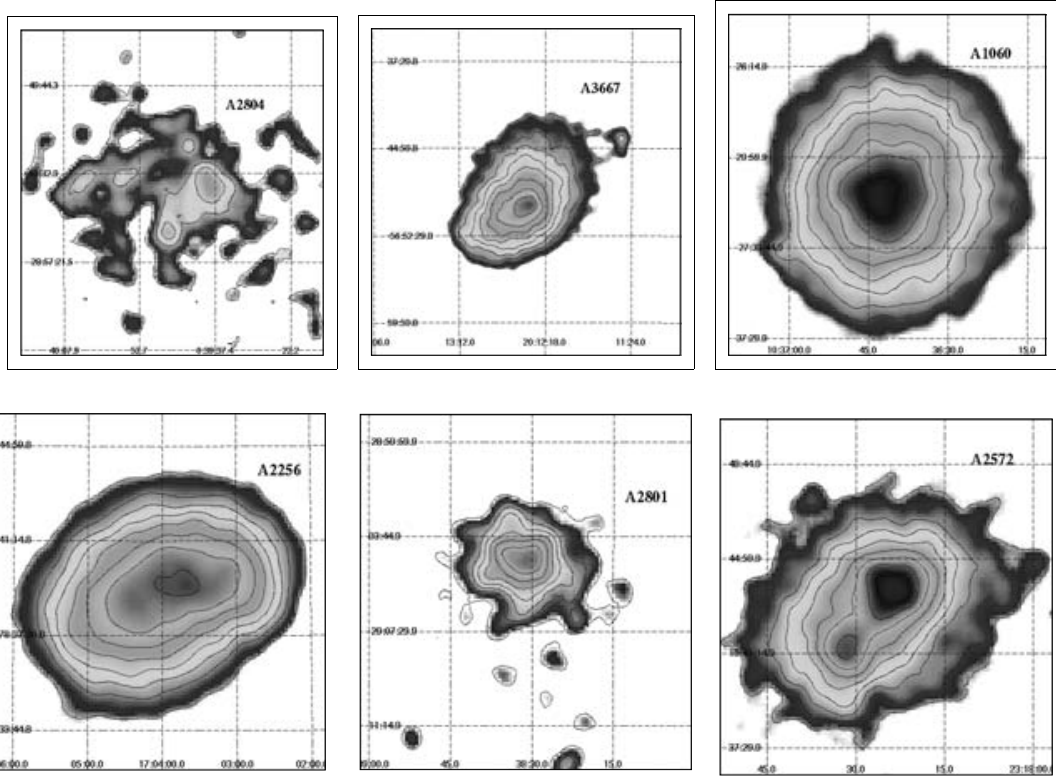


Şekil-10: A2052 *Suzaku* 1-3 keV XIS görüntüsü ve tayfi alınan bölgeler.

11. BOUN-Galaksi Kümeleri *Suzaku* Analizleri

BOUN, Astro-lab grubu olarak biz de, öncelikle *Suzaku* arşiv verilerinden faydalanarak her morfolojik türden küme örnekleri ile analizlerimize devam etmekteyiz. Çalışmakta olduğumuz bazı kaynaklar şekil-11'de gösterilmiştir. Bunların dışında Perseus kümesi metal dağılımları projemiz devam etmektedir.





Şekil-11: BOUN, Astro-labda çalışılan kümelerin *Suzaku* görüntüsü.

Kaynaklar

- Fukazawa Y. ve diğ. 2004, PASJ, 56, 965
Kawano N. ve diğ. 2008, arXiv:0805.3582
Kokubun, M., et al. 2007, PASJ, 59, S53
Koyama, K., et al. 2007, PASJ, 59, S23
Matsushita K. ve diğ. 2007, PASJ, 59, 327-338
Reiprich T. H. ve diğ. 2008, A&A, arXiv:0806.2920v1
Sato K., ve diğ. 2008, PASJ, 60, 333-342
Serlemitsos, P., et al. 2007, PASJ, 59, S9
Takahashi, T., et al. 2007, PASJ, 59, S35
Tamura T. ve diğ. 2008, arXiv:0804.0077v1

Bu çalışma, **106T310** nolu TÜBİTAK projesi tarafından desteklenmiştir.