

# 19. ULUSAL ASTRONOMİ KONGRESİ

2-6 ŞUBAT 2015, ANKARA

## **BAZI ZENGİN GALAKSİ KÜMELERİNİN X-IŞIN GÖZLEMLERİNDEN YARARLANARAK KÜME İÇİ GAZIN SICAKLIK VE BOLLUK PROFİLLERİNİN İNCELENMESİ**

*Elifnur ÖZEL*

Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri  
Enstitüsü, Astronomi ve Uzay  
Bilimleri A.B.D.

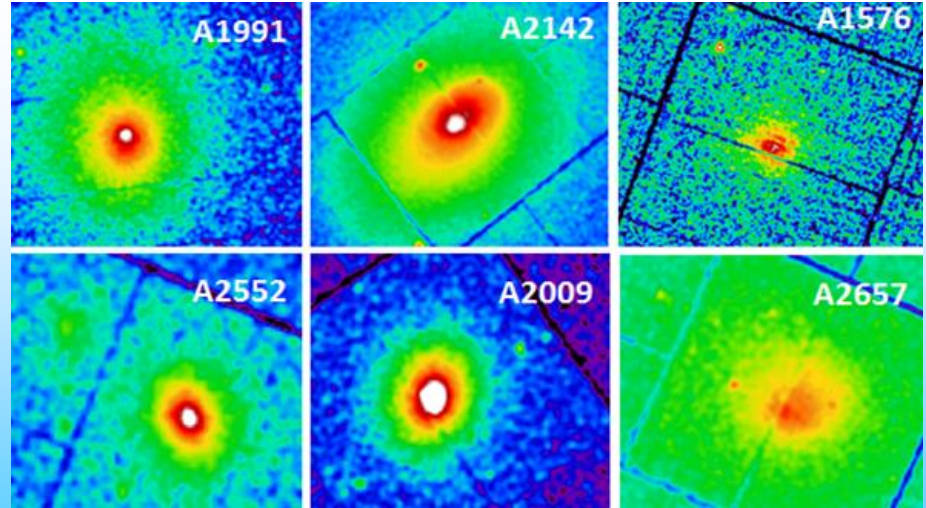
# Neden galaksi kümeleri?

- ✓ Büyük ölçekli kozmik yapının anahtar parçası olduklarından, evrenin evrimiyle sıkı bir ilişki içerisinde olduklarıdır.
- ✓ Evrenin yapısını anlamada ve kozmolojik modelleri test etmede kullanılabilirler.
- ✓ X-ışın gözlemleriyle kümelerin dinamik ve termal yapısı, kimyasal kompozisyonu, küme popülasyonuna ilişkin istatistikler ve oluşum geçmişi hakkında fikir edinilebilmektedir.

# Bu çalıřmadaki hedeflerimiz..

Abell kümelerinden seçilen 6 adet galaksi kümesinin (A1991, A2142, A1576, A2552, A2009, A2657) XMM-Newton ve Chandra uydu gözlemlerinden faydalanılarak küme içi gazın (*Intra – Cluster Medium*) dinamik özellikleri incelenmiştir:

- ✓ Küme içi gazın radyal sıcaklık gradyenti,
- ✓ Kimyasal bileřim zellikleri,
- ✓ Kümenin evrimi (denge durumu / relaxation)

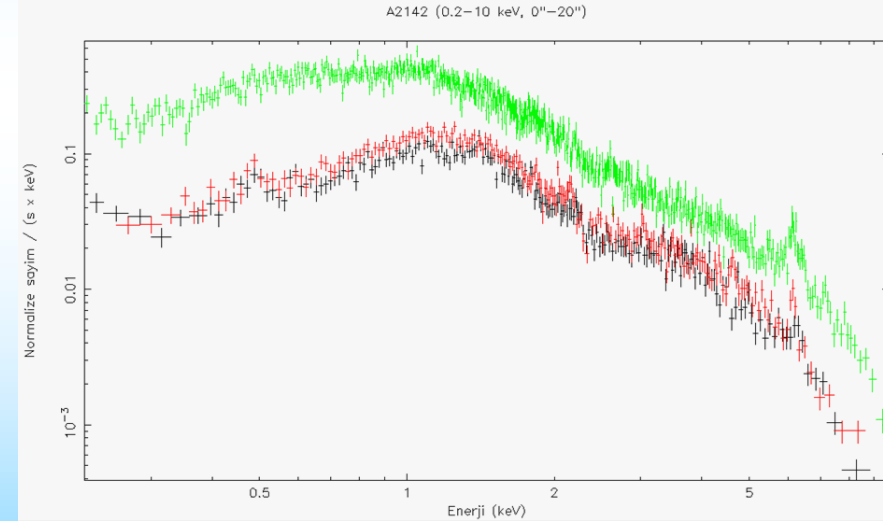


# Seçtiğimiz Abell kümeleri..

<u>Küme adı</u>	<u>Optik Koordinatlar</u> <u>(ESO DSS I/II)</u>	<u>X-Işın koordinatları</u> <u>(Chandra)</u> <u>(Analizimizde)</u>	<u>nH</u> <u>(#/cm<sup>2</sup>)</u> <u>(Dickey ve Lockman,</u> <u>1990)</u>	<u>z</u> <u>(NED)</u>	<u>Zenginlik</u> <u>sınıfı</u> <u>(NED)</u>
A1991	$\alpha_{\text{opt}} = 14^{\text{sa}} 54^{\text{dk}} 31.5^{\text{s}}$ $\delta_{\text{opt}} = +18^{\circ} 38' 32''$ (Pandge vd. 2013)	$\alpha_{\text{X}} = 14^{\text{sa}} 54^{\text{dk}} 31.629^{\text{s}}$ $\delta_{\text{X}} = +18^{\circ} 38' 40.76''$	$2.48 \times 10^{20}$	0.0587 (Pandge vd. 2013)	1
A2142	$\alpha_{\text{opt}} = 15^{\text{sa}} 58^{\text{dk}} 19.99^{\text{s}}$ $\delta_{\text{opt}} = +27^{\circ} 14' 00.3''$	$\alpha_{\text{X}} = 15^{\text{sa}} 58^{\text{dk}} 20.066^{\text{s}}$ $\delta_{\text{X}} = +27^{\circ} 14' 01.70''$	$4.25 \times 10^{20}$	0.0909	2
A1576	$\alpha_{\text{opt}} = 12^{\text{sa}} 36^{\text{dk}} 59.50^{\text{s}}$ $\delta_{\text{opt}} = +63^{\circ} 11' 17.9''$	$\alpha_{\text{X}} = 12^{\text{sa}} 36^{\text{dk}} 59.087^{\text{s}}$ $\delta_{\text{X}} = +63^{\circ} 11' 11.65''$	$1.70 \times 10^{20}$	0.279	3
A2009	$\alpha_{\text{opt}} = 15^{\text{sa}} 00^{\text{dk}} 15.19^{\text{s}}$ $\delta_{\text{opt}} = +21^{\circ} 22' 09.0''$	$\alpha_{\text{X}} = 15^{\text{sa}} 00^{\text{dk}} 15.579^{\text{s}}$ $\delta_{\text{X}} = +21^{\circ} 22' 11.02''$	$3.22 \times 10^{20}$	0.1532	1
A2552	$\alpha_{\text{opt}} = 23^{\text{sa}} 11^{\text{dk}} 33.10^{\text{s}}$ $\delta_{\text{opt}} = +03^{\circ} 38' 36.9''$	$\alpha_{\text{X}} = 23^{\text{sa}} 11^{\text{dk}} 33.301^{\text{s}}$ $\delta_{\text{X}} = +3^{\circ} 38' 03.01''$	$5.13 \times 10^{20}$	0.133	2
A2657	$\alpha_{\text{opt}} = 23^{\text{sa}} 44^{\text{dk}} 50.99^{\text{s}}$ $\delta_{\text{opt}} = +09^{\circ} 08' 39.9''$	$\alpha_{\text{X}} = 23^{\text{sa}} 44^{\text{dk}} 57.460^{\text{s}}$ $\delta_{\text{X}} = +9^{\circ} 11' 19.60''$	$5.86 \times 10^{20}$	0.0402	1

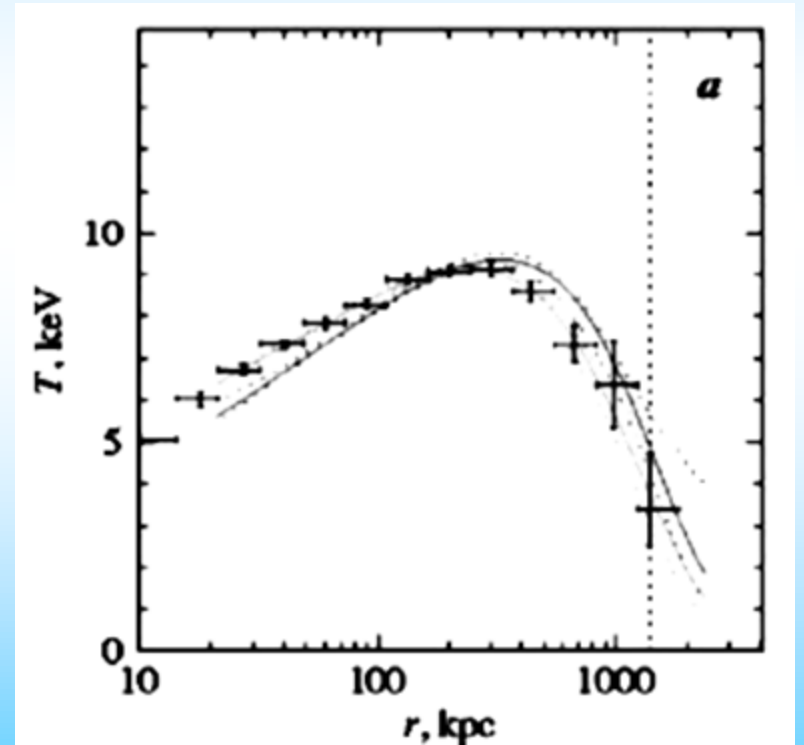
# ICM'nin genel ve tayfsal özellikleri..

- ✓ **Yüksek sıcaklık:**  
~ $10^7$ - $10^8$  K ve ışınımı X-ışın bölgesinde
- ✓ **Temel ışınım mekanizması:**  
ısısal bremsstrahlung + süreklilik  
üstünde H ve He benzeri iyonlara ait salma çizgileri
- ✓ **İçeriği:**  
yüksek dereceden iyonlaşmış elementler (baskın olarak O, Mg, Si, S, Fe, Ni) + bol miktarda serbest elektron + manyetik alanlar + rölativistik parçacıklar
- ✓ Yüksek ayırma güçlü tayflarda 6.7 keV'da yer alan Fe  $K_{\alpha}$  kompleksi en belirgin yapı



# Sıcaklık dağılımı ve soğuma akımı..

- ✓ Küme içi gaz genellikle eşsıcaklıklı değil
- ✓ Çoğu durumda dışarıya doğru azalan bir sıcaklık gradyenti yok
- ✓ Işınım yaparak gittikçe soğuyan bir merkez bölgesi mevcut
- ✓ Bu durumda sıcaklık gradyenti “soğuma akımı (cooling flow)” adı verilen biçimi alır



A209 kümesinin radyal sıcaklık profilinde izlenen soğuma akımı (Vikhlinin vd. 2006)

# ICM'nin kökeni ve bileşimi..

- ✓ SN patlamaları ile yıldızlardan saçılan ve galaksilerden ayrılan madde ile zenginleşir.
- ✓ Metal bolluğu, galaksi kümelerinin kimyasal evrimiyle ilgili önemli bilgiler vermektedir.
- ✓ Bu metal bollukları, X-ışın tayflarından ölçülebilir
- ✓ Bolluklar ile ortamda yaygın meydana gelmiş olan SN türü belirlenebilir.

- ✓ *Dupke ve White (2000)*'a göre:

$$O \approx Mg \approx 0.035 Fe$$

$$Ne \approx 0.006 Fe$$

$$Si \approx S \approx Ar \approx Ca \approx 0.5 Fe$$

$$Ni \approx 4.8 Fe$$

(SN I türü için)

$$O \approx Mg \approx Si \approx 3.7 Fe$$

$$Ne \approx S \approx 2.5 Fe$$

$$Ar \approx Ca \approx Ni \approx 1.7 Fe$$

(SN II türü için)

# Kullandığımız veriler..

- ✓ HEASARC Veri Arşivi'nden en uzun süreli gözlem seçimi

Kaynak adı	XMM-Newton			Chandra		
	ObsID	Gözlem süresi [s]	Kullanıma açılış tarihi	ObsID	Gözlem süresi [s]	Kullanıma açılış tarihi
A1991	0145020101	42037	13.03.2004	3193	38810	18.12.2003
A2142	0674560201	59440	01.08.2012	5005	45150	14.04.2006
A1576	0402250101	21332	27.11.2007	15127	29870	02.01.2014
A2552	0693010201	37634	25.06.2013	11730	22960	07.08.2010
A2009	0693011001	25918	31.01.2014	10438	20150	08.12.2008
A2657	0300210601	32312	13.07.2006	4941	16360	19.05.2005



## Kullandığımız kalibrasyon dosyaları ve yazılımlar..

- ✓ En güncel kalibrasyon dosyaları kullanılmıştır
- ✓ XMM-Newton verilerinin analizinde SAS
- ✓ Chandra verilerinin analizinde CIAO
- ✓ Chandra ve XMM-Newton verisi birlikte dikkate alınarak analizler yürütülmüştür.

# Verilerimizin analize hazırlanması..

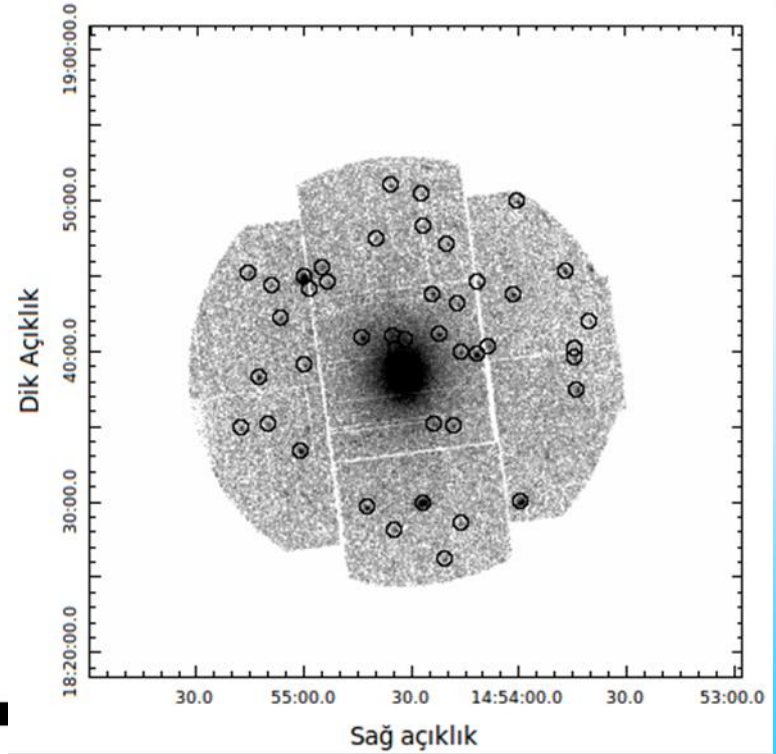
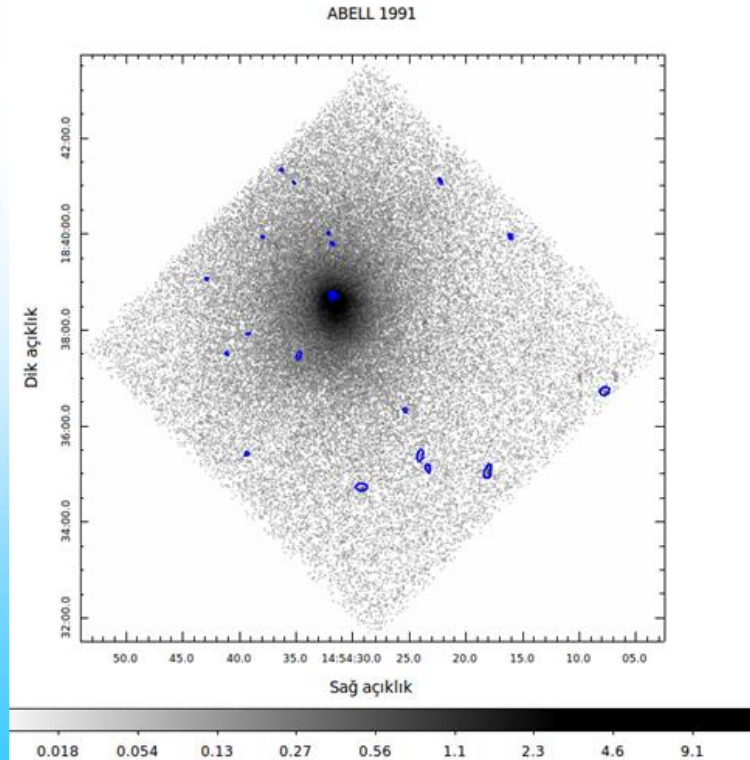
## a) Soft Proton Flare kirlenmesinin temizlenmesi:

Küme adı	MOS1		MOS2		PN	
	$x_0 \pm \sigma$	$x_{max}$	$x_0 \pm \sigma$	$x_{max}$	$x_0 \pm \sigma$	$x_{max}$
A1991	$7.08 \pm 3.81$	10.89	$6.99 \pm 3.79$	10.78	$32.03 \pm 20.08$	52.11
A2142	$11.94 \pm 2.28$	14.23	$12.24 \pm 2.27$	14.51	$48.24 \pm 5.60$	53.84
A1576	$25.08 \pm 25.17$	50.25	$25.59 \pm 24.46$	50.06	$32.37 \pm 18.06$	50.44
A2552	$6.79 \pm 13.80$	20.59	$7.10 \pm 13.59$	20.70	-	-
A2009	$6.52 \pm 2.41$	8.93	$7.10 \pm 2.06$	9.16	$63.55 \pm 17.48$	81.03
A2657	$20.07 \pm 15.25$	35.33	$21.41 \pm 16.21$	37.62	$35.52 \pm 17.04$	52.57

Küme adı	Kullanılan aygıt	$x_0 \pm \sigma$	$x_{max}$
A1991	ACIS-S	$3.05 \pm 1.34$	4.39
A2142	ACIS-I	$9.16 \pm 2.74$	11.90
A1576	ACIS-I	$1.93 \pm 1.13$	3.06
A2552	ACIS-I	$2.74 \pm 1.22$	3.96
A2009	ACIS-I	$2.49 \pm 1.65$	4.14
A2657	ACIS-I	$3.72 \pm 1.83$	5.55

# Verilerimizin analize hazırlanması.. (devam)

## b) Kirletici nokta kaynakların tespit edilmesi:



# Verilerimizin analize hazırlanması.. (devam)

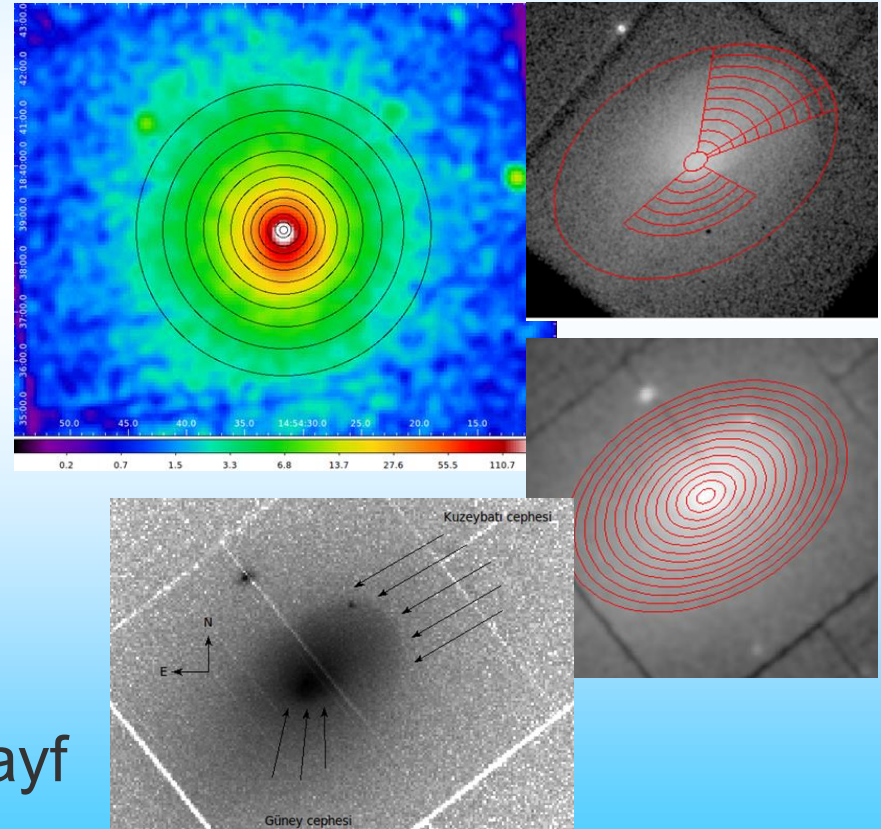
## c) Gözlemsel veriye ait tayflarının elde edileceği filtrelenmiş olay listelerinin oluşturulması:

- ✓ *Genel filtreleme kriteri:* GTI filtreleri + Nokta kaynaklar + 0.2-10 keV enerji aralığı
- ✓ Tüm bu işlemler sonucunda, tayf çıkarmaya hazır, filtrelenmiş nihai olay listeleri elde edilmektedir

# Tayf bölgelerinin seçimi..

Tayf kalitesini belirleyen etmenler:

- ✓ Kümenin zenginlik sınıfı
- ✓ Uzaklığı
- ✓ Dedektör duyarlılığı
- ✓ Poz süresi
- ✓ Sonuçların güvenilirliği tayf kalitesine bağlıdır.



# Tayflara model uygulanması..

Xspec v12.8 tayfsal analiz ve modelleme paketi içerisindeki ısısal sıcaklıklı plazma modelleri:

- ✓ *apec (Astrofiziksel Plazma Salma Kodu) (Smith vd. 2001)*
- ✓ *mekal (Mewe- Kaastra-Liedahl ısısal plazma modeli) (Kaastra, 1992)*

# Tayflara model uygulanması.. (devam)

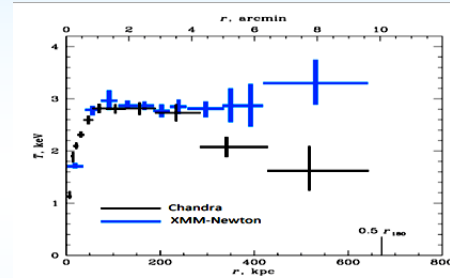
<code>apec / vapec</code>	<code>mekal / vmekal</code>
✓ Plazma enerjisi ( $kT$ ) [keV]	✓ Plazma enerjisi ( $kT$ ) [keV]
✓ Güneş bolluğu cinsinden ağır element bolluğu [ $M / M_{\odot}$ ]	✓ Güneş bolluğu cinsinden ağır element bolluğu [ $M / M_{\odot}$ ]
✓ Kırmızıya kayma ( $z$ )	✓ Kırmızıya kayma ( $z$ )
	✓ H kolon yoğunluğu ( $n_H$ ) [ $\# / \text{cm}^{-3}$ ]

## `phabs`

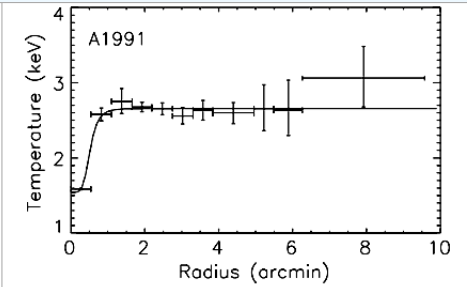
- ✓ H kolon yoğunluğu ( $n_H$ ) [ $\# / \text{cm}^{-2}$ ]

# Sıcaklık profilleri..

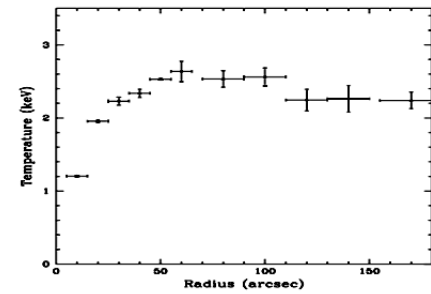
- ✓ A1991 belirgin bir soğuma eğrisi gözlenmektedir.
- ✓ Kümenin dengeye ulaşmış olduğu doğrulanmıştır.
- ✓ Eğrilerin  $\sim 4'$  civarında birbirinden ayrılmaya başlamaları, *Vikhlinin vd. (2005)* tarafından da tespit edilmiş ve bunun iki uydunun yumuşak arkaplan modellemeleri arasındaki farktan ileri geldiği belirtilmiştir.



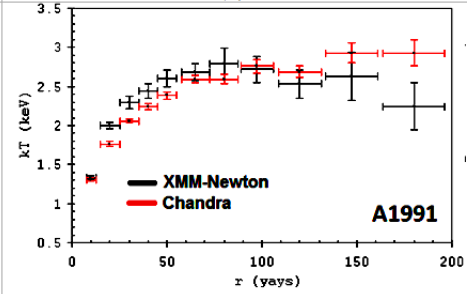
(a)



(b)



(c)



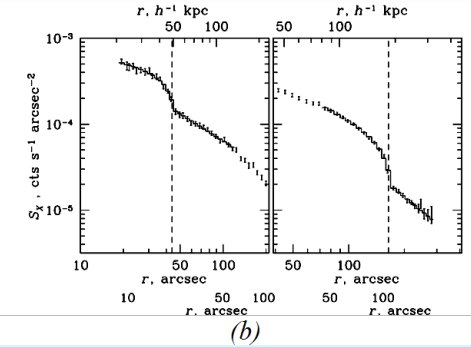
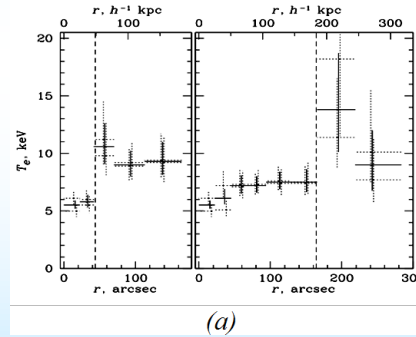
(d)

A1991'in *Vikhlinin vd. (2005)* (a), *Pratt ve Arnaud (2005)* (b), *Pandge vd. (2013)* (c) tarafından verilen ve bu çalışmada elde edilen soğuma eğrileri (d)

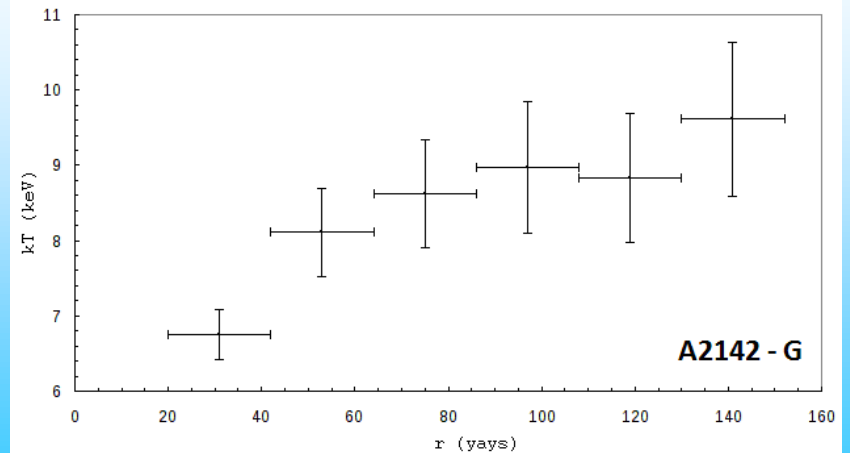
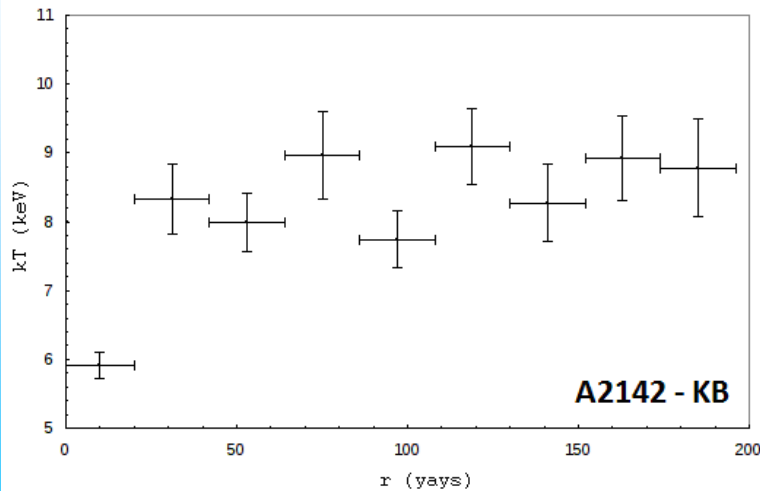
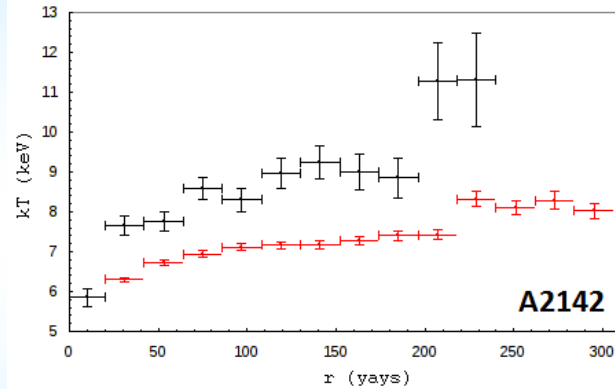


# Sıcaklık profilleri.. (devam)

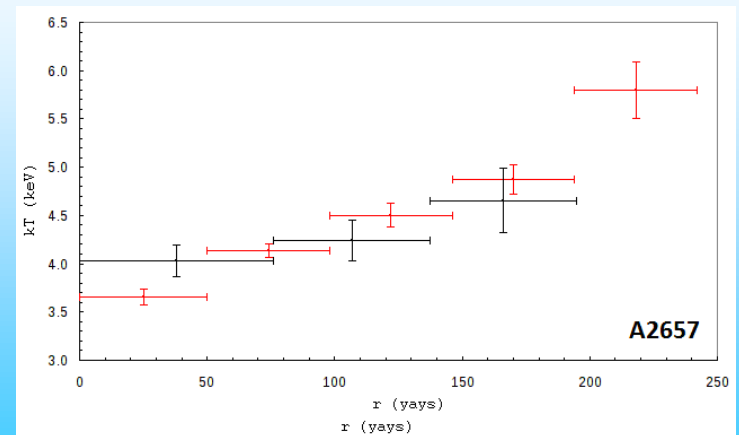
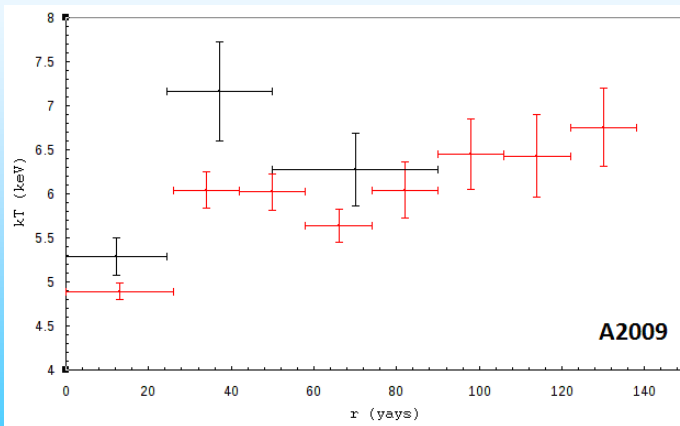
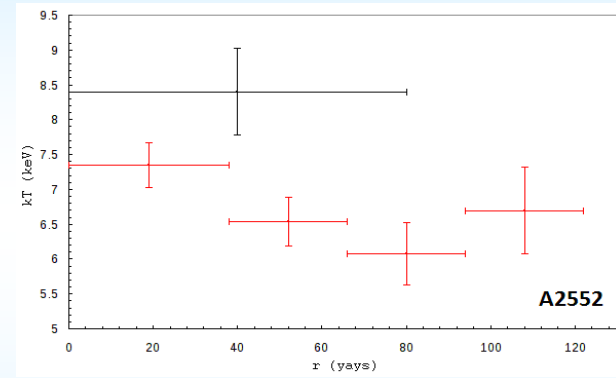
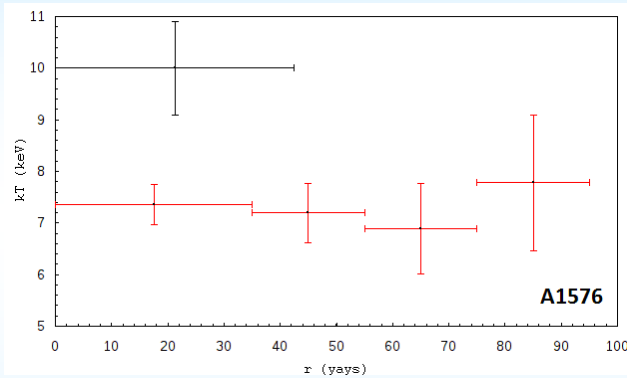
- ✓ A2142 henüz merger aşamasında olduğundan dinamik dengeye ulaşmamıştır
- ✓ Dolayısıyla kümenin sıcaklık profiline soğuma eğrisi vermesi beklenmemektedir
- ✓ *Markevitch vd. (2000)* tarafından A2142 kümesinin sıcaklık ve yüzey parlaklık profillerinde güney cephesinde ani sıcaklık ve parlaklık atlamaları bildirilmektedir



# Sıcaklık profilleri.. (devam)

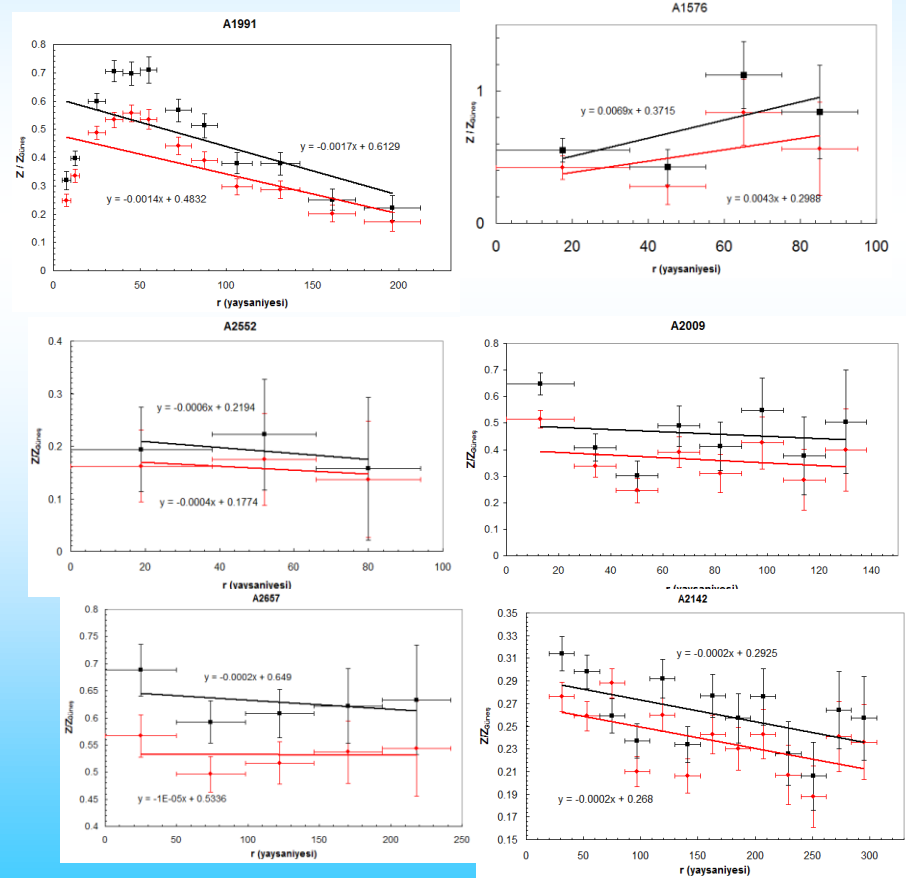


# Sıcaklık profilleri.. (devam)



# Bolluk profilleri..

- ✓ X-ışın tayflarında yaklaşık 6.67 keV civarında gözlenen He benzeri Fe K çizgisine göre diğer ağır elementlerin bolluklarının, kümenin merkezinden dışarıya doğru azalması, cD türü bir kümeye işaret eder (Gök ve Aktekin, 2012).
- ✓ Analizimizde ağır element bolluklarının Fe bolluğuna göre oranlarına bakıldığında genel izlenim, O, Mg, Si, S bolluk oranlarının SN II türü patlamaları, sadece Ni bolluğunun SN I türü patlamaları işaret ettiği yönündedir.



# SONUÇ

- ✓ Bollukların değişken bir yapı sergilemesi, yeterli foton istatistiğine sahip gözlemlerin bulunmamasından kaynaklıdır.
- ✓ Yetersiz istatistik özellikle 6.67 keV civarındaki Fe-Ni kompleksinin çözünürlüğünü etkilemekte ve Fe ve Ni bolluğunun doğru şekilde belirlenmesini zorlaştırmaktadır.

# SONUÇ

- Astronomide her foton kıymetlidir ve ilgilendiğimiz sönük kümeler de bu çalışmamızla birlikte literatüre kazandırılmış olacaktır. Ayrıca bilgi istatistiğinin artırılmasına da katkı sağlanmış olmaktadır.
- Belirsizliklerin giderilmesi için daha uzun poz süreli ve daha yüksek ayırma güçlü tayflar gereklidir. Daha iyi gözlemler yeni çalışmalara da temel oluşturmak demektir (*örn. yüzey parlaklık anomalileri ve bunların dinamik süreçlerdeki karşılıkları*).

**TEŞEKKÜRLER..**

