

## Gökadamızdaki Küresel Kümelerin Metal Bollukları ve Yaş Dağılımları

M. Zehra (Kunt) Taluk<sup>1\*</sup> ve İbrahim Küçük<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Fen Lisesi, Merkez, Iğdır, Türkiye

<sup>2</sup> Erciyes Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, 38039, Kayseri, Türkiye

**Özet** Gökadamızın bilinen en yaşlı elemanları olarak küresel kümeler gökadamın evriminin ilk zamanlarını gösteren temel fosillerdir. Ancak küresel kümelerin nasıl oluştukları halen belirsizlikler taşır. Metal bolluğu Sayı yoğunluğu dağılımından küresel kümelerin ikili bir dağılıma sahip olduğu bulundu ve metal bolluğu  $-2,58 < [Fe/H] < -0,8$  dex arasında yer alan halo popülasyonunun dağılımındaki pik değeri  $-1.57463 \pm 0.03283$  olarak hesaplandı. Bu sonuç önceki çalışmalarda önerilen değerle örtüşmektedir. Metal bolluğu Galaktik düzlemde uzaklık dağılımlarından halo kümelerinin metal bolluğunun galaktik merkezden uzaklaştıkça azaldığı yönünde reel bir ilişki bulunamamıştır. Elde edilen bu sonuç literatür ile karşılaştırılmıştır. Metal bolluğu Yaş ve Yaş Uzaysal dağılımları incelenmiş ve metalce en fakir olan kümelerin en yaşlı, metalce zengin olanların ise daha genç olduğu, aynı zamanda iç halonun kendi içerisinde dış haloya göre yaş aralığının daha küçük olduğu sonucu elde edilmiştir. Bu sonuçlar da literatür ile karşılaştırılmıştır. Buradan, küresel kümelerin aynı yaşta olmadığı, küme sistemleri arasında belli bir yaş aralığı olduğu sonucu elde edilmiştir. Bu yaş farkları dikkate alınarak gökadamız için önerilen iki temel oluşum senaryosu olan ELS (Eggen, Lynden-Bell, and Sandage 1962) ve hiyerarşik etkileşimli senaryo (Searle ve Zinn, 1978) karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda ELS modelinin disk, hiyerarşik modelin ise halo için yeterli açıklamalar getirdiği sonucuna varılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Küresel kümeler, metal bollukları, metal bolluğu-yaş ilişkisi, gökada oluşumu, Samanyolu.

### 1 Giriş

Gökadamızın bilinen en yaşlı elemanları olarak küresel kümeler gökadamın evriminin ilk zamanlarını gösteren temel fosillerdir. Bu kümeler gökadamın oluşumunu anlayabilmemiz için anahtarları içlerinde gizlemektedirler. Ancak küresel kümelerin nasıl oluştukları halen belirsizlikler taşır. Kümelerin çoğunluğu, kimyasal bollukları, hareketleri, uzaysal dağılımları ve yaşlarının değişen belirsizlikleri içinde tanınmaktadır. Küresel kümelerin uzaysal dağılımları incelendiğinde  $40 \leq R_{gc} \leq 65$

\* mzkunt@gmail.com

kpc arasında bir boşluk olduğu görülmektedir. Gökadamızdaki kümelerin metal bollukları  $-2,58 < [Fe/H] < 0,24$  dex arasında değişmektedir. Kümelerin metallik dağılım fonksiyonları yaklaşık -1.6 ve -0.5 değerlerindeki pikleriyle ikili bir dağılım göstermektedirler. Küresel kümeler metal bollukları kullanılarak halo ve disk popülasyonu olarak bilinen guruba ayrılırlar. Kümelerin metal bollukları ile yaşları arasında ters orantı vardır. Metalce en fakir kümeler en yaşlı, metalce zengin olanlar ise daha gençtir. Metal yönünden fakir kümeler haloda yer aldığı için halonun disk kümelerinden daha yaşlı olduğu sonucuna varılmaktadır. Bu yaş farklarının bize gökadamın oluşum sürecini yansıttığı düşünülmektedir. Bu çalışmada küresel kümelerin uzaysal dağılımları, galaktik merkezden uzaklıkları sayı yoğunluğu dağılımları, metal bolluğu sayı yoğunluğu, metal bolluğu galaktik merkezden uzaklık dağılımları, metal bolluğu yaş dağılımları, yaş uzaysal dağılımları incelendi. Bu dağılımlardan elde edilen sonuçlar ile gökadamız için önerilen iki temel oluşum senaryosu olan ELS (Eggen, LyndenBell ve Sandage, 1962) ve hiyerarşik etkileşimli senaryo (Zinn ve Searle, 1978), karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda ELS modelinin disk, hiyerarşik modelin ise halo için yeterli açıklamalar getirdiği sonucuna varılmıştır.

## 2 Samanyolu nun Oluşumu

Gökadamızın, çok değişken öğeler içeren iç ve dış dinamiklere bağlı olmaları nedeniyle nasıl oluştuğu konusunda modeller çok kesin değildir. Bu oluşum sürecini belirleyebilmek için, gökada parçalarının özelliklerinden yola çıkmak da fazla bir şey kazandırmamaktadır. Çünkü bunun için çeşitli disk katmanlarının dağılımını incelemek gerekiyor ki, salt bu bile son derece güç bir iştir. Nedeni, bu katmanların birbirlerinden çok belirgin sınırlarla ayrılmamış olmalarıdır. Aslında gökadamızın parçalarının özelliklerini daha iyi kavrayabilmek için, yıldızlarının ne zaman ve nasıl ortaya çıktıklarını da bilmek gerekiyor ki gökadamızdaki ve evrendeki en yaşlı yıldızlar olan küresel kümeler, gökadamızın evrimi ve oluşumu hakkındaki izleri taşıma olasılıkları oldukça yüksektir.

## 3 Küresel Kümeler

Gökadamızın bilinen en yaşlı parçaları olarak küresel kümeler gökadamın evriminin ilk zamanlarını gösteren temel fosillerimizdir. Bu kümeler gökadamın oluşumunu anlayabilmemiz için anahtarları ellerinde tutmaktadırlar. Ancak küresel kümelerin nasıl oluştuğu halen belirsizlik içindedir. Biz kümelerin yoğunluğunu kimyasal bollukları, hareketleri, uzaysal dağılımları ve yaşlarının değişen belirsizlikleri içinde tanımaktayız.

### 3.1 Küresel Kümelerin Uzaysal Dağılımları

Çizelge 1: Küresel kümeler ve uzaysal parametreleri

ID	İsim	$\ell$	$b$	$R_{\odot}$	$R_{gc}$	X	Y	Z
NGC 104	47 Tuc	305.9	-44.89	4.5	7.4	1.9	-2.6	-3.2
NGC 288		152.28	-89.38	8.8	12	-0.1	0	-8.8
NGC 362		301.53	-46.25	8.5	9.4	3.1	-5	-6.2
NGC 1261		270.54	-52.13	16.4	18.2	0.1	-10.1	-12.9
Pal 1		130.07	19.03	10.9	17	-6.6	7.9	3.6
AM 1	E 1	258.36	-48.47	121.9	123.2	-16.3	-79.2	-91.3
Eridanus		218.11	-41.33	90.2	95.2	-53.3	-41.8	-59.6
Pal 2		170.53	-9.07	27.6	35.4	-26.8	4.5	-4.3
NGC 1851		244.51	-35.04	12.1	16.7	-4.3	-8.9	-6.9
NGC 1904	M 79	227.23	-29.35	12.9	18.8	-7.6	-8.3	-6.3
NGC 2298		245.63	-16.01	10.7	15.7	-4.3	-9.4	-3
NGC 2419		180.37	25.24	84.2	91.5	-76.2	-0.5	35.9
Pyxis		261.32	7	39.7	41.7	-5.9	-39	4.8
NGC 2808		282.19	-11.25	9.6	11.1	2	-9.2	-1.9
E 3		292.27	-19.02	4.3	7.6	1.6	-3.8	-1.4
Pal 3		240.14	41.86	92.7	95.9	-34.4	-59.9	61.8
NGC 3201		277.23	8.64	5	8.9	0.6	-4.9	0.8
Pal 4		202.31	71.8	109.2	111.8	-31.6	-12.9	103.7
NGC 4147		252.85	77.19	19.3	21.3	-1.3	-4.1	18.8
NGC 4372		300.99	-9.88	5.8	7.1	2.9	-4.9	-1
Rup 106		300.89	11.67	21.2	18.5	10.7	-17.8	4.3
NGC 4590	M 68	299.63	36.05	10.2	10.1	4.1	-7.1	6
NGC 4833		303.61	-8.01	6.5	7	3.6	-5.4	-0.9
NGC 5024	M 53	332.96	79.76	17.8	18.3	2.8	-1.4	17.5
NGC 5053		335.69	78.94	16.4	16.9	2.9	-1.3	16.1
NGC 5139	omega Cen	309.1	14.97	5.3	6.4	3.2	-3.9	1.4
NGC 5272	M 3	42.21	78.71	10.4	12.2	1.5	1.4	10.2
NGC 5286		311.61	10.57	11	8.4	7.2	-8.1	2
AM 4		320.15	33.54	29.9	25.5	19.1	-16	16.5
NGC 5466		42.15	73.59	15.9	16.2	3.3	3	15.2
NGC 5634		342.21	49.26	25.2	21.2	15.7	-5	19.1
NGC 5694		331.06	30.36	34.7	29.1	26.2	-14.5	17.5
IC 4499		307.35	-20.47	18.9	15.7	10.7	-14	-6.6
NGC 5824		332.55	22.07	32	25.8	26.3	-13.7	12
Pal 5		0.85	45.86	23.2	18.6	16.2	0.2	16.7
NGC 5897		342.95	30.29	12.4	7.3 610.2	-3.1	66.2	
NGC 5904	M 5	3.86	46.8	7.5	6.2	5.1	0.3	5.4
NGC 5927		326.6	4.86	7.6	4.5 66.3	-4.2	0.6	
NGC 5946		327.58	4.19	10.6	5.8	9	-5.7	0.8
BH 176		328.41	4.34	15.6	9.7	13.2	-8.1	1.2
NGC 5986		337.02	13.27	10.4	4.8	9.3	-4	2.4

Sonraki sayfada devam edecek...

Çizelge 1: Küresel kümeler ve uzaysal parametreleri

ID	İsim	$\ell$	$b$	$R_{\odot}$	$R_{gc}$	X	Y	Z
Lynga 7		328.77	-2.79	7.2	4.2	6.1	-3.7	-0.3
Pal 14	AvdB	28.75	42.18	73.9	69	48	26.3	49.6
NGC 6093	M 80	352.67	19.46	10	3.8	9.4	-1.2	3.3
NGC 6121	M 4	350.97	15.97	2.2	5.9	2.1	-0.3	0.6
NGC 6101		317.75	-15.82	15.3	11.1	10.9	-9.9	-4.2
NGC 6144		351.93	15.7	8.5	2.6	8.1	-1.1	2.3
NGC 6139		342.37	6.94	10.1	3.6 69.6	-3	1.2	
Terzan 3		345.08	9.19	7.5	2.4	7.2	-1.9	1.2
NGC 6205	M 13	59.01	40.91	7.7	8.7	3	5	5
NGC 6229		73.64	40.31	30.4	29.7 66.5	22.2	19.7	
NGC 6218	M 12	15.72	26.31	4.9	4.5	4.2	1.2	2.2
NGC 6235		358.92	13.52	11.4	4.1	11.1	-0.2	2.7
NGC 6254	M 10	15.14	23.08	4.4	4.6	3.9	1.1	1.7
NGC 6256		347.79	3.31	8.4	1.8	8.2	-1.8	0.5
NGC 6266	M 62	353.57	7.32	6.9	1.7	6.8	-0.8	0.9
NGC 6273	M 19	356.87	9.38	8.6	1.6 68.5	-0.5	1.4	
NGC 6284		358.35	9.94	15.3	7.6	15.1	-0.4	2.6
NGC 6287		0.13	11.02	9.3	2.1	9.1	0	1.8
NGC 6293		357.62	7.83	8.8	1.4	8.7	-0.4	1.2
NGC 6304		355.83	5.38	6	2.2	6	-0.4	0.6
NGC 6316		357.18	5.76	11	3.2	10.9	-0.5	1.1
NGC 6341	M 92	68.34	34.86	8.2	9.6	2.5	6.3	4.7
NGC 6325		0.97	8	8	1.1	7.9	0.1	1.1
NGC 6333	M 9	5.54	10.7	7.9	1.7	7.7	0.7	1.5
NGC 6342		4.9	9.73	8.6	1.7	8.4	0.7	1.5
NGC 6356		6.72	10.22	15.2	7.6	14.8	1.7	2.7
NGC 6355		359.58	5.43	9.5	1.8	9.5	-0.1	0.9
NGC 6352		341.42	-7.17	5.7	3.3	5.4	-1.8	-0.7
IC 1257		16.53	15.15	25	17.9	23.2	6.9	6.5
Terzan 2	HP 3	356.32	2.3	8.7	0.9	8.7	-0.6	0.3
NGC 6366		18.41	16.04	3.6	5	3.3	1.1	1
Terzan 4	HP 4	356.02	1.31	9.1	1.3	9.1	-0.6	0.2
HP 1	BH 229	357.42	2.12	14.1	6.1	14	-0.6	0.5
NGC 6362		325.55	-17.57	7.6	5.1	5.9	-4.1	-2.3
Liller 1		354.84	-0.16	9.6	1.8	9.6	-0.9	0
NGC 6380	Ton 1	350.18	-3.42	10.7	3.2	10.5	-1.8	-0.6
Terzan 1	HP 2	357.56	0.99	5.6	2.5	5.6	-0.2	0.1
Ton 2	Pismis 26	350.8	-3.42	8.1	1.4	7.9	-1.3	-0.5
NGC 6388		345.56	-6.74	10	3.2	9.6	-2.5	-1.2
NGC 6402	M 14	21.32	14.81	9.3	4.1	8.4	3.3	2.4
NGC 6401		3.45	3.98	10.5	2.7	10.5	0.6	0.7
NGC 6397		338.17	-11.96	2.3	6	2.1	-0.8	-0.5

Sonraki sayfada devam edecek...

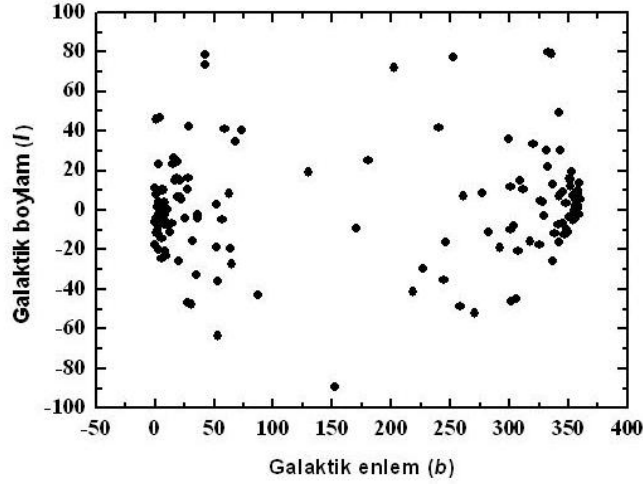
Çizelge 1: Küresel kümeler ve uzaysal parametreleri

ID	İsim	$\ell$	$b$	$R_{\odot}$	$R_{gc}$	X	Y	Z
Pal 6		2.09	1.78	5.9	2.2	5.8	0.2	0.2
NGC 6426		28.09	16.23	20.7	14.6	17.6	9.4	5.8
Djorg 1		356.67	-2.48	12	4.1	12	-0.7	-0.5
Terzan 5	Terzan 11	3 .84	1.69	10.3	2.4	10.2	0.7	0.3
NGC 6441		353.53	-5.01	11.7	3.9	11.5	-1.3	-1
Terzan 6	HP 5	358.57	-2.16	9.5	1.6	9.5	-0.2	-0.4
NGC 6453		355.72	-3.87	9.6	1.8	9.6	-0.7	-0.6
UKS 1		5.12	0.76	8.3	0.8	8.3	0.7	0.1
NGC 6496		348.02	-10.01	11.5	4.3	11.1	-2.3	-2
Terzan 9		3 .6	-1.99	6.5	1.6	6.4	0.4	-0.2
Djorg 2	ESO456-SC38	2.76	-2.51	6.7	1.4	6.6	0.3	-0.3
NGC 6517		19.23	6.76	10.8	4.3	10.1	3.5	1.3
NGC 6522		1.02	-3.93	7.8	0.6	7.7	0.1	-0.5
NGC 6535		27.18	10.44	6.8	3.9	6	3.1	1.2
NGC 6528		1.14	-4.17	7.9	0.6	7.9	0.2	-0.6
NGC 6539		20.8	6.78	8.4	3.1	7.8	3	1
NGC 6540	Djorg 3	3.29	-3.31	3.7	4.4	3.7	0.2	-0.2
NGC 6544		5.84	-2.2	2.7	5.3	2.7	0.3	-0.1
NGC 6541		349.48	-11.09	7	2.2	6.8	-1.3	-1.4
NGC 6553		5.25	-3.03	6	2.2	5.9	0.5	-0.3
NGC 6558		0.2	-6.02	7.4	1	7.4	0	-0.8
IC 1276	Pal 7	21.83	5.67	5.4	3.7	5	2	0.5
Terzan12		8.36	-2.1	4.8	3.4	4.7	0.7	-0.2
NGC 6569		0.48	-6.68	10.7	2.9	10.6	0.1	-1.2
NGC 6584		342.14	-16.41	13.4	7	12.3	-4	-3.8
NGC 6624		2.79	-7.91	7.9	1.2	7.8	0.4	-1.1
NGC 6626	M 28	7.8	-5.58	5.6	2.7	5.5	0.8	-0.5
NGC 6638		7.9	-7.15	9.6	2.3	9.4	1.3	-1.2
NGC 6637	M 69	1.72	-10.27	9.1	1.9	8.9	0.3	-1.6
NGC 6642		9.81	-6.44	8.4	1.7	8.3	1.4	-0.9
NGC 6652		1.53	-11.38	10.1	2.8	9.9	0.3	-2
NGC 6656	M 22	9.89	-7.55	3.2	4.9	3.1	0.5	-0.4
Pal 8		14.1	-6.8	12.9	5.6	12.4	3.1	-1.5
NGC 6681	M 70	2.85	-12.51	9	2.1	8.7	0.4	-1.9
NGC 6712		25.35	-4.32	6.9	3.5	6.3	3	-0.5
NGC 6715	M 54	5.61	-14.09	26.8	19.2	25.9	2.5	-6.5
NGC 6717	Pal 9	12.88	-10.9	7.1	2.4	6.8	1.6	-1.3
NGC 6723		0.07	-17.3	8.7 62.6	8.3	0	-2.6	
NGC 6752		336.49	-25.63	4	5.2	3.3	-1.4	-1.7
NGC 6760		36.11	-3.92	7.4	4.8	6	4.4	-0.5
NGC 6779	M 56	62.66	8.34	10.1	9.7	4.6	8.9	1.5
Terzan 7		3.39	-20.07	23.2	16	21.8	1.3	-8

Sonraki sayfada devam edecek...

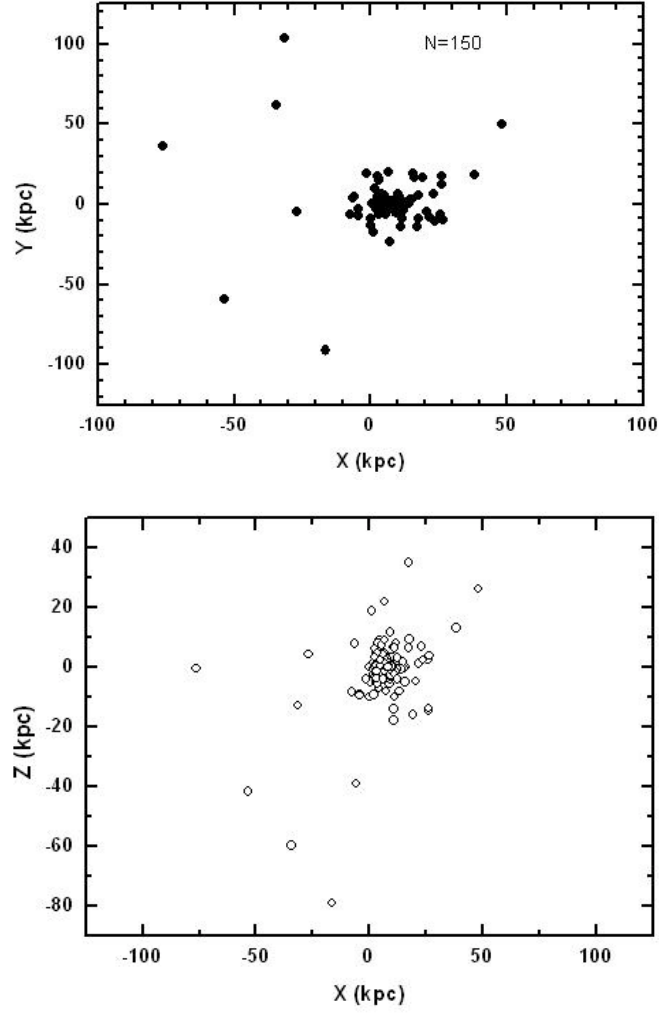
Çizelge 1: Küresel kümeler ve uzaysal parametreleri

ID	İsim	$\ell$	$b$	$R_{\odot}$	$R_{gc}$	X	Y	Z
Pal 10		52.44	2.72	5.9	6.4	3.6	4.7	0.3
Arp 2		8.55	-20.78	28.6	21.4	26.5	4	-10.2
NGC 6809	M 55	8.8	-23.27	5.3	3.9	4.8	0.7	-2.1
Terzan 8		5.76	-24.56	26	19.1	23.6	2.4	-10.8
Pal 11		31.81	-15.58	13	7.9	10.7	6.6	-3.5
NGC 6838	M 71	56.74	-4.56	4	6.7	2.2	3.3	-0.3
NGC 6934		52.1	-18.89	15.7	12.8	9.1	11.7	-5.1
NGC 6981	M 72	35.16	-32.68	17	12.9	11.7	8.3	-9.2
NGC 7006		63.77	-19.41	41.5	38.8	17.3	35.1	-13.8
NGC 7078	M 15	65.01	-27.31	10.3	10.4	3.9	8.3	-4.7
NGC 7089	M 2	53.38	-35.78	11.5	10.4	5.6	7.5	-6.7
NGC 7099	M 30	27.18	-46.83	8	7.1	4.9	2.5	-5.9
Pal 12		30.51	-47.68	19.1	15.9	11.1	6.5	-14.1
Pal 13		87.1	-42.7	25.8	26.7	1	18.9	-17.5
NGC 7492		53.39	-63.48	25.8	24.9	6.9	9.2	-23.1



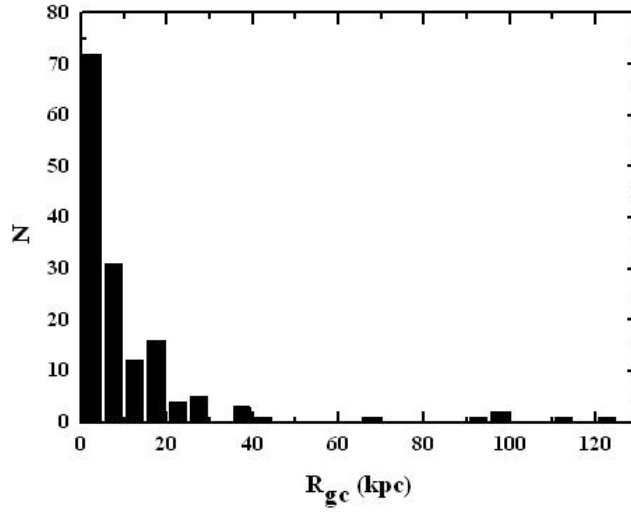
Şekil 1. Gökadamızdaki küresel kümelerin galaktik enlem ve boylama göre dağılımı.

Şekil 2 de gökadamızdaki küresel kümelerin X-Y ve X-Z dağılımı gösterilmektedir. Grafikteki X; Galaktik merkeze doğru olan; Y: Galaktik rotasyon yönünde olan Z: Galaktik merkezden kuzey kutbuna göre doğru olan uzaklıklarıdır (kpc)



Şekil 2. Küresel kümelerin X-Y ve X-Z dağılımları.

biriminde). Grafikteki sıfır değerlerinin çakıştığı nokta Güneşin konumunu göstermektedir. Yatay konumdaki sıfır eksenine ise galaktik düzlemi göstermektedir. Şekil 2 deki grafiklerden de görüleceği gibi küresel kümeler gökada merkeziyle aynı merkezli küresel bir dağılım sergilemektedirler. Gökada düzleminin altında ve yukarısında hemen hemen eşit sayıda bulunmaktadır. Şekil 3 de gökadamızdaki küresel kümelerin galaktik düzlemden uzaklıkları ( $R_{gc}$ )-sayı yoğunluğu grafiği görülmektedir. Grafikten görüldüğü gibi küresel kümeler, galaktik düzlemlerin 20 kpc yukarısında yoğunlaşmaktadır. Şekil 5 incelendiğinde  $40 \leq R_{gc} \leq 65$  arasında bir boşluk bulunmaktadır, Armandroff Da Costa ve Zinn (1992).



Şekil 3. Küresel kümelerin galaktik merkezden uzaklıkları sayı yoğunluğu dağılımı.

### 3.2 Küresel Kümelerin Metal Bollukları ve İki Biçimliliği

Metal bolluğu, Gökada incelenmesinde çok önemli rol oynamaktadır. Çünkü, Gökada düzlemine dik veya radyal doğrultuda metal gradiyentinin olup olmaması, Gökada için farklı bir oluşum senaryosunu gerektirmektedir. Gradiyentin varlığının kanıtlanması halinde, Gökadanın çökerek oluştuğu şeklindeki senaryonun kabul edilmesi gerekir (ELS). Metal bolluğunun olmaması halinde ise Gökadanın bir takım küçücük gökadalardan birleşmesi veya Gökadamıza dışarıdan önemli miktarda gaz akışı sonucunda oluştuğu şeklindeki düşüncenin kabul edilmesini zorunlu kılıyor. Bu konuda da birçok çalışma yapılmıştır Searle ve Zinn (1978).



Çizelge 2: Küresel kümelerin metal bollukları ve yaşları. Birinci sütunda kümelerin isimleri, ikinci sütunda Harris (1996) tarafından tanımlanan, üçüncü sütunda Zinn ve West (1984) tarafından tanımlanan metal bollukları, dördüncü sütunda Caretta et al. (2009) tarafından tanımlanan metal bollukları, beşinci sütunda ise Salaris ve Weiss (2002) tarafından hesaplanan yaşları verilmiştir.

ID	[Fe/H]	[Fe/H]	[Fe/H]	Yaş G yıl
1636-283	-1.5			
2MS-GC01	-1.2			
AM 1	-1.8	-1.69	-1.84	
AM 4	-2		-2.07	
Arp 2	-1.76		-1.74	
BH 176	-1.58			
Djorg 1	-2			
Djorg 2	-0.5			
E 3	-0.8			
Eridanus	-1.46			8.4
ESO-SC06	-2			
HP 1	-1.55		-1.57	
IC 1257	-1.7			
IC 1276	-0.73		-0.65	
IC 4499	-1.6	-1.5	-1.62	11.2
Liller 1	0.22	-0.21	+0.40	
Lynga 7	-0.62			
NGC 104	-0.76	-0.71	-0.76	10.7
NGC 1261	-1.35	-1.31	-1.27	9.1
NGC 1851	-1.22	-1.36	-1.18	9.1
NGC 1904	-1.57	-1.69	-1.58	
NGC 2298	-1.85	-1.85	-1.96	12.9
NGC 2419	-2.12	-2.1	-2.20	12.8
NGC 2808	-1.15	-1.37	-1.18	10.2
NGC 288	-1.24	-1.4	-1.32	11.9
NGC 3201	-1.58	-1.61	-1.51	
NGC 362	-1.16	-1.27	-1.30	12.1
NGC 4147	-1.83	-1.8	-1.78	9.5
NGC 4372	-2.09	-2.08	-2.19	
NGC 4590	-2.06	-2.09	-2.27	11.2
NGC 4833	-1.8	-1.86	-1.89	
NGC 5024	-1.99	-2.04	-2.06	
NGC 5053	-2.29	-2.58	-2.30	10.8
NGC 5139	-1.62	-1.59	-1.64	
NGC 5272	-1.57	-1.66	-1.50	12.1
NGC 5286	-1.67	-1.79	-1.70	

Sonraki sayfada devam edecek...

Çizelge 2: Küresel kümelerin metal bollukları ve yaşları. Birinci sütunda kümelerin isimleri, ikinci sütunda Harris (1996) tarafından tanımlanan, üçüncü sütunda Zinn ve West (1984) tarafından tanımlanan metal bollukları, dördüncü sütunda Caretta et al. (2009) tarafından tanımlanan metal bollukları, beşinci sütunda ise Salaris ve Weiss (2002) tarafından hesaplanan yaşları verilmiştir.

ID	[Fe/H]	[Fe/H]	[Fe/H]	Yaş Gyl
NGC 5466	-2.22	-2.22	-2.31	12.5
NGC 5634	-1.88	-1.82	-1.93	
NGC 5694	-1.86	-1.92	-2.02	
NGC 5824	-1.85	-1.87	-1.94	
NGC 5897	-1.8	-1.68	-1.90	12.4
NGC 5904	-1.27	-1.4	-1.33	
NGC 5927	-0.37	-0.3	-0.29	
NGC 5946	-1.38	-1.37	-1.29	
NGC 5986	-1.58	-1.67	-1.63	
NGC 6093	-1.75	-1.68	-1.75	12.9
NGC 6101	-1.82	-1.81	-1.98	11
NGC 6121	-1.2	-1.33	-1.18	
NGC 6139	-1.68	-1.65	-1.71	
NGC 6144	-1.75	-1.75	-1.82	
NGC 6171	-1.04	-0.99	-1.03	11.7
NGC 6205	-1.54	-1.65	-1.58	13
NGC 6218	-1.48	-1.61	-1.33	12.7
NGC6229			-1.43	
NGC 6235	-1.4	-1.4	-1.38	
NGC 6254	-1.52	-1.6	-1.57	12.2
NGC 6256	-0.7		-0.62	
NGC 6266	-1.29	-1.28	-1.18	
NGC 6273	-1.68	-1.68	-1.76	
NGC 6284	-1.32	-1.4	-1.31	
NGC 6287	-2.05	-2.05	-2.12	
NGC 6293	-1.92	-1.92	-2.01	
NGC6304			-0.37	
NGC 6316	-0.55	-0.47	-0.36	
NGC 6325	-1.17	-1.44	-1.37	
NGC 6333	-1.75	-1.78	-1.79	
NGC 6341	-2.28	-2.24	-2.35	12.8
NGC 6352	-0.7	-0.51	-0.49	9.7
NGC 6355	-1.5	-1.5	-0.62	
NGC 6362	-0.95	-1.08	-1.33	11.1
NGC 6366	-0.82	-0.99	-0.35	9.4
NGC 6380	-0.5	-1	-0.40	
NGC 6388	-0.6	-0.74	-0.45	

Sonraki sayfada devam edecek . . .

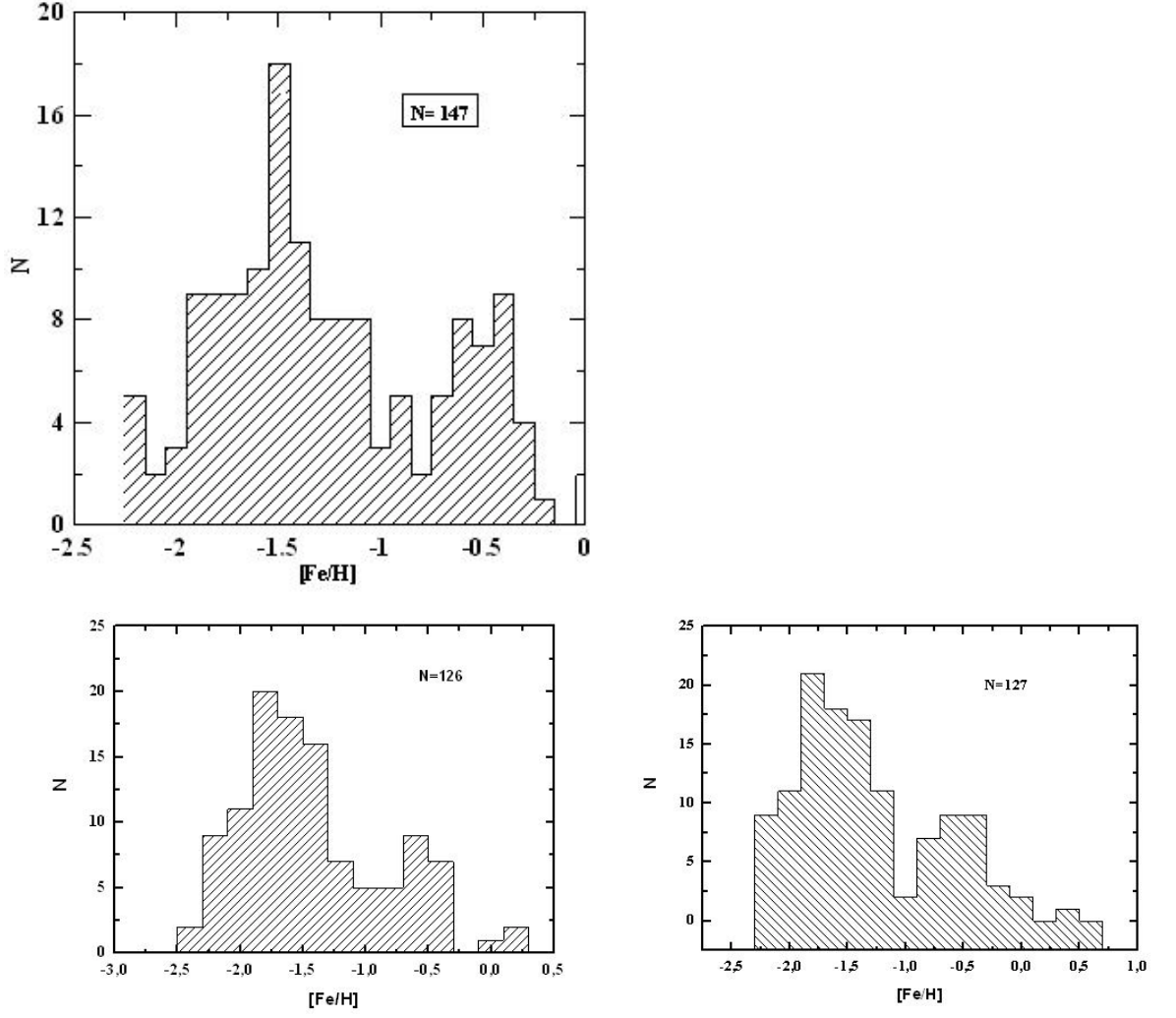
Çizelge 2: Küresel kümelerin metal bollukları ve yaşları. Birinci sütunda kümelerin isimleri, ikinci sütunda Harris (1996) tarafından tanımlanan, üçüncü sütunda Zinn ve West (1984) tarafından tanımlanan metal bollukları, dördüncü sütunda Caretta et al. (2009) tarafından tanımlanan metal bollukları, beşinci sütunda ise Salaris ve Weiss (2002) tarafından hesaplanan yaşları verilmiştir.

ID	[Fe/H]	[Fe/H]	[Fe/H]	Yaş Gyl
NGC 6397	-1.95	-1.91	-1.99	12.5
NGC 6401	-0.98	-1.1	-1.01	
NGC 6402	-1.39	-1.39	-1.39	
NGC6424			-2.36	
NGC 6426	-2.26	-2.2		
NGC 6440	-0.34	-0.26	-0.20	
NGC 6441	-0.53	-0.59	-0.44	
NGC 6453	-1.53	-1.53	-1.48	
NGC 6496	-0.64	-0.48	-0.46	
NGC 6517	-1.37	-1.34	-1.24	
NGC 6522	-1.44	-1.44	-1.45	
NGC 6528	-0.04	0.12	+0.07	
NGC 6535	-1.8	-1.75	-1.79	
NGC 6539	-0.66	-0.66	-0.53	
NGC 6540	-1.2			
NGC 6541	-1.83	-1.83	-1.82	
NGC 6544	-1.56	-1.56	-1.47	
NGC 6553	-0.21	-0.29	-0.16	
NGC 6558	-1.44	-1.44	-1.37	
NGC 6569	-0.86	-0.86	-0.72	
NGC 6584	-1.49	-1.54	-1.50	
NGC 6624	-0.44	-0.35	-0.42	
NGC6626			-1.46	
NGC 6637	-0.7	-0.59	-0.59	
NGC 6638	-0.99	-1.15	-0.99	
NGC 6642	-1.35	-1.29	-1.19	
NGC 6652	-0.96	-0.89	-0.76	
NGC 6656	-1.64	-1.75	-1.70	
NGC 6681	-1.51	-1.51	-1.62	
NGC 6712	-1.01	-1.01	-1.02	10.5
NGC 6715	-1.58	-1.42	-1.44	
NGC 6717	-1.29	-1.32	-1.26	
NGC 6723	-1.12	-1.09	-1.10	11.6
NGC 6749	-1.6		-1.62	
NGC6752			-1.55	
NGC 6760	-0.52	-0.52	-0.40	
NGC 6779	-1.94	-1.94	-2.00	12.8

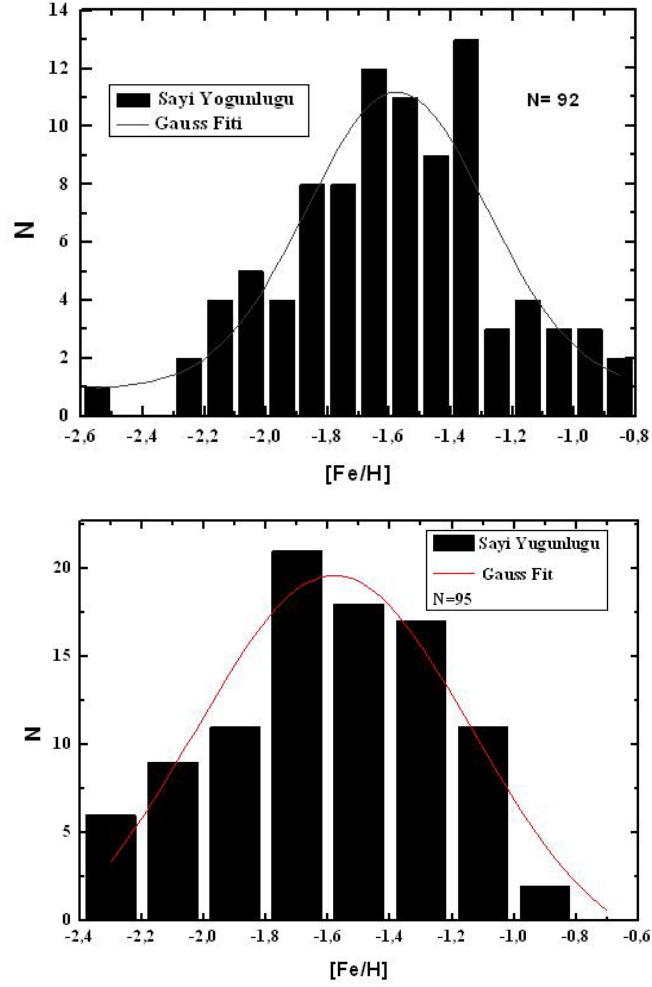
Sonraki sayfada devam edecek . . .

Çizelge 2: Küresel kümelerin metal bollukları ve yaşları. Birinci sütunda kümelerin isimleri, ikinci sütunda Harris (1996) tarafından tanımlanan, üçüncü sütunda Zinn ve West (1984) tarafından tanımlanan metal bollukları, dördüncü sütunda Caretta et al. (2009) tarafından tanımlanan metal bollukları, beşinci sütunda ise Salaris ve Weiss (2002) tarafından hesaplanan yaşları verilmiştir.

ID	[Fe/H]	[Fe/H]	[Fe/H]	Yaş Gyl
NGC6809			-1.93	
NGC6838			-0.82	
NGC 6864	-1.16	-1.32	-1.29	
NGC 6934	-1.54	-1.54	-1.56	
NGC 6981	-1.4	-1.54	-1.48	10
NGC 7006	-1.63	-1.59	-1.46	
NGC 7078	-2.26	-2.15	-2.33	
NGC 7089	-1.62	-1.62	-1.66	11.8
NGC 7099	-2.12	-2.13	-2.33	
NGC 7492	-1.51	-1.82	-1.69	12.3
Pal 1	-0.6		-0.51	12.1
Pal 10	-0.1			
Pal 11	-0.39	-0.7	-0.45	
Pal 12	-0.94	-1.14	-0.81	
Pal 13	-1.74	-1.79	-1.78	6.4
Pal 14	-1.52	-1.47	-1.63	
Pal 15	-1.9		-2.10	
Pal 2	-1.3		-1.29	
Pal 3	-1.66	-1.78	-1.67	
Pal 4	-1.48	-2.2	-1.46	9.2
Pal 5	-1.41	-1.47	-1.41	9.2
Pal 6	-1.09	-0.74	-1.06	10
Pal 8	-0.48	-0.48	-0.37	
Terzan 1	-1.3	0.24	-1.29	
Terzan 2	-0.4	-0.47	-0.29	
Terzan 3	-0.73		-1.62	
Terzan 4	-1.6	-0.21	+0.16	
Terzan 5		0.24	-0.40	
Terzan 6	-0.5		-0.12	
Terzan 7	-0.58			
Terzan 8	-2			
Terzan 9	-2	-0.38	-2.07	
Terzan10	-0.7			
Terzan12	-0.5			



Şekil 4. Küresel kümelerin metal bolluğu sayı yoğunluğu dağılımları. Harris (1996)(üst), Zinn ve West (1984)(alt sol), Caretta et al. (2009) (alt sağ).



Şekil 5. (üst) Metal bolluğu  $-2.28 \leq [Fe/H] \leq -0.8$  dex aralığında ki kümelerin metal bolluğu dağılımı. (alt) Metal bolluğu  $-2.36 \leq [Fe/H] \leq -0.8$  dex aralığında ki kümelerin metal bolluğu dağılımı.

Şekil 5.a) da  $-2.28 \leq [Fe/H] \leq -0.8$  dex aralığındaki küresel kümelerin metal bolluğu dağılımındaki pik  $-1.57463 \pm 0.03283$  olarak bulunmuştur. Bu değer Zinn ve West (1984) tarafından önerilen değerle örtüşmektedir. Şekil 5 b) de  $-2.36 \leq [Fe/H] \leq -0.8$  dex aralığında ki kümelerin metal bolluğu dağılımındaki pik  $-1.57344 \pm 0.03308$  olarak bulunmuştur. Küresel kümelerin metal bollukları kullanılarak halo ve disk popülasyonu olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Metal bolluğu  $[Fe/H] = -0.8$  dex den büyük olanlar disk kümeleri, metal bolluğu  $-0.8$  den küçük olanlarda halo kümeleri olarak adlandırılmaktadır. Tablo 2 deki Zinn ve West (1984) değerleri kullanıldığında haloda 92, diskte de 27 küme bulunmaktadır, aynı tablodaki Harris (1996) değerleri kullanıldığında haloda 116, diskte ise 32 adet küme, Caretta et al. (2009) değerleri kullanıldığında diskte 31, haloda ise 109 adet küme bulunmaktadır. Bu sonuçlara göre küresel kümelerin yaklaşık %30 u disk kümeleridir.

### 3.3 Küresel Kümelerde $[Fe/H]$ Z (kpc) İlişkisi

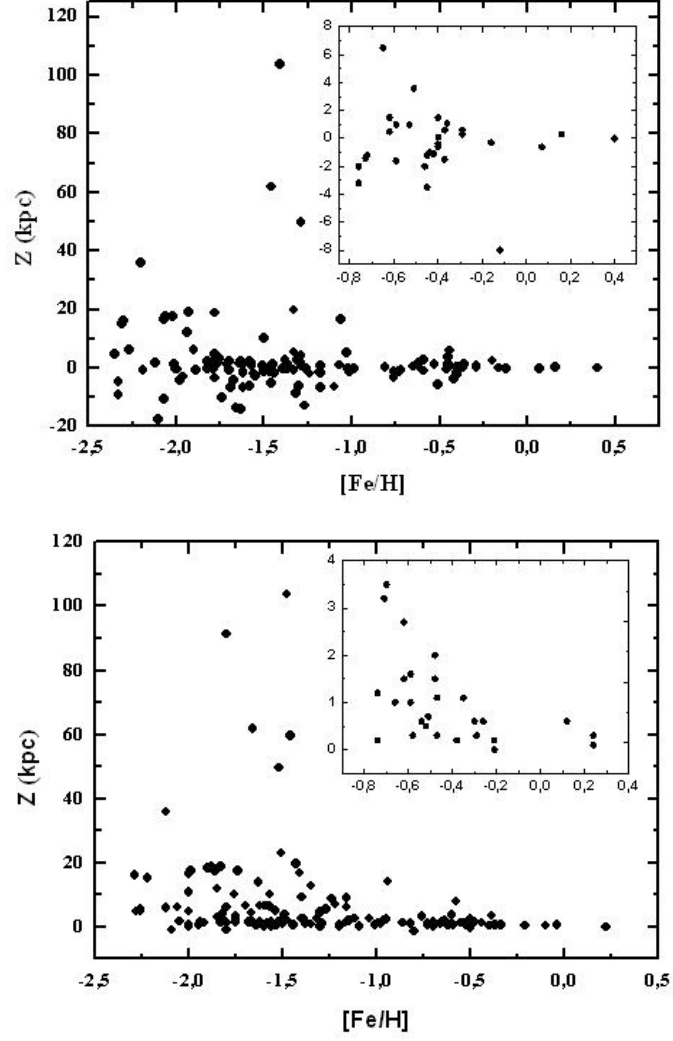
Küresel kümelerin metal bollukları ile galaktik düzlemde olan dik uzaklıkları arasındaki ilişki Şekil 9 da gösterilmiştir. Metal bolluğu  $-2.6 \leq [Fe/H] \leq -0.8$  dex arasında olan metalce fakir (halo) kümeleri galaktik düzlemde oldukça uzaklıklarda da bulunurlar, yaklaşık olarak küresel bir dağılım göstermektedirler. Metal bolluğu  $-0.8 \leq [Fe/H] \leq 0$  dex arasında olan metalce zengin kümeler ise galaktik düzleme çok yakın bir bölgede yaklaşık düzlemle düzlemde 3.5 kpc yukarısında kalan alanda ve oldukça düz bir dağılım göstermektedirler.

### 3.4 Küresel Kümelerde $[Fe/H]$ $R_{gc}$ İlişkisi

Küresel kümeler galaktik merkez etrafında simetrik olarak küresel bir dağılım gösterirler. Metal yönünden en zengin kümelerin metal bollukları güneşin metal bolluğundan 1/10 oranında daha büyüktür ve galaktik merkezle merkezin yaklaşık 9 kpc üzerinde yer alan bölgede bulunmaktadır. Bu özelliklerinden dolayı iç halo olarak adlandırılmaktadır. Şekil 9 da küresel kümelerin metal bolluğu ile galaktik merkezden uzaklığın grafiği verilmiştir. Küresel kümeler galaktik merkezden uzaklıkları 9 kpc değeri baz alınarak ikiye ayrıldığında galaktik merkezden uzaklıkları  $R_{gc} > 9$  kpc olan kümeler iç halo,  $R_{gc} \leq 9$  kpc olan kümeler de dış halo olarak adlandırılmaktadır. Şekil 7 incelendiğinde kümelerin çoğunluğunun 0-20 kpc arasında yoğunlaştığı ve bu bölgede farklı metalikteki kümelerin bulunduğu görülmektedir. Aynı bölgede metalliği  $[Fe/H] < -0.8$  ve metalliği  $[Fe/H] > -0.8$  olan kümeler bulunmaktadır. Yani aynı bölgede hem metalce fakir hemde metalce zengin kümeler bulunmaktadır. Bu grafiklere göre halo kümelerinin metal bolluğu ile galaktik merkezden uzaklıkları arasında, metal bolluğunun galaktik merkezden uzaklaştıkça azaldığı yönünde reel bir ilişki bulunamamıştır.

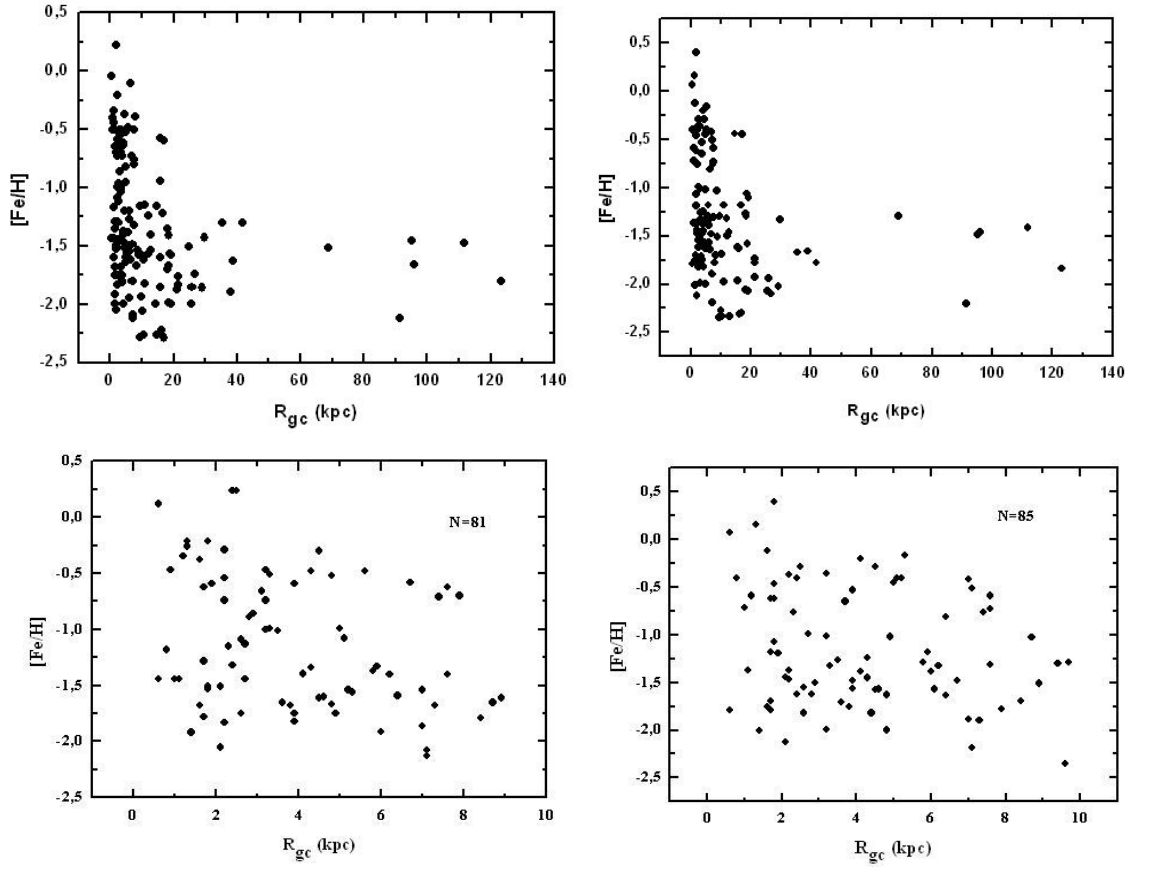
### 3.5 Küresel Kümelerin Yaşları

Gökadamızda günümüzde yaklaşık 150 küme bilinmektedir, ancak bu kümelerin yalnızca %30 unun yaş belirlenmeleri yapılabilmektedir. Bunun nedeni, kümelerin



Şekil 6. Küresel kümelerin metal bolluğugalaktik düzlemden dik uzaklıklarının dağılımı. (üst) [Fe/H] değerleri Zinn ve West (1984), (alt) [Fe/H] değerleri Caretta et al. (2009). Z değerleri Harris (1996).



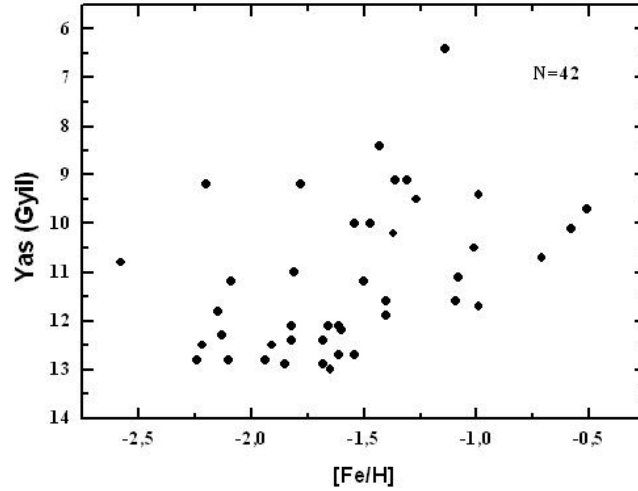


Şekil 7. Küresel kümelerin metal bolluğu galaktik merkezden uzaklıkları dağılımı. (sol üst ve sol alt) [Fe/H] değerleri Zinn ve West (1984), (sağ üst ve sağ alt) [Fe/H] değerleri Caretta et al. (2009).  $R_{gc}$  değerleri Harris (1996).

gökada düzleminde oldukça uzak mesafelerde olmalarıdır. Bu durum kümelerin renk- parlaklık diyagramlarının ölçümlerinde hatalar vermektedir. Tablo 2 de [14] tarafından belirlenen mutlak yaşlar verilmiştir.

### 3.6 Küresel Kümelerde [Fe/H] Yaş İlişkisi

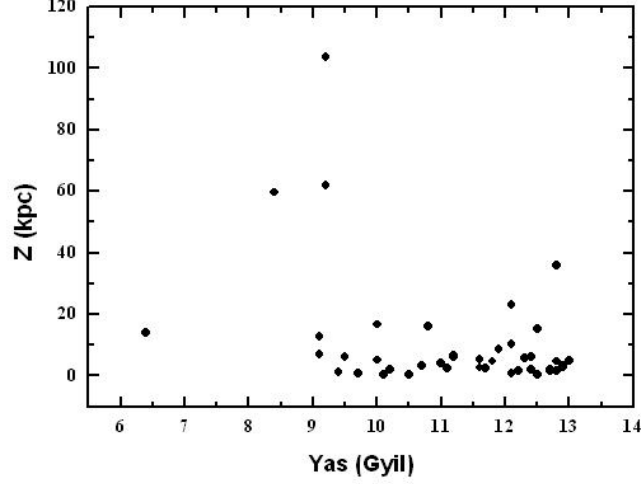
Gökadamızdaki küresel kümelerin metalce en fakir kümeleri en yaşlı, metalce zengin olan ise daha gençtir. Metal yönünden fakir kümeler haloda yer aldığı için halonun disk kümelerinden daha yaşlı olduğu sonucuna varılmaktadır. Buradan ilk zamanlarda bilinenin aksine küresel kümelerin aynı yaşta olmadığı, küme sistemleri arasında belli bir yaş aralığı olduğu bulunmaktadır.



Şekil 8. Küresel kümelerin Yaş - [Fe/H] dağılımları. [Fe/H] değerleri Zinn ve West (1984), yaş değerleri Salaris ve Weiss (2002).

### 3.7 Küresel Kümelerde Yaş Z (kpc) İlişkisi

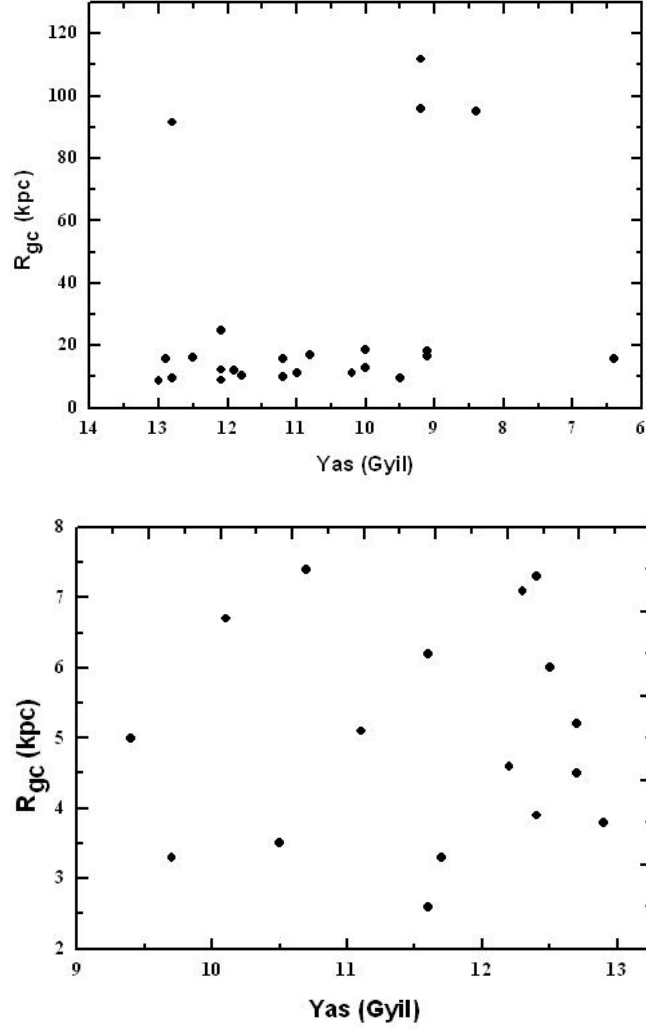
Disk küresel kümelerinin galaktik düzlemden yaklaşık 3.5 kpc yukarısında, halo kümelerinin ise daha uzaklarda yerleştikleri bilinmektedir. Düzlemden 103.7 kpc uzaklıktaki Pal 4 ün yaşı 9.2 Gyıl, 61.8 kpc uzaklıktaki Pal 3 ün yaşı 9.2 Gyıl, düzlemden 59.6 kpc yukarısındaki Eridanus un yaşı ise 8.4 olarak bulunmuştur. Bu kümeler halo da bulunmalarına rağmen oldukça genç kümelerdir. Bu kümeler halonun yaş ortalamasını düşürmektedir.



Şekil 9. Küresel kümelerin Yaş - [Fe/H] dağılımları. Z değerleri Harris (1996), yaş değerleri Salaris ve Weiss (2002).

### 3.8 Yaş $R_{gc}$ İlişkisi

Küresel kümelerin yaş galaktik merkezden uzaklıkları grafiği Şekil 10 da verilmiştir.  $R_{gc} \leq 9$  kpc aralığında bulunan 17 küresel kümenin ortalama yaşları 11.56 Gyr olarak hesaplanmıştır. Bu Aralıktaki iç halo kümelerinin yaş aralığı 3.5 Gyr olarak bulunmuştur. Yaş aralığı 6.6 Gyr olan ve  $R_{gc} > 9$  kpc bölgesinde ki dış halo kümelerinin ortalama yaşları 10.88 Gyr olarak hesaplanmıştır. Bu aralıktaki kümelerin yaş galaktik merkezden uzaklıkları grafiği Şekil 3.20 de gösterilmiştir. Bu sonuçlara göre iç halonun dış haloya göre kendi içerisinde daha yaşlı olduğu söylenebilir. Bu sonuçlar küresel kümelerin gökadanın oluşmaya başladığı anda oluştuğu anlamına gelmektedir, Salaris ve Weiss (2002). Küresel kümelerin halo popülasyonun iki alt sistemi olan iç ve dış halonun özellikleri genel olarak Tablo 3 deki gibidir. Tablodan da görüldüğü gibi iç halo dış haloya nazaran daha yaşlıdır. Tablo 3 e bakıldığında, dış halodaki metal bolluğu  $[Fe/H] \leq -1.75$  arasında olan kümelerle (metalce en fakir), metal bolluğu  $[Fe/H] > -1.75$  dex olan (metalce zengin) kümeler arasındaki ortalama yaş farkı yaklaşık 1.5 Gyr olduğu görülmektedir. Ayrıca metalce en fakir olan kümeler düzlemden daha uzaklıkta bulunmaktadır. İç haloya bakıldığında, metalliği  $[Fe/H] \leq -1.75$  dex olan metalce en fakir kümelerin düzlemden çok da uzakta olmadığı yaklaşık 4.5 kpc yukarısında buldukları görülmektedir. Ayrıca aynı metalik değerinde dış halo kümelerine göre de yaklaşık 1 Gyr daha yaşlı olduğu görülmektedir. Buradan metalce en fakir kümelerin düzlemin en uzağında bulunacağına dair kabul görülen kuramsal teoreminin gerçeği yansıtmadığı görülmektedir. Yine iç halo incelendiğinde orta metalikteki ( $-1.1 \geq [Fe/H] > -1.75$  dex ) kümelerin ortalama yaşları metalce en fakir olanlarla hemen hemen aynıdır. Metalce en zengin olan



Şekil 10. Küresel kümelerin yaş - galaktik merkezden uzaklıkları dağılımı. Veriler Harris (1996) ve Salaris ve Weiss (2002).

0.5 5

**Çizelge 3.** İç ve Dış halonun özellikleri.  $[Fe/H]$  verileri Zinn ve West (1984), yaşlar Salaris ve Weiss (2002),  $R_{gc} \leq$  verileri Harris (1996).

		$R_{gc} > 9$ kpc	Dış Halo		
Metal aralığı	N	$\langle [Fe/H] \rangle$	$\langle (R_{gc}) \rangle$	$\langle \text{Age} \rangle$	
			kpc	Gyl	
$[Fe/H] \leq -1.75$	19	-2.01	30.57	11.59	
$[Fe/H] > -1.75$	20	-1.47	28.72	10.04	
		$R_{gc} \leq 9$ kpc	İç Halo		
$[Fe/H] \leq -1.75$	13	-1.88	4.48	12.4	
$-1.1 \geq [Fe/H] > -1.75$	33	-1.46	4.01	12.39	
$-0.39 \geq [Fe/H] > -1.1$	25	-0.72	3.93	10.6	
$[Fe/H] > -0.39$	10	-0.14	1.94		

( $0.39 \leq [Fe/H] > -1.1$  dex ) kümelerin yaşları ise metalce fakir olanlardan yaklaşık olarak 1.8 Gyl daha küçüktür. Bu sonuç, metalce zengin kümelerin metalce fakir olanların oluşumunu takiben birkaç Gyl sonra oluştuğunu düşündürmektedir. Bu sonuçlara bakıldığında, metalce en fakir kümeler ile orta metalikteki kümeler küçük bir yaş aralığıyla yaşları benzerlik göstermektedir, yaşla galaktik merkezden uzaklık arasında herhangi bir ilişki bulunmamaktadır,  $R_{gc} > 20$  kpc bölgesindeki kümelerin hepsi yaşlıdır ki bu kümelerin hepsi metalce fakir olanlardır.

#### 4 Gökadanın Oluşum Senaryoları

Gökadamızın oluşumuyla ilgili genel olarak kabul edilen iki temel senaryo vardır. Bunlardan ilki 1962 de önerilen ELS olarak bilinen senaryodur. Bu senaryoya göre; yaklaşık 10 Gyl önce protogökada, gökadalararası materyallerle birlikte çökmeye başlamıştır. Var olan dönme ve kazanılan açısal momentum yoğunlaşmaya neden olur. Bu çöken materyaller, daha sonra küresel kümeler ve küresel kümeler benzeri yıldızların şekillendiği ortam olarak yoğunlaşırlar. Gökadanın radyal yöndeki bu çöküşü, sonunda dönüşle (rotasyon) birlikte durur, ancak Z yönündeki çökme ince disk oluşana dek devam eder. Yoğunluğun artmasıyla, yıldız oluşum oranı artar. İlk nesil yıldızların evriminde kalan gaz oluşan ağır elementlerle zenginleşir, daha sonraki nesiller de aynı materyalden oluşur. Sıcak hale gelen gaz, çökme enerjisinin çoğunu etrafa saçar. İlk olarak, gaz yıldızların yörüngelerini takip eder, ancak gaz ve yıldızlar ilk gökada merkezinden ayrılmıştır, sonra, ekstra enerjisi diğer gaz bulutlarıyla çarpışarak rahatlar, açısal momentumuna uygun dairesel yörüngelerde yerleşmiş gaz dairesel yörüngeler etrafında hareket eden sonraki nesil yıldızları üretmeye devam eder. İlk nesil yıldızları, diğer taraftan, orijinal çökmeyle beraber bir hayli eksantrik yörüngeler üretmeye devam eder. Modele göre, en yaşlı yıldızlar gaz halodan galaktik merkeze doğru radyal yönde çökerken oluşmuştur. Bu çökme, gaz dairesel yörüngelerde dengeye gelinceye

**Çizelge 4.** Samanyolu tarafından Sagittarius cüce gökadasından yutulan küresel kümeler ve özellikleri.

ID	[Fe/H]	$\ell$	$b$	$R_{\odot}$	$R_{gc}$	X	Y	Z	Yaş(Gyıl)
Arp2	-1.76	8.55	-20.78	28.6	21.4	26.5	4	-10.2	
NGC 6715	-1.58	5.61	-14.09	26.8	19.2	25.9	2.5	-6.5	
Terzan 7	-0.58	3.39	-20.07	23.2	16	21.8	1.3	-8	7.5
Terzan 8	-2	5.76	-24.56	26	19.1	23.6	2.4	-10.8	

dek  $\sim 2.108$  yıl gibi oldukça hızlı sürede meydana gelmiştir. Kısaca bu modele göre, gökadamız metalce fakir, küresel bir gaz bulutunun, kütle çekim merkezine doğru çökmesiyle başlamaktadır. Bulutun yarıçapı giderek küçüldükçe enerjinin dağılımı ve dönüş hızının giderek artması nedeniyle küresel biçim bozulmakta ve dönüş eksenin etrafında gitgide daha basık hale gelen bir yapı oluşmaktadır. Süreç, sonunda merkezde bir topak ve çevresinde hızla dönen ince diskin ortaya çıkmasıyla bitmektedir. Yine bu modele göre, gökadamızda ki en yaşlı yıldızlar ve küresel yıldız kümeleri bulutun çöküşü sırasında oluşmuşlardır,  $\sim 2.108$  yıl alan hızlı çöküş süresince oluşup patlayan dev yıldızlar, diski oluşturan gazı metalce zenginleştirdiler. Bu nedenle halodaki yıldız ve küresel kümeler metalce fakir kalırken, diskteki yıldızlarda bu oran gittikçe artış göstermektedir. Diğer senaryo ise, 1978 yılında Searle ve Zinn (1978) tarafından ortaya atılan etkileşimli diğer bir adıyla hiyerarşik modeldir. Bu senaryoya göre, gökadamızın halosu cüce gökadalara etkileşerek oluşmuştur. Bu tür etkileşime için örnek olarak, gökadamızın günümüzde sagittarius cüce gökadasını yutması verilmektedir. Gökadamız bu uydusundan dört küresel kümeyi kendi envanterine katmış durumdadır. Bu kümelerin özellikleri Tablo 4 de verilmiştir. Uzun süredir Samanyolu nun sanılan bu kümelerin, yutulan gökada ait olduğu daha yenilerde anlaşılmıştır. Gökadamız, farklı zamanlarda, farklı yerlerde doğmuş ve yaşamlarının çoğunu farklı gökadalara farklı ortamlarında geçirmiş yıldızları toplamaya devam ettiği görülmektedir. Gökadamız çevresindeki küresel biçimli bazı cüce gökadalara genç küresel kümelerin, daha önce Samanyolu tarafından yutulmuş uyduların olduğu düşünülmektedir. Yine modele göre dış halodaki küresel kümelerin ve yıldızların olduğu gaz gökada içine doğru çökmeye devam eder, ki bir zaman sonra çökme merkezi oluşturur. Çöken gaz enerjisinin büyük bir kısmını yüksek yoğunluklu bölgelere dağıtırken etkileşimler bu bölgedeki geçirgenliği artırır, ki bölgelerde halo yıldızları ve kümeleri oluşmuştur. Yıldızlar ve kümeler oluştuktan sonra gökada dinamik olarak dengeye gelene dek çökmeye devam eder ve günümüzdeki haloyu oluşturur. Gaz bu şekilde ilk yıldız oluşum bölgeleri kaybederek en sonunda galaktik diski oluşturur.

#### 4.1 Oluşum Senaryolarının Karşılaştırılması

ELS modelinde, çöküşün tek bir gaz bulutundan olduğu ve çökmenin homojen olduğu varsayıldığından, gökadamın dik yönde metal gradiyentinin olması gereklidir. Aynı zamanda çöküşün hızlı olduğu düşünüldüğünden küresel

kümelere arasındaki yaş farkının da küçük olması gereklidir ki bu yaş farkının birkaç Gyl olduğu bilinmektedir. Bu senaryo için sunulan diğer bir kanıtta, en yüksek hızlara ve en eliptik yörüngelere halo yıldızlarının sahip olmasıdır. Bunu halo yıldızlarının bulut içinde çöküşü sırasında oluşmalarına bağlanmaktadır. Yıldız, yörüngesinin hız ve biçimini, buluttan miras aldığından, çöküşün, dairesel yörüngeleri bozarak uzamış elipsler haline getirdiği savunulmaktadır. Ancak gökadamızdaki iç halo ve dış halonun özelliklerine (Tablo 3) bakıldığında metalik gradientinin olmadığı gözükmektedir. Yani halodan diske doğru metalik artışın artacağı şeklindeki bir eğilimin olmadığı görülmektedir. Diğer senaryoya yani hiyerarşik etkileşimli senaryoya göre ise, gökadamın bir takım küçüme gökadalara birleşmesi veya gökadamıza dışarıdan önemli miktarda gaz akışı sonucunda oluştuğu düşünüldüğünden halo içinde bir metal gradientinin olması beklenmemektedir. Tablo 3 incelendiğinde gökadamızda böyle bir metal gradientinin olmadığı görülmektedir. Aynı zamanda çökmenin yavaş olduğu varsayıldığından küresel kümelere arasındaki yaş farkının da büyük olması beklenmektedir. Ancak kümelere arasındaki yaş farkı beklenildiği gibi büyük değil aksine birkaç Gyl gibi oldukça küçük değerler sahiptir. Bu senaryo için sunulan diğer bir kanıt ise Samanyolu tarafından Sagittarius küçüme gökadasından yutulan küresel kümelere gösterilmektedir. Bu model halodaki küresel kümelere özellikleri incelendiğinde halonun oluşumu için iyi bir açıklama sunsa da, bu kümelere arasındaki yaş farkının beklenildiğinden küçük olması dezavantajdır.

## 5 Sonuç

Küresel kümelere, zengin, yoğun, yaklaşık küresel yüzlerce, binlerce hatta milyonlarca yıldız içeren gruplardır. Yıldızlar kürenin merkezinde çok yoğun bir şekilde bulunmakta, merkezden çevreye gittikçe yoğunlukları azalmaktadır. Verilen bir küresel küme içindeki yıldızlar, hemen hemen aynı yaşadıkları, başlangıçta aynı kimyasal kompozisyonda meydana gelmişlerdir ve gözlemlenen yere göre aynı uzaklığa sahiptirler. Kümelere parlaklığı ve kendine özgü görünümü sayesinde büyük uzaklıklarda bulmak diğerlerine göre daha kolaydır. Bu kümeleredeki yıldızlar ağır metalleri tükettiklerinden galaktik diskteki çoğu yıldızdan kimyasal kompozisyonları farklıdır. Bu karakteristikleri onların gökadamın uzak bölümlerindeki çalışmalar için anahtar nesnelere olmalarının başlıca nedenleridir. Kümelere uzaysal dağılımı ve kimyasal kompozisyonlarından dolayı çoğu yıldızdan açıkça farklılık gösterir, bu kümelere yapının sıradan yıldızlardan farklı bir yönünü ortaya koymaktadır. Çünkü bunlar gökadamdaki tanımlanabilir en yaşlı nesnelere, yaşları 10-14 Gyl olup neredeyse evrenin yaş kadardır. Bu farklılıklar bize evrenin oluşumu ve ilk evrelere hakkında bilgiler verir. Yani küresel kümelere gökadamızın tarihi hakkında bilgiler içeren en çok gözlemlenebilir nesnelere. Küresel kümelere uzaydaki dağılımları incelenecek olursa, galaktik ekvatorun küresel kümelere sistemi için bir simetri düzlemi olduğu görülmektedir. Bu kümelere, gökadamdaki diğer nesnelere gibi, Galaktik merkez etrafındaki yörüngede bulunmaktadırlar. Halo kümelere yörüngelerini inceleyen araştırmalar yörüngelerin dairesel olmadığı ve aslında rast gele yönelmiş olduğunu göstermektedir. Bu

nedenle galaktik kümelerin aksine küresel kümeler çoğunlukla Galaktik dönmeye katılmazlar ve hatta bazıları dönmeye karşı bir hareket göstermektedirler. Gökadamızdaki küresel kümelerin metal bollukları  $-2.58 \leq [Fe/H] \leq 0.24$  arasında değişmektedir. Şekil 5 ve 6 dan da görüldüğü gibi küresel kümelerin metal bolluğu dağılımı yaklaşık  $-1.6$  ve  $-0.5$  değerlerindeki pikleriyle ikili bir dağılım göstermektedirler. Şekil 8 de  $-2.28 \leq [Fe/H] \leq -0.8$  aralığındaki halo kümelerin metal bolluğu dağılımındaki pik  $-1.57463 \pm 0.03283$  olarak bulunmuştur. Bu değer Zinn and West (1984) tarafından önerilen değerle örtüşmektedir. Küresel kümeler metal bollukları kullanılarak halo ve disk popülasyonu olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Metal bolluğu  $[Fe/H] = -0.8$  den büyük olanlar disk kümeleri, metal bolluğu  $-0.8$  den küçük olanlarda halo kümeleri olarak adlandırılmaktadır. Küresel kümelerin yaklaşık %30 u disk kümeleridir. Metal bolluğu  $-0.8 \leq [Fe/H] \leq 0$  arasında olan metalce zengin kümeler ise galaktik düzleme çok yakın bir bölgede yaklaşık düzleme düzleminden 3.5 kpc yukarısında kalan alanda ve oldukça düz bir dağılım göstermektedirler. Bu dağılımları Şekil 8 den rahatlıkla görülmektedir. Tablo 3 de görüldüğü gibi, metal bolluğu  $[Fe/H] \leq -1.75$  olan metalce en fakir kümeler hem dış haloda hem de iç haloda bulunmaktadır. Bu kümelerin yaşlarına baktığımızda ise iç haloda ki kümelerin dış halodaki kümelere göre daha yaşlı olduğu görülmüştür. Bu iki sistem arasında ki yaş farkı yaklaşık 1 Gyıl olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlara göre daha önce kuramsal olarak kabul gören en yaşlı kümeler halonun en dışındadır görüşünün aslında gerçeği yansıtmadığı görülmektedir. Metalce en fakir kümelerin en yaşlı, metalce en zengin kümelerin de en genç olduğu görüşü doğru olmakla birlikte; halodan diske doğru metal bolluğun giderek artacağı bu neden ile kümelerin yaşlarının halodan diske doğru giderek artacağı yönündeki görüşün doğru olmadığı sonucu çıkarılmaktadır. Metalce en fakir kümeler en yaşlı, metalce zengin olanlar ise daha gençtir. Metal yönünden fakir kümeler haloda yer aldığı için halonun disk kümelerinden daha yaşlı olduğu sonucuna varılmaktadır. Buradan, ilk zamanlarda bilinenin aksine küresel kümelerin aynı yaşta olmadığı, küme sistemleri arasında belli bir yaş aralığı olduğu bulunmaktadır. Bu yaş farklarının bize gökadanın oluşum sürecini yansıttığı düşünülmektedir. Bu yaş farkının bugünlerde birkaç milyar yıl olduğu düşünüyor ve bu da Samanyolu nun ilk zamanlarındaki gelişmelerin çok kısa sürede gerçekleştiğini göstermektedir. Gökadanın oluşumu için ortaya atılan senaryoların popülasyonlar arasındaki bu yaş farkını açıklaması gerekmektedir. ELS modeli disk, hiyerarşik model ise halo için yeterli açıklamalar getirmektedir. İki modelin de güçlü yanları bulunduğundan, kaçınılmaz olarak günümüzde her iki düşünceyi bağdaştıran modeller benimsenmiş durumdadır.

## Kaynaklar

- Armandroff, T.E., Da Costa, G. S., Zinn, R.,. Metallicities for the outer-halo globular clusters PAL 3, 4, and 14. *Astronomical Journal*, **104** (1992) 164.  
Carretta, E., Bragaglia, A., Gratton, R., D'Orazi, V., Lucatello, S., Intrinsic iron spread and a new metallicity scale for globular clusters, **508** (2009) 695.  
Eggen, O. J., Lynden-Bell, D., Sandage, A. R., Evidence from the motions of old stars that the Galaxy collapsed. *Astrophysical Journal*, **136** (1962) 748.



- Harris, W. E. Globular Clusters in the Milky Way, A Catalog of Parameters for Globular Clusters in the Milky Way, *Astrophysical Journal*, **112** (1978) 1487.
- Salaris, M., Weiss, A., Homogeneous age dating of 55 Galactic globular clusters. Clues to the Galaxy formation mechanisms. *Astronomy and Astrophysics*, **388** (2002) 492.
- Searle, L., Zinn, R., Compositions of halo clusters and the formation of the galactic halo . *Astrophysical Journal*, **225** (1978) 357.
- Zinn, R., West, M. J., The globular cluster system of the galaxy. III - Measurements of radial velocity and metallicity for 60 clusters and a compilation of metallicities for 121 clusters . *Astrophysical Journal Supplement Series*, **55** (1984) 45.