

# Samanyolu Galaksisi'nin I. ve III. Çeyreğindeki Açık Kümelerin Dinamik Evrimi

Hikmet Çakmak  

*Istanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, İstanbul 34116, Türkiye*

Accepted: December 22, 2022. Revised: December 21, 2022. Received: October 22, 2022.

## Özet

Samanyolu Galaksisi'nin genel dinamik özellikleri, galaksinin I. ve III. çeyreğinde metal bolluğu ve radyal hızları bilinen birkaç örnek açık yıldız kümesinin kinematik ve dinamik parametreleri yardımıyla ortaya konulmaya çalışılmıştır. Bu amaçla I. çeyrekte Berkeley 45, NGC 6802 ve Ruprecht 143, III. çeyrekte NGC 2194, NGC 2266 ve NGC 2304 açık kümelerinin *Gaia* üçüncü erken veri sürümündeki (*Gaia* EDR3) fotometrik ve astrometrik verileri kullanılmıştır. Seçilen kümeler nispeten yaşlı kümelere (0.85-1.25 Gyr) olup,  $R_{\text{core}}=[0.45,1.20]$  pc ve  $R_{\text{lim}}=[1.44,6.91]$  pc değerleriyle nispeten küçük küme boyutlarına sahiptir. Altı kümenin gevşeme zamanlarının yaşlarından küçük olması dinamik olarak evrimleştiklerini göstermektedir. NGC 2226, NGC 2304, NGC 6801 ve Be 45 kümelerinin yaşlı ve küçük boyutlu oluşu dış dinamik etkiler nedeniyle büzülüklerine işaret etmektedir. Ancak bu etkilere rağmen kümeler özelliklerini yitirmemişlerdir.

## Abstract

The general dynamical properties of the Milky Way Galaxy have been tried to be revealed with the help of the kinematic and dynamic parameters of a few sample open star clusters whose metal abundance and radial velocities are known in the 1st and 3rd quarters of the galaxy. For this purpose, photometric and astrometric data from the *Gaia* third early data release (*Gaia* EDR3) of the Berkeley 45, NGC 6802 and Ruprecht 143 open clusters in the 1st quarter, NGC 2194, NGC 2266 and NGC 2304 in the third quarter were used. The selected clusters are from relatively old clusters (0.85-1.25 Gyr) and have relatively small cluster sizes with  $R_{\text{core}}=[0.45, 1.20]$  pc and  $R_{\text{lim}}=[1.44,6.91]$  pc. The fact that the relaxation times of the six clusters are lower than their age indicates that they have evolved dynamically. The old and small size of the NGC 2226, NGC 2304, NGC 6801 and Be 45 clusters indicates that they are shrinking due to external dynamic effects. However, despite these effects, the clusters did not lose their properties.

**Anahtar Kelimeler:** Galaxy: evolution, Galaxy: kinematic and dynamics, open clusters and associations: individuals

## 1 Giriş

Açık kümeler (OCs) küresel kümeler gibi bir galaksinin önemli bileşenlerinden biridir. Bir galaksinin genel kinematik, dinamik ve kimyasal özelliklerinin anlaşılabilmesi bu alt bileşenlerinin özelliklerinin doğru şekilde beirlenmesine bağlıdır. Ayrıca OC'lerin yapıları, dağılımları ve hızlarıyla dinamik evrimleri arasındaki ilişkiyi anlamak, yıldız oluşum sürecini anlamamıza da imkan verecektir. Günümüzdeki anlayış kapsamında yıldızlar çoğunlukla gruplar ya da kümeler halinde oluşmaktadır. Ancak daha sonra buldukları gaz ortamın ve diğer cisimlerin kütle çekimsel etkileri sonucunda büyük bölümünün buldukları ortama dağıldıkları ve pek azının çekimsel etkiler ile bir arada durdukları düşünülmektedir (Lada & Lada 2003; Gutermuth ve diğ. 2009; Gouliermis 2018). Teorik çalışmalar sonucunda iki farklı küme oluşum modeli geliştirilmiştir. İlki yıldız kümesinin tek bir moleküler bulut çekirdeğinde doğduğu monolitik küme oluşumu (Elmegreen 2000), diğeri ise daha küçük alt kümelerin birleşmesiyle daha büyük kümelerin oluşturulduğu hiyerarşik küme oluşumudur (Bonnell ve diğ. 2003; Banerjee & Kroupa 2015). Monolitik model ağırlıklı olarak genç yıldız kümeleri için uygun bir yaklaşım iken hiyerarşik model büyük yıldız kümeleri için uygun görünmektedir. Kuhn ve diğ. (2019)'ne

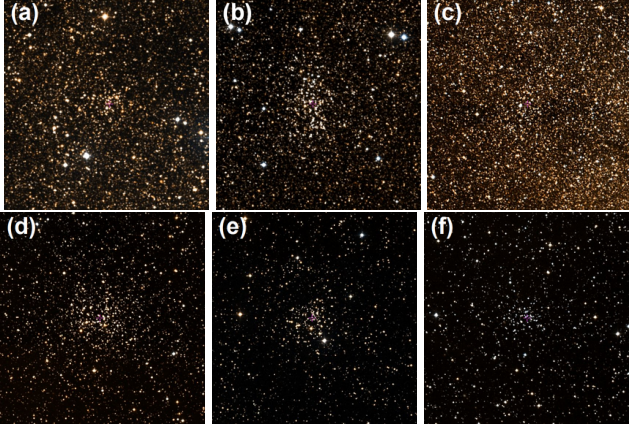
göre kümelerin kinematiği, kümelerin oluşum süreçlerine ait belirtileri göstermesi gereklidir. Bu açıdan OC'lerin kinematik ve dinamik özelliklerinin belirlenmesi kümelerin bu teorik oluşum mekanizmalarının test edilmesine ve mevcut modellerin geliştirilmesine de olanak sağlayacaktır.

Bu çalışmanın amacı Samanyolu'nun merkeze yakın ve uzak bölgelerdeki kümelerin dinamik parametrelerindeki farklılıklar yardımıyla kümelerin dinamik evrimlerinin incelenmesidir. Bu amaçla literatürde mevcut kataloglardan radyal hızları belirlenmiş ve *Gaia* EDR3 öz hareket ( $\mu_{\alpha} \cos \delta, \mu_{\delta}$ ) (PM) grafiklerinde belirgin bir yoğunluk gösteren kümeler dikkate alınmıştır. Buna göre Samanyolu'nun I. çeyreğinde Berkeley 45, NGC 6802 ve Ruprecht 143 ve III. çeyreğinde de NGC 2194, NGC 2266 ve NGC 2304 açık kümeleri çalışma için seçilmiştir. Bu kümelerin ekvatorial ve galaktik koordinatları Çizelge 1'de, Aladin *Sky Atlas*'tan alınan gökyüzü görüntüleri Şekil 1'de verilmiştir. Yapılan analizler merkeze yakın kümelerin uzak olanlara kıyasla daha fazla çevresel etkilere maruz kaldıklarını göstermektedir. Bu nedenle daha küçük kor ve limit yarıçapına, ayrıca daha küçük ortalama kütleyle sahiptirler.

## 2 Kümelerin Verisi

Küme seçimi sırasında mümkün olduğunca literatürdeki en güncel kataloglar kullanılmıştır. Radyal hız verileri Dias ve diğ.

\* hcakmak@istanbul.edu.tr



Şekil 1. Üzerinde çalışılan kümelerin Aladin Sky Atlas'tan alınan gökyüzü görüntüleri. (a) Berkeley 45, (b) NGC 6802 ve (c) Ruprecht 143, (d) NGC 2194, (e) NGC 2266 ve (f) NGC 2304.

(2021) kataloğundan, ön seçim için *Gaia* DR2 üyelik verileri Cantat-Gaudin ve diğ. (2020) kataloğundan ve öz hareket değerleri *Gaia* EDR3 kataloğundan alınmıştır (*Gaia* işbirliği 2021). Seçilen kümelerin *Gaia* EDR3 PM grafiğinde belirgin bir yoğunluk göstermesi üyelik belirleme işlemi için yeterli sayıda yıldızın bulunmasına işaret etmesi bakımından önemlidir. Analizler için *Gaia* EDR3 kataloğundaki ekvatorial koordinatları (RA, DEC), *Gaia* fotometrik parlaklıkları ( $G, G_{BP}, G_{RP}$ ), trigonometrik paralaks ( $\varpi$ ), öz hareket bileşenleri ( $\mu_{\alpha} \cos \delta, \mu_{\delta}$ ) ve radyal hız ( $V_R$ ) verileri kullanılmıştır.

### 3 Üyeliklerin Belirlenmesi

Bir açık kümenin üyelerinin belirlenmesi küme çalışmalarının önemli aşamalarından biridir. PM grafiklerinde küme üyelerinin belirli bir nokta etrafında yoğunluk göstermesi nedeniyle PM değerleriyle birlikte trigonometrik paralaksın da dikkate alındığı üç parametrelili seçim, üyelerin büyük çoğunlukla tespitine imkan vermektedir. Günümüzde, özellikle python kodlamanın yaygınlaşmasıyla birlikte, UPMASK (Unsupervised Photometric Membership Assignment in Stellar Cluster; Krone-Martins & Moitinho 2014) ve GMM (Gaussian Mixture Model; Pedregosa ve diğ. 2011) üyelik belirleme yöntemleri sıklıkla kullanılmaktadır. Bu çalışmada GMM tercih edilmiş olup çoklu bileşen (ikiden fazla yoğunluk noktası) seçimiyle mümkün olduğunca PM grafiğindeki yoğunluk bölgesinin seçilmesi sağlanarak üyelikler belirlenmiştir.

### 4 Astrofizik, Kinematik ve Dinamik Parametrelerin Hesaplanması

Kümenin yapısal parametreleri olan  $R_{core}$  ve  $R_{lim}$  değerlerini elde etmek için küme merkezine göre kümenin Radyal Yoğunluk Profili'nin (RDP) oluşturulması gereklidir. Bunun için *Gaia* EDR3 verisi kullanılarak küme merkezi etrafında oluşturulmuş eş-merkezli halka alanları içindeki yıldız yoğunluk değerleri hesaplanır. Ardından belirli uzaklıktaki yoğunluk değerlerine

$$\sigma(R) = \sigma_{bg} + \frac{\sigma_0}{1 + (R/R_{core})^2} \quad (1)$$

bağıntısı (King 1962) ile bir eğri fiti uygulanarak kümenin kor yarıçapı  $R_{core}$  elde edilir. Burada  $\sigma(R)$ ,  $R$  uzaklığındaki yıldız yoğunluğu,  $\sigma_{bg}$  zemin yıldız yoğunluğu,  $\sigma_0$ , kümenin merkez

Çizelge 1. Seçilen altı kümenin ekvatorial ve galaktik koordinatları.

Küme	$\alpha$ (J2000) (hh mm ss.s)	$\delta$ (J2000) (dd mm ss.s)	$l^\circ$	$b^\circ$
Berkeley 45	19 19 04.4	+15 43 02.5	50.03	1.17
NGC 6802	19 30 34.5	+20 15 49.2	55.33	0.92
Ruprecht 143	18 32 40.2	-12 08 24.0	20.01	-1.42
NGC 2194	06 13 44.6	+12 48 30.4	197.25	-2.35
NGC 2266	06 43 19.2	+26 58 21.8	187.79	10.30
NGC 2304	06 55 12.3	+17 58 58.3	197.21	8.90

yıldız yoğunluğudur.  $R_{lim}$  değeri de

$$R_{lim} = R_{core} \sqrt{\frac{\sigma_0}{3\sigma_{bg}} - 1} \quad (2)$$

bağıntısıyla hesaplanır (Bukowiecki ve diğ. 2011).

Kümenin yaşı ve uzaklığı *Gaia* parlaklıklarıyla oluşturulan renk-parlaklık diyagramına (CMD) uygun PARSEC (PAдова and TRieste Stellar Evolution Code) eş-yaş eğrileri (Bressan ve diğ. 2012) fit edilerek eş-zamanlı tayin edilir.

Her bir kümenin toplam kütle kümenin eş-yaş eğrisi kullanılarak üye anakol yıldızlarının kütlelerinden itibaren belirlenir. Anakol yıldızlarının kütle dağılımlarına  $\log(dN/dM) = -(1+\chi) \log(M) + C$  bağıntısı fit edilerek oluşturulan fonksiyon yardımıyla kümenin toplam kütlesi hesaplanmaktadır.

Kümenin Galaktik yörünge parametreleri Bovy (2015) tarafından geliştirilen python kütüphanesindeki GALPY paketi kullanılarak hesaplanmıştır. GALPY paketindeki MWPotential2014 Samanyolu galaktik potansiyeli fonksiyonlarıyla kümelerin Galaktik yörünge parametreleri dışında uzay hızı bileşenleri ve yörünge biçimi gibi diğer parametreleri belirlenmektedir.

Kinematik hesaplamalarda gevşeme zamanı (relaxation time)  $t_{rx}$  bir açık küme içindeki kor/halo yıldızlarının buldukları bölgeyi katetmek için geçen süre olarak tanımlanır ve Spitzer & Hart (1971) tarafından verilen

$$t_{rx} = \frac{8.9 \times 10^5 \sqrt{N} \times R_h^{3/2}}{\log(0.4N) \times \sqrt{m}} \quad (3)$$

bağıntısıyla hesap edilir.  $N, R_h, m$ , sırasıyla, küme üye sayısını, yarı-kütle yarıçapını ve kümenin ortalama kütlelerini göstermektedir. Burada  $R_h$  toplam küme kütlelerinin yarısının içinde bulunduğu yarıçap olup

$$R_h = 0.547 \times R_{core} \times \left( \frac{R_J}{R_{core}} \right)^{0.486} \quad (4)$$

bağıntısıyla hesaplanır (Larsen 2006). Burada  $R_J$  gelgit yarıçapıdır ve bu değer Kim ve diğ. (2000) çalışmasında

$$R_J = \left( \frac{M}{2M_G} \right)^{1/3} \times R_{GC} \quad (5)$$

bağıntısıyla verilmiştir. Burada  $M$  kümenin toplam kütlesi,  $R_{GC}$  kümenin Galaksi merkezine olan uzaklığıdır.  $M_G$  kümenin Galaksi merkezine olan uzaklığı içinde kalan toplam Galaksi kütlesi olup Genzel & Townes (1987) tarafından

$$M_G = 2 \times 10^8 M_\odot \left( \frac{R_{GC}}{30 \text{ pc}} \right)^{1.2} \quad (6)$$

şeklinde tanımlanmaktadır. Ayrıca Piskunov ve diğ. (2007)

**Çizelge 2.** İncelenen altı küme için elde edilen astrofizik, yapısal, kinematik ve dinamik parametreler. Satır 22'de verilen  $T$  değeri kümenin Galaksi merkezi etrafındaki bir turu için geçen zamanı gösterip birimi Myıl'dır.  $N_{\text{Tur}}$  de kümenin doğduğu günden günümüze kadar Galaksi merkezi etrafında attığı tur sayısındır (son satır).

#	Parametre	Be 45	NGC 6802	Ru 143	NGC 2194	NGC 2266	NGC 2304
1	Yaş (Myıl)	1050±100	1250±200	850±100	950±100	1150±100	1100±100
2	d (pc)	2566±67	1893±90	1875±73	2792±101	3108±79	3708±101
3	$Z$	0.012	0.008	0.008	0.006	0.008	0.008
4	$E(G_{\text{BP}}-G_{\text{RP}})$	1.30±0.04	1.12±0.07	1.20±0.03	0.64±0.03	0.14±0.03	0.09±0.03
5	$E(B-V)$	0.94±0.03	0.81±0.05	0.87±0.02	0.46±0.02	0.10±0.02	0.07±0.02
6	Üye Sayısı	152	512	226	841	273	111
7	$R_{\text{core}}$ (pc)	0.45±0.02	0.61±0.03	0.64±0.10	2.17±0.16	1.20±0.10	1.15±0.08
8	$R_{\text{lim}}$ (pc)	2.66±0.22	3.02±0.17	1.44±0.12	6.91±0.24	4.95±0.26	3.81±0.30
9	$V_{\text{R}}$ (km/sn)	6.66±0.71	11.60±3.83	11.43±3.13	10.68±2.27	37.89±0.69	49.56±0.58
10	$R_{\text{min}}$ (kpc)	5.97	6.61	6.47	9.91	10.78	10.32
11	$R_{\text{max}}$ (kpc)	6.86	7.58	6.88	11.65	12.2	11.88
12	$z_{\text{max}}$ (kpc)	0.08	0.05	0.04	0.11	0.63	0.61
13	$R_{\text{GC}}$ (kpc)	6.84	7.29	6.47	10.90	11.25	11.76
14	ecc	0.07	0.07	0.03	0.08	0.06	0.07
15	$\Sigma M / M_{\odot}$	122.4±15.8	290.8±31.9	281.0±35.8	561.6±74.5	257.7±46.1	120.4±78.2
16	$\langle M / M_{\odot} \rangle$	0.98±0.18	0.82±0.12	0.80±0.13	1.11±0.20	1.26±0.31	1.30±1.19
17	$R_{\text{J}}$ (pc)	5.25±0.02	7.28±0.04	6.70±0.07	11.54±0.11	9.08±0.07	7.23±0.07
18	$R_{\text{h}}$ (pc)	0.79±0.04	1.15±0.04	1.10±0.08	2.68±0.09	1.79±0.07	1.55±0.06
19	$t_{\text{rlx}}$ (Myıl)	4.2±0.5	10.7±1.0	10.0±1.5	36.3±4.0	14.1±2.0	9.3±4.5
20	$t_{\text{diss}}$ (Myıl)	39.7±3.7	107.9±8.2	98.9±12.9	531.2±44.3	195.9±21.2	107.9±35.6
21	$\tau_{\text{dyn}}$	252±38	117±22	85±16	26±4	81±14	119±58
22	$T$ (Myıl)	174	187	164	295	304	316
23	$N_{\text{Tur}}$	6.0	6.7	5.2	3.2	3.8	3.5

tarafından verilen  $r_t=1.54 \times R_{\text{lim}}$  analitik gelgit yarıçapı bağıntısı da hesaplamalarda kullanılmıştır.

Bir küme için dinamiksel gelişim parametresi  $\tau = \text{yaş}/t_{\text{rlx}}$  bağıntısıyla hesaplanır ve kümenin çözülme zamanı  $t_{\text{diss}}$  (dissociation time)

$$t_{\text{diss}} = 250 \text{ Myıl} \left( \frac{M}{300 M_{\odot}} \right)^{1/2} \times \left( \frac{R_{\text{h}}}{2 \text{ pc}} \right)^{-3/2} \quad (7)$$

bağıntısı kullanılarak elde edilmektedir (Binney & Tremaine 2008; Converse & Stahler 2011).

## 5 Analiz Sonuçları

§3 ve §4'te verilen açıklamalar ışığında kümelerin üyelikleri GMM metodu kullanılarak belirlenmiş ve *Gaia* CMD'lerine uyan en uygun PARSEC eş-yaş eğrileri seçilmiştir (Şekil 2). Bu eş-yaş eğrilerinin *Gaia* CMD'lerine fit edilmesiyle küme yaşı, uzaklığı ve metal bolluğu elde edilmiş ve sonuçlar Çizelge 2'de verilmiştir. Hesaplamalar sonucu elde edilen kinematik/dinamik parametreler, yörüngesel parametreler, kütle fonksiyonuyla hesaplanan toplam/ortalama kütle değerleri de aynı çizelgede listelenmiştir.

Kümelerin evrimsel gelişimleri ortaya koymak amacıyla astrofizik ve yapısal değişkenlerin kinematik ve dinamik değişkenlere göre değişimleri incelenmiştir. Bu amaçla oluşturulan grafikler Şekil 3'de toplu olarak verilmiştir.

## 6 Tartışma ve Sonuç

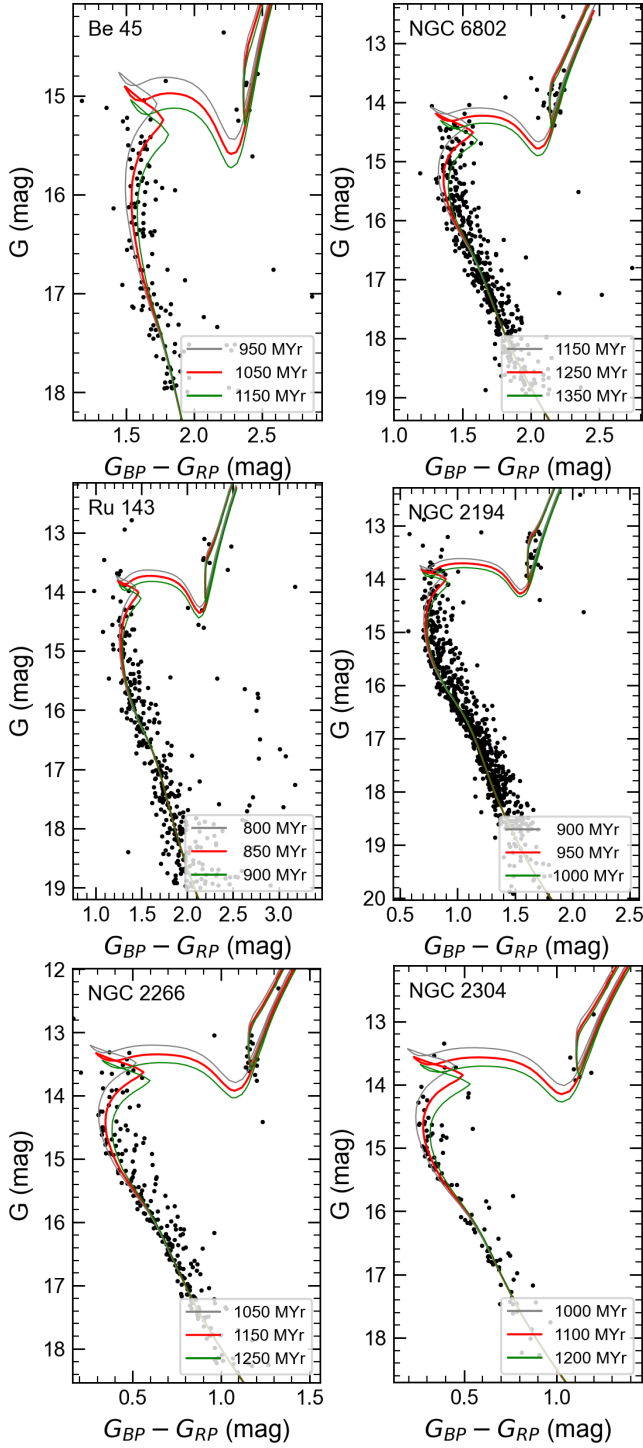
*Gaia* CMD'leriyle hesaplanan küme yaşları literatürde verilenlere (Çizelge 3) yakın olmak beraber biraz daha yaşlıdır.

Bu, elde edilen ağır metal bolluklarının literatürde verilen değerlere göre daha küçük olmasının bir sonucu olabilir. Çünkü diğer araştırmacılar çoğunlukla varsayım olarak Güneş bolluğunu kabul etmişlerdir. Ancak bu çalışmada kümelerin ağır element bollukları belirlenirken varsayım yapılmadan en uygun değer elde edilmeye çalışılmıştır. Buna göre ağır element bolluklar  $0.006 \leq Z \leq 0.012$  aralığında olup Güneş bolluğuna göre ( $Z=0.0152$ ) daha fakirdir. Diğer taraftan eş-yaş eğrileriyle hesaplanan küme uzaklıkları ise literatürdekilere göre daha küçüktür. NGC 2304 haricindeki diğer kümelerin  $E(B-V)$  renk artıkları literatürde verilenler ile hata sınırları içinde uyumludur.

Küme kor yarıçapları Bukowiecki ve diğ. (2011) ve Kharchenko ve diğ. (2013) tarafından verilen değerler (Çizelge 4) ile hata sınırları içinde uyumludur. Ancak küme limit yarıçapları iç kümelerde %50 küçük iken dış kümelerde iki kat daha küçüktür.

Yapılan analizler ışığında kümelerin kinematik ve dinamik gelişimleri üzerine şu çıkarımlar yapılabilir:

- İncelenen kümeler yaşlı olup 0.85 ile 1.25 Gyl yaş aralığındadır ve  $R_{\text{core}}=0.45-2.17$  pc,  $R_{\text{lim}}=1.44-6.91$  pc değerleri arasında olup nispeten küçük küme boyutlarına sahiptir. Ayrıca Galaksi merkezine yakın kümeler uzak olanlara kıyasla daha küçük ortalama kütleyle sahiptir (Çizelge 2).
- 4–36 Myıl arasındaki gevşeme zamanlarının ( $t_{\text{rlx}}$ ) küme yaşlarından küçük olması kümelerin dinamik olarak evrimleştiklerini göstermektedir (Çizelge 2).
- Kümelerin  $\log \tau_{\text{dyn}}-R_{\text{core}}$  grafiklerinde azalan bir eğilim göstermeleri (Şekil 3g) kümelerin dinamik evrimlerinin neticesinde yıldızlarını kaybettiğini göstermektedir.



Şekil 2. Kümelerin *Gaia* renk-parlaklık grafikleri. Siyah noktalar üye yıldızları ve kırmızı çizgi de en uygun eş-yaş eğrisini göstermektedir.

- Be 45 büyük evrimsel parametre ( $\tau_{\text{dyn}}$ ) ve küçük gevşeme zamanıyla ileri derecede dinamik evrim göstermektedir. NGC 2194 kümesinin çok dik pozitif kütle fonksiyonu eğimi ( $\chi = +2.57$ ) küçük evrimsel parametre ve büyük gevşeme zamanıyla uyumlu olup kümede büyük kütleli yıldızlar daha baskındır. NGC 2304 ( $\chi = -1.57$ ) küçük kütleli yıldızları büyük kütleliye göre daha fazladır.

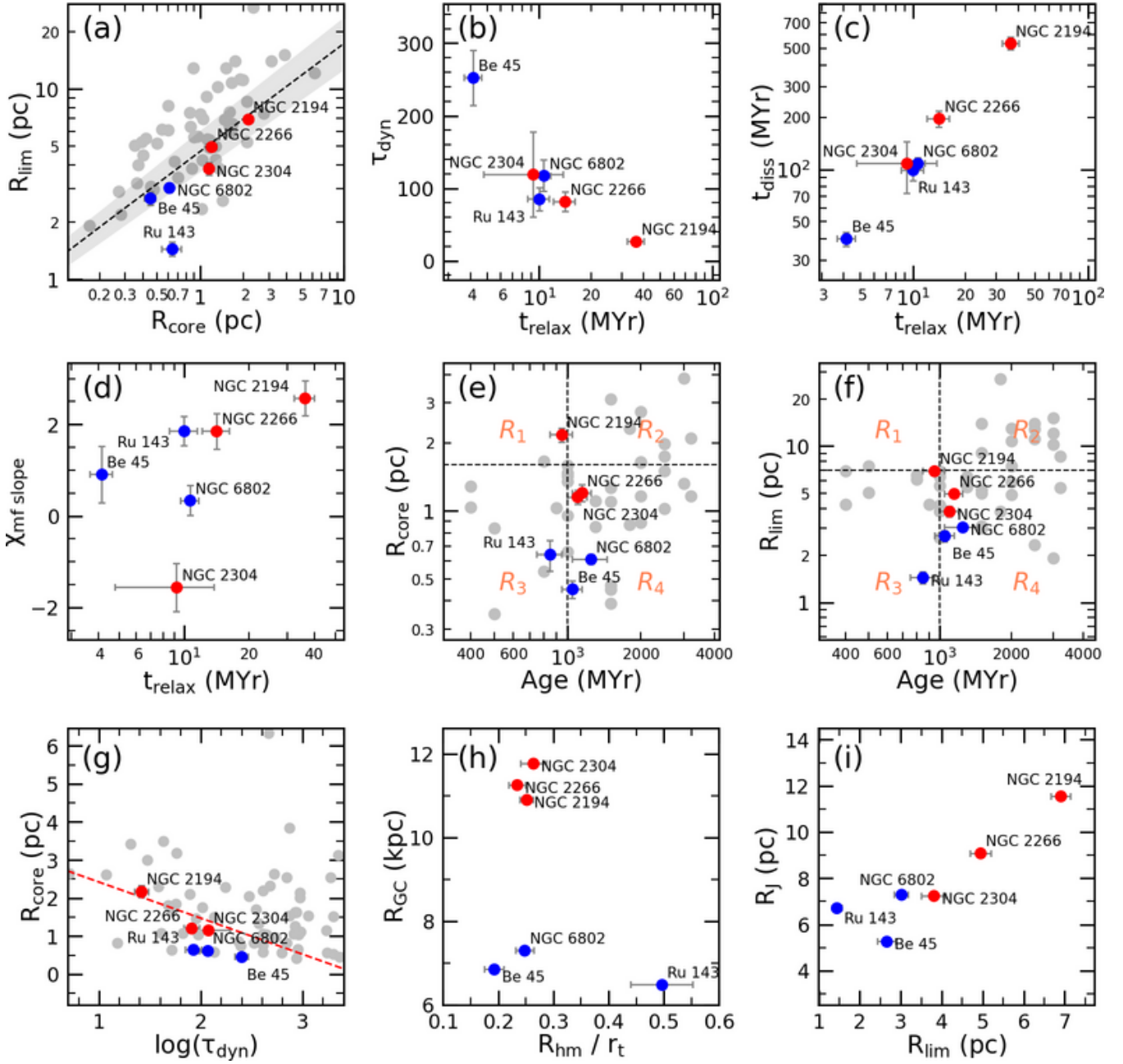
Çizelge 3. Seçilen kümelerin bu çalışmada (koyu harfli) ve literatürde verilen astrofizik parametreleri. Referanslar: 1: Cantat-Gaudin ve diğ. (2020), 2: Kharchenko ve diğ. (2013), 3: Bukowiecki ve diğ. (2011), 4: Dias ve diğ. (2021), 5: Subramaniam ve diğ. (2010), 6: Tadross (2008).

Küme	$E(B-V)$	Z	$(V-M_V)_0$	d (pc)	Yaş (Myıl)	Ref.
Be 45	0.94	0.012	12.05	2566	1050	–
		0.0152	12.61	3328	617	1
	1.04		12.20	2360	724	2
	0.80	0.0152	12.84	2694	891	3
		0.029	12.73	3513	553	4
	1.40		16.20	2350	355	5
	0.82	0.0152	12.50	2300	600	6
NGC 6802	0.81	0.008	11.37	1893	1250	–
		0.0152	12.20	2753	661	1
	0.79		11.50	1775	902	2
	0.65	0.0152	12.16	2089	708	3
		0.012	11.80	2294	646	4
Ru 143	0.87	0.008	11.34	1875	850	–
	0.73	0.0152	12.21	2764	398	1
			11.90	2062	447	2
		0.023	11.93	2428	326	4
NGC 2194	0.46	0.006	12.20	2792	950	–
		0.0152	12.72	3498	339	1
	0.50		12.40	2804	631	2
	0.32	0.0152	12.39	2652	708	3
		0.013	12.29	2869	665	4
NGC 2266	0.10	0.008	12.46	3108	1150	–
		0.0152	12.56	3251	813	1
		0.006	12.60	3311	1841	2
	0.15	0.0152	12.56	3065	631	3
		0.010	12.61	3319	1086	4
NGC 2304	0.07	0.008	12.84	3708	1100	–
		0.0152	12.92	3843	912	1
	0.15	0.007	13.00	3896	684	2
		0.0152	12.65	3388	1000	3
		0.012	12.94	3871	889	4

Çizelge 4. Bukowiecki ve diğ. (2011) ve Kharchenko ve diğ. (2013) tarafından verilen  $R_{\text{core}}$  ve  $R_{\text{lim}}$  değerleri.

Küme	$R_{\text{core}}$			$R_{\text{lim}}$
	Bukowiecki	Kharchenko	Bukowiecki	
Berkeley 45	$0.46 \pm 0.09$	$0.38 \pm 0.07$	$3.87 \pm 0.81$	
NGC 6802	$0.55 \pm 0.06$	$0.64 \pm 0.10$	$5.92 \pm 0.68$	
Ruprecht 143	–	$0.92 \pm 0.18$	–	
NGC 2194	$1.85 \pm 0.20$	$2.13 \pm 0.25$	$13.27 \pm 1.25$	
NGC 2266	$1.06 \pm 0.10$	$1.27 \pm 0.33$	$12.07 \pm 1.16$	
NGC 2304	$1.06 \pm 0.10$	$1.14 \pm 0.40$	$10.34 \pm 1.18$	

- $R_{\text{core}}$ -Yaş ve  $R_{\text{lim}}$ -Yaş ilişkilerinde (Şekil 3e ve f), NGC 2266, NGC 2304, NGC 6801 ve Be 45 kümelerinin yaşlı ve küçük boyutlu oluşu ya dış dinamik etkiler nedeniyle büzülmelerine işaret etmekte ya da bu kümelerin çok yoğun moleküler gaz bulutlarından oluşmuş olabileceğini göstermektedir.
- Ru 143 dışındaki diğer beş küme nispeten daha yoğun



**Şekil 3.** Kümelere ait kinematik/dinamik değerlerin birbirlerine kıyaslanması. (a,e,f) panellerindeki gri noktalar [Güneş ve diğ. \(2017\)](#)'den, (g) grafiğindeki gri noktalar [Angelo ve diğ. \(2021\)](#) ise alınmıştır.

sistemler olup, küçük  $R_{hm}/r_t=(0.2, 0.3)$  değerlerindedir. Bu sonuçlar kümelerin yıldızlarını kaybetmede dış gelgitisel kuvvetlere daha az maruz kaldıkları göstermektedir. Özellikle I. çeyrekteki kümeler dev moleküler bulutlar gibi dış dinamik etkilere rağmen hayatta kalabilmişlerdir.

#### Kaynaklar

Angelo, M.S., Corradi, W.J.B., Santos Jr, J.F.C., Maia, F.F.S., Ferreira, F.A., 2021, MNRAS, 500, 4338  
 Banerjee, S., Kroupa, P., 2015, MNRAS, 447, 728  
 Binney, J., Tremaine, S., Galactic Dynamics, Princeton Univ Press Princeton, 2008 NJ  
 Bonnell, I.A., Bate, M.R., Vine, S.G., 2003, MNRAS, 343, 413

Bovy, J., 2015, ApJS, 216, 29  
 Bressan, A., Marigo, P., Girardi, L., Salasnich, B., ve diğ., 2012, MNRAS, 427, 127  
 Bukowiecki, L., Maciejewski, G., Konorski, P., Strobel, A., 2011, Acta Astron., 61, 231  
 Cantat-Gaudin, T., Anders, F., Castro-Ginard, ve diğ., 2020, A&A, 640, A1  
 Converse, J.M., Stahler, S.W., 2011, MNRAS, 410, 2787  
 Dias, W.S., Monteiro, H., Moitinho, A., ve diğ., 2021, MNRAS, 504, 356  
 Elmegreen, B.G., 2000, ApJ, 530, 27  
 Gaia Collaboration, Brown, A.G.A., Vallenari, A., Prusti, T., ve diğ., 2021, A&A, 649, A1

- Genzel, R., Townes, C.H., 1987, *ARA&A*, 25, 377.  
Gouliermis, D.A., 2018, *PASP*, 130, 072001  
Gutermuth, R.A., Megeath, S.T., Myers, P.C., ve diğ., 2009, *ApJS*, 184, 18  
Güneş, O., Karataş, Y., Bonatto C., 2017, *Astron. Nachr*, 338, 464  
Kharchenko, N.V., Piskunov, E.A., Schilbach, E., Roeser, S., Scholz, R.D., 2013, *A&A*, 558A, 53  
King, I., 1962, *AJ*, 67, 471  
Kim, S.S., Figger, D.F., Lee, H.M., Morris, M., 2000, *ApJ*, 545, 301.  
Krone-Martins, A., Moitinho, A., 2014, *A&A*, 561, A57  
Kuhn, M.A., Hillenbrand, L.A., Sills, A., Feigelson, E.D., Getman, K.V., 2019, *ApJ*, 870, 32  
Lada, C.J., Lada, E.A., 2003, *ARA&A*, 41, 57  
Larsen, S.S., 2006, *An ISHAPE Users Guide*, 14  
Pedregosa, F., Varoquaux, G., Gramfort, A., ve diğ., 2011, *JMLR*, 12, 2825  
Piskunov A.E., Schilbach E., Kharchenko N.V., Roser S., Scholz R.D., 2007, *A&A*, 468, 151  
Spitzer, L., Hart, M., 1971, *AJ*, 164, 399  
Subramaniam, A., Carraro, G., Janes, K.A., 2010, *MNRAS*, 404, 1385  
Tadross, A.L., 2008, *MNRAS*, 389, 285

**Access:**

M23-0306: [Turkish J.A&A](#) — Vol.4, Issue 3.