

KIRMIZI YIĞIN YILDIZLARI İÇİN IŞIMA GÜCÜ – RENK İLİŞKİLERİ

Özgecan ÖNAL¹, Selçuk BİLİR¹ Salih KARAALI¹ Antonio CABRERA-LAVERS²,
Hikmet ÇAKMAK¹

¹ İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, 34119, Beyazıt – Fatih, İstanbul
eposta: {ozgecan.onal, sbilir, karsa, hcakmak}@istanbul.edu.tr

² Instituto de Astrofísica de Canarias, E-38205, La Laguna, Tenerife, İspanya
eposta: antonio.cabrera@gtc.iac.es

Özet: Bu çalışmada, yeni indirgenmiş Hipparcos kataloğunda yer alan ve rölatif paralaks hataları %10'dan küçük olan Kırmızı Yığın (Red Clump: RC) yıldızları kullanılarak Johnson – Cousins, 2MASS ve SDSS fotometrilere için ışım gücü – renk bağıntıları elde edilmiştir. Çalışmanın kontrolünde SA 141 yıldız alanında belirlenen 101 RC yıldızının literatürde kabul edilen sabit mutlak parlaklık değeri ($M_V=+1$) ve rengin fonksiyonu olarak oluşturulan ışım gücü – renk bağıntılarıyla elde edilen mutlak parlaklık değerleri kullanılarak bu bölgede bulunan RC yıldızının uzay yoğunlukları hesaplanmıştır. İki farklı yöntemden hesaplanan uzay yoğunlukları ve Galaksi modellerinin karşılaştırılmasıyla elde edilen model parametrelerinin birbirine çok yakın veya eşit olması oluşturulan bağıntıların doğruluğunu kanıtlamaktadır.

1. Giriş

Kırmızı yığın (RC) yıldızları merkezlerinde helyum yakan yatay kol devleridir. Optik ve kızılötesi mutlak parlaklıkları genellikle dar bir aralığında yer aldığından renk uzayındaki konumları iyi bilinmektedir. G8III – K2III tayf türü aralığında bulunan bu cisimler, uzaklık tayini için standart kaynak kullanılır. RC yıldızlarının kütle, yaş, renk, parlaklık ve metal bolluğu dağılımlarının araştırılması yerel Galaktik diskin kimyasal evrim modelleri üzerine faydalı kısıtlamalar koyulmasını sağlayabilir. RC yıldızları kullanılarak yıldız kümeleri ve Yerel Grup galaksilerinin yaşları ve uzaklıkları kolaylık ile tayin edilebilir.

2. Veri

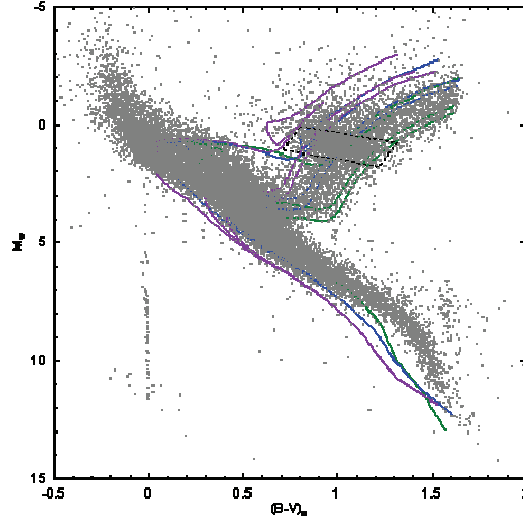
Çalışmamızın ana veri kaynağı yeni yöntemler ile ikinci kez indirgenen Hipparcos kataloğudur (van Leeuwen, 2007). Öncelikle katalog içinde rölatif paralaks hatası $\alpha_\pi/\pi \leq 0.1$ olan 32144 yıldız belirlenmiştir. Ayrıca örnek içerisindeki tüm yıldızların BVI fotometrik verileri de Hipparcos kataloğundan alınmıştır. Seçilen yıldızların paralaks verilerine, ölçümlerden kaynaklanan sistematik hatalardan arındırmak üzere Lutz – Kelker düzeltmesi (Lutz ve Kelker, 1973) uygulanmıştır. Hipparcos verileri mevcut yıldızların, İki Mikron Tüm Gökyüzü (2MASS; Skrutskie ve diğ., 2006) taramasına ait yakın kızılötesi verileri yıldızların koordinat bilgilerine göre eşleştirilmiştir. Eşleştirilme sonucunda 32144 yıldızdan 32072'in yakın kızılötesi verisine ulaşılabilmiştir. Optik ve kızılötesindeki fotometrik veriler, yıldızlararası ortamın neden olduğu kızarmadan arındırılmıştır. Bunun için kataloğumuzda yer alan yıldızların Galaktik enlem ve boylam değerlerine karşılık gelen $E(B-V)$ renk artıkları Schlegel ve diğ. nin (1998) kızarma atlasından belirlenmiştir. Daha sonra bu değerler, Bahcall ve Soneira'nın (1980) formülü kullanılarak Güneş ile incelenen yıldız arasındaki uzaklığa indirgenmiştir:

$$E_d(B - V) = E_\infty(B - V)(1 - e^{-\frac{|d \sin b|}{H}}) \quad (1)$$

İndirgenen renk artıkları da optik (BVI) ve yakın kızılötesinde (JHK_s) ölçülen parlaklık ve renklerin kızarmadan arındırılmasında kullanılmıştır. Aşağıdaki renk ve parlaklık düzeltmeleri Bilir ve diğ.'den (2008) alınmıştır.

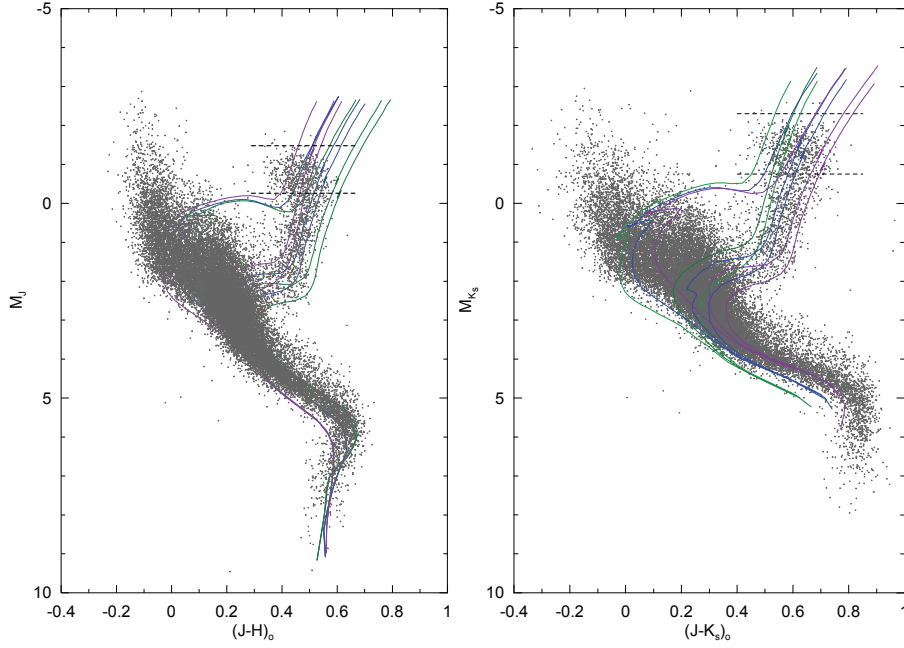
$$\begin{aligned} V_o &= V - 3.1 E(B - V) \\ (B - V)_o &= (B - V) - E(B - V) \\ (V - I)_o &= (V - I) - 1.25 E(B - V) \\ J_o &= J - 0.887 E(B - V) \\ (J - H)_o &= (J - H) - 0.332 E(B - V) \\ (H - K_s)_o &= (H - K_s) - 0.183 E(B - V) \end{aligned} \quad (2)$$

Örnekte yer alan Hipparcos yıldızlarının V görünen parlaklıkları ve trigonometrik paralaksı Pogson bağıntısı kullanılarak M_V mutlak parlaklıkları hesaplanmış ve M_V – (B-V)_o renk-mutlak parlaklık diyagramı çizilmiştir (Şekil 1). Diyagramda RC yıldızlarının bulundukları bölge belirgin olarak görülmektedir (devler kolunda yıldızların yoğun oldukları bölge). Bu bölgenin sınırları eş-yaş eğrileri, yüzey çekim ivmeleri ve renk indeksleri kullanılarak belirlenmiştir. Öncelikle metal bollukları [M/H] = -1, -0.5 ve 0 dex ve yaşları 1, 5 ve 10 Gyr arasında değişen Padova eş-yaş eğrileri (Marigo ve diğ., 2008) H-R diyagramı üzerinde işaretlenmiştir. Ardından RC bölgesinin dış sınırlarını yatay eksende belirlemek için (B-V)_o renk indeksine alt ve üst sınırlamalar getirilmiştir: 0.7 ≤ (B-V)_o ≤ 1.3. Son olarak, Puzeras ve diğ. den (2010) RC yıldızlarının yüzey çekim ivmelerinin 2.1 ≤ log g ≤ 2.7 aralığında değiştiği bilgisiyle bölgede bulunan RC yıldızları belirlenmiştir. Bu kriterler sonucunda 2576 Hipparcos yıldızı, RC yıldızı olarak tanımlanmıştır.



Şekil 1. 32144 Hipparcos yıldızının M_V - (B-V)_o diyagramı. Çizgiler farklı metal bolluğu ve farklı yaşlardaki Padova eş-yaş eğrilerini göstermektedir.

Örnekteki Hipparcos yıldızlarının M_J ve M_{K_s} mutlak parlaklıkları Pogson bağıntısı kullanılarak hesaplanmış ve M_J – (J-H)_o ile M_{K_s} – (J-K_s)_o diyagramları çizilmiştir (Şekil 2). Yakın kızılötesi bölgede RC yıldızlarının bulunduğu konum, optik bölge için tanımlanan aşamalar ile belirlenmiştir. Kızılötesindeki parlak kaynaklar için fotometrik hatalar optik bölgedekine göre daha büyük olduğundan kızılötesi parlaklıklara ait kalite bilgilerinin dikkate alınması gerekmiştir. Çalışmada sinyal/Gürültü oranı 20'den büyük kaynaklar dikkate alındığında (A kalite) RC bölgesinde yukarıda belirtilen kriterlere göre 499 yıldız bulunmuştur. Şekil 2'ye göre bu yıldızlar kızılötesi bölgede 0.3 ≤ (J-H)_o ≤ 0.6 ve 0.4 ≤ (J-K_s)_o ≤ 0.7 renk indeksi aralıklarında yer alırlar.



Şekil 2. Örnekteki yıldızların kırmızıtesi bantlardaki $M_J - (J-H)_0$ ve $M_{K_s} - (J-K_s)_0$ renk parlaklık diyagramları. Çizgiler farklı metal bolluğu ve farklı yaşlardaki Padova eş-yaş eğrilerini göstermektedir.

Çalışmada kullanılan Hipparcos yıldızlarının optik bölgede SDSS parlaklıkları bulunmamaktadır. Bu yüzden Yaz ve diğ. nin (2010) kırmızıtesi ve optik bölgelerdeki parlaklıklar arasında oluşturduğu dönüşüm denklemleri kullanılarak SDSS bantları için sentetik mutlak parlaklıklar elde edilmiştir.

3. Işıma Gücü – Renk İlişkileri

Duyarlı ışıma gücü – renk bağıntılarını elde edebilmek için $M_V - (B-V)_0$ renk – parlaklık diyagramındaki RC yıldızları gruplanarak geometrik yerleri hesaplanmıştır. Benzer ilişkiler diğer fotometrik veriler için de elde edilmiştir. Elektromanyetik tayfın farklı dalgaboyu bölgelerinde bulunan dört farklı filtre takımı için gruplanarak oluşturulan veri setleri kullanılarak aşağıdaki denklem biçimleri oluşturulmuş ve denklemlere ait katsayılar regresyon analiziyle tayin edilmiştir.

$$\begin{aligned} M_V &= a_1(B - V)_0 + b_1(V - I)_0 + c_1 \\ M_g &= a_2(g - r)_0 + b_2(r - i)_0 + c_2 \\ M_J &= a_3(J - H)_0 + b_3(H - K_s)_0 + c_3 \\ M_{K_s} &= a_4(J - H)_0 + b_4(H - K_s)_0 + c_4 \end{aligned} \quad (3)$$

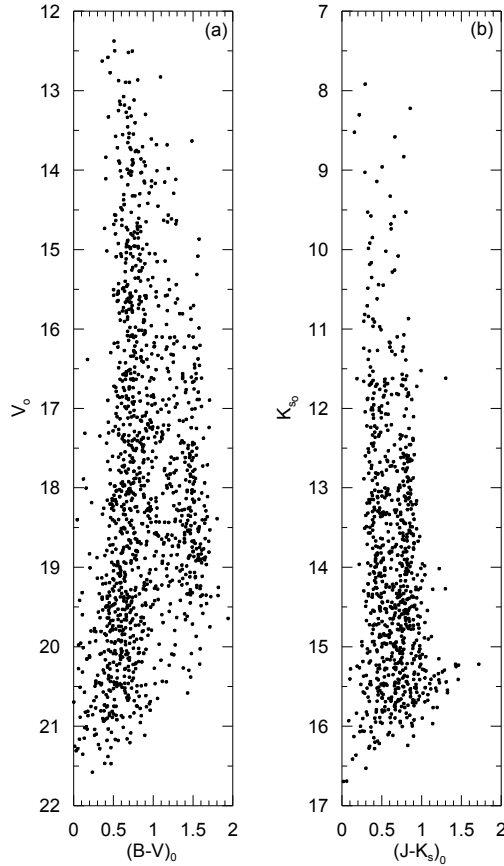
Regresyon analizden elde edilen katsayılar Tablo 1’de gösterilmiştir.

Tablo 1. Optik ve kırmızıtesi bölgeler için elde edilen ışıma gücü – renk ilişkilerine ait katsayı ve hatalar.

i →	(1) M_V	(2) M_g	(3) M_J	(4) M_{K_s}
a_i	-1.398 ± 0.010	3.152 ± 0.075	0.706 ± 0.017	-0.337 ± 0.013
b_i	-0.011 ± 0.005	-0.213 ± 0.138	0.039 ± 0.019	0.275 ± 0.143
c_i	-0.577 ± 0.001	-0.937 ± 0.075	-1.182 ± 0.034	-1.312 ± 0.025
s	0.0003	0.0009	0.0003	0.0002

4. İlişkilerin Test Edilmesi

Literatürde RC yıldızlarının mutlak parlaklıkları rölatif olarak dar bir parlaklık aralığında bulunduğundan sabit olarak kabul edilmektedir. Optik bölge için V bandında $M_V = +1(\pm 0.25)$ kadir (Keenan ve Barnbaunet, 1999), kızılötesi bölgede K_s bandı için -1.61 (Laney ve diğ., 2012), -1.54 (Groenewegen 2008), -1.62 kadir (Alves, 2000) değerleri kabul görmektedir. Yapılan çalışmada optik bölgede tespit edilen RC'lerin $0.5 \leq M_V \leq 1.19$ kadir aralığında değiştiği tespit edilmiştir. Burada yaklaşık iki kadirlik bir parlaklık değişimi söz konusudur. Literatürde kabul gören sabit değerleri kullanmak mı, yoksa her bir yıldızla ait M_V parlaklığını mı kullanmak daha avantajlıdır? Bu durumu test etmek için Siegel ve diğ. nin (2009), 1.2 derece kare büyüklüğündeki SA 141 yıldız alanı için ölçümlerini yaptıkları CCD UBVRI fotometrik veriler kullanılmıştır. Bu yıldız alanındaki 1299 yıldızın fotometrik verileri $12 < V < 22$ kadir aralığında yer alır. Parlak yıldızların uzun poz sürelerinde doymalarından dolayı $V=12$ 'den daha parlak yıldızlar UBVRI fotometrisinde gözlenememiştir. SA 141 yıldız alanı doğrultusunda 859 kaynağın yakın kızılötesindeki verileri 2MASS nokta kaynak kataloğunda bulunmuştur (Cutri ve diğ., 2003). Bunlardan 49'u UBVRI fotometrisinde görülemeyen parlak yıldızlardır. Katalog içinde yıldızların koordinat bilgilerine göre yapılan eşleştirilmeler sonucunda 516 kaynağın hem optik (UBVRI) hem de kızılötesi (JHK_s) fotometrik verilerinin bulunduğu görülmüştür. Fotometrik veriler Schlegel ve diğ. nin (1998) kızarma haritası kullanılarak yıldızlararası ortamın neden olduğu kızarmadan arındırılmıştır. SA 141 doğrultusunda gözlenen yıldızların renk artıkları $0.010 < E(B-V) < 0.025$ kadirdir. Yıldız alanındaki kaynakların optik ve kızılötesi bölgeler için oluşturulmuş $V_0 - (B-V)_0$ ve $K_{so} - (J-K_s)_0$ renk – parlaklık diyagramları Şekil 3'te gösterilmiştir.

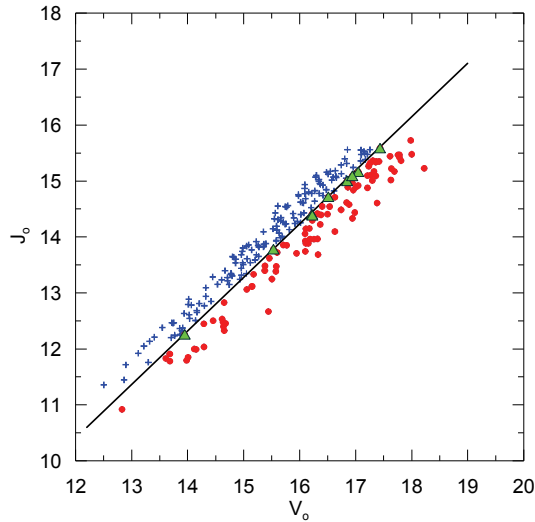


Şekil 3. SA 141 yıldız alanındaki kaynakların optik ve kızılötesindeki renk – parlaklık diyagramları.

Optik ve kızılötesi fotometrik verileri bulunan 516 yıldız içinde RC yıldızlarını belirlemek için bu yıldızların etkin olarak bulunduğu $0.7 \leq (B-V)_0 \leq 1.3$ renk indeksi aralığı öncelikle dikkate alınmış ve 249'unun bu aralıkta bulunduğu tespit edilmiştir. Bu yıldızlar arasında ışına gücü sınıfını ayırt edebilmek için Bilir ve diğ. nin (2006) geliştirdiği dev-cüce ayırım yöntemi kullanılmıştır. Yöntem, yıldızların V ve J parlaklıklarındaki dağılımlarına dayalıdır. Deneysel olarak elde edilen bu ilişki aşağıdaki bağıntıyla tanımlanmıştır (Bilir ve diğ., 2006):

$$J_o = 0.857 V_o - 1.079 \quad (4)$$

Bu işlem sonucunda optik bölgedeki 249 yıldızdan oluşan örnek; 99 dev ve 149 cüce yıldız olarak ayrılmıştır (Şekil 3). Şekilde ayırım çizgisi yakınlarında bulunan ve parlaklık hataları büyük olan dokuz yıldız istatistik dışı bırakılarak toplam dev sayısı 90 olarak belirlenmiştir. Ayrıca optik bölgede fotometrik verisi elde edilemeyen fakat kızılötesinde $0.4 < (J-K_s) < 0.8$ renk indeksi aralığında bulunan 11 yıldız da dev olarak sınıflanmıştır. Analizler sonucu SA 141 yıldız alanında 101 RC yıldızı tespit edilmiştir.

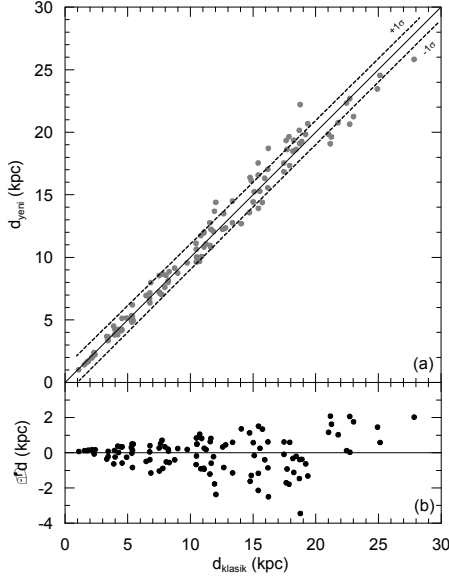


Şekil 3. SA 141 alanında tespit edilen 249 yıldızın V_o - J_o parlaklık-parlaklık diyagramı. Mavi artılar 148 cüce yıldız, kırmızı noktalar 99 dev yıldız ve yeşil üçgenler ise ayırma çizgisi yakınlarında hataları büyük olan yıldızları göstermektedir.

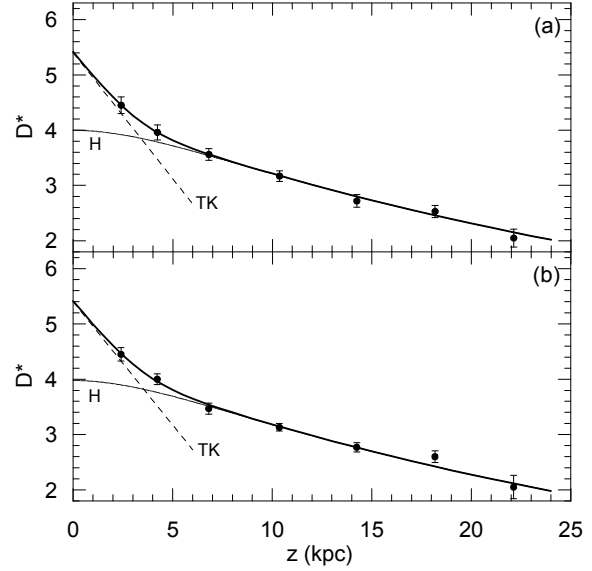
101 RC yıldızının uzaklıkları hem literatürdeki $M_V=+1$ kadir değeri hem de bu çalışmada elde edilen ışına gücü - renk bağıntıları (M_V , Denklem 3) kullanılarak mutlak parlaklıkları belirlenmiş ve Pogson formülü kullanılarak ta yıldızlarının uzaklıkları tayin edilmiştir. Hesaplanan uzaklıkların karşılaştırılması Şekil 4'te gösterilmiştir. Şekildeki kesikli çizgiler $\pm 1\sigma$ güvenilirlik sınırlarını temsil eder. 15 kpc'ye kadar olan yıldızlar $\pm 1\sigma$ içerisindeyken, 15 kpc'ten sonraki uzaklıklarda saçılma artmaktadır.

Yıldızlar, seçilen uzaklık aralıklarına göre sınıflanarak gözlemsel uzay yoğunlukları hesaplanmıştır. Bunun için, $1 \leq r \leq 24$ kpc arasında seçilen ardışık uzaklık aralıkları için uzay hacimleri hesaplanmıştır. Aralıklardaki RC yıldızlarının sayısı bu hacme bölünerek sayı (uzay) yoğunlukları elde edilmiş ve sonuçlar Tablo 2'de verilmiştir. Burada, $D^* = \log D + 10$, $D = N / \Delta V_{1,2}$, $N: \Delta V_{1,2}$ hacmindeki yıldız sayısı ve $\Delta V_{1,2}$ ise $\Delta V_{1,2} = (\pi/3)(\pi/180)^2(r_2^3 - r_1^3)$ eşitliğiyle verilir. $\square$, incelenen yıldız alanının derece kare cinsinden büyüklüğü, r_1 ve r_2 ise Güneş'e olan uzaklıkları göstermekte olup hacmin hesaplandığı kesik piramidin tabanlarını belirler. r^* , söz konusu kesik piramide ait kütle

merkezinin Güneş'e uzaklığını göstermekte olup $r^* = [(r_1^3 + r_2^3)/2]^{1/3}$ eşitliği yardımıyla hesaplanır. Bu uzay yoğunluklarının Galaksi modelleriyle karşılaştırılmasında Buser ve diğ. nin (1998; 1999) modelleri kullanılmıştır. Buna göre diske ait parametreler, silindirik koordinatlarda Galaksimizin dik ve radyal doğrultudaki eksponansiyel değişimiyle ifade edilmiştir:



Şekil 4. SA 141 alanında tespit edilen RC'ler için iki ayrı yöntemle hesaplanan uzaklıkların karşılaştırılması. Üst panelde apsis ekseninde literatürde sabit kabul edilen M_V değeriyle hesaplanan uzaklıklar, ordinat ekseninde $0.5 < M_V < 1.19$ parlaklık aralığı dikkate alınarak hesaplanan uzaklıklar yer almaktadır. Alt panelde ise uzaklıklar arasındaki farklar görülmektedir.



Şekil 5. SA 141 yıldız alanına ait gözlemsel (•) ve teorik (kalın çizgi) yoğunluk profilleri. Halo: ince düz çizgi, kalın disk: ince kesikli çizgi.

Tablo 2. SA 141 yıldız alanı doğrultusundaki RC yıldızlarının yoğunlukları.

$r_1 - r_2$ (kpc)	$\Delta V_{1,2}$ (pc ³)	r^* (kpc)	z (kpc)	Bu çalışma		Klasik yöntem	
				N	D*	N	D*
1-3	3.17 (6)	2.41	2.40	9	4.45	9	4.45
3-5	1.19 (7)	4.24	4.22	12	3.96	11	4.00
5-8	4.72 (7)	6.83	6.81	14	3.56	17	3.47
8-12	1.48 (8)	10.38	10.36	20	3.17	22	3.13
12-16	2.89 (8)	14.28	14.24	17	2.72	15	2.77
16-20	4.76 (8)	18.22	18.17	19	2.53	16	2.60
20-24	7.10 (8)	22.18	22.12	8	2.05	8	2.05
>24	---	---	---	2	---	3	---

$$D_i(R, z) = n_i e^{-|z|/H_z} e^{-(x-R_o)/h_i} \quad (5)$$

Burada $z = r \sin(b)$; r , yıldızın Güneş'e olan uzaklığı; b , yıldızın Galaktik enlemi; R_o , yıldızın Galaksi merkezine uzaklığı (8 kpc; Reid ve Majewski, 1993); $h_{z,i}$, ince disk ($i=1$) ve kalın disk ($i=2$) popülasyonunun yükseklik ölçeği; h_i , ince disk ve kalın disk popülasyonlarının uzunluk ölçeğidir; n_i , yıldız popülasyonunun yerel uzay yoğunluğudur.

Galaksi halosunun parametre tayininde kullanılan yoğunluk kanunları farklı biçimlerde. Eliptik galaksilerin yüzey parlaklık profilinden elde edilen de Vaucouleurs

(1948) kanunu yaygın olarak kullanılır. Bu kanun Young (1976) tarafından üç boyutlu olarak yeniden tasarlanmıştır:

$$D_s(R) = \frac{n_s e^{\left\{-7.669 \left(\frac{R}{R_e}\right)^{1/4}\right\}}}{(R/R_e)^{7/8}} \quad (6)$$

Burada n_s , haloya ait uzay yoğunluğu; $R=[x^2+(z/\kappa)^2]^{1/2}$ uzay yoğunluğunun hesaplandığı yerin Galaksi merkezine olan uzaklığı, R_e , etkin yarıçap; $\kappa=c/a$ Galaksinin basıklığı; x , yıldızın Galaksi merkezine uzaklığının izdüşümüdür:

$$x = [R_o^2 + (z/\tan b)^2 - 2R_o(z/\tan b) \cos l]^{1/2} \quad (7)$$

z , yıldızın Galaktik düzlemden uzaklığı; l ve b yıldızın Galaktik boylam ve enlemidir.

SA 141 yıldız alanının Galaktik enlemi $b=-85^\circ.83$ olması sebebiyle, (22) denkleminde yatay yoğunluk değişimini ifade eden son çarpanın, yani $\exp(-(x-R_o)/h_i)$ ifadesinin uygulamada bir etkisi olmadığından dikkate alınmamıştır. Tablo 2’te verilen gözlemsel uzay yoğunluklarının, kalın disk ve haloya ait toplam teorik yoğunluklarla karşılaştırılmasında minimum χ^2 yöntemi kullanılmış ve analizler sonucunda elde edilen Galaksi model parametreleri Şekil 5 ve Tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 3. SA 141 yıldız alanı doğrultusundaki galaksi model parametreleri.

Pop →	İnce Disk		Kalın Disk		Halo		
Yöntem	n^*	n^*	%	H_z (pc)	n^*	%	κ
Bu çalışma	6.61	$5.40^{+0.05}_{-0.07}$	$5.80^{+0.05}_{-0.07}$	975^{+48}_{-48}	$4.02^{+0.07}_{-0.07}$	$0.2^{+0.01}_{-0.01}$	$0.89^{+0.11}_{-0.08}$
Literatür	6.61	$5.40^{+0.02}_{-0.02}$	$5.40^{+0.02}_{-0.03}$	952^{+19}_{-16}	$4.04^{+0.02}_{-0.03}$	$0.2^{+0.01}_{-0.01}$	$0.90^{+0.03}_{-0.04}$

5. Sonuç

SA 141 yıldız alanı doğrultusunda bulunan RC yıldızlarının iki farklı yöntem ile mutlak parlaklıklarının hesaplanması ve her iki yöntem için benzer Galaksi model parametrelerinin elde edilmesi, buna ilaveten sonuçların literatürdekiler ile uyumlu olması çalışmamızdaki bağıntıların doğruluğunu kanıtlamaktadır. Mutlak parlaklık dağılımındaki yaklaşık 2 kadirlik değişim aralığı ise mutlak parlaklığın bütün RC yıldızları için $M_V = +1$ kadir alınmasının 1 kadirlik ek bir hataya sebep olacağını göstermektedir. Bu durumda, özellikle yıldızların teker teker mutlak parlaklıklarının değerlendirilmesi söz konusu olan araştırmalarda daha çok karşılaşılabacaktır.

6. Teşekkür

Bu çalışma, TÜBİTAK tarafından 210T114 numaralı projeye desteklenmiştir.

7. Kaynaklar

- Alves, D. R., 2000, ApJ, 539, 732
Bahcall, J. N., Soneira, R. M., 1980, ApJS, 44, 73
Bilir, S., Karaali, S., Güver, T., Karataş, Y., Ak, S., 2006, AN, 327, 72
Bilir, S., Ak, S., Karaali, S., Cabrera-Lavers, A., Chonis, T. S., Gaskell, C. M., 2008, MNRAS, 384, 1178
Buser, R., Rong, J., Karaali, S., 1998, A&A, 331, 934

- Buser, R., Rong, J., Karaali, S., 1999, A&A, 348, 98
Cutri, R. M. ve diğ., 2003, CDS/ADC Electronic Catalogues, 2246
de Vaucouleurs, G., 1948, Annales d'Astrophysique, 11, 247
Groenewegen, M. A. T., 2008, A&A, 488, 935
Keenan, P. C., 1999, ApJ, 518, 859
Laney, C. D., Joner, M. D., Pietrzynski, G., 2012, MNRAS, 419, 1637
Lutz, T. E., Kelker, D. H., 1973, PASP, 85, 573
Marigo, P., Girardi, L., Bressan, A., Groenewegen, M. A. T., Silva, L., Granato, G. L., 2008, A&A, 482, 883.
Puzeras, E. ve diğ., 2010, MNRAS, 408, 1225.
Reid, M. J., Majewski, S. R., 1993, ARAA, 31, 345
Schlegel, D. J., Finkbeiner, D. P., Davis, M., 1998, ApJ, 500, 525
Siegel, M. H., Karataş, Y., Reid, N., 2009, MNRAS, 395, 1569
Skrutskie, M. F., ve diğ., 2006, AJ, 131, 1163
van Leeuwen, F., 2007, A&A, 474, 653
Yaz, E., Bilir, S., Karaali, S., Ak, S., Coşkunoglu, B., Cabrera-Lavers, A., 2010, AN, 331, 807
Young, P. J., 1976, AJ, 81, 807