

YÜKSEK GALAKTİK ENLEMLİ YILDIZ ALANLARININ SDSS VERİLERİNDEN GALAKTİK MODEL PARAMETRELERİNİN TAYİNİ

Selçuk BİLİR¹, Antonio CABRERA-LAVERS², Salih KARAALİ³,
Serap AK¹,
Esma YAZ¹, Martin LOPEZ-CORREDOIRA²

¹*İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, 34119,
Üniversite – İstanbul, Türkiye*

e-posta: {sbilir, akserap}@istanbul.edu.tr, esmayaz@yahoo.com

²*Instituto de Astrofísica de Canarias, 38205 La Laguna, Tenerife, Spain e-posta:
{acabrera, martinlc@iac.es}*

³*Beykent Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Matematik Bilgisayar Bölümü,
Ayazağa 34396, İstanbul, Türkiye e-posta: skaraali@beykent.edu.tr*

Özet

Yüksek enlemlı 36 yıldız alanının 5. Veri Sürümlü (DR5) Sloan Dijital Gökyüzü Taramasının (SDSS) verileri kullanılarak galaksi model parametreleri tayin edilmiştir. Çalışmada, yıldız alanlarından hesaplanan galaktik model parametrelerinin galaktik boylam ile olası değişimleri araştırılmıştır. Kalın diskin yükseklik ölçeği $120^\circ < l < 150^\circ$ galaktik boylam aralığında ~ 550 pc iken, $250^\circ < l < 290^\circ$ galaktik boylam aralığında ~ 720 pc değerine ulaşmaktadır. İnce diskin yükseklik ölçeği Galaksi merkezine zıt doğrultuda ~ 195 pc iken merkez doğrultusunda ($|l| < 30^\circ$) ise $\sim 15\%$ kadar daha azdır. Son olarak, halonun eksen oranı (c/a) Galaksinin ilk iki çeyreğinde ($0^\circ < l < 180^\circ$) ortalama ~ 0.55 değerinde iken, $190^\circ < l < 300^\circ$ galaktik boylam aralığında ~ 0.70 lere kadar değişiyor. Halonun model parametrelerinin galaktik boylam ile değişiminin nedeni halonun simetrik olmayan yapısından kaynaklanıyor. Oysa, ince ve kalın diskin model parametrelerinin galaktik boylam ile değişiminin nedeni, Galaksimize ait çubuğun çekim etkisidir. Galaksinin I. çeyreğindeki (III. çeyreğindeki) yıldız sayısının IV.

çeyreğindeki (II. çeyreğindeki) yıldız sayısına göre fazlalığı bu iddiayı doğrulamaktadır.

Anahtar Kelimeler: *Galaksi: disk, Galaksi: yapı, Galaksi: temel parametreler*

Abstract

We estimated the galactic model parameters for a set of 36 high-latitude fields included in the currently available Data Release 5 (DR 5) of the Sloan Digital Sky Survey (SDSS), to explore their possible variation with the galactic longitude. The thick disc scaleheight moves from ~ 550 pc at $120^\circ < l < 150^\circ$ to ~ 720 pc at $250^\circ < l < 290^\circ$, while the thin disc scaleheight is as large as ~ 195 pc in the anticenter direction and $\sim 15\%$ lower at $|l| < 30^\circ$. Finally, the axis ratio (c/a) of the halo changes from a mean value of ~ 0.55 in the two first quadrants of the Galaxy ($0^\circ < l < 180^\circ$) to ~ 0.70 at $190^\circ < l < 300^\circ$. For the halo, the reason of the dependence of the model parameters on the galactic longitude arises from the well known asymmetric structure of this component. However, the variation of the model parameters of the thin and thick discs with galactic longitude originates from the gravitational effect of the galactic long bar. The excess of stars in quadrant I (quadrant III) over quadrant IV (quadrant II) is in agreement with this scenario.

Keywords: *Galaxy: disc, Galaxy: structure, Galaxy: fundamental parameters*

1. Giriş

Geleneksel yıldız sayımları analizi, Galaksimizin temel yapısının ve yıldız popülasyonlarının anlaşılmasını sağlamıştır. Bu analizlere, Bahcall (1986), Gilmore ve diğ. (1989), Majewski (1993), Robin ve diğ. (2000) ve son olarak Chen ve diğ. (2001) ve Siegel ve diğ.'nin (2002) çalışmaları örnek verilebilir. SDSS'den (York ve diğ. 2000) önceki en geniş gözlemsel çalışmalar, fotoğrafik gökyüzü taramalarına aittir. Basel Halo programı Galaksinin en geniş sistematik gökyüzü taramasıdır (Becker 1965; Fenkart 1989a-d). Basel Halo Programı, RGU fotometrik sisteminin geliştirilmiş kalibrasyonları kullanılarak tekrar analiz ve kalibre edilmiştir (Buser

ve Fenkart 1990; Buser ve diğ. 1998, 1999). Günümüzde geniş tabanlı gökyüzü taramaları CCD (Charge-Couple Device) tabanlıdır.

Yeni taramalar, örneğin *SDSS*, *2MASS*, *CADIS*, *BATC*, *DENIS*, *UKIDSS/VISTA*, *CFH/Megacam* ve *Suprime*, galaktik yapı çalışmalarını için daha hassas verilerin elde edilmesini sağlamaktadırlar. Araştırmacılar, Galaksi model parametrelerinin tayin edilmesinde farklı metotlar kullanmışlardır. Karaali ve diğ.'nin (2004) çalışmasına ait Tablo 1 de, farklı çalışmalara ait Galaksi diskinin ve halosunun yapısal parametrelerine dair geniş ve ayrıntılı bir liste yer almaktadır. Listedeki parametre değerlerine bakıldığında, zaman içinde değiştiği görülmektedir. Bu parametrelere örnek olarak kalın diskin yerel yoğunluğu ve yükseklik ölçeği verilebilir. Kalın diskin yükseklik ölçeği yıllar içinde 1.45 kpc'den 0.65 kpc'e kadar devamlı azalma eğilimi gösterirken (Gilmore ve Reid 1983; Chen ve diğ. 2001), kalın diskin yerel yoğunluğu %2'den %10'lara kadar yükselmiştir. Üstelik çoğu çalışmadaki parametre değerleri geniş aralıktadır. Örneğin, Chen ve diğ. (2001) ve Siegel ve diğ.'nin (2002) çalışmalarında yerel yoğunluğu, sırası ile, % 6.5-13 ve % 6-10 olarak vermişlerdir. Bununla birlikte, son yapılan çalışmaların en doğru sonuçları vermesi beklenir. Yani, ya parametrenin değer aralığı küçük ya da hatası küçük tek bir değer olmalıdır. Görülüyor ki, araştırmacılar bu konuda en uygun yöntemi seçememişlerdir.

Farklı araştırmacıların parametre değerlerini geniş aralık ve farklı değerler olarak vermelerinin birkaç nedeni olabilir: 1) Galaksi model parametreleri galaktik enlem ve boylama bağlıdır. Buser, ve diğ.'nin (1998, 1999) iki çalışması da bu görüşü doğrulamaktadır. Bu yazarlar her bir parametre için ortalama değerler vermelerine rağmen, farklı doğrultulardaki alanlar için verilen parametre değerleri arasında da belirgin farklılıklar bulunmaktadır. Son zamanlarda yapılan çalışmalar ile, Galaksi model parametrelerinin galaktik boylama bağlı olduğu gösterilmiştir (Bilir ve diğ. 2006a,b; Cabrera-Lavers ve diğ. 2007; Ak ve diğ. 2007a). 2) Galaksi model parametreleri mutlak kadire bağlıdır (Karaali ve diğ. 2004; Bilir ve diğ. 2006c). Bu nedenle, Galaksi model parametrelerinin hesabında mutlak kadir dikkate alınmadığı takdirde parametre değerlerinin geniş bir aralıkta verilmesi kaçınılmazdır. 3) Galaksi model parametreleri limit uzaklık ile de değişim göstermektedir. Yani belirli bir model parametresi farklı hacimler için farklıdır (Karaali ve diğ. 2007). Farklı galaktik enlem ve

boylamlardaki yıldız alanları için hesaplanan Galaksi model parametrelerinin farklı oluşu, diskin flare (alevlenme) ve warp (burulma) etkisi ile açıklanabilir. Galaksi diski radyal olarak düzgün ve homojen olarak dağılmamıştır. Aksine, Galaksimiz belirgin asimetric yapı göstermektedir. Galaksideki burulma, galaktik düzlemi I. ile II. çeyreklerinde ($0^\circ \leq l \leq 180^\circ$) yukarı doğru, III. ile IV. çeyreklerinde ($180^\circ \leq l \leq 360^\circ$) ise aşağı doğru bükülürken; alevlenme, yükseklik ölçeğini Galaksi merkezinden itibaren uzaklığın bir fonksiyonu olarak değiştirmektedir.

Burulma, bütün galaktik bileşenlerde kendini gösterir: toz (Drimmel ve Spergel 2001); gaz (Burton 1988; Drimmel ve Spergel 2001; Nakanishi ve Sofue 2003; Levine ve diğ. 2006; Voskes ve Burton 2006) ve yıldızlar (López-Corredoira ve diğ. 2002b; Momany ve diğ. 2006). Bu bileşenler aynı düğüm noktalarına sahiptir ve uzay dağılımları asimetrictir. Bununla birlikte, burulmanın genliği bileşenlerde farklılık gösterir; tozun burulması aynı genliğe sahip olan gaz ve yıldız burulmasından daha az belirgindir (López-Corredoira ve diğ. 2002b; Momany ve diğ. 2006).

Galaksimizdeki yıldız ve gaz alevlenmeleri birbirleri ile uyumlu olup (Momany ve diğ. 2006), $R > 5$ kpc'lik uzaklık için, yükseklik ölçeğinde galaktik yarıçap ile artış gösterir (Kent ve diğ. 1991; Drimmel ve Spergel 2001; Narayan ve Jog 2002; López-Corredoira ve diğ. 2002b; Momany ve diğ. 2006). Spiral galaksilerin merkez disklerindeki alevlenme mekanizması, gözlemsel yıldız sayım ve yıldız akıntılarındaki katkıların ayırımındaki zorluklar nedeni ile çok iyi çalışılmamıştır. Örneğin; López-Corredoira ve diğ. (2004) Samanyolu'nun 4 kpc'lik iç kısmındaki gözlemsel veri ile teorik eksponansiyel kanununun karşılaştırılmasından, beklenen yıldız sayımlarında eksiklik olduğunu belirlediler. Bu durumu, Galaksi merkezine doğru ilerlerken, Galaksi düzleminin üstündeki yıldızların daha yükseklerle doğru yer değiştirmesine neden olan alevlenme mekanizması ile açıklanabileceğini ifade ettiler.

Bu senaryoda, bir taraftan ortalama disk ($z=0$) burulmanın maksimum ile minimum genlikleri arasında 2 kpc kadar yer değiştirirken (Drimmel ve Spergel 2006; López-Corredoira ve diğ. 2002b; Momany ve diğ. 2006) diğer taraftan yıldızların yükseklik ölçeği, homojensizlikleri açıklayan galaktik disk modeline uygun olan $5 < R < 10$ kpc aralığında, $h_z(R_0)$ yükseklik ölçeği değerinin %50'sine

kadar farklılık gösterebilir (Alves 2000; López-Corredoira ve diğ. 2002b; Momany ve diğ. 2006). Burulma ve alevlenmenin birleşik etkisi Galaksimizin farklı doğrultularında farklı olacağından galaktik model parametrelerinin galaktik koordinatlara bağlı olduğu sonucuna varılabilir. Esas olarak daha büyük radyal uzaklıklarda olmak üzere, farklı doğrultulardaki yıldız alanları için hesaplanan model parametrelerinin farklılık göstermesinin başka bir nedeni daha vardır. Bu, asimetrik haloda yoğunluk fazlalığı olan bölgelerin gözlenmesidir. Asimetrik haloda gözlenen bu yoğunluk fazlalığı hakkında iki senaryo vardır: Biri, halonun üç boyutlu yapısı (Newberg ve Yanny 2006; Jurić ve diğ. 2008; Xu ve diğ. 2006) diğeri ise cüce galaksilerin Galaksimiz ile birleşmesi sonucunda Galaksimize yığılan kalıntılar ile ilgilidir (Wyse ve Gilmore 2005).

Bu çalışmada, Galaksi model parametrelerinin galaktik boylama göre olası değişimlerini incelemek amacı ile, SDSS'in en yeni veri tabanı kullanılarak, galaktik disk ve halonun yapısal parametreleri elde edilmiştir. Çalışmada, tüm galaktik boylam aralığında ($0^\circ \leq l \leq 360^\circ$) yüksek enlemli 36 yıldız alanındaki 1.27 milyon yıldız kullanılmış ve bu yıldızların mutlak kadirleri güvenilir uzaklık tayinini sağlayan yöntemler aracılığıyla hesaplanmıştır. Bölüm 2 de analizlerde kullanılan SDSS verileri, yoğunluk kanunları, mutlak kadirler, uzaklıklar ve yoğunluk fonksiyonları açıklanmıştır. Galaksi model parametrelerinin tayini ve bu parametrelerin galaktik boylama bağlılığı Bölüm 3 de verilmiştir. Son olarak çalışmamıza ait sonuçlar, sırası ile, Bölüm 4 ve 5 de tartışılmış ve özetlenmiştir.

2. SDSS

Uluslararası büyük bir gökyüzü tarama programı olan SDSS, beş optik bantta gökyüzünün 10 000 derece karesini incelemek üzere 1 000 000 galaksi, 100 000 kuazar ve on binlerce yıldızın spektrumunu almak amacı ile kurulmuştur. Veriler, New Mexico'daki Apache Point Gözlemevi'nde (APO) bulunan 2.5m'lik teleskop ile alınmaktadır. Teleskobun iki adet odak düzlemi aleti vardır: 30 adet 2048 x 2048 piksel boyutunda bir CCD mozaik alıcı ve bir çift 320 fiberli spektrograf. CCD Mozaik kamera üzerinde bulunan 22 adet CCD seti gözlenen daha parlak astrometrik standartları bir ağ ile görüntü verisine bağlar. APO'daki 0.5m lik teleskop, parlak fotometrik standartların gözlemlerine ayrılmıştır.

SDSS görüntüleri eş zamanlı olarak merkezi dalga boyları, sırası ile, 3551, 4686, 6166, 7480 ve 8932 Å olan beş geniş bantta (u, g, r, i ve z) alınmaktadır (Fukugita ve diğ. 1996). Fotometrik pipeline, (Lupton ve diğ. 2001) keşfettiği kaynakları beş banttan gelen verileri ile eşleştirir ve aletsel akıllarını, konumlarını ve şekil parametrelerinin (kaynağın nokta kaynak veya uzamış kaynak olduğunu sınıflanmasına yardımcı olan parametre) ölçer. Yıldız popülasyonlarının belirlenmesinde fotometrik kalibrasyonun g, r ve i bantlarında duyarlılığı %2, u ve z bantlarındaki duyarlılığı ise %3 tür (Ivezic ve diğ. 2004; Blanton ve diğ. 2005). Astrometrik kalibrasyonun duyarlılığı 0.1 yay saniyesinden (rms) daha iyidir (Pier ve diğ. 2003). DR5 görüntü katalogu 8000 derece karelik alanı kapsamaktadır (Adelman-McCarthy ve diğ. 2007) ve limit parlaklıkları, sırası ile, 22.0, 22.2, 22.2, 21.3 ve 20.5 olan u, g, r, i ve z bantlarında nokta kaynakların tekrarlanan gözlemleri %95 seviyesinde tamamlamıştır. g, r, i bantlarındaki aşırı doyma miktarı 14 kadir iken u ve z bantlarındaki bu limitler 12 kadir civarındadır.

2.1. Gözlemsel veri ve indirgeme

Bu çalışmada kullanılan, Galaksinin tüm boylamlarını kapsayan ($0^\circ \leq l \leq 360^\circ$), 36 tane yüksek enlemlili yıldız alanının verileri SDSS in WEB Server² dan (DR5) sağlanmıştır. Eşit büyüklükteki (toplam 841 derece kare) 36 yıldız alanındaki 2 164 680 yıldızın SDSS u, g, r, i ve z parlaklıkları kullanılmıştır. Çalışmada eşit büyüklükte alanlar seçilmesine karşın, farklı boylamlardaki alanların yüzey yoğunlukları aynı değildir (Şekil 1). Bu durum, Galaksi model parametrelerinin galaktik boylama bağlılığını gösteren ilk kanıttır. SDSS taramasının gözlem stratejisinden dolayı $g_0=14$ kadirde daha parlak kaynaklarda aşırı doymadan, $g_0=22.2$ den daha sönük kadirlerde ise yıldız sayımları tam değildir. Bu nedenle, Galaksi model parametreleri $15 < g_0 < 22.2$ görünen kadir aralığındaki yıldızlardan tayin edilmiştir.

E(B-V) renk artışı değerleri, SDSS'in WEB server üzerinden her bir kaynak için Schlegel ve diğ.'nın (1998) kızarma haritaları

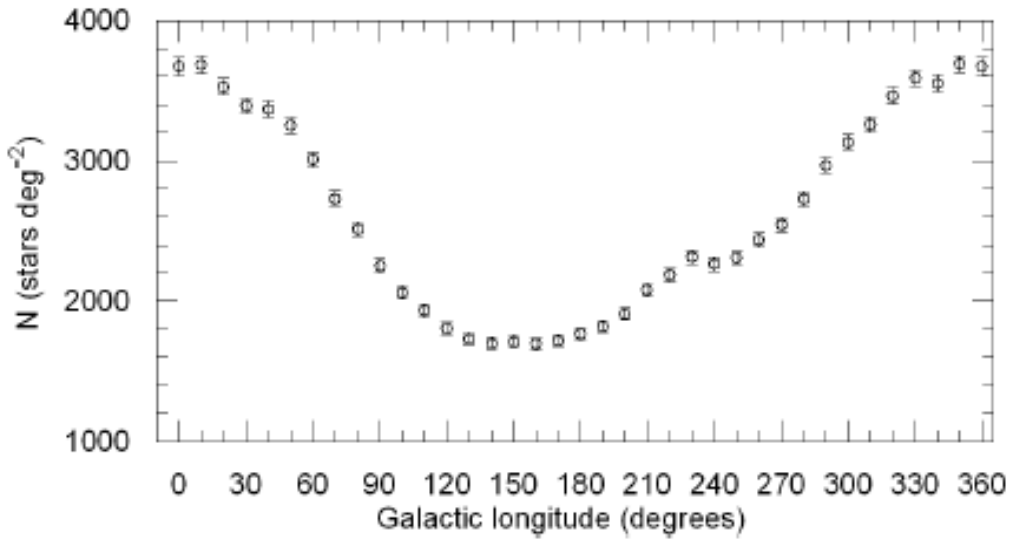
²<http://www.sdss.org/dr5/access/index.html>

kullanılarak tayin edilmiştir. Her bir yıldızın toplam absorbsiyon katsayısı A_v ,

$$A_v = 3.1E(B-V) \quad (1)$$

denklemleri ile elde edilmiştir. SDSS'deki beş band için toplam absorbsiyon (A_m) ise Fan (1999) tarafından her band için verilen A_m / A_v oranlarına ait katsayılar kullanılmıştır. $m = u, g, r, i$ ve z bandları için A_m / A_v değerleri, sırası ile, 1.593, 1.199, 0.858, 0.639 ve 0.459 dir. Yıldızlar, belirli bir bandtaki kızarmış görünen parlaklık (u, g, r, i, z) ile o bandtaki kızarma değerinin (A_u, A_g, A_r, A_i, A_z) farkı alınarak kızarmadan arındırılmışlardır (2).

$$u_0 = u - A_u, g_0 = g - A_g, r_0 = r - A_r, i_0 = i - A_i, z_0 = z - A_z \quad (2)$$



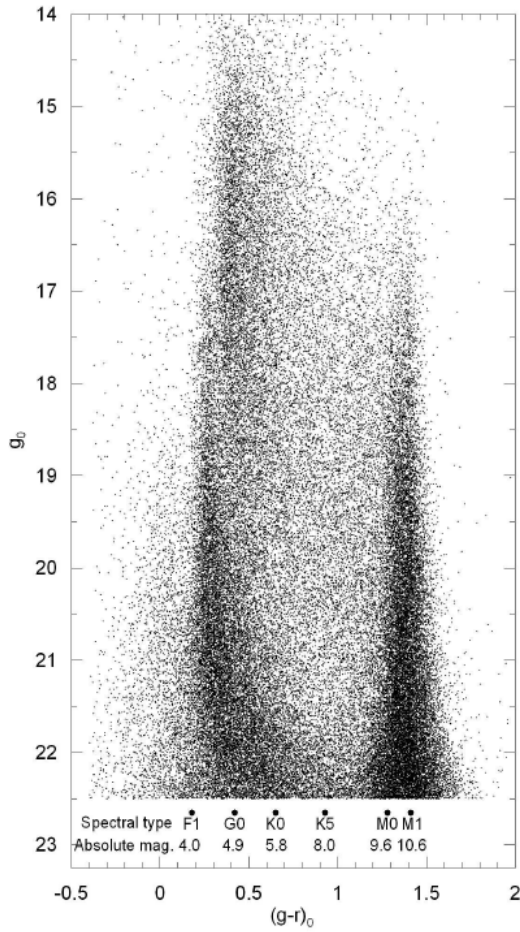
Şekil 1. Yüksek galaktik enlemli ($\langle b \rangle = 62^\circ.5$) 36 farklı galaktik boylamdaki ($0^\circ < l < 360^\circ$) yıldız alanlarının yüzey yoğunlukları.

Yıldızların toplam absorbsiyon katsayısı (A_m) değerlerine SDSS'in sorgulama servisinden ulaşılmaktadır. Bundan sonra bahsedilecek renk ve parlaklıklar kızarmadan arındırılmışlardır. Çalışmada kullanılan yıldızların büyük çoğunluğunun uzaklığı 0.4 kpc'den daha büyüktür ve bu nedenle yıldızların kızarmadan arındırılmasında Galaksimiz için kızarma haritasında verilen toplam absorbsiyonun kullanılması uygundur. Aslında, Galaksimizdeki tozun

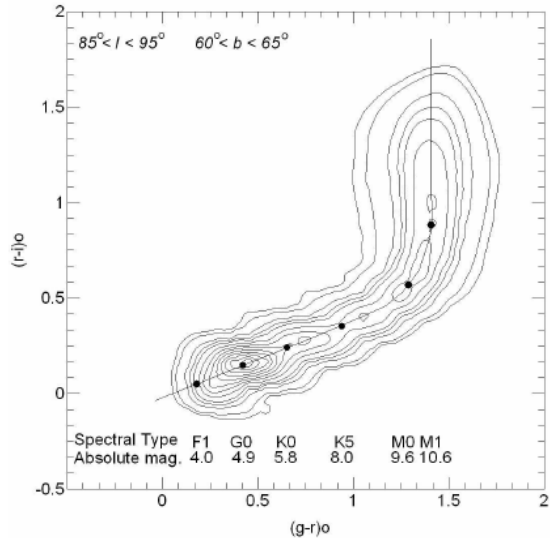
yükseklik ölçeği (Marshall ve diğ. 2006, 125 pc) ile $r = 0.40$ kpc ($z = 0.35$ kpc) uzaklık birleştirildiğinde, çalışmamızdaki en yakın yıldızlar için toplam kızarma değerinin Galaksi düzlemindeki değerinin %6 sı kadar azaltılması gerektiği bulunmuştur.

Chen ve diğ.'nin (2001) çalışmasına göre, $g_0/(g-r)_0$ renk-kadir diyagramından yararlanarak Galaksimizin yıldız popülasyonları sınıflandırılabilir. Bu diyagrama göre mavi yıldızlara iki popülasyon hakimdir. $g_0 > 18$ kadir aralığında etkin ve dönüm noktası $(g-r)_0 \sim 0.2$ kadir olan galaktik halo yıldızları, $15 < g_0 \leq 18$ aralığında etkin ve dönüm noktası $(g-r)_0 \sim 0.33$ kadir olan kalın disk yıldızları. İnce disk yıldızları ise renk indeksi $(g-r)_0 \geq 1.3$ deki kırmızı yıldızlardır ve tüm görünen parlaklıklarda bulunmaktadır. Şekil 2'de Galaksimizdeki yıldız popülasyonların spektral tipleri ve mutlak parlaklıkları gösterilmiştir.

Bununla birlikte, tüm kaynakların renk-kadir ve iki renk diyagramlarına bakıldığında, Chen ve diğ.'nin (2001) çalışmalarında doğruladıkları, galaksi-dışı kaynakların karışımı olduğu görülmüştür. Yıldız ve galaksi-dışı cisimlerin ayırımı için “yıldızımsılık” parametresine dayanan Bertin ve Arnouts'a (1996) ait SExtractor programından yararlanılmaktadır. Bu parametre 0 (galaksi-dışı kaynak) ile 1 (nokta kaynak) arasında değerler alır. Nokta kaynakların en iyi şekilde belirlenebilmesi, yıldızımsılık indeksinin 0.8'den büyük olmasını gerektirir. Ayrıca, galaksi ve nokta kaynakların ayırımında görüş kalitesi (seeing) ve gökyüzü parlaklık etkisi de önemlidir. Ayrıca, sıcak beyaz cüceleri, düşük kırmızıya kayma gösteren kuazarları ve ayırt edilememiş beyaz/kırmızı cüce çift yıldız sistemlerini örneğimizden çıkarabilmek için Juric ve diğ.'nin (2008) “yıldız yerleri” yöntemi kullanılmıştır. Kısaca bu yöntem, yıldız yerinden ± 0.3 kadir uzaklığının dışında kalan bölgedeki kaynakların örnekten çıkarılmasına dayanmaktadır (Şekil 3).



Şekil 2. Merkezi galaktik boylamı $\langle l \rangle = 90^\circ$ olan yıldız örneğine ait renk-kadir diyagramı. Spektrel tip ve mutlak parlaklıklar yatay eksende açıklanmıştır. Kalın disk yıldızları ($14 < g_0 \leq 18$) ve halo ($g_0 > 18$) yıldızları mavi bölgede yoğun iken ince disk yıldızları kırmızı bölgede yoğunudur.



Şekil 3. Merkezi galaktik boylamı $\langle l \rangle = 90^\circ$ olan yıldız alanına ait $(g-r)_0/(r-i)_0$ iki renk diyagramı. Eş yoğunluk eğrileri Jurić ve diğ.'nin (2008) çalışmasındaki yıldız yerlerinden $d < 0.3$ kadar uzaklığındaki yıldızların yerlerini göstermektedir.

2.2 Yoğunluk kanunları

Çalışmada, Basel grubunun yoğunluk kanunları kullanılmıştır (Buser ve diğ. 1998, 1999). Diske ait model parametreleri, silindirik koordinatlarda Galaksimizin dik ve radyal doğrultudaki eksponansiyel değişim ile ifade edilmiş aşağıdaki kanun ile tayin edilmiştir:

$$D_i(R, z) = n_i \exp(-|z|/H_{z,i}) \exp(-(x - R_0)/h_i) \quad (3)$$

Burada $z = z_{\odot} + r \sin(b)$; r , yıldızın Güneş'e olan uzaklığı; b , yıldızın galaktik enlemi; $z_{\odot}$, Güneş'in Galaksi düzleminde olan dik uzaklığı, 24 pc (Juric ve diğ. 2008); R_0 , yıldızın Galaksi merkezine uzaklığı (8 kpc, Reid 1993); $h_{z,i}$, ince disk ($i=1$) ve kalın disk ($i=2$) popülasyonunun yükseklik ölçeği; h_i , ince disk ($i=1$) ve kalın disk ($i=2$) popülasyonunun 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 kullanılmaktadır. Bu kanun Young (1976) tarafından üç boyutlu olarak tekrar tasarlanmıştır:

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

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 , ise kaynağın Galaksi merkezine olan uzaklığının Galaksi düzlemi üzerindeki izdüşümüdür:

$$x = \left[R_0^2 + (z/\tan b)^2 - 2R_0(z/\tan b)\cos l \right]^{1/2} \quad (5)$$

z , yıldızın galaktik düzlemden uzaklığı; l ve b yıldızın galaktik boylamı ve enlemidir.

Basel grubunun (Fenkart 1989a, b, c, d) kullandığı yoğunluk kanunu etkin yarıçaptan bağımsız fakat Güneş'in Galaksi merkezine olan uzaklığına bağlıdır. Galaksimizin halo popülasyonunun ait model parametrelerinin tayini için (6) eşitliğinde verilen *de Vaucouleurs* kanunu kullanılmıştır (de Vaucouleurs, 1948).

$$D_s(R) = \frac{n_s \exp\{10.093[1 - (R/R_0)^{1/4}]\}}{(R/R_0)^{7/8}} \quad (6)$$

2.3 Mutlak kadirler, uzaklıklar ve yoğunluk fonksiyonları

Yıldızların mutlak parlaklıkları iki farklı yöntem ile hesaplanmıştır. $4 < M_g \leq 8$ mutlak kadir aralığındaki (geç F-K5 spektrel sınıfı) anakol yıldızları için Karaali ve diğ.'nin (2005, KBT), morötesine duyarlı, (7) numaralı kalibrasyonu ile $8 < M_g \leq 10$ mutlak kadir aralığındaki (K5-M0 spektrel tip) anakol yıldızları için Bilir ve diğ.'nin (2005, BKT) SDSS fotometrisi için geliştirdikleri mutlak kadir kalibrasyonu kullanılmıştır.

KBT yöntemi, $(g-r)_0$ renk indeksi ve $\delta_{0.43}$ normalleştirilmiş morötesi artığının fonksiyonu olarak verilen, ΔM_g^H , Hyades anakoluna göre normalize edilmiş mutlak kadirine dayanmaktadır. Burada $\delta_{0.43}$, bir yıldızın $(g-r)_0 = 0.43$ (UBV fotometrisinde $(B-V) = 0.6$ kadirinin SDSS sistemindeki karşılığı) renk indeksindeki bir Hyades yıldızına göre gösterdiği morötesi artıdır.

$$\Delta M_g^H = c_3 \delta_{0.43}^3 + c_2 \delta_{0.43}^2 + c_1 \delta_{0.43} + c_0 \quad (7)$$

Yukarıdaki bağıntıda c_i ($i=0, 1, 2, 3$) katsayıları $(g-r)_0$ nin bir fonksiyonu olarak Karaali ve diğ.'nin (2005) çalışmasından alınmıştır. ΔM_g^H , aynı $(g-r)_0$ renk indeksindeki bir Hyades yıldızı ile örnekteki bir yıldızın mutlak kadirleri arasındaki farktır:

$$\Delta M_g^H = M_g^* - M_g^H \quad (8)$$

M_g^H , mutlak kadiri Hyades kümesinin anakolu yardımı ile tayin edilir. Yıldızın mutlak kadiri M_g^* (8) numaralı denklemin kullanılması ile bulunur.

Bir Hyades yıldızının mutlak kadiri KBT'nin (KBT çalışmasındaki 15 eşitliği) normalize edilmiş Hyades anakolundan hesaplanabilir. Bu yöntem, Ak ve diğ.'nin (2007b) çalışmasında da kullanılmış olup yöntemin iki avantajı vardır: 1) yıldızların popülasyon ayırımının yapılmasına gerek yoktur ve 2) yıldızların mutlak kadirleri, ait oldukları popülasyonları temsil eden kümelerin renk kadir diyagramlarının kullanıldığı yöntemle göre daha hassas olan yıldızların morötesi artıklarının bir fonksiyonu olarak her bir yıldız

için ayrı ayrı uygulanan KBT yöntemi ile elde edilir. Yukarıdaki iki eşitliğin kullanılması ile bir yıldızın mutlak kadiri tayin edilebilir.

KBT yöntemi ile, $4 < M_g \leq 8$ mutlak parlaklık aralığına karşılık gelen $0.09 < (g-r)_0 < 0.93$ renk aralığındaki yıldızların mutlak kadiri hesaplanabilir. Bu yüzden, $8 < M_g \leq 10$ mutlak parlaklık aralığındaki geç spektral tipten (K5-M0) cüce yıldızlarının mutlak kadirleri Bilir ve diğ.'nin (2005) sıcaklığa duyarlı mutlak kadir kalibrasyon ile hesaplanmıştır.

$$M_g = 5.791(g-r)_0 + 1.242(r-i)_0 + 1.412 \quad (9)$$

Sönük mutlak kadirli yıldızlar, büyük uzaklıklarda mutlak olarak parlak yıldızların uzay yoğunluklarının ve Hipparcos'un (Jahreiss ve Wielen 1997) yerel yoğunluklarının birleştirilmesi ile Güneş'e yakın uzaklıklarda uzay yoğunluklarının hesabını sağladıklarından çok yararlıdırlar. Böylece $4 < M_g \leq 10$ mutlak kadirinde ve Güneş'ten uzaklığı $0.4 < r \leq 25$ kpc ($0.4 < z \leq 21$ kpc) olan yıldız örneğinin yoğunluk fonksiyonlarının elde edilmesi sağlanmıştır. Galaksi model parametrelerinin hesaplanması ve galaktik boylama göre değişimlerinin incelenmesinde mutlak parlaklık aralığı yeterince geniştir. Söz konusu mutlak kadirler ve bu mutlak kadirlerle karşılık gelen spektral tipler (erken F ile erken M spektral tipe doğru), örnek olarak merkezi koordinatı $\langle l \rangle = 90^\circ$ olan yıldız alanının, $(g-r)_0/(r-i)_0$ iki renk diyagramında siyah noktalar ile gösterilmiştir (Şekil 3). Hipparcos'un (Jahreiss ve Wielen 1997) $4 < M_g \leq 10$ mutlak kadir aralığındaki ortalama logaritmik uzay yoğunluğu $D^* = 7.49$ 'dur.

Gözlenen kaynaklar uzak olduklarından gözlemler bazı seçim etkilerini içermektedir. Bu seçim etkilerinden biri de Malmquist (1920) tarafından kendi ismi ile anılan "Malmquist yanlılığı" dır. Güneş merkezli büyük bir uzay hacmi içerisinde bulunan kaynaklar incelenirken, Güneş'ten çok uzakta bulunan yıldızlar dikkate alındığında ışımaya gücü büyük olanların gözlenme olasılığı daha büyüktür. Yani, aynı uzaklıktaki küçük kütleli yıldızlar fark edilmeyebilir. Bu da bir seçim etkisinin oluşmasına neden olur. Bu seçim etkisini giderilebilmek için Malmquist'in (1920) çalışmasında verdiği denklem kullanılmıştır:

$$M_g = M_0 - \sigma^2 \frac{d \log A(g)}{dg} \quad (10)$$

Burada M_g , varsayılan mutlak kadir; M_0 , Karaali ve diğ. (2005) ile Bilir ve diğ.'nin (2005) çalışmalarındaki mutlak kadir kalibrasyonu ile hesaplanan mutlak kadir; σ , kalibrasyonlara ait dispersiyon yaklaşık 0.25 kadir; $A(g)$, herhangi bir yıldızın g_0 görünen kadirindeki diferansiyel sayımıdır. KBT ve BKT mutlak kadir kalibrasyonlarının dispersiyonu 0.25 civarında olup fotometrik uzaklıkta %10'luk bir hataya karşılık gelir. Her bir birim görünen kadir aralığına, (4,5], (5,6], (6,7], (7,8], (8,9], (9,10], Malmquist düzeltmesi uygulanmıştır. Bu şekilde, Malmquist yanlılığı olan uzay yoğunluğu rölatif olarak homojen hale getirilmiştir. Yukarıda belirtilen mutlak kadir aralıkları için Malmquist düzeltmeleri, sırası ile, 0.005, 0.003, 0.007, 0.008, 0.012 ve 0.012 dir.

Mutlak kadirleri hassas bir şekilde hesaplanan yıldızların Güneş'e olan r uzaklıkları, fotometrik paralaks yöntemi (11) ile hesaplandı.

$$g_0 - M(g) = 5 \log r - 5 \quad (11)$$

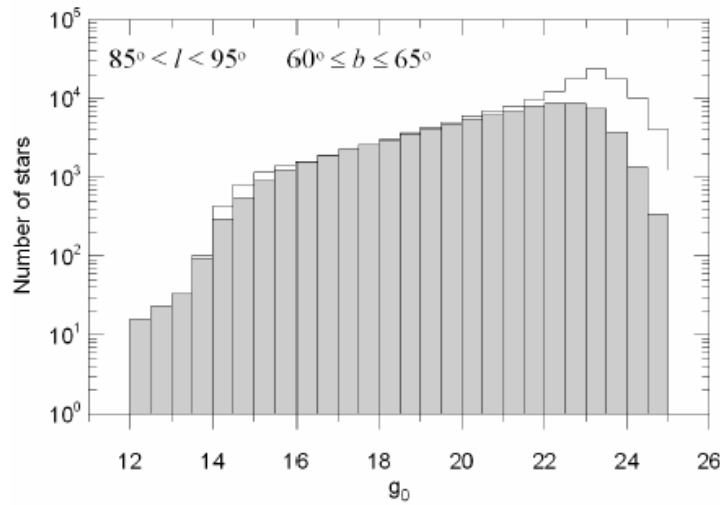
Her bir yıldız alanı için üç popülasyonun (ince disk, kalın disk ve halo) birleştirilmiş $D^* = \log D + 10$ logaritmik uzay yoğunluğu hesaplanmıştır. Burada,

$D = N / \Delta V_{1,2}$; $\Delta V_{1,2} = \left(\frac{\pi}{180} \right)^2 \left(\frac{A}{3} \right) (r_2^3 - r_1^3)$; A , yıldız alanının büyüklüğü (23.08 der²); r_1 ve r_2 , $\Delta V_{1,2}$ hacminin minimum ve maksimum uzaklıkları; N birim mutlak kadirdeki yıldız sayısıdır. $\Delta V_{1,2}$ hacminin merkezi uzaklığı, $r^* = [(r_1^3 + r_2^3) / 2]^{1/3}$; Galaksi düzleminden dik uzaklığı $z^* = r^* \sin(b)$, b yıldız alanının merkezi enlemidir. Yıldızların galaktik düzleme olan limit dik uzaklığı z_b , aşağıdaki denklemler ile hesaplanmıştır:

$$g_l - M_g = 5 \log r_l - 5 \quad (12)$$

$$z_l = r_l \sin(b) \quad (13)$$

Burada, g_l limit görünen kadir (parlak ve sönük yıldızlar için, sırası ile, 15 ve 22.2 kadirdir, Şekil 4); r_l , Güneş'e göre tamlığın limit uzaklığı; M_g , $(M_1, M_2]$ mutlak kadir aralığını ((4,5], (5,6], (6,7], (7,8], (8,9], (9,10] mutlak kadir aralıkları için) tanımlayan mutlak kadirdir. Yıldızların küçük ve büyük limit uzaklıkları için ilgili parlak ve sönük mutlak kadir aralıkları dikkate alınmıştır.



Şekil 4. Galaktik boylamı $l = 90^\circ$ olan yıldız alanı için nokta kaynakların (beyaz bölge) ve son yıldız örneğinin (gölge bölge) görünen parlaklık histogramı.

Çalışmadaki yoğunluk fonksiyonlarına, dev ve çift yıldızlara ait herhangi bir düzeltme uygulanmamıştır. Fakat evrimleşmiş yıldızların çoğu parlak limit kadirin $g_0 \leq 15$ alınması ile fotometrik olarak istatistik dışı bırakılmıştır. $g_0 > 15$ görünen parlaklık aralığındaki dev ve cüce yıldızların karşılaştırılması yapılmıştır. Dev yıldızların ortalama mutlak kadiri $M_g = 1.5$ alındığında, $g_0 = 15$ parlaklığı için dev yıldızların Galaksi düzleminden uzaklığı $z = 4.5$ kpc'e karşılık gelmektedir. Kalın disk cüce yıldızları için $H = 650$ pc yükseklik ölçeği ve $D^* = 6.35$ uzay yoğunluğu kullanılmış ve Bilir ve diğ.'indeki (2006a) $H = 585$ pc yükseklik ölçeğine ve $D^* = 5.58$ yerel yoğunluğuna karşılık gelen uzay yoğunlukları ile karşılaştırılmıştır. $g_0 = 15$ den daha sönük görünen parlaklıklarda bulunan kalın disk dev yıldızlarının sayısı, cüce yıldızların sayısının %8'inden daha azdır. $z \geq 4.5$ kpc uzaklığındaki halo devlerinin sayısının halo cücelerine oranı %2'dir.

Metalce fakir halo devlerinin sayısını hesaplayabilmek için Helmi ve diğ.'nin (2003) çalışmasındaki kriterler kullanılmıştır. Metalce fakir dev yıldızların ayırımında Helmi ve diğ.'nin (2003) çalışmasında verdikleri $r_0 < 19$, $1.1 \leq (u-g)_0 \leq 2.0$, $0.3 \leq (g-r)_0 \leq 0.8$, $-0.1 < P_1 < 0.6$ ve $s > m_s + 0.05$ kriterleri kullanılmıştır. Burada $P_1 = 0.910(u - g)_0 + 0.415(g-r)_0 - 1.28$, $s = -0.249u + 0.794g - 0.555r + 0.24$, $m_s = 0.002$ dir. Bu kriterler uygulandığında $4 \leq M_g \leq 10$ mutlak kadir aralığında 460 dev yıldız bulunmuş ve $85^\circ < l < 95^\circ$ galaktik boylamındaki dev yıldızların, toplam yıldız örneğine ($N = 19325$) karışımı %2 olarak hesaplanmıştır.

Spektrel tipe bağlı olarak örnekte bulunan çift yıldızların oranı %25-50 aralığındadır. Çift yıldız oranı % 50 kabul edelirse bir fotometrik paralaks değerinde ifade edilen yükseklik ölçeği, gerçek değerinin yaklaşık % 80'dir (Siegel ve diğ. 2002). Fakat bu çalışmada, Galaksinin farklı doğrultularındaki yıldız alanları için belirli bir popülasyona ait yıldızların yükseklik ölçekleri karşılaştırıldığından, yükseklik ölçeklerinin gerçek değeri değil, bu ölçeklerin rölatif değerleri önemlidir. Bu yüzden çalışmada çift yıldızların yıldız örneğine etkisi ihmal edilmiştir.

3. Galaksi Model Parametreleri

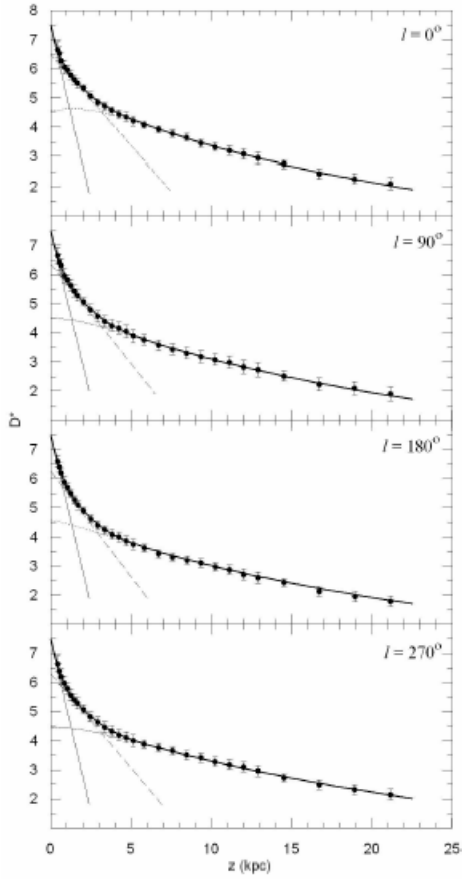
3.1. Galaktik model parametrelerinin tayini

Çalışmada, galaktik model parametreleri (ince ve kalın disklerin yerel uzay yoğunlukları ile yükseklik ölçekleri ve halonun yerel uzay yoğunluğu ile eksen oranı), eşzamanlı olarak gözlemlerden elde edilen (üç popülasyonun birleşimi ile) uzay yoğunluk fonksiyonları ile teorik uzay yoğunluklarının karşılaştırılmasından hesaplanmıştır. Bu çalışmada mutlak kadirce sönük yıldızların olması, Galaksi düzlemine yakın yıldızların ($z = 0.4$ kpc) uzay yoğunluklarının elde edilmesini sağlamıştır. Dolayısıyla, yakın yıldızlar için elde edilen yoğunluk ile Hipparcos'un Güneş civarı için verdiği (Jahreiss ve Wielen 1997, $D^* = 7.49$ değeri $4 \leq M_g \leq 10$ aralığı için ortalama uzay yoğunluğudur) logaritmik yoğunluk arasında güvenilir bir ekstrapolasyon yapılması mümkündür.

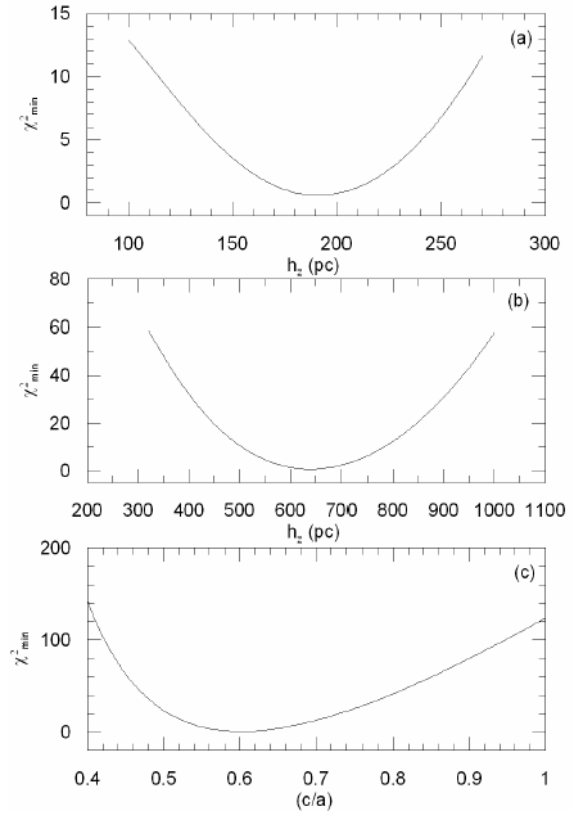
Galaktik model parametrelerinin tayininde klasik χ^2 analizi kullanılmıştır. χ^2 metodu son zamanlarda yapılan galaktik yapı çalışmalarında galaktik model parametrelerinin elde edilmesinde çok yaygın olarak kullanılmaktadır (Phleps ve diğ. 2000, 2005; Chen ve

diğ. 2001; Siegel ve diğ. 2002; Du ve diğ. 2003, 2006). Galaktik boylamı $l = 0^\circ$, $l = 90^\circ$, $l = 180^\circ$, $l = 270^\circ$ olan dört yıldız alanına ait gözlemsel logaritmik yoğunluklar ile teorik yoğunlukların karşılaştırılması Şekil 5’de verilmiştir. $\chi^2_{\min}$, simetriye yakın bir dağılım göstermektedir (Şekil 6). Model parametrelerine ait negatif veya pozitif hata hesabı $\chi^2_{\min}$ bir kat azaltılarak veya artırılarak hesap edilmiştir (Phleps ve diğ. 2000). 36 yıldız alanından hesaplanan galaktik model parametreleri ile bu parametrelere ait hatalar Tablo 1’de listelenmiştir. İndirgenmiş $\chi^2_{\min}$ değerleri ve bu değerlere karşılık gelen olasılıklar da Tablo 1’de gösterilmiştir. Olasılıklar galaktik model parametrelerinin doğruluğunu gösteren oldukça yüksek değerler alırken, indirgenmiş $\chi^2_{\min}$ değerleri de, beklenildiği gibi küçük değerlerdedir.

Galaktik model parametrelerinin tayininde herhangi bir dejenerasyonluk olup olmadığını kontrol etmek için farklı bir yöntem kullanılmıştır. İlk olarak, Galaksi düzleminden dik uzaklığı $z > 5$ kpc olan yıldızların gözlemsel ve teorik logaritmik yoğunlukları karşılaştırılarak halonun yerel yoğunluğu ve eksen oranı hesaplanmıştır (Şekil 7a). $z \leq 5$ kpc uzaklık aralığındaki gözlemsel yoğunluklardan halo için bağımsız olarak elde edilen yoğunluk çıkartılarak gözlemsel yoğunluk ile teorik (ince ve kalın disk için) yoğunlukların karşılaştırılmasından ince ve kalın diskin yoğunluğu ve yükseklik ölçeği tayin edilmiştir (Şekil 7b). Bu yöntem, halodan bağımsız olarak ince ve kalın disk parametrelerin elde edilmesine olanak sağlamıştır. İnce ve kalın diske ait parametreler, eş zamanlı olarak üç bileşen ile elde edilen yükseklik ölçekleri ile uyumludur. Dolayısıyla, çalışmada elde edilen model parametrelerinde dejenerasyonluğun etkili olmadığı söylenebilir.



Şekil 5. Dört farklı galaktik boylamda üç popülasyona ait yıldızların birleşimi için hesaplanmış (kalın katı çizgiler) ve gözlenmiş (içi dolu noktalar) uzay yoğunluk fonksiyonları: ince disk (ince katı çizgi), kalın disk (kesikli çizgi), halo (noktalı çizgi).



Şekil 6. Galaktik boylamı $l = 90^\circ$ olan yıldız alanı için üç galaktik model parametresinin χ^2_{min} değişimi. (a) ince diskin yükseklik ölçeği, (b) kalın diskin yükseklik ölçeği, (c) halonun basıklığı. Şeklin (a) ve (b) bölümlerinde χ^2_{min} değişimi simetrik iken, (c) bölümünde değişim biraz sağa yatıktır.

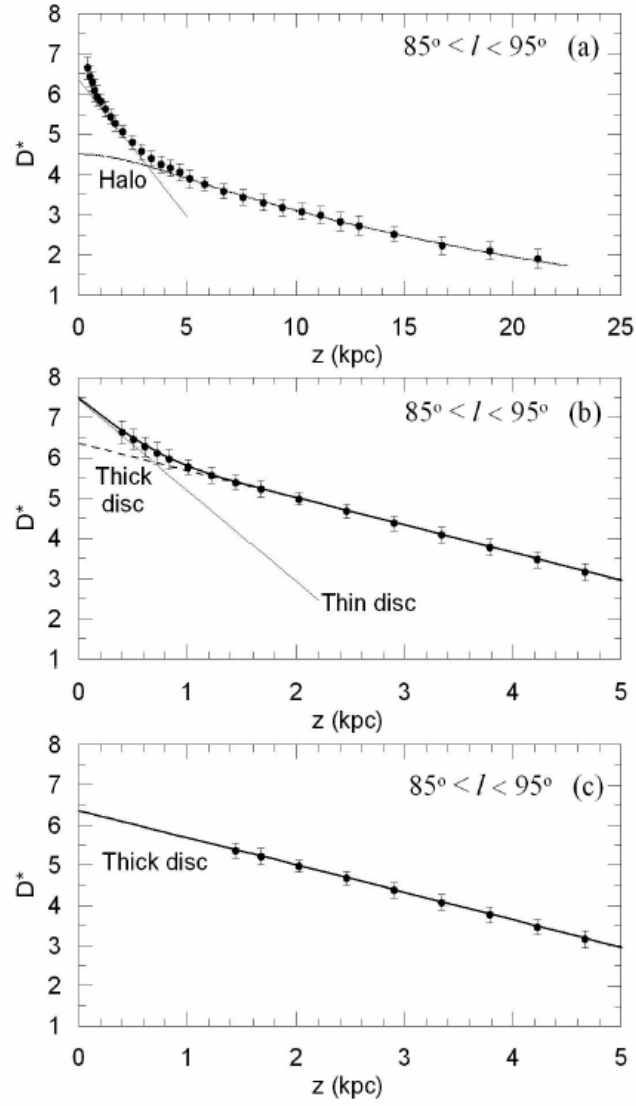
Benzer yöntem ince ve kalın diske uygulanmıştır. $0.4 < z \leq 5$ aralığındaki gözlemsel verilerden elde edilen gözlemsel yoğunluklar ile teorik yoğunluklar karşılaştırılarak eş zamanlı olarak ince ve kalın diskin yerel yoğunlukları ve yükseklik ölçekleri tayin edilmiştir. Kalın diskin etkin olduğu $1.5 < z \leq 5$ uzaklık aralığında kalın disk için hesaplanan model parametreleri ile karşılaştırılmıştır (Şekil 7c). Hesaplanan parametreler arasında önemli bir farklılık görülmediğinden, ince ve kalın disk model parametreleri arasında dejenerasyonluğun olmadığı söylenebilir.

Ek olarak, Şekil 8'de galaktik boylamı $l = 0^\circ$, $l = 90^\circ$, $l = 180^\circ$, $l = 270^\circ$ olan yıldız alanları için halonun rölatif yoğunluğuna karşılık eksen oranları ve kalın diskin rölatif yoğunluğuna karşılık yine kalın

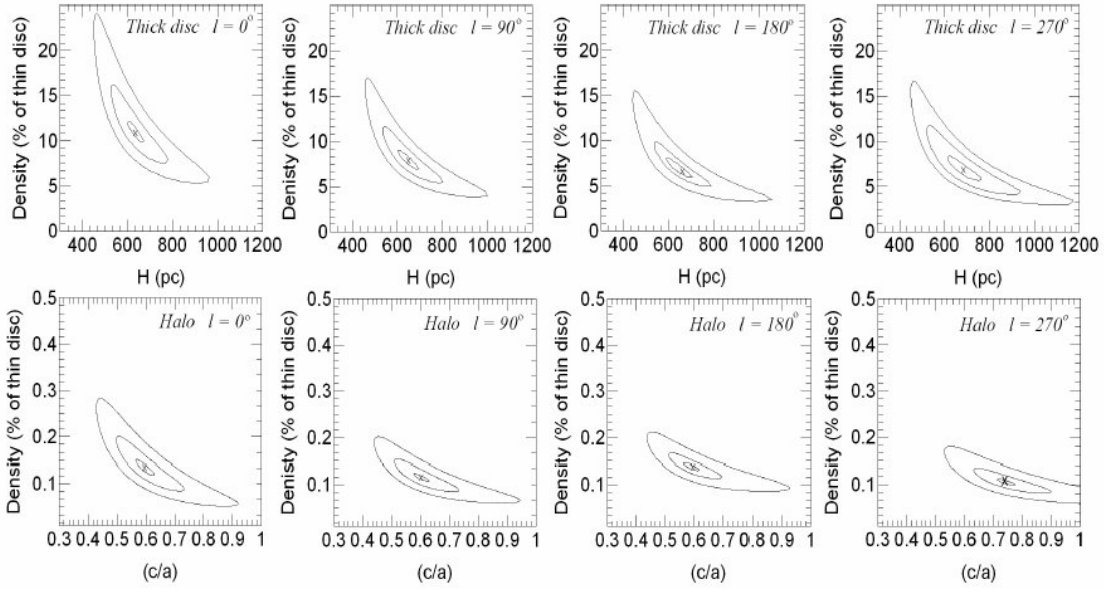
diskin yükseklik ölçekleri çizilmiştir. Konturlar σ , 2σ ve 3σ standart sapmaya denk gelen χ^2 leri göstermektedir. Paneller üzerindeki çarpı işareti $\chi^2_{\min}$ gösteren model parametrelerin yerini göstermektedir.

Tablo 1. Yüksek enlemlili ($60^\circ < b < 65^\circ$) 36 yıldız alanı için oluşturulan yoğunluk profillerinden hesaplanmış galaktik model parametreleri ve hataları. Sütunlar şu sıradadır: $\langle l \rangle$ yıldız alanının merkezi boylamı; (h_z), sırası ile, ince ve kalın disk yükseklik ölçeği; (n_2/n_1) ve (n_3/n_1), sırası ile, kalın disk ve halonun rölatif uzay yoğunluğu; (c/a) halonun basıklığı; (N) incelenen alanın birim derece karedeki yıldız yoğunluğu; ($\tilde{\chi}^2_{\min}$) indirgenmiş ki-kare minimum değeri; (Probability) hesaplanan en küçük χ^2 değerine karşılık gelen uyumluk derecesi.

$\langle l \rangle$ ($^\circ$)	Thin disc		Thick disc		Halo		N (stars/deg ²)	$\tilde{\chi}^2_{\min}$	Probability
	h_z (pc)	h_z (pc)	n_2/n_1 (%)	n_3/n_1 (%)	c/a				
0	177±9	634±46	10.96±1.23	0.14±0.01	0.60±0.02		3672±61	0.517	0.972
10	178±6	613±28	12.50±0.90	0.16±0.01	0.58±0.01		3686±61	0.488	0.981
20	167±8	586±27	15.14±1.15	0.17±0.01	0.57±0.01		3527±59	0.438	0.991
30	187±9	620±44	11.67±1.33	0.17±0.01	0.56±0.01		3391±58	0.844	0.677
40	180±6	595±28	13.46±1.46	0.19±0.02	0.54±0.02		3370±58	0.475	0.984
50	172±6	609±26	13.30±0.89	0.16±0.01	0.58±0.02		3251±57	0.537	0.965
60	195±6	641±35	10.33±0.86	0.13±0.01	0.62±0.01		3008±55	0.795	0.742
70	181±7	616±38	11.07±1.01	0.12±0.01	0.62±0.01		2733±52	0.335	0.999
80	178±7	598±35	10.86±1.03	0.14±0.01	0.58±0.01		2514±50	0.399	0.995
90	192±7	647±52	7.89±1.02	0.12±0.01	0.60±0.02		2252±47	0.541	0.963
100	189±5	638±35	7.94±0.69	0.12±0.01	0.58±0.01		2063±45	0.310	0.999
110	186±4	648±35	7.11±0.62	0.12±0.01	0.59±0.01		1932±44	0.479	0.983
120	196±7	667±68	5.45±0.90	0.15±0.01	0.54±0.01		1807±43	0.855	0.662
130	184±6	581±36	8.75±0.96	0.16±0.01	0.54±0.01		1732±42	0.468	0.986
140	172±4	550±23	10.26±0.70	0.16±0.01	0.54±0.01		1698±41	0.413	0.994
150	183±4	568±26	8.71±0.69	0.16±0.01	0.54±0.01		1712±41	0.450	0.989
160	195±8	603±64	7.23±1.22	0.16±0.03	0.53±0.04		1697±41	0.543	0.962
170	195±7	638±67	6.35±1.05	0.17±0.01	0.54±0.01		1719±41	0.816	0.715
180	195±4	658±42	6.22±0.62	0.14±0.01	0.61±0.03		1766±42	0.681	0.869
190	198±4	646±37	6.46±0.59	0.12±0.01	0.65±0.01		1822±43	0.630	0.912
200	199±7	657±61	6.35±0.91	0.13±0.01	0.67±0.03		1911±44	0.541	0.963
210	179±5	598±31	9.46±0.77	0.14±0.01	0.71±0.02		2083±46	0.396	0.996
220	185±7	594±46	9.16±1.12	0.13±0.01	0.76±0.02		2186±47	0.656	0.892
230	198±4	654±36	7.08±0.59	0.13±0.01	0.75±0.01		2314±48	0.372	0.997
240	174±4	603±26	9.18±0.57	0.13±0.01	0.71±0.04		2264±48	0.495	0.979
250	189±4	621±27	8.09±0.56	0.16±0.01	0.64±0.01		2310±48	0.331	0.999
260	188±6	658±44	7.53±0.79	0.12±0.01	0.72±0.02		2439±49	0.538	0.964
270	186±9	684±80	6.82±1.23	0.11±0.01	0.73±0.03		2545±50	0.399	0.995
280	196±4	716±35	6.00±0.46	0.11±0.01	0.73±0.02		2728±52	0.392	0.996
290	188±9	704±71	6.85±1.09	0.10±0.01	0.75±0.02		2967±54	0.501	0.977
300	190±7	679±50	7.60±0.89	0.11±0.01	0.73±0.01		3133±56	0.495	0.979
310	173±3	649±16	9.33±0.42	0.12±0.01	0.68±0.01		3258±57	0.390	0.996
320	186±8	669±43	8.32±0.86	0.12±0.01	0.68±0.01		3465±59	0.444	0.990
330	178±7	600±34	10.74±1.04	0.07±0.01	0.66±0.01		3590±60	0.564	0.953
340	184±5	619±14	10.30±0.82	0.15±0.01	0.61±0.01		3554±60	0.398	0.995
350	200±6	658±39	8.73±0.89	0.17±0.01	0.58±0.01		3689±61	0.732	0.817
360	177±9	634±46	10.96±1.23	0.14±0.01	0.60±0.01		3672±61	0.517	0.972



Şekil 7. Galaktik boylamı $l = 90^\circ$ olan yıldız alanı için hesaplanan galaktik model parametrelerindeki dejenerasyonluğunun analizi.

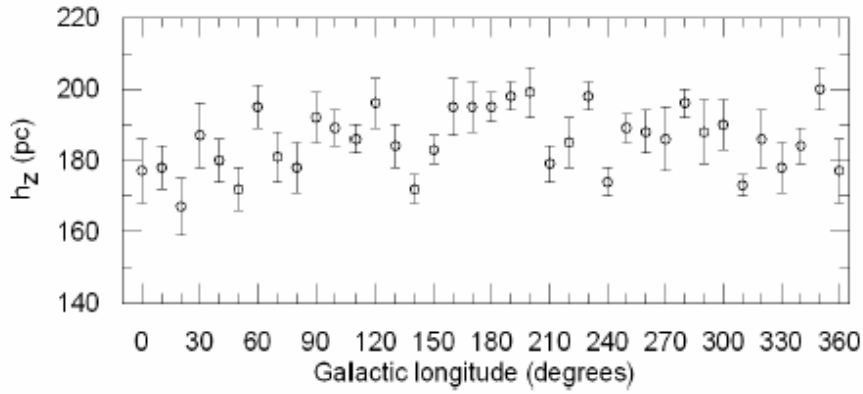


Şekil 8. Galaktik boylamları $l = 0^\circ$, $l = 90^\circ$, $l = 180^\circ$, $l = 270^\circ$ olan yıldız alanları için halonun rölatif yoğunluğuna karşılık eksen oranları ile kalın diskin rölatif yoğunluğuna karşılık yükseklik ölçeklerinin farklı değerlerine karşılık gelen χ^2_{min} larının konturları. Konturlar σ , 2σ ve 3σ standart sapmaya denk gelen χ^2 leri göstermektedir. Paneller üzerindeki çarpı işareti χ^2_{min} gösteren model parametrelerin yerini göstermektedir.

3.2. Galaktik boylama bağımlı galaktik model parametreleri

Tablo 1, ince ve kalın disk yükseklik ölçeklerinin, kalın disk ve halonun yerel uzay yoğunluklarının ve halonun eksen oranının 36 yıldız alanı için aynı olmadığını gösteriyor. Yani, galaktik model parametreleri galaktik boylam ile değişiyor.

Şekil 9, ince disk yükseklik ölçeğinin (h_z) galaktik boylam (l) ile değişimini göstermektedir. Yükseklik ölçeğinin (h_z) global dağılımının $l \approx 190^\circ$ de bir maksimum yaptığını, hemen hemen Galaksi merkezinin zıt doğrultusunda, buna karşın galaktik merkez doğrultusundaki alanlarda ise minimum değere ulaştığını gösteriyor. Bununla birlikte, değişimler farklı eğimlere sahip birkaç alt örneğe ayrılabilir. Galaktik boylamları 150° den daha küçük alanların oluşturduğu parçalar negatif eğimli iken, 150° den daha büyük galaktik boylamlı alanların oluşturduğu parçaların eğimleri ise pozitifdir.



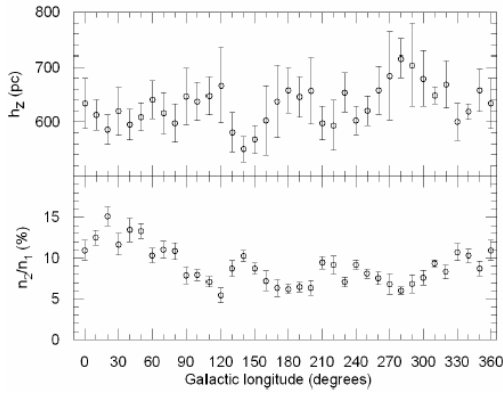
Şekil 9. İnce disk yükseklik ölçeğinin galaktik boylam ile değişimi.

Kalın disk yükseklik ölçeğinin eğimi ince diskinkinden farklıdır (Şekil 10). Kalın disk yükseklik ölçeğinin minimum ve maksimumunu içeren global dağılımı, sırasıyla, $l = 140^\circ$ ve $l = 290^\circ$ dir. Şekil 10'daki alt parçaların eğimleri, Şekil 9'da gösterilen aynı boylam aralıklarından farklılık göstermektedir. Yükseklik ölçeklerine ait hatalar da ince diskinkinden daha büyüktür. Kalın disk (n_2/n_1) ve halonun (n_3/n_1) yerel uzay yoğunluğundaki farklı trendler Şekil 10 ve 11'den görülebilir. Örneğin, (n_2/n_1) in minimum değeri $180^\circ \leq l \leq 200^\circ$ galaktik boylamları aralığında iken, (n_3/n_1) in minimum değeri $270^\circ \leq l \leq 290^\circ$ galaktik boylamları arasındadır.

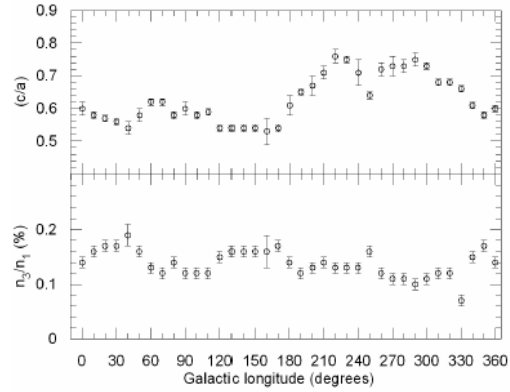
Galaktik model parametrelerinin galaktik boylam ile değişiminden başka, hesaplanan parametreler arasındaki korelasyon hakkında da bir şeyler söylenebilir. Kalın diskin yükseklik ölçeği galaktik boylam ile artarken, kalın diskin rölatif uzay yoğunluğunun galaktik boylam ile azaldığı Şekil 10'dan görülmektedir. Aynı iddia, halonun yerel uzay yoğunluğu ile basıklığı için de geçerlidir (Şekil 11). Bu ilişkiler, Galaksi'nin yedi farklı doğrultusundaki yıldız alanlarını RGU fotometrisi ile inceleyen Buser ve diğ'nin (1998, 1999) çalışmalarında da bahsedilmiştir.

Bu çalışmada hesaplanan galaktik model parametrelerinin aralıkları, ortalamaları ve standart sapmaları Tablo 2'de verilmiştir. İnce disk yükseklik ölçeğinin ortalaması literatürde verilen sonuçlardan yaklaşık % 30 daha küçüktür (Ojha ve diğ. 1999; Buser ve diğ. 1998, 1999; Karaali ve diğ. 2004). Bu çalışmada, kalın disk için hesaplanan yükseklik ölçeği ve rölatif uzay yoğunluğu değerleri son yıllarda literatürde verilen değerlere çok yakındır. Bununla birlikte, yine bu çalışmada hesaplanan uzay yoğunluğundaki üst limit,

literatürdekilerden biraz daha büyüktür (Chen ve diğ. 2001; Siegel ve diğ. 2002). Bu çalışmada halo için hesaplanan basıklık ve rölatif uzay yoğunlukları, birçok yazar tarafından hesaplanan değerler ile uyum içerisindedir (Robin ve diğ. 1996; Robin ve diğ. 2000; Chen ve diğ. 2001; Siegel ve diğ. 2002; Karaali ve diğ. 2004; Bilir ve diğ. 2006c).



Şekil 10. Kalın disk yükseklik ölçeğinin ve rölatif uzay yoğunluğunun galaktik boylam ile değişimi.



Şekil 11. Halo basıklığı ve rölatif uzay yoğunluğunun galaktik boylam ile değişimi.

Tablo 2. 36 yıldız alanı için hesaplanan model parametre değerlerinin değişim aralığı, ortalamaları ve bu değerlere karşılık gelen standart sapmaları.

Parameter	Range	Mean	s
$h_{z,TN}$ (pc)	167–200	186	9
$h_{z,TK}$ (pc)	550–716	631	37
(n_2/n_1) (%)	5.45–15.14	9.03	2.34
(n_3/n_1) (%)	0.07–0.19	0.14	0.02
(c/a)	0.53–0.76	0.63	0.07

4. Tartışma

4.1. Galaktik model parametrelerinin evrimi

Modern galaktik yapı araştırmaları, son 25 yıldır astronomların üzerinde durdukları önemli konulardan biridir. Galaksi diskinin ve halonun galaktik model parametreleri günümüze kadar birçok kez değişim göstermiştir. Bu model parametreleri içinde en büyük değişim Galaksimizin kalın disk bileşeninde görülmüştür. Gerçekten, kalın diskin orijinal yükseklik ölçek değeri (Gilmore ve Reid 1983) 1.45

kpc'ten günümüzde kabul edilen 0.65 kpc (Siegel ve diğ. 2002) değerine azalmış buna karşın kalın diskin Güneş civarındaki yoğunluğu %2 (Gilmore ve Reid 1983) den %6-10 (Siegel ve diğ. 2002) değerine artmıştır. Araştırmacılar Galaksi modellerinde aynı yoğunluk kanunlarını kullanmalarına karşın, hesapladıkları model parametreleri genellikle geniş bir parametre aralığında bulunmaktadır (Karaali ve diğ. 2004, Tablo 1'e bakınız). Hassas kadir ve renkler sağlayan SDSS, SEGUE, 2MASS, DENIS ve UKIDSS gibi yeni gökyüzü tarama verilerinden hesaplanan model parametrelerinin, ya tek bir değer (hatası küçük) ya da dar bir değer aralığında hesaplanması beklenir. Literatürdeki bu probleme, fiziksel açıdan yaklaşılması gerektiği görülüyor.

Karaali ve diğ.'leri (2004) galaktik model parametrelerinin mutlak kadirle bağlı olduğunu göstermişlerdir. Model parametrelerin hataları birim mutlak kadir aralıkları için oldukça küçük ve incelenen mutlak kadir aralıkları için hesaplanan model parametreleri de azalan veya artan değerlerde bulunmaktadır. Örneğin, ince disk yükseklik ölçeğindeki aralık $5 < M_g \leq 13$ mutlak kadir aralığı için 234-334 pc'tir. İkinci bir örnek, kalın disk için verilebilir. $5 < M_g \leq 9$ mutlak kadir aralığı için kalın diskin rölatif yerel uzay yoğunluğunun değişim aralığı %5.25-9.77'dir. Bu değer aralığı, son zamanlarda literatürde mutlak kadirle bağlı olmaksızın yapılan çalışmaların sonuçları ile uyum içerisindedir. Başka bir deyişle, farklı mutlak kadirli yıldızların ayırımı yapılmadığı takdirde, galaktik model parametrelerinin geniş aralıkta olması kaçınılmazdır.

Farklı mutlak kadir aralıkları, farklı spektrel tip ve farklı galaktik popülasyonlara karşılık gelir. Parlak ($4 < M_g \leq 5$), orta ($5 < M_g \leq 8$) ve sönük ($8 < M_g \leq 10$) mutlak kadirli yıldızlar, sırası ile, F-G, G-K ve K-M spektrel sınıflarına denk gelir (Şekil 3). Daha önceki çalışmalarımızda iddia ettiğimiz gibi (Karaali ve diğ. 2004; Bilir ve diğ. 2006c) halo, kalın disk ve ince disk yıldızları, sırası ile, bu spektrel tiplerde etkindir. Bundan dolayı, farklı mutlak kadir diyagramları için hesaplanan farklı galaktik model parametreleri farklı popülasyonlarda ve farklı yaştaki yıldızlar için geçerlidir.

4.2 Galaktik boylama bağlı galaktik model parametrelerinin yorumu

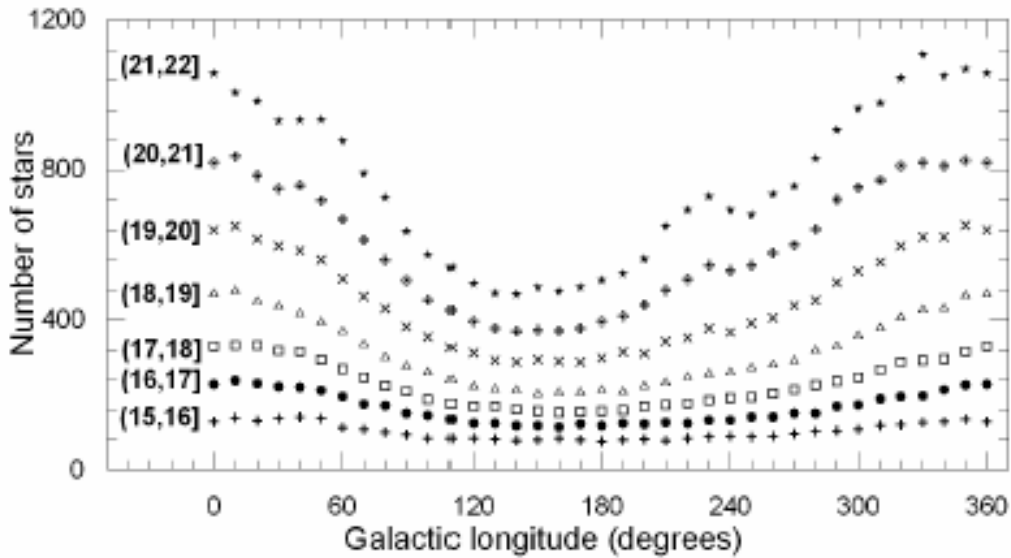
4.2.1. Galaksinin asimetric yapısı için senaryolar ve yıldız sayımları metodu ile ispatı

Büyük radyal uzaklıklarda, farklı galaktik boylamlar için hesaplanan galaktik model parametrelerinin değerleri farklıdır. Bu değerlerin farklı olmasının nedeni, asimetric haloya göre aşırı yoğun bölgeler ile açıklanabilir. Bu aşırı yoğun bölgeler için önerilen iki senaryo bulunmaktadır: Biri, halonun üç-eksenli yapısı ile ilgili iken (Newberg ve Yanny 2006; Xu ve diğ. 2006; Juric ve diğ. 2008), diğeri geçmişteki bazı olayların kalıntıları ile ilgilidir (Wyse ve Gilmore 2005). Her ne kadar Newberg ve Yanny (2005) çalışmalarında $l = 180^\circ$ civarında kalın disk simetric bulunmuş olsa da, Parker ve diğ. (2003), Galaksi düzlemine göre simetric Galaksinin I. çeyreği için, mavi ve orta renklerdeki yıldızların sayı fazlalığını kalın diskin asimetric yapısından kaynaklandığı şeklinde yorumlamışlardır. Parker ve diğ. (2003) bu asimetric yapıya dair senaryolar önermişlerdir: a) bir birleşmenin eski kalıntıları, b) üç eksenli kalın disk ve halo, c) diskteki bar yapının iç halo ve kalın disk ile etkileşimi. Çalışmamızdaki limit parlaklık ($g_0=22$) diğeri çalışmadaki limit parlaklıktan ($O=18$) çok daha sönüktür. Dolayısıyla, bu çalışmada benzer bir yöntem kullanılarak, elde edilecek sonuçların daha güvenilir olacağı düşünülebilir.

Çalışmamızda, Newberg ve Yanny'in (2005) yöntemi uygulandı ve farklı görünen kadir aralıkları ($(15, 16]$, $(16, 17]$ $(17, 18]$ $(18, 19]$ $(19, 20]$, $(20, 21]$ ve $(21, 22]$) için galaktik boylamın bir fonksiyonu olarak yüzey yoğunlukları (bir alanda derece kare başına düşen yıldız sayısı) çizildi (Şekil 12). Asimetric yapı sadece halo yıldızlarına denk gelen sönük kadirlerde değil, kalın disk temsil eden parlaklıklar için de görülebilir. Şekil 12'deki tüm fonksiyonlar $120^\circ < l < 180^\circ$ galaktik boylam aralığında, daha sönük kadirlerde daha belirgin, düz bir minimuma sahiptir. Yani, bu boylam aralığında yıldız sayılarında eksiklik vardır. Örneğin, söz konusu boylam aralığının yüzey yoğunluğu, $21 < g_0 < 22$ görünen parlaklık aralığındaki yüzey yoğunluğundan %50'den daha azdır. Galaksi merkezi doğrultusundaki alanlara göre Galaksi merkezine zıt doğrultudaki alanların yüzey yoğunluklarının daha az olması diskin uzunluk ölçeğini etkiler. Bu etkinin en çok görüleceği boylam $l = 180^\circ$

olmalıdır fakat Şekil 12’de beklenen bu durum görülmemektedir. $l \sim 230^\circ$ boylamındaki yıldız alanlarında görülen yıldız fazlalığı, Newberg ve diğ.’nin (2006) çalışmalarında “Sagittarius gelgit akıntı kuyruğu” olarak ifade ettikleri aşırı yoğun bölgeye karşılık gelmektedir. Bu fazlalık Xu ve diğ.’nin (2006) çalışmasında da görülmüştür.

Bu çalışmada Parker ve diğ.’in (2003) çalışmasına benzer bir şekilde meridyene göre simetrik beş çift yıldız alanındaki yıldız sayıları kendi aralarında karşılaştırılmıştır. Seçilen örnek çift yıldız alanlarının galaktik boylamları şu şekildedir: $(30^\circ, 330^\circ)$, $(60^\circ, 300^\circ)$, $(90^\circ, 270^\circ)$, $(120^\circ, 240^\circ)$ ve $(150^\circ, 210^\circ)$. Karşılaştırmalar dört renk aralığı için yapılmıştır: $(g-r)_0 \leq 0.35$, $0.35 < (g-r)_0 \leq 0.60$, $0.60 < (g-r)_0 \leq 1.20$ ve $(g-r)_0 > 1.20$. Giriş kısmında bahsedildiği gibi $15 < g_0 \leq 18$ görünen kadir aralığında, $(g-r)_0=0.33$ dönüm noktasındaki mavi yıldızlar içerisinde kalın disk yıldızları baskın iken, halo yıldızları $g_0=18$ görünen kadirden daha sönük, $(g-r)_0 \approx 0.2$ dönüm noktasında yoğunlaşmaktadırlar. Tüm görünen kadir aralıklarında ve $(g-r)_0 \approx 1.3$ dönüm noktasındaki kırmızı yıldızlar Galaksimizdeki yaşlı ince disk popülasyonunu temsil ederler. Tablo 3’te verilen yıldız oranlarını yıldızların renklerine göre dikkate alınmıştır. Burada kolaylık olması açısından yıldız oranlarını N_i/N_j şeklinde gösterilmiştir. Burada i ve j indisleri incelenen yıldız alanlarının galaktik boylamlarını göstermektedir.



Şekil 12. Galaktik boylamın bir fonksiyonu olarak farklı görünen kadir aralıkları için yıldız sayılarının değişimi.

a) $(g-r)_0 \leq 0.35$ renk aralığı:

Bu renk aralığında görünen kadirce sönük yıldızlar halo yıldızı iken, parlak olanlar disk (ince ve kalın) yıldızlarıdır. I. çeyrekteki yıldızların sayısının IV. çeyrekteki yıldız sayılarına oranı yaklaşık 1 veya parlak görünen kadirler için 1 değerinden büyüktür. Sönük yıldızlara doğru ($21 < g_0 \leq 22$) gidildikçe bu oran 0.5 e yaklaşıyor. Halo popülasyonu için yıldız sayılarındaki eşitsizlik Galaksinin bu bileşenin üç eksenli yapısından kaynaklanmaktadır. Benzer durum, Galaksinin II. ve III. çeyreklerindeki halo yıldızları için de aynıdır. Ayrıca, parlak yıldızlar için yıldız oranlarının yorumlanması zor görülüyor.

Tablo 3. Renk ve görünen kadirin bir fonksiyonu olarak farklı Galaksi çeyreklerdeki yıldız alanları için yüzey yoğunluklarının (derece kareye düşen yıldız sayısı) karşılaştırılması. N harfinin altındaki sayılar yıldız alanlarının galaktik boylamlarını göstermektedir.

$(g-r)_0$	$g_1 - g_2$	N_{30}/N_{330}	N_{60}/N_{300}	N_{90}/N_{270}	N_{120}/N_{240}	N_{150}/N_{210}
$(g-r)_0 \leq 0.35$	$15 < g_0 \leq 16$	1.55	0.88	0.91	0.83	1.18
$(g-r)_0 \leq 0.35$	$16 < g_0 \leq 17$	0.88	1.01	0.83	0.95	1.00
$(g-r)_0 \leq 0.35$	$17 < g_0 \leq 18$	0.90	0.84	0.88	0.82	0.91
$(g-r)_0 \leq 0.35$	$18 < g_0 \leq 19$	0.87	0.88	0.80	0.75	0.85
$(g-r)_0 \leq 0.35$	$19 < g_0 \leq 20$	0.80	0.72	0.67	0.74	0.75
$(g-r)_0 \leq 0.35$	$20 < g_0 \leq 21$	0.69	0.58	0.58	0.53	0.57
$(g-r)_0 \leq 0.35$	$21 < g_0 \leq 22$	0.47	0.57	0.56	0.38	0.45
$0.35 < (g-r)_0 \leq 0.60$	$15 < g_0 \leq 16$	1.16	1.08	0.99	0.95	1.02
$0.35 < (g-r)_0 \leq 0.60$	$16 < g_0 \leq 17$	1.14	1.15	1.04	0.96	0.92
$0.35 < (g-r)_0 \leq 0.60$	$17 < g_0 \leq 18$	1.11	1.16	0.94	0.84	0.92
$0.35 < (g-r)_0 \leq 0.60$	$18 < g_0 \leq 19$	1.01	0.94	0.83	0.78	0.78
$0.35 < (g-r)_0 \leq 0.60$	$19 < g_0 \leq 20$	0.83	0.82	0.74	0.71	0.75
$0.35 < (g-r)_0 \leq 0.60$	$20 < g_0 \leq 21$	0.75	0.71	0.69	0.60	0.74
$0.35 < (g-r)_0 \leq 0.60$	$21 < g_0 \leq 22$	0.61	0.67	0.67	0.57	0.67
$0.60 < (g-r)_0 \leq 1.20$	$15 < g_0 \leq 16$	1.04	1.06	1.02	0.97	0.93
$0.60 < (g-r)_0 \leq 1.20$	$16 < g_0 \leq 17$	1.26	1.16	0.91	0.88	0.95
$0.60 < (g-r)_0 \leq 1.20$	$17 < g_0 \leq 18$	1.15	1.18	0.98	0.95	0.91
$0.60 < (g-r)_0 \leq 1.20$	$18 < g_0 \leq 19$	1.06	1.11	1.03	0.88	0.89
$0.60 < (g-r)_0 \leq 1.20$	$19 < g_0 \leq 20$	1.03	1.07	0.97	0.88	0.90
$0.60 < (g-r)_0 \leq 1.20$	$20 < g_0 \leq 21$	0.98	1.02	0.92	0.80	0.89
$0.60 < (g-r)_0 \leq 1.20$	$21 < g_0 \leq 22$	0.93	0.88	0.83	0.79	0.91
$(g-r)_0 > 1.20$	$15 < g_0 \leq 16$	0.90	1.17	0.83	0.76	1.05
$(g-r)_0 > 1.20$	$16 < g_0 \leq 17$	1.14	1.12	0.98	1.07	0.95
$(g-r)_0 > 1.20$	$17 < g_0 \leq 18$	1.17	1.22	1.18	0.90	0.90
$(g-r)_0 > 1.20$	$18 < g_0 \leq 19$	1.16	1.20	1.13	1.01	0.92
$(g-r)_0 > 1.20$	$19 < g_0 \leq 20$	1.19	1.23	1.06	0.98	0.94
$(g-r)_0 > 1.20$	$20 < g_0 \leq 21$	1.20	1.26	1.15	0.99	0.89
$(g-r)_0 > 1.20$	$21 < g_0 \leq 22$	1.14	1.28	1.10	0.98	0.86

b) $0.35 < (g-r)_0 \leq 0.60$ renk aralığı:

Seçilen alanlardaki yıldız sayı oranlarının en iyi yorumlandığı renk aralığı $0.35 < (g-r)_0 \leq 0.60$ 'dır. Rölatif olarak parlak yıldızlar kalın disk popülasyonuna ait iken, sönük olanlar halo popülasyonuna aittir. N_{30}/N_{330} ve N_{60}/N_{300} en parlak üç görünen kadir aralığı ((15,16], (16,17], (17,18]) için 1 den büyük iken en sönük üç görünen kadir aralığı ((19,20], (20,21], (21,22]) için 1 den küçük değerler almaktadır. I. çeyrekteki yıldız sayılarının IV. çeyrektekine göre daha fazla yıldız içermesi, $l \approx 27^\circ$ galaktik boylamında galaktik bir çubuğun varlığı ile açıklanabilir (Parker ve diğ., 2003). Bu düşünceye göre Galaksinin II. çeyreğindeki yıldız sayısının rölatif olarak III. çeyreğine göre daha az yıldız içermesi beklenir. Gerçekten çalışmamızdaki II. ve III. çeyreklerine ait yıldız sayılarının rölatif oranları (N_{120}/N_{240} ve N_{150}/N_{210}) kalın diskte 1 den küçüktür. Yine bu renk aralığında, görünen kadiri sönük yıldızların sayılarındaki eşitsizlik halonun üç eksenli yapısından kaynaklanıyor. $18 < g_0 \leq 19$ görünen kadir aralığı, disk ile halo popülasyonlarının geçiş bölgesini temsil etmektedir.

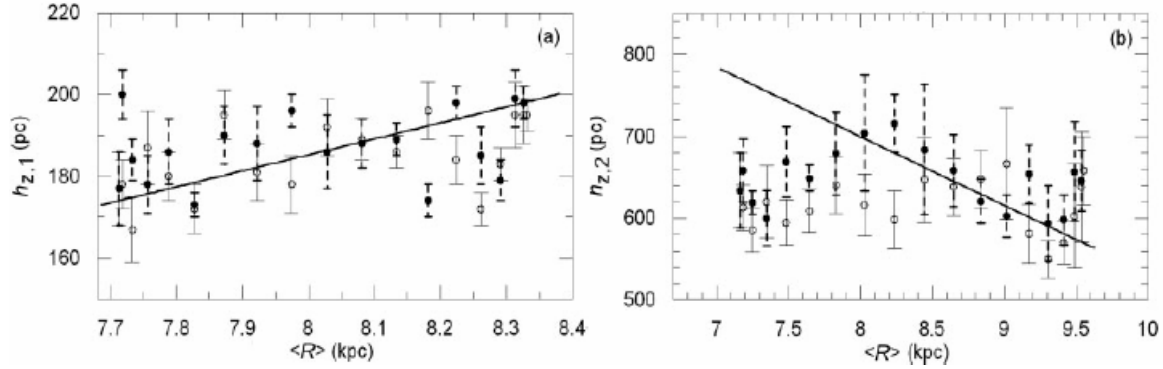
c) $0.60 < (g-r)_0 \leq 1.20$ renk aralığı:

Bu renk aralığı da farklı çeyreklerde seçilen alanlardaki yıldız sayılarının yorumlanmasında çok önemlidir. (15,16], (16,17], (17,18], (18,19] ve (19,20] görünen kadir aralıkları için N_{30}/N_{330} , N_{60}/N_{300} alanlarındaki yıldız sayılarının oranları 1'den büyüktür. Beklendiği gibi, N_{120}/N_{240} , N_{150}/N_{210} alanlarındaki yıldız sayı oranları aynı görünen kadir aralıkları için 1'den küçüktür. Bu sonuçların bir arada değerlendirilmesi önceki bölümdeki iddiamızı doğrulamaktadır. Yani, I. ve IV. çeyrekte görünen kadiri $g_0=20$ den daha parlak yıldızların sayısındaki eşitsizlik galaktik çubuğun etkisinden kaynaklanıyor. Görünen kadiri $g_0 = 20$ den daha sönük yıldızlar için yukarıda bahsedilen yıldızların sayı oranı 1'den küçüktür. Yani, yıldızlar üç eksenli halo popülasyonuna aittir. Bu renk aralığındaki sönük yıldızların sayı oranı önceki bölümde bahsedilen renk aralığı ile uyum içersindedir.

d) $(g-r)_0 > 1.20$ renk aralığı:

Önceki bölümlerde bahsedildiği gibi kırmızı yıldızlar yaşlı ince disk popülasyonlarına aittir. Çalışmamızdaki en parlak görünen kadir aralığındaki ($15 < g_0 \leq 16$) yıldız sayısı az olduğu için dikkate

alınmamıştır. Geriye kalan altı görünen kadir aralığı için N_{30}/N_{330} ve N_{60}/N_{300} alanlarındaki yıldız sayı yoğunlukları diğer bölümlerde olduğu gibi 1'den büyüktür. Ayrıca, N_{120}/N_{240} , N_{150}/N_{210} alanlarındaki yıldız sayı oranları 1'den küçük veya 1'e eşittir.



Şekil 13: Galaksi merkezinden uzaklık ($\langle R \rangle$) ile ince diskin yükseklik ölçeği (a) ve kalın diskin yükseklik ölçeğinin (b) değişimi. İçi boş ve dolu daireler, sırası ile, $0^\circ < l \leq 180^\circ$ ve $180^\circ < l \leq 360^\circ$ galaktik boylam aralığındaki alanları gösteriyor.

4.2.2. Galaktik model parametreleri ile Galaksinin asimetrik yapısı arasındaki ilişki

Şekil 9–11'teki galaktik model parametrelerinin global dağılımı farklı galaktik boylamlarda minimum ve maksimum değerler göstermesine karşın, kısa ölçeklerde farklı eğimlerde ilginç alt gruplar görülmektedir. Böyle bir dağılım sayesinde galaktik model parametrelerinin bağımlılığını yorumlamak güçtür. Ayrıca, bu durum 4.2.1 kısmındaki sonuçlar ile Şekil 9–11'teki gözlemsel dağılımın birleşimi ile açıklanabilir. Farklı galaktik boylamlar için hesaplan halonun galaktik model parametreleri halonun üç eksenli yapısını gösteren en iyi delildir. Bununla birlikte, galaktik diskin yapısı bu şekilde açıklanamaz. Galaksi'nin I. ve IV. çeyreklerindeki alanlar ile III. ve II. çeyreklerindeki alanlar arasındaki görülen farklı yüzey yoğunlukları diskteki çubuğun etkisini onaylamaktadır. Çubuk zayıf bir çekimsel etki içermekte olup Galaksi'deki yıldızları yakalayarak Galaksi'nin belirli bölgesinde yoğunlaşmasına neden olur (Hernquist ve Weinberg 1992; Debattista ve Sellwood 1998). Bu durum çalışmamızdaki I. çeyrekteki (III.) yıldızların IV. (II.) çeyrektekilere oranları ile iyi bir şekilde açıklanabilir. Diskteki alevlenme ince ve kalın diskin yükseklik ölçeğini de etkiler. Bilindiği

gibi ince diskte görülen alevlenme mekanizması Galaksi merkezinden uzaklaştıkça yükseklik ölçeğinin artmasına neden olur (Lopez-Corredoira ve diğ. 2002; Momany ve diğ. 2006). Lopez-Corredoira ve diğ. (2007) ve Cabrera-Lavers ve diğ.'nin (2007) son zamanlarda yaptıkları araştırmalarda kalın diskin yükseklik ölçeğinin Galaksi merkezinden uzaklaştıkça azaldığını göstermişlerdir. Bu durum ince diskte görülen alevlenme mekanizmasının tam tersidir.

İnce ve kalın diskin yükseklik ölçeğinin Galaksi merkezinden uzaklık ile değişimi Şekil 13'te gösterilmiştir. Şekil 13a'daki katı çizgi, Lopez-Corredoira ve diğ. (2002) tarafından ince disk için elde edilmiş yükseklik ölçeğinin değişimini göstermektedir. Teorik eğri gözlemsel noktalar ile uyuşmakla beraber gözlemlere ait hatalar oldukça büyüktür. Bu durum alevlenmenin doğası hakkındaki sonuçlara ulaşmayı güçleştirir. Şeklin alt kısmındaki bölümde Şekil 13b'deki katı çizgi, Cabrera-Lavers ve diğ. (2007) tarafından bulunan ilişki kullanılarak çizilmiştir. $R > 8$ kpc ötesindeki gözlemsel noktalar model ile uyumlu iken, $R < 8$ kpc'den daha küçük uzaklıklardaki gözlemsel veriler model ile uyumlu değildir.

Galaktik model parametrelerinin galaktik boylama bağlılığı, halonun üç eksenli yapısı, galaktik çubuğun çekimsel etkisi ve ince ve kalın disklerde görülen alevlenmelerin birleşik etkisinin bir sonucudur.

Kaynaklar

- Adelman-McCarthy, J. K., ve diğ., 2007, ApJS, 172, 634
 Ak, S., Bilir, S., Karaali, S., Buser, R., Cabrera-Lavers, A., 2007a, NewA, 12, 605
 Ak, S., Bilir, S., Karaali, S., Buser, R., 2007b, AN, 328, 169
 Alves, D. R., 2000, ApJ, 539, 732
 Bahcall, J. N., 1986, ARA&A, 24, 577
 Becker, W., 1965, Z. Astrophys, 62, 54
 Bertin, A., Arnouts, S., 1996, A&AS, 117, 393
 Blanton, M.R., ve diğ., 2005, AJ, 129, 2562
 Bilir, S., Karaali, S., Tunçel, S., 2005, AN, 326, 321
 Bilir, S., Karaali, S., Güver, T., Karataş, Y., Ak, S., 2006a, AN, 327, 72
 Bilir, S., Karaali, S., Ak, S., Yaz, E., Hamzaoglu, E., 2006b, NewA, 12, 234
 Bilir, S., Karaali, S., Gilmore, G., 2006c, MNRAS, 366, 1295

- Burton, W. B., 1988, *Galactic and Extragalactic Radio Astronomy*, 2nd version, ed. G.L. Verschuur & K. I. Kellerman (Berlin Springer-Verlag), 295
- Buser, R., Fenkart, R., 1990, *A&A*, 239, 243
- Buser, R., Rong, J., Karaali, S., 1998, *A&A*, 331, 934
- Buser, R., Rong, J., Karaali, S., 1999, *A&A*, 348, 98
- Cabrera-Lavers, A., Bilir, S., Ak, S., Yaz, E., Lopez-Corredoira, M., 2007, *A&A*, 464, 565
- Chen, B., ve diğ., 2001, *ApJ*, 553, 184
- de Vaucouleurs, G., 1948, *Ann. d'Astrophys.*, 11, 247
- Drimmel, R., Spergel, D. N., 2001, *ApJ*, 556, 181
- Du, C., Zhou, X., Ma, J., Bing-Chih, A., Yang, Y., Li, J., Wu, H., Jiang, Z., Chen, J., 2003, *A&A*, 407, 541
- Du, C., Ma, J., Wu, Z., Zhou, X., 2006, *MNRAS*, 372, 1304
- Fan, X., 1999, *AJ*, 117, 2528
- Fenkart, R., 1989a, *A&AS*, 78, 217
- Fenkart, R., 1989b, *A&AS*, 79, 51
- Fenkart, R., 1989c, *A&AS*, 80, 89
- Fenkart, R., 1989d, *A&AS*, 81, 187
- Fukugita, M., Ichikawa, T., Gunn, J. E., Doi, M., Shimasaku, K., Schneider, D. P., 1996, *AJ*, 111, 1748
- Gilmore, G., Reid, N., 1983, *MNRAS*, 202, 1025
- Gilmore, G., Wyse, R. F. G., Kuijken, K., 1989, *ARA&A*, 27, 555
- Helmi, A., ve diğ., 2003, *ApJ*, 586, 195
- Ivezic, Z., ve diğ., 2004, *AN*, 325, 583
- Jahreiss, H., Wielen, R., 1997, in *Batrick, B., Perryman, M.A.C., & Bernacca, P.L., eds, HIPPARCOS - Venice '97. ESA SP-402, Noordwijk, p. 675*
- Juric, M., ve diğ., 2008, *ApJ*, 673, 864
- Karaali, S., Bilir, S., Hamzaoglu, E., 2004, *MNRAS*, 355, 307
- Karaali, S., Bilir, S., Tunçel, S., 2005, *PASA*, 22, 24
- Karaali, S., Bilir, S., Yaz, E., Hamzaoglu, E., Buser, R., 2007, *PASA*, 24, 208
- Kent, S. M., Dame, T. M., Fazio, G., 1991, *ApJ*, 378, 131
- Levine, E. S., Blitz, L., Heiles, C., 2006, *ApJ*, 643, 881
- Lopez-Corredoira, M., Cabrera-Lavers, A., Garzon, F., Hammersley, P. L., 2002, *A&A*, 394, 883
- Lopez-Corredoira, M., Cabrera-Lavers, A., Gerhard, O., Garzon, F., 2004, *A&A*, 421, 953

- Lupton, R. H., Gunn, J. E., Ivezić, Z., Knapp, G. R., Kent, S., Yasuda, N., 2001, in ASP Conf. Ser.: Astronomical Data Analysis Software and Systems X, ed. F. R. Harden Jr., F. A. Primini and H. E. Payne, 238, 269
- Malmquist, G., 1920, Medd. Lunds Astron. Obs., Ser. 2, 22
- Majewski, S. R., 1993, ARA&A, 31, 575
- Marshall, D. J., Robin, A. C., Reyle C., Schultheis, M., Picaud, S., 2006, A&A, 453, 635
- Momany, Y., Zaggia, S. R., Gilmore, G., Piotto, G., Carraro, G., Bedin, L. R., De Angeli, F., 2006, A&A, 451, 515
- Nakanishi, H., Sofue, Y., 2003, PASJ, 55, 191
- Narayan, C. A., Jog, C. J., 2002, A&A, 394, 89
- Newberg, H. J., Yanny, B., 2005a, astro-ph/0507671
- Newberg, H. J., Yanny, B., 2005b, in ASP Conf. Ser.: Astrometry in the Age of the next Generation of Large Telescopes, ed. P. Kenneth Seidelmann & Alice K. B. Monet, 338, 210
- Ojha, D. K., Bienayme, O., Mohan, V., Robin, A. C., 1999, A&A, 351, 945
- Parker, J. E., Humphreys, R. M., Larsen, J. A., 2003, AJ, 126, 1346
- Parker, J. E., Humphreys, R. M., Beers, T. C., 2004, AJ, 127, 1567
- Phleps, S., Meisenheimer, K., Fuchs, B., Wolf, C., 2000, A&A, 356, 108
- Phleps, S., Drepper, S., Meisenheimer, K., Fuchs, B., 2005, A&A, 443, 929
- Pier, J. R., Munn, J. A., Hindsley, R. B., Hennessy, G. S., Kent, S. M., Lupton, R. H., Ivezić, Z., 2003, AJ, 125, 1559
- Reid, M. J., 1993, ARA&A, 31, 345
- Robin, A. C., Haywood, M., Creze, M., Ojha, D.K., Bienayme, O., 1996, A&A, 305, 125
- Robin, A. C., Reyle, C., Creze, M., 2000, A&A, 359, 103
- Schlegel, D.J., Finkbeiner, D.P., Davis, M., 1998, ApJ, 500, 525
- Siegel, M. H., Majewski, S. R., Reid, I. N., Thompson, I. B., 2002, ApJ, 578, 151
- Xu, Y., Deng, L. C., Hu, J. Y., 2006, MNRAS, 368, 1811
- Voskes, T., Burton, W. B., 2006, astro-ph/0601653
- Wyse, R.F.G., Gilmore, G., 2005, astro-ph/0510025
- Young, P.J., 1976, AJ, 81, 807
- York, D.G., ve diğ., 2000, AJ, 120, 1579

GALAKSİ MODEL PARAMETRELERİNİN BAĞIMLILIĞI

Salih KARAALİ¹, Selçuk BİLİR², Esmâ YAZ², Esat
HAMZAOĞLU³, Roland BUSER⁴

¹*Beykent Üniversitesi, Fen – Edebiyat Fakültesi, Matematik Bilgisayar
Bölümü, 34396, İstanbul eposta: skaraali@beykent.edu.tr*

²*İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü,
34119, İstanbul*

eposta: sbilir@istanbul.edu.tr esmayaz@yahoo.com

³*Beykent Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Yönetim Bilişim
Sistemleri, 34396, İstanbul*

eposta: ehamzaoglu@superonline.com

⁴*Astronomisches Institut der Universitaet Basel, 4102, Binningen, Schweiz
eposta: buser@astro.unibas.ch*

Özet

Astronomlar, yaklaşık çeyrek yüzyıllık bir zaman aralığı içinde Galaksi model parametreleri için farklı değerler yayımlamışlardır. Bazı farklar fiziksel sebeplerden kaynaklanır iken, bazı farklarında yanlışlıktan kaynaklandığı anlaşıyor. Farklı mutlak kadir aralıklarındaki yıldızlar için farklı model parametrelerinin elde edilmesi, model parametrelerinin yıldızın ışıma gücünün bir fonksiyonu olduğunu kanıtlar iken (fiziksel sebep), Güneş'ten itibaren belli bir doğrultuda fakat farklı hacimlerde bulunan yıldızlar için hesaplanan farklı model parametreleri yanlışlığa tipik bir örnektir. En güvenilir model parametreleri, büyük hacim içindeki yıldız örneklerinden elde edilenlerdir.

Anahtar Kelimeler: *Galaksi: yapı, Galaksi: temel parametreler, Galaksi: güneş çevresi*

Abstract

There is a disagreement between the galactic model parameters estimated in about one- quarter of a century. Some of the numerical differences cited at different times for a specific model parameter is due to either a physical reason or it is a bias in analyses. Different galactic model parameters estimated for different absolute magnitudes of a star sample is a strong confirmation of the dependence of the model parameters on luminosity (physical reason), whereas the difference between the model parameters estimated in different volumes in a given direction of the Galaxy is an example for the bias in analyses. The most appropriate model parameters are those estimated in large volumes.

Keywords: *Galaxy: structure, Galaxy: fundamental parameters, Galaxy: solar neighbourhood*

1. Giriş

Yıldız sayımına dayanan incelemeler Galaksimizin bir bütün olarak yapısının ve içerdiği yıldız popülasyonlarının öğrenilmesini sağlamıştır. Bu incelemelere ait örnek ve derlemeler Bahcall (1986), Gilmore ve diğ. (1989), Majewski (1993), Robin ve diğ. (2000) ve yakın zamana ait, Chen ve diğ. (2001) ve Siegel ve diğ.'nın (2002) çalışmalarında bulunabilir. Sloan Dijital Gökyüzü Taraması'ndan (SDSS) önce yapılan en büyük gözlemsel çalışmalar fotoğraf tekniğine dayanıyordu. Basel Halo Programı (Becker 1965), bu teknikle yapılan en büyük Galaksi tarama çalışmasıdır (del Rio ve Fenkart 1987, Fenkart ve Karaali 1987, 1990, 1991, Fenkart 1989a,b,c,d). Basel Halo Programı, daha sonra, RGU fotometri sisteminin yenilenmesi sureti ile yeniden kalibre edilmiş ve yapılanmıştır (Buser ve Fenkart 1990; Ak ve diğ. 1998; Buser ve diğ. 1998, 1999; Karaali ve diğ. 2004; Bilir ve diğ. 2004).

Yıldız sayımlarına dayanan Galaksimizin yapısı ile ilgili çalışmalar şimdi yeni bir aşamaya girmiştir. CCD'ye dayanan SDSS, 2MASS, DENIS, UKIDSS vb çalışmalar, Galaksimiz için daha duyarlı sonuçların elde edilmesini sağlamaktadır. Buna rağmen, aşağıda görüleceği gibi, farklı zamanlarda ve farklı araştırmacılar tarafından tayin edilen Galaksi model parametreleri arasında büyük

farklar vardır. Araştırmacılar, çalışmalarında farklı yöntemler kullanmışlardır. Tablo 1’de özetlenen bu çalışmalarda model parametrelerinin sayısal değerlerinde gelişim vardır. En çarpıcı örnek, kalın diske ait bölgesel uzay yoğunluk değeri ile yükseklik ölçeğidir: yükseklik ölçeği 1.45 kpc’lik ilk değerinden (Gilmore ve Reid 1983) 0.65 kpc’lik güncel değerine (Chen ve diğ. 2001) azalmış iken, aynı popülasyona ait bölgesel uzay yoğunluğu %2’den %10’a artmıştır. Birçok çalışmada, model parametrelerinin sayısal değerlerine ait değişim aralığı büyüktür. Örneğin, Chen ve diğ. (2001) ve Siegel ve diğ. (2002), kalın diskin bölgesel uzay yoğunluğu için, sırası ile, %6.5-13 ve %6-10 değerlerini vermektedirler. Halbuki, güncel olan bu çalışmalar için çok daha doğru sonuçlar beklenir. Yani, ya hatası küçük bir tek değer veya değişim aralığı kısa bir değer verilmesi gerekir. Öyle görülüyor ki araştırmacılar, en doğru parametre değerlerini verecek inceleme yöntemini henüz bulamamışlardır. İlginç bir çalışma ise Juric ve diğ.’ne (2008) ait olanıdır. Güncel olmasına rağmen, bu çalışmada kalın diskin bölgesel uzay yoğunluğu ve yükseklik ölçeği için %4 ve 1200 pc verilmektedir. Güncel diğer çalışmalardan elde edilen parametre değerleri ile bağdaşmayan parametre değerlerinin elde edildiği bu çalışmanın farkı, çok büyük bir alanda (6500 derece^2) çok sayıda (~ 48 milyon) yıldız incelenmesidir.

Büyük bir değişim aralığı veya farklı çalışmalarda belli bir parametre için farklı sayısal değerlerin bulunması birçok sebepten kaynaklanıyor: 1) Galaksi model parametreleri mutlak kadire bağımlıdır. Bunun fiziksel açıklanması, parametrelerin yıldızın ışıma gücünün bir fonksiyonu olmasıdır (Karaali ve diğ. 2004, Bilir ve diğ. 2006a). Bu argümanı dışlayan her çalışmada tayin edilen parametrelerin değişim aralığı büyüktür. 2) Galaksi model parametreleri incelenen yıldız alanının Galaksi enlemine/boylamına bağlıdır. Buser ve diğ.’ne (1998, 1999) ait iki çalışma bu iddiamızı doğrulamaktadır. Bu çalışmalarda, farklı doğrultularda bulunan yıldız alanlarında elde edilen model parametrelerinin ortalamaları alınmış olmakla beraber, belli bir model parametresine ait sayısal değerler alandan alana değişmektedir. Ayrıca, Bilir ve diğ. (2006b,c) ve Cabera-Lavers ve diğ. (2007) Galaksi modellerinin boylama bağımlı olduğunu göstermişlerdir. 3) Uzaklık hesabı, model parametrelerinin tayininde büyük rol oynar. Örneğin, bir popülasyondaki yıldızların tümü için kullanılan bir tek renk-kadir diyagramı, aynı renkteki fakat

farklı morötesi artığındaki yıldızlar için ortalama bir mutlak kadir belirlediği için bu yıldızların uzaklıkları aynı olur. Halbuki, bir yıldızın rengi ve metal bolluğuna dayanan yöntem, her yıldız için diğerlerinden bağımsız olarak mutlak kadir tayini olanağını verir ki bu da daha doğru uzaklık tayini imkanını verir.

Bu çalışmada, Galaksi model parametrelerinin daha doğru tayin edilebilmesi için başka önlemlere de gereksinme olduğunu anlatacağız. Göreceğiz ki, model parametreleri incelenen yıldızların bulunduğu hacme de bağımlıdır. Yani, belli bir doğrultuda yapılan incelemede hacim büyüdükçe model parametresi büyür veya küçülür. Bu durum, görünen kadir limitleri farklı olan (yani limit uzaklıkları ve dolayısı ile bunlara karşılık gelen hacimleri farklı olan) yıldız alanlarında belli bir model parametresi için farklı sayısal değerlerin bulunmasını açıklar. Beklenenin ve fiziksel anlamın tersine, kalın diskin bölgesel uzay yoğunluğu da hacimle değişmektedir. Bu durum, incelemelerde yanlışlık için çok iyi bir örnek oluşturur.

Tablo 1. Farklı araştırmacılara ait Galaksi model parametreleri.

H (TN) (pc)	h(TN) (kpc)	n (TK)	H(TK) (kpc)	h(TK) (kpc)	n (S)	R_e (S) (kpc)	c/a	Reference
310-325	—	0.0125-0.025	1.92-2.39	—	—	—	—	Yoshii 1982
300	—	0.02	1.45	—	0.0020	3.0	0.85	Gilmore & Reid 1983
325	—	0.02	1.3	—	0.0020	3.0	0.85	Gilmore 1984
280	—	0.0028	1.9	—	0.0012	—	—	Tritton & Morton 1984
200-475	—	0.016	1.18-2.21	—	0.0016	—	0.80	Robin & Crézé 1986
300	—	0.02	1.0	—	0.0010	—	0.85	del Rio & Fenkart 1987
285	—	0.015	1.3-1.5	—	0.0020	2.36	Flat	Fenkart et al. 1987
325	—	0.0224	0.95	—	0.0010	2.9	0.90	Yoshii et al. 1987
249	—	0.041	1.0	—	0.0020	3.0	0.85	Kuijken & Gilmore 1989
350	3.8	0.019	0.9	3.8	0.0011	2.7	0.84	Yamagata & Yoshii 1992
290	—	—	0.86	—	—	4.0	—	VonHippel & Bothun 1992
325	—	0.0225	1.5	—	0.0015	3.5	0.80	Reid & Majewski 1993
325	3.2	0.019	0.98	4.3	0.0024	3.3	0.48	Larsen 1996
250-270	2.5	0.056	0.76	2.8	0.0015	2.44-2.75*	0.60-0.85	Robin et al. 1996, 2000
290	4.0	0.059	0.91	3.0	0.0005	2.69	0.84	Buser et al. 1998, 1999
240	2.5	0.061	0.79	2.8	—	—	0.60-0.85	Ojha et al. 1999
330	2.25	0.065-0.13	0.58-0.75	3.5	0.0013	—	0.55	Chen et al. 2001
280(350)	2-2.5	0.06-0.10	0.7-1.0 (0.9-1.2)	3-4	0.0015	—	0.50-0.70	Siegel et al. 2002

2. Veriler ve İndirgemeler

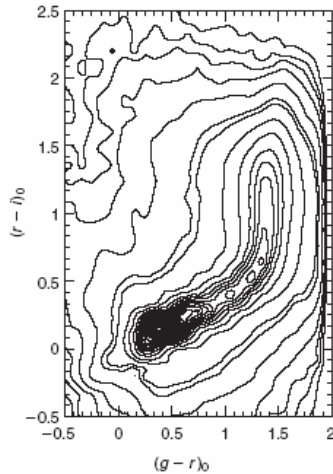
Veriler, SDSS (DR5)'ten üç orta galaktik enlemli yıldız alanlarından alınmıştır. Alanların galaktik enlem ve boylamları F1 ($b=50^\circ$, $l=90^\circ$), F2 ($b=50^\circ$, $l=180^\circ$), ($b=45^\circ$, $l=60^\circ$) dir. Görünen kadir limitleri F1 ve F2 alanları için $15.5 < g_0 \leq 22.5$, F3 alanı için ise $15 < g_0 \leq 22$ dir. F3 alanının bir üstünlüğü, yakın yıldızlar içermesidir. Alanlara ait bilgiler Tablo 2'de verilmiştir; N yıldız sayısını göstermektedir. Görünen kadirlerle ait toplam absorpsiyon SDSS DR5

sisteminden alınmış ve *ugriz* görünen kadirleri absorpsiyondan arındırılmıştır.

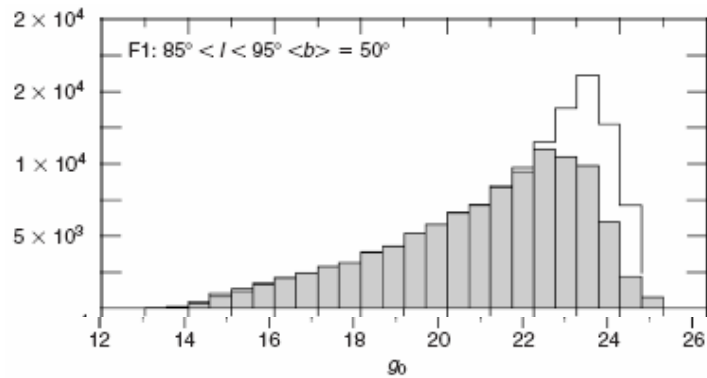
Tablo 2. Alanlara ait veriler.

Field	α			δ			l	b	Size	N
	(h	m	s)	(°	'	")	(deg)	(deg)	(deg ²)	
F1	15	26	21	+56	02	34	90	50	25	79411
F2	09	47	45	+41	19	24	180	50	25	65196
F3	16	21	34	+37	30	30	60	45	10	43047

Anılan yıldız alanlarında bulunan cisimlerin hepsi yıldızdan ibaret değildir. Galaksi dışı cisimler (kuazarlar, galaksiler) de görüntülendiğinden iki renk diyagramları anakol yıldızları için bilinenden farklı bir görünüm arzeder (Şek. 1). SDSS DR5 web sayfasında verilen *probpsf* uygulayıcısı ile galaksiler belirlenerek çalışma dışı bırakılmıştır. Ayrıca, Juric ve diğ.'nin (2008) yöntemini uygulayarak yıldızların geometrik yerinden (iki renk diyagramında en yoğun noktalardan geçen eğri) 0.3 kadirten daha uzak olan cisimler de çalışma dışı bırakılmıştır. Bu uygulama ile yıldız alanlarında bulunan sıcak beyaz cüceler, kırmızıya kayması küçük olan kuazarlar ve çift yıldızlar istatistik dışı bırakılmış oldu. Bütün cisimlerin ve sadece yıldızların görünen kadirine ait histogram, bir örnek olarak, sadece F1 alanı için Şek. 2'de verilmiştir.



Şekil 1. Bütün kaynaklara ait $(g-r)_0/(r-i)_0$ iki renk diyagramı.



Şekil 2. F1 alanına ait görünen kadir histogramı.

2.1. Mutlak kadir ve uzaklık tayini

F1 ve F2 alanları için, $4 < M_g \leq 5$ ve $5 < M_g \leq 6$ olmak üzere, iki mutlak kadir takımı tayin edilmiş iken, F3 alanı için bir tek ve geniş bir mutlak kadir takımı kullanılmıştır: $4 < M_g \leq 10$. İlk iki mutlak kadir aralığı kalın disk ve halo yıldızlarının etkin olduğu aralıklar iken, $4 < M_g \leq 10$ mutlak kadir aralığında ince disk yıldızları etkindir. Mutlak kadir tayini, Karaali ve diğ.'in (2005, bundan sonra KBT diye anılacak) yöntemi ile yapılmıştır. Bu yöntemde, bir yıldızın mutlak kadiri ile aynı $(g-r)_0$ renk indeksindeki Hyades yıldızının mutlak kadiri arasındaki fark (ΔM_g) hesaplanmakta ve Hyades yıldızının mutlak kadiri kullanılarak yıldızın mutlak kadirine geçilmektedir. ΔM_g , $(g-r)_0$ den başka, mutlak kadiri tayin edilmek istenen yıldızın morötesi artığının da bir fonksiyonudur. Bu yöntemin iki üstünlüğü vardır: 1) yıldızların popülasyon tiplerine ayrılmasına gerek yoktur, 2) tayin edilen mutlak kadir, yıldızın morötesi artığının bir fonksiyonu olarak diğer yıldızlardan bağımsız bir şekilde tayin edilebilmektedir. Halbuki, belli bir popülasyon için bir tek renk-kadir diyagramı kullanılması, aynı $(g-r)_0$ renk indeksindeki yıldızlar için ortalama bir morötesi artığı kullanılması anlamına gelir ki, bu da duyarlılığın yok olmasına sebep olmaktadır.

Mutlak kadirlerle “Malmquist yanlılığı” (Malmquist 1920) olarak bilinen düzeltme de uygulanmıştır. Bilindiği gibi, görünen kadir limiti ile sınırlanan bir yıldız örneğinde mutlak kadirleri parlak olan yıldızların uzaklığı, mutlak kadirleri daha sönük olanlara göre daha büyüktür. Bunun sonucunda, parlak yıldızlar olması gerekenden daha çok temsil edilmiş oluyorlar. Yıldızların r uzaklığı, bilinen aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır:

$$\left| g - M_g \right|_0 = 5 \log r - 5 \quad (1)$$

2.2. Yoğunluk fonksiyonları

Üç alana ait üç mutlak kadir aralığı için 34 tane hacim belirlenmiş ve her biri için yoğunluk fonksiyonları çizilmiştir. Güvenilir yoğunluklar elde etmek için, hacimlerin alt ve üst sınırları gözönüne alınan mutlak kadir aralıklarına göre belirlenmiştir. $4 < M_g \leq 5$ mutlak kadir aralığı yedi hacimde uzay yoğunluğu fonksiyonu hesap etmeğe olanak verirken daha küçük uzaklıkların belirlenebildiği

$5 < M_g \leq 6$ mutlak kadir aralığı için altı hacimde uzay yoğunluğu fonksiyonu hesaplanabilmiştir. Geniş $4 < M_g \leq 10$ mutlak kadir aralığı hem küçük ve hem de büyük uzaklıkların hesabına imkân vermektedir. Bu sebepten, bu aralık için sekiz hacimde uzay yoğunlukları hesaplanabilmiştir. Bu çalışmanın klasik çalışmalardan bir farkı vardır. Geleneksel çalışmalarda, belli bir hacim içindeki yıldızlara ait yoğunluk fonksiyonları tayin edilir. Bu çalışmada ise, konumuz gereği, bir mutlak kadir aralığı için birden çok hacim gözönüne alınmıştır. Hacimlerin alt uzaklık limitleri aynı, üst uzaklık limitleri ise sürekli değişmektedir. Örneğin, $4 < M_g \leq 5$ mutlak kadir aralığı için yoğunluk fonksiyonlarının çizildiği hacimler (1.5, 3], (1.5, 5], (1.5, 7.5], (1.5, 10], (1.5, 15], (1.5, 20], (1.5, 25] kpc'tir. Sayfa tasarrufu için, yoğunluk fonksiyonlarına ait tablolar verilmemiştir. Fakat, bunlara ait şekiller Şek. 3'te gösterilmiştir. Sembollerin tanımı şöyledir: $D^* = \log D + 10$, $D = N / \Delta V_{l,2}$, $\Delta V_{l,2} = (\pi / 180)^2 (A/3) (r_2^3 - r_1^3)$, A : incelenen alanın büyüklüğü, r_1 ve r_2 : $\Delta V_{l,2}$ hacminin alt ve üst uzaklık limitleri, N : gözönüne alınan hacim içindeki yıldız sayısı, $r^* = [(r_2^3 + r_1^3) / 2]^{1/3}$: $\Delta V_{l,2}$ hacminin kütle merkezi, $z^* = r^* \sin(b)$, b : incelenen alanın merkezine ait galaktik enlem.

2.3. Yoğunluk kanunları

Yoğunluk kanunları bellidir, fakat farklı çalışma grupları bunları biçimsel olarak biraz değiştirmektedirler. Burada, Basel grubunun (Fenkart 1989a,b,c,d; Buser ve diğ. 1998, 1999) kullandığı denklemler kullanılmıştır. İnce disk ve Kalın disk için aynı yoğunluk kanunu kullanılmaktadır; fark bölgesel (Güneş civarındaki) uzay yoğunluğu, yükseklik ölçeği ve uzunluk ölçeğinden kaynaklanıyor :

$$D_i(r, z) = n_i \exp(-z / h_{z,i}) \exp((x - R_o) / h_i) \quad (2)$$

Burada $z = z_\odot + r \sin(b)$, r : cismin Güneş'e uzaklığı, $z_\odot$: Güneş'in Galaksi düzlemine olan uzaklığı, 24 pc (Juric ve diğ. 2008), b : galaktik enlem, x : cismin Galaksi merkezine olan uzaklığının Galaksi düzlemine izdüşümü, R_o : Güneşin Galaksi merkezinden uzaklığı (8 kpc, Reid 1993), $h_{z,i}$ ve h_i : sırası ile, yükseklik ölçeği ve uzunluk ölçeği, n_i : bölgesel (Güneş civarındaki) uzay yoğunluğu. İnce disk ve

kalın disk için $i=1$ ve $i=2$ alınması gelenek haline gelmiştir. Halo için kullanılan yoğunluk kanunu aşağıda verilmiştir:

$$D_s(R) = \frac{n_s \exp(10.0931 - (R/R_o)^{1/4})}{(R/R_o)^{7/8}} \quad (3)$$

Burada R 'nin c/a eksen oranları cinsinden düzeltilmesi gerekir:

$$R = \sqrt{x^2 + (z/(c/a))^2} \quad (4)$$

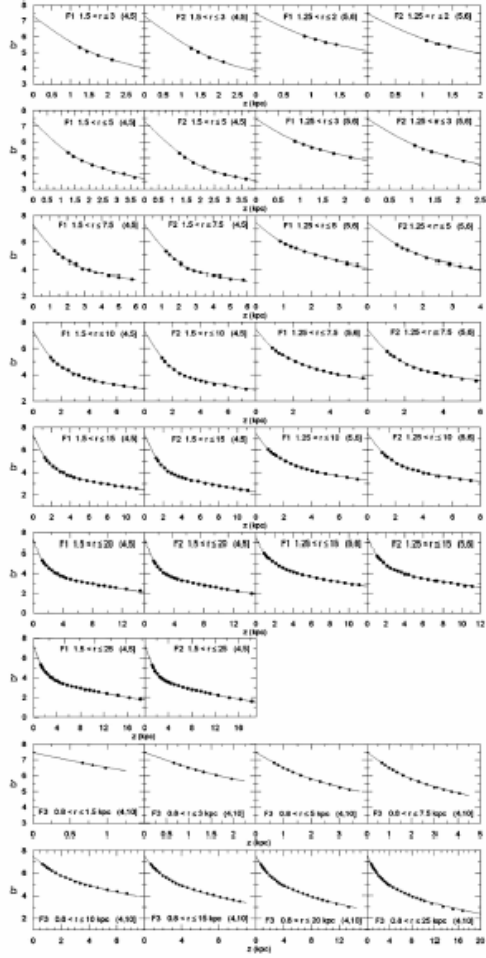
$$z = r \sin(b) \quad (5)$$

$$x = \sqrt{R_o^2 + r^2 \cos^2 b - 2R_o r \cos b \cos l} \quad (6)$$

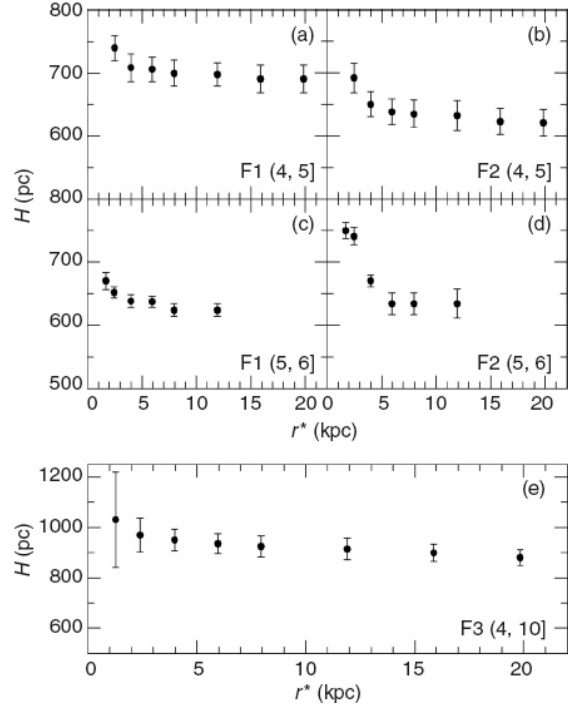
r : bakış doğrultusundaki uzaklık ve (l, b) incelenen alanın galaktik koordinatları.

3. Model Parametreleri

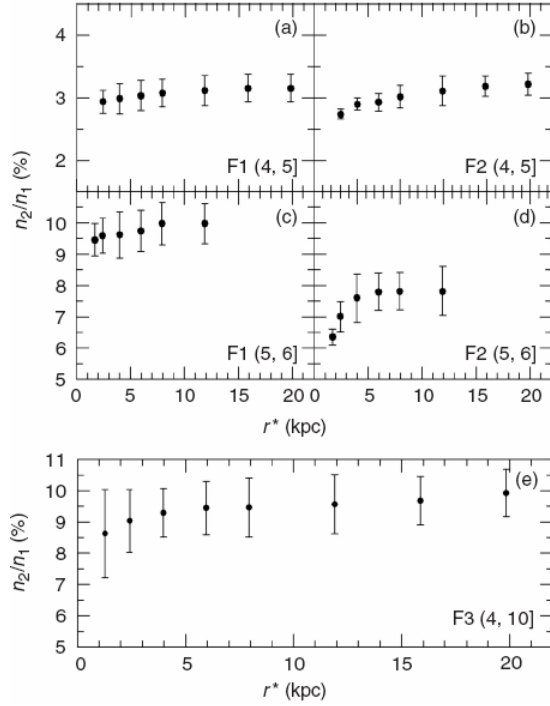
Gözlemsel uzay yoğunlukları ile yoğunluk kanunları, χ^2 yöntemine göre karşılaştırılarak ince disk ve kalın diske ait bölgesel uzay yoğunlukları, yükseklik ölçekleri ve uzunluk ölçekleri; ayrıca haloya ait bölgesel yoğunluk değerleri ve eksen oranları tayin edilmiştir. Bu işlem, yukarıda anılan her bir hacim için ayrı ayrı yapıldığından, elimizde F1 ve F2 alanlarının her biri için 13, F3 alanı için de sekiz model takımı vardır (Tablo 3).



Şekil 3. 36 hacim için hesaplanan uzay yoğunluk fonksiyonlarının (noktalar) Galaksi modelleri (eğri) ile karşılaştırılması.



Şekil 4. Kalın diske ait bölgesel uzay yoğunluğunun (n_2) ince diskin bölgesel uzay yoğunluğuna (n_1) göre, mutlak kadir ve uzaklıkla değişimi.



Şekil 5. Kalın diske ait yükseklik ölçeğinin mutlak kadir ve uzaklıkla değişimi.

3.1. İnce diske ait Galaksi model parametreleri

İnce diske ait bölgesel logaritmik (n_1^*) yoğunluğu, farklı mutlak kadirler için farklıdır. Fakat, belli bir mutlak kadir aralığı için, her üç alana ait model takımında aynıdır: $4 < M_g \leq 5$ için $n_1^* = 7.29$ ve $5 < M_g \leq 6$ ve $4 < M_g \leq 10$ için $n_1^* = 7.44$. Yükseklik ölçeğinin gidişatı ise farklı olup hem mutlak kadir ve hem de alan doğrultusu ile değişmektedir. Bununla beraber, hacimden bağımsızdır: $4 < M_g \leq 5$ için, F1 ve F2 alanlarına ait sayısal değerler (pc cinsinden) sırası ile, $H_1 = 247$ ve $H_2 = 275$ pc; $5 < M_g \leq 6$ için F1 ve F2 ye ait değerler $H_1 = 220$ ve $H_2 = 254$ pc'tir. $4 < M_g \leq 5$ aralığı için F3 alanına ait yükseklik ölçeği ise $H_1 = 360$

pc'tir. Uzunluk ölçeği mutlak kadir ve doğrultudan başka hacimle de değişmektedir. Fakat buna ait gidişat karışıktır.

Tablo 3. *F1, F2 ve F3 alanlarına ait Galaksi model parametreleri. Terimlerin anlamı: M_g : mutlak kadir, r_1 - r_2 : hacmin sınırları (kpc cinsinden), n_1^* : ince diske ait logaritmik bölgesel uzay yoğunluğu, H_1 : ince diske ait yükseklik ölçeği, h_1 : ince diske ait uzunluk ölçeği, n_2^* : kalın diske ait logaritmik bölgesel uzay yoğunluğu, H_2 : kalın diske ait yükseklik ölçeği, h_2 : kalın diske ait uzunluk ölçeği, n_2/n_1 : kalın diske ait göreceli bölgesel uzay yoğunluğu, n_3^* : haloya ait logaritmik bölgesel uzay yoğunluğu, c/a : haloya ait eksenler oranı, n_3/n_1 : haloya ait göreceli bölgesel uzay yoğunluğu. Yükseklik ölçekleri pc, uzunluk ölçekleri kpc cinsindendir.*

M_g	$r_1 - r_2$	n_1^*	H_1	h_1	n_2^*	H_2	h_2	n_2/n_1	n_3^*	(c/a)	n_3/n_1	$\chi^2_{\min}$
Field 1												
(4, 5]	1.5-3	7.287	247 $\pm$ 4	2.15 $\pm$ 1.00	5.756	740 $\pm$ 20	3.75 $\pm$ 0.75	2.94 $\pm$ 0.18	3.287	0.52 $\pm$ 0.23	0.01 $\pm$ 0.01	0.45
	1.5-5	7.287	247 $\pm$ 5	2.25 $\pm$ 0.85	5.763	709 $\pm$ 22	3.75 $\pm$ 0.95	2.99 $\pm$ 0.24	3.889	0.73 $\pm$ 0.20	0.04 $\pm$ 0.02	3.64
	1.5-7.5	7.287	247 $\pm$ 5	2.20 $\pm$ 0.95	5.770	706 $\pm$ 19	3.62 $\pm$ 0.68	3.04 $\pm$ 0.24	3.889	0.79 $\pm$ 0.17	0.04 $\pm$ 0.01	4.42
	1.5-10	7.287	247 $\pm$ 5	2.30 $\pm$ 0.90	5.775	700 $\pm$ 21	3.70 $\pm$ 0.75	3.08 $\pm$ 0.22	3.889	0.81 $\pm$ 0.13	0.04 $\pm$ 0.01	4.71
	1.5-15	7.287	247 $\pm$ 5	2.20 $\pm$ 0.90	5.781	698 $\pm$ 19	3.70 $\pm$ 0.80	3.12 $\pm$ 0.24	3.889	0.83 $\pm$ 0.13	0.04 $\pm$ 0.01	8.73
(5, 6]	1.5-20	7.287	247 $\pm$ 5	2.22 $\pm$ 0.85	5.787	691 $\pm$ 22	3.80 $\pm$ 0.82	3.16 $\pm$ 0.22	3.889	0.84 $\pm$ 0.14	0.04 $\pm$ 0.01	9.36
	1.5-25	7.287	247 $\pm$ 5	2.20 $\pm$ 0.88	5.787	691 $\pm$ 22	3.80 $\pm$ 0.82	3.16 $\pm$ 0.22	3.889	0.85 $\pm$ 0.14	0.04 $\pm$ 0.01	12.11
	1.25-2	7.431	220 $\pm$ 3	2.20 $\pm$ 0.75	6.407	670 $\pm$ 14	4.00 $\pm$ 0.85	9.46 $\pm$ 0.52	3.431	0.25 $\pm$ 0.25	0.01 $\pm$ 0.01	0.35
	1.25-3	7.430	220 $\pm$ 3	2.20 $\pm$ 0.75	6.409	652 $\pm$ 10	4.00 $\pm$ 0.85	9.59 $\pm$ 0.56	4.430	0.46 $\pm$ 0.21	0.10 $\pm$ 0.05	0.31
	1.25-5	7.431	220 $\pm$ 3	2.20 $\pm$ 0.72	6.414	638 $\pm$ 10	3.00 $\pm$ 0.85	9.62 $\pm$ 0.74	4.605	0.50 $\pm$ 0.12	0.15 $\pm$ 0.04	1.73
	1.25-7.5	7.431	220 $\pm$ 3	2.08 $\pm$ 0.85	6.420	637 $\pm$ 10	3.00 $\pm$ 0.80	9.75 $\pm$ 0.66	4.605	0.55 $\pm$ 0.07	0.15 $\pm$ 0.03	1.74
	1.25-10	7.431	220 $\pm$ 4	2.25 $\pm$ 0.70	6.430	624 $\pm$ 10	3.00 $\pm$ 0.80	9.98 $\pm$ 0.68	4.605	0.56 $\pm$ 0.06	0.15 $\pm$ 0.03	1.42
	1.25-15	7.431	220 $\pm$ 4	2.25 $\pm$ 0.70	6.430	624 $\pm$ 10	3.00 $\pm$ 0.80	9.98 $\pm$ 0.64	4.605	0.56 $\pm$ 0.05	0.15 $\pm$ 0.03	2.74
Field 2												
(4, 5]	1.5-3	7.288	275 $\pm$ 3	2.25 $\pm$ 0.88	5.726	692 $\pm$ 23	4.00 $\pm$ 0.78	2.74 $\pm$ 0.08	4.242	0.40 $\pm$ 0.10	0.09 $\pm$ 0.04	0.96
	1.5-5	7.287	275 $\pm$ 3	2.40 $\pm$ 0.80	5.749	650 $\pm$ 20	3.40 $\pm$ 0.82	2.90 $\pm$ 0.10	4.366	0.53 $\pm$ 0.12	0.12 $\pm$ 0.02	1.63
	1.5-7.5	7.287	275 $\pm$ 3	2.45 $\pm$ 0.75	5.754	638 $\pm$ 20	3.80 $\pm$ 0.75	2.93 $\pm$ 0.14	4.366	0.54 $\pm$ 0.08	0.12 $\pm$ 0.02	2.98
	1.5-10	7.287	275 $\pm$ 3	2.50 $\pm$ 0.78	5.767	635 $\pm$ 22	3.22 $\pm$ 0.80	3.02 $\pm$ 0.18	4.366	0.58 $\pm$ 0.06	0.12 $\pm$ 0.02	6.14
	1.5-15	7.287	275 $\pm$ 3	2.50 $\pm$ 0.75	5.780	632 $\pm$ 24	3.05 $\pm$ 0.95	3.11 $\pm$ 0.24	4.366	0.58 $\pm$ 0.06	0.12 $\pm$ 0.02	7.34
(5, 6]	1.5-20	7.287	275 $\pm$ 3	2.42 $\pm$ 0.80	5.791	623 $\pm$ 21	3.35 $\pm$ 0.75	3.19 $\pm$ 0.16	4.366	0.58 $\pm$ 0.05	0.12 $\pm$ 0.02	10.42
	1.5-25	7.287	275 $\pm$ 3	2.40 $\pm$ 0.82	5.795	621 $\pm$ 21	3.40 $\pm$ 0.75	3.22 $\pm$ 0.18	4.366	0.58 $\pm$ 0.06	0.12 $\pm$ 0.02	16.92
	1.25-2	7.443	254 $\pm$ 6	2.38 $\pm$ 0.62	6.246	750 $\pm$ 13	4.00 $\pm$ 0.95	6.35 $\pm$ 0.26	3.443	0.35 $\pm$ 0.22	0.01 $\pm$ 0.01	0.13
	1.25-3	7.440	254 $\pm$ 6	2.30 $\pm$ 0.65	6.286	741 $\pm$ 14	3.15 $\pm$ 0.78	7.01 $\pm$ 0.48	3.918	0.40 $\pm$ 0.20	0.03 $\pm$ 0.02	0.62
	1.25-5	7.437	254 $\pm$ 6	2.38 $\pm$ 0.75	6.318	670 $\pm$ 09	3.08 $\pm$ 0.92	7.60 $\pm$ 0.78	4.714	0.55 $\pm$ 0.11	0.19 $\pm$ 0.07	5.69
	1.25-7.5	7.437	254 $\pm$ 6	2.52 $\pm$ 0.68	6.329	634 $\pm$ 17	3.88 $\pm$ 0.52	7.80 $\pm$ 0.60	4.715	0.60 $\pm$ 0.10	0.19 $\pm$ 0.05	7.04
	1.25-10	7.437	254 $\pm$ 6	2.52 $\pm$ 0.70	6.330	634 $\pm$ 17	3.85 $\pm$ 0.62	7.82 $\pm$ 0.60	4.715	0.60 $\pm$ 0.10	0.19 $\pm$ 0.05	10.00
	1.25-15	7.437	254 $\pm$ 7	2.38 $\pm$ 0.75	6.330	634 $\pm$ 23	4.00 $\pm$ 0.80	7.82 $\pm$ 0.78	4.680	0.60 $\pm$ 0.07	0.19 $\pm$ 0.07	16.13
Field 3												
(4, 10]	0.9-1.5	7.444	360 $\pm$ 10	1.65 $\pm$ 0.59	6.380	1030 $\pm$ 190	3.00 $\pm$ 0.85	8.63 $\pm$ 0.42	4.440	0.52 $\pm$ 0.23	0.04 $\pm$ 0.61	0.35
	0.9-3	7.444	360 $\pm$ 7	1.70 $\pm$ 0.58	6.400	970 $\pm$ 68	2.90 $\pm$ 0.95	9.04 $\pm$ 1.01	4.600	0.62 $\pm$ 0.20	0.14 $\pm$ 0.25	0.42
	0.9-5	7.444	360 $\pm$ 7	1.70 $\pm$ 0.60	6.412	950 $\pm$ 42	2.80 $\pm$ 0.90	9.29 $\pm$ 0.78	4.650	0.64 $\pm$ 0.17	0.16 $\pm$ 0.13	1.12
	0.9-7.5	7.444	360 $\pm$ 8	1.75 $\pm$ 0.58	6.419	935 $\pm$ 40	2.80 $\pm$ 0.85	9.44 $\pm$ 0.86	4.700	0.67 $\pm$ 0.14	0.18 $\pm$ 0.10	1.84
	0.9-10	7.444	360 $\pm$ 8	1.75 $\pm$ 0.62	6.420	925 $\pm$ 42	2.80 $\pm$ 0.95	9.46 $\pm$ 0.94	4.750	0.70 $\pm$ 0.12	0.20 $\pm$ 0.09	8.76
	0.9-15	7.444	360 $\pm$ 8	1.75 $\pm$ 0.61	6.425	915 $\pm$ 42	2.75 $\pm$ 1.00	9.57 $\pm$ 0.95	4.754	0.71 $\pm$ 0.12	0.20 $\pm$ 0.09	10.86
	0.9-20	7.444	360 $\pm$ 7	1.75 $\pm$ 0.61	6.430	900 $\pm$ 34	2.45 $\pm$ 0.95	9.68 $\pm$ 0.77	4.770	0.71 $\pm$ 0.12	0.21 $\pm$ 0.07	11.02
	0.9-25	7.444	360 $\pm$ 7	1.75 $\pm$ 0.61	6.440	880 $\pm$ 32	2.30 $\pm$ 0.98	9.93 $\pm$ 0.76	4.780	0.73 $\pm$ 0.11	0.22 $\pm$ 0.06	14.20

3.2. Kalın diske ait Galaksi model parametreleri

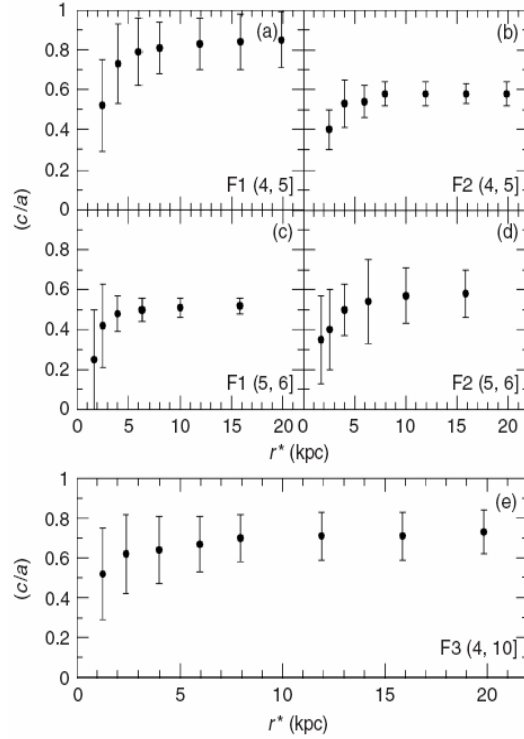
Kalın diske ait bütün model parametreleri mutlak kadir, doğrultu ve hacimle değişmektedir. Şek. 4'te, bölgesel uzay yoğunluğu n_2 'nin ince diskin bölgesel uzay yoğunluğu n_1 're göre değişimi gösterilmiştir. n_2/n_1 oranı küçük uzaklıklarda sürekli artarken büyük uzaklıklara gidildikçe bir asimtot değerine yakınsamaktadır. İlginç olan, aynı bir mutlak kadir aralığı için bile farklı bölgesel uzay yoğunluklarının elde edilmesidir. Bu farklılıklar içinde en belirgin olanı, $5 < M_g \leq 6$ mutlak kadir aralığı için, F1 ve F2 alanlarına ait olanlardır.

Kalın diske ait yükseklik ölçeğinin değişimi Şek. 5'te gösterilmiştir. Bölgesel uzay yoğunlukları ile yükseklik ölçekleri arasında var olan ters-korelasyon sebebi ile (Buser ve diğ. 1998, 1999), yükseklik ölçeği, uzaklık arttıkça azalmakta ve büyük uzaklıklarda bir asimtot değerine yakınsamaktadır. En büyük yükseklik ölçeği, F3 alanına ait $4 < M_g \leq 10$ mutlak kadir aralığında göze çarpmaktadır. Küçük uzaklıklardaki değer Gilmore ve Reid'in (1983) değerini hatırlatmaktadır (≈ 1 kpc). $5 < M_g \leq 6$ mutlak kadir aralığındaki değerler ise güncel değerlere yakındır (≈ 650 pc).

Kalın diske ait uzunluk ölçeği de mutlak kadir, doğrultu ve hacimle değişmektedir. Ancak buna ait gidişat, bölgesel uzay yoğunluğu ve yükseklik ölçeği kadar düzenli olmadığı gibi hataları da büyüktür. Bu sebepten bunlara ait şekil verilmemiştir (değişimler Tablo 3'ten izlenebilir). Kalın diske ait model parametrelerinin değişimi 4. Bölümde tartışılacaktır.

3.3. Haloya ait Galaksi model parametreleri

Haloya ait, ince diske göre, göreceli (n_3/n_1) bölgesel uzay yoğunluğu ve c/a eksenler oranı da mutlak kadir, doğrultu ve hacimle değişmektedir. Tablo 3'ten görüldüğü gibi, n_3/n_1 küçük uzaklıklarda hızlı bir şekilde artarken, uzaklık arttıkça bir asimtot değerine yakınsamaktadır. Ancak, bu değerler aynı bir mutlak kadir aralığı için bile farklıdır. Bu ise, bölgesel uzay yoğunluğunun tanımına aykırıdır (Bu konudaki tartışmalar 4. Bölümde yapılmıştır). Eksenler oranını daha ayrıntılı tartışabilmek için, c/a 'nın değişimi Şek. 6'da verilmiştir. Şeklin beş panelindeki değişimler birbirinden farklıdır. Bununla beraber ortak bir de yanları vardır: Küçük uzaklıklarda c/a küçük, büyük uzaklıklarda ise büyüktür. Bu durum, halonun biri disk yapıda, diğeri ise küresel yapıda iki bileşenli oluşu ile ilgili görüşü doğrulamaktadır.



Şekil 6. Haloya ait (c/a) eksenler oranının mutlak kadir ve uzaklıkla değişimi.

4. Sonuç

Üç alana ait 34 yıldız örneği için tayin edilen Galaksi model parametreleri mutlak kadir, Galaksi boylamı ve hacimle değişim göstermektedir. Mutlak kadirle değişim, Galaksi model parametrelerinin yıldızın *ışım gücüne bağımlılığı* ile açıklanabilir. Hipparcos'un (Jahreiss ve Wielen 1997) farklı mutlak kadir aralıklarına ait farklı bölgesel uzay yoğunlukları bu iddiamızı doğrulamaktadır. Fakat, model parametrelerinin galaktik boylama ve hacime bağımlılığının açıklanması ise farklıdır. Örneğin, bir popülasyona ait bölgesel uzay yoğunluğu, tanımı gereği sabit olup hacim veya uzaklıktan bağımsız olması gerekir. O halde, bu çalışmada görülen değişimler incelemedeki yanlışlıktan kaynaklanıyor. Model parametrelerinin gradyenti, küçük uzaklıklarda daha çoktur. Çünkü, ince disk, kalın disk ve halonun uzay yoğunluğuna katkısı uzaklıkla değişmektedir. Büyük uzaklıklarda ise, ince ve kalın diskin katkıları değişmediğinden, model parametreleri asimtot değerlerine yakınsamaktadır. O halde en güvenilir model parametreleri en büyük hacimde bulunan değerlerdir.

Kaynaklar

- Ak, S., Karaali, S., Buser, R., 1998, A&AS, 131, 345
Bahcall, J.N., 1986, ARA&A, 24, 577
Becker, W., 1965, Z. Astrophys, 62, 54
Bilir, S., Karaali, S., Buser, R. 2004, TJPh, 28, 289
Bilir, S., Karaali, S., Gilmore, G., 2006a, MNRAS, 366, 1295
Bilir, S., Karaali, S., Güver, T., Karataş, Y., Ak, S., 2006b, AN, 327, 72
Bilir, S., Karaali, S., Ak, S., Yaz, E., Hamzaoğlu, E., 2006c, NewA, 12, 234
Buser, R., Fenkart, R., 1990, A&A, 239, 243
Buser, R., Rong, J., Karaali, S., 1998, A&A, 331, 934
Buser, R., Rong, J., Karaali, S., 1999, A&A, 348, 98
Cabrera-Lavers, A., Bilir, S., Ak, S., Yaz, E., Lopez-Corredoira, M., 2007, A&A, 464, 565
Chen, B., ve diğ., 2001, ApJ, 553, 184

- del Rio G., Fenkart, R.P., 1987, A&AS, 68, 397
Fenkart, R., Karaali, S., 1987, A&AS, 69, 33
Fenkart, R., 1989a, A&AS, 78, 217
Fenkart, R., 1989b, A&AS, 79, 51
Fenkart, R., 1989c, A&AS, 80, 89
Fenkart, R., 1989d, A&AS, 81, 187
Fenkart, R., Karaali, S., 1990, A&AS, 83, 481
Fenkart, R., Karaali, S., 1991, A&AS, 88, 233
Gilmore, G., Reid, N., 1983, MNRAS, 202, 1025
Gilmore, G., 1984, MNRAS, 207, 223
Gilmore, G., Wyse, R.F.G., Kuijken, K., 1989, ARA&A, 27, 555
Jahreiss, H., Wielen, R., 1997, ESA SP-402, Noordwijk, p. 675
Juric, M., ve diğ., 2008, ApJ, 673, 864
Karaali, S., Bilir, S., Hamzaoglu, E., 2004, MNRAS, 355, 307
Karaali, S., Bilir, S., Tunçel, S., 2005, PASA, 22, 24
Kuijken, K., Gilmore, G., 1989, MNRAS, 239, 605
Larsen, J.A., 1996, Ph. D. Thesis, Univ. Minnesota
Majewski, S.R., 1993, ARA&A, 31, 575
Malmquist, G., 1920, Medd. Lunds Astron. Obs., Ser. 2, 22
Ojha, D.K., Bienayme, O., Mohan, V., Robin, A.C., 1999, A&A, 351, 945
Reid, M.J., 1993, ARA&A, 31, 345
Reid, N., Majewski, S.R., 1993, ApJ, 409, 635
Robin A., Creze M., 1986, A&A, 157, 71
Robin, A.C., Haywood, M., Creze, M., Ojha, D.K., Bienayme, O., 1996, A&A, 305, 125
Robin, A.C., Reyle, C., Creze, M., 2000, A&A, 359, 103
Siegel, M.H., Majewski, S.R., Reid, I.N., Thompson, I.B., 2002, ApJ, 578, 151
Tritton, K.P., Morton, D.C., 1984, MNRAS, 209, 429
von Hippel T., Bothun G.D., 1993, ApJ, 407, 115
Yamagata, T., Yoshii, Y., 1992, AJ, 103, 117
Yoshii Y., 1982, PASJ, 34, 365
Yoshii Y., Ishida K., Stobie R.S., 1987, AJ, 93, 323