

Yeni Galaksi Model Parametreleri

S. Karaali¹, S. Bilir¹ ve G. Gilmore²

¹ İ. Ü. F. F. Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü 34452 Üniversite İstanbul

² Institute of Astronomy, Madingley Road, Cambridge, CB3 0HA, UK
karsa@istanbul.edu.tr

Özet.

Cambridge Üniversitesi Astronomi Enstitüsü'nden sağlanan, 6.571 derece karelik alan içindeki 10 342 yıldız kullanılarak Galaksimize ait yeni model parametreleri tayin edilmiştir. *Yıldız sayımları* yerine, Galaksi düzlemine dik doğrultuda değişen ve *birim mutlak kadir* için hesaplanan gözlemsel ve teorik *yıldız yoğunlukları* karşılaştırılmıştır. Geç spektral tipten İnce Disk (TN0), orta spektral tipten İnce Disk (TN1), Kalın Disk (TK) ve Halo (H) popülasyonlarının farklı birleşimleri, farklı model parametrelerinin elde edilmesine sebep olmuştur. Bu durum, literatürdeki model parametrelerinin farklılığının farklı mutlak kadirdeki yıldızların kullanılmasından kaynaklandığını göstermektedir.

En uygun parametreler, gözlemsel yoğunluk fonksiyonları ile model karşılaştırılmasından elde edilen ve Hipparcos'a ait yerel ışımaya gücü fonksiyonu ile en iyi uyuşan ışımaya gücü fonksiyonunun elde edilmesini sağlayan model parametreleridir: İnce Disk'e ait yükseklik ölçeği $H_1 = 285$ pc, logaritmik yerel yoğunluk $n_1 = 7.51$; Kalın Disk'e ait yükseklik ölçeği $H_2 = 902$ pc, logaritmik yerel yoğunluk $n_2 = 6.31$, İnce Disk'e göre göreceli değeri $n_2/n_1 = 0.063$; Halo'ya ait logaritmik yerel yoğunluk $n_3 = 3.73$, İnce Disk'e göre göreceli değeri $n_3/n_1 = 0.00017$ dir.

Anahtar Kelimeler: Galaksi: genel – Galaksi: model – Galaksi: yapı

1. Giriş

Gilmore ve Reid (1983) ın Güney Galaksi Kutbu'nda yaptıkları gözlemlerin Disk ve Halo'dan oluşan Galaksi modeli ile uyuşmaması, "*Kalın Disk*" olarak adlandırılan yeni bir bileşenin varlığının kabulü ile sonuçlanmıştır. Bugün, Galaksi bileşenleri İnce Disk (Pop I), Kalın Disk (Ara Pop II) ve Halo (Pop II) olarak bilinmektedir. Yaklaşık 20 yıldan beri bu bileşenlere ait gözlemlerle yıldız sayımlarına dayanan modeller karşılaştırılmakta ve Galaksi bileşenlerinin özellikleri tespit edilmeğe çalışılmaktadır. Yıldız yoğunlukları (birim hacimdeki yıldız sayısı) hem Galaksi düzlemine dik doğrultuda ve hem de Galaksinin dönme yönünde değişmektedir. Bu değişim, her bir disk için iki üstel ifadenin çarpımı şeklinde ifade edilmektedir. Yoğunluk ifadesinde, göz önüne alınan diskin *yerel yoğunluk değeri* (Güneş yakınındaki yoğunluk), *yükseklik ölçeği* ve *uzunluk ölçeği* parametre olarak yer almaktadır. Halo'ya ait yoğunluk ise iki türlü ifade edilebilir; de Vaucouleurs sferoidi veya kuvvet kanunu. Burada da, eksenler oranı ve kuvvet kanunundaki indeksten başka, *yerel yoğunluk değeri* parametre olarak yer almaktadır. Yıllardan beri bu parametrelerin tayin edilmesine çalışılmaktadır. En büyük değişim Kalın Disk'te olmuştur. Başlangıçta, Galaksi düzlemine dik doğrultuda $1.5 < z < 2.5$ kpc aralığında etkin olduğu düşünülen bu Galaksi bileşeninin bugün 4 – 5 kpc uzaklıklara kadar etkin olduğu belirtiliyor (Majewski 1993). Ayrıca, Gilmore ve Reid (1983) tarafından tayin edilen H = 1300 pc lik yükseklik ölçeğinin güncel değeri 1000 pc in çok altına düşmüştür. Tersine, İnce Disk'e göre yerel yoğunluğu %2 den %10 lara kadar çıkmıştır. Tablo 1 de, Galaksi bileşenlerine ait birkaç çalışmada elde edilen parametreler verilmiştir.

Bu çalışmada, Cambridge Üniversitesi'nden sağlanan ve 6.571 derece karelik alan içinde bulunan 10 342 yıldız kullanılarak çizilen **yoğunluk fonksiyonlarının teorik yoğunluk fonksiyonları** ile karşılaştırılarak yerel yoğunluk ve yükseklik ölçeği parametrelerinin tayini amaçlanıyor.

Tablo 1. Galaksi Modelleri. (B&S: Bahcall & Soneira, BRK: Buser, Rong & Karaali). Yerel yoğunluk oranları İnce Disk'e göredir. (*) = yıldız / pc³

Parametre	B&S (1984)	Gilmore (1984)	Robin ve ark. (2000)	Chen ve ark. (2001)	BRK (1999)
İnce Disk					
Yoğunluk kanunu	Üstel	Üstel	Einasto(1979)	Üstel	Üstel
Yükseklik ölçeği (pc)	90 – 325	90 – 325	90 – 270	90 – 325	286
Uzunluk ölçeği (pc)	3500	4000	—	—	—

Kalın Disk					
Yoğunluk kanunu	Üstel	Üstel	Üstel	Üstel	Üstel
Yükseklik ölçeği (pc)	—	1300	750	580 – 750	910
Yerel yoğunluk oranı	—	%2	%5.6	%(6.5–13)	%5.9
Halo					
Yoğunluk kanunu	Vaucouleurs	Vaucouleurs	Kuvvet	Kuvvet	Vaucouleurs
Yerel Yoğunluk oranı	%0.150	%0.125	1.64×10^{-4} (*)	%0.125	%0.045
Eksen oranı	0.80	0.80	0.76	0.55	0.84
Kuvvet kanunu indeksi	—	—	2.44	2.50	—

2. Metod

Parametre tayininde Phleps ve ark. (2000) na ait yöntem kullanılarak teorik ve gözlemsel uzay yıldız yoğunlukları karşılaştırılmıştır. Ancak bu çalışmada **birim mutlak kadir aralığına ait yoğunluk** hesaplamakla bir farklılık getirilmiştir. İnce Disk ve Kalın Disk yoğunlukları için kullanılan formül,

$$D_i(z) = n_i \exp(-z/H_i) \quad (1)$$

dir. Burada z Galaksi düzlemine olan uzaklık, n_i ve H_i ise yerel yoğunluk ve yükseklik ölçeğidir (İnce Disk için $i = 1$, Kalın Disk için $i = 2$). Halo için,

$$D(z, l, b) = \rho_o \frac{\exp\left[-10.093(R/R_o)^{1/4} + 10.093\right]}{(R/R_o)^{7/8}} \left[1 - \frac{0.08669}{(R/R_o)^{1/4}}\right] \quad (2)$$

formülü kullanıldı. Burada ρ_o yerel yoğunluk, R_o Güneş'in Galaksi merkezine olan uzaklığı (8.6 kpc), R Galaksi merkezine olan uzaklıktır. Galaksi merkezine olan uzaklığın Galaksi düzlemine izdüşümü x ve Halo'ya ait düzleşme katsayısı da κ ile gösterilirse

$$x = (R_o^2 + l^2 \cos^2 b - 2 R_o l \cos b \cos l)^{1/2} \quad (3)$$

$$R = (x^2 + z^2/\kappa^2)^{1/2} \quad (4)$$

olur. Burada l ve b , sırası ile, yıldız alanının merkezinin galaktik koordinatlarıdır ($l = 84^\circ.27$, $b = +44^\circ.90$).

3. Mutlak Kadir ve Uzaklıklar

Bir yıldızın $M(g_o')$ mutlak kadiri, Bilir ve ark. (2002, bundan sonra BKG) de verilen uygun renk-kadir diyagramı yardımı ile tayin edilmiş, Güneş'e uzaklığı r ise parsek cinsinden

$$g_o' - M(g_o') = 5 \log r - 5 \quad (5)$$

formülü ile hesaplanmıştır. Yıldızın r uzaklığı ve bulunduğu alt alanın (büyüklük $\cong 0.2$ derece kare) b_a galaktik enlemi, yıldızın Galaksi düzlemine olan z uzaklığını hesaplama olanağı verir:

$$z = r \sin b_a \quad (6)$$

BKG'da belirtildiği gibi, İnce Disk TN0 (geç spektral tipten) ve TN1 (orta spektral tipten) olarak ikiye ayrılmış olup mutlak kadir dağılımı r nin bir fonksiyonu olarak TN0, TN1, TK (Kalın Disk) ve H (Halo) için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Tablo 2 de, bir örnek olarak, TN0 a ait mutlak kadir dağılımı verilmiştir. Her mutlak kadir aralığı için aşağıdaki formülle hesaplanan r_i tamlik sınırları bu tabloda yatay kalın çizgilerle belirtilmiştir:

$$g_o' - M(g_o') = 5 \log r_i - 5 \quad (7)$$

Burada g_o' limit görünen kadir, $M(g_o')$ ise göz önüne alınan $M_1 - M_2$ mutlak kadir aralığındaki M_1 ve M_2 mutlak kadirlerden birini temsil ediyor. Logaritmik yoğunluk fonksiyonları, $D^* = \log D + 10$, dört popülasyon için ayrı ayrı hesaplanmış ve gerektiği şekilde birleştirilmiştir. Burada $D = N/\Delta V_{1,2}$, $\Delta V_{1,2} = (\pi/180)^2 \cdot (\square/3) \cdot (r_1^3 - r_2^3)$, \square : alanın derece kare cinsinden büyüklüğü (6.571 derece kare), r_1 ve r_2 : $\Delta V_{1,2}$ hacmindeki kesik piramidin limit uzaklıkları, N : **birim mutlak kadirdeki** yıldız sayısı ve $\langle z \rangle$ de göz önüne alınan yıldızların Galaksi düzlemine olan ortalama uzaklığı.

Tablo 2. TN0 İnce Disk'e ait yıldızların uzaklık ve mutlak kadir aralıklarına dağılımı. Uzaklıklar parsek cinsindedir. z^* , r ($r_1 < r < r_2$) uzaklığındaki yıldızların Galaksi düzlemine uzaklıklarının, yani $z = r \sin b_a$ lerin, ortalamasıdır. Burada b_a : yıldızların bulunduğu alt alanın Galaktik enlemidir. Gölge bölgeler, tamlık sınırları dışında olduğundan, istatistiğe katılmamıştır.

No	$M(g_o) \rightarrow$		8-9		9-10		10-11		11-12		12-13		13-14	
	r_1	r_2	z^*	N	z^*	N	z^*	N	z^*	N	z^*	N	z^*	N
1	0	100												
2	100	200							125	12	112	21	99	1
3	200	300			192	3	195	39	183	90	180	53	200	2
4	300	400			258	23	253	128	249	117	249	44		
5	400	500	326	5	320	94	318	136	317	138	320	29		
6	500	600	391	13	384	67	387	155	391	133	359	4		
7	600	700	463	16	457	68	458	135	456	76				
8	700	800	496	5	527	42	526	135	525	39				
9	800	900			597	33	602	131	580	14				
10	900	1000			674	47	669	123						
11	1000	1200			783	90	766	120						
12	1200	1400	961	3	915	115	894	44						
13	1400	1600			1055	76								
14	1600	1800			1136	7								
Toplam				42		665		1146		619		151		3

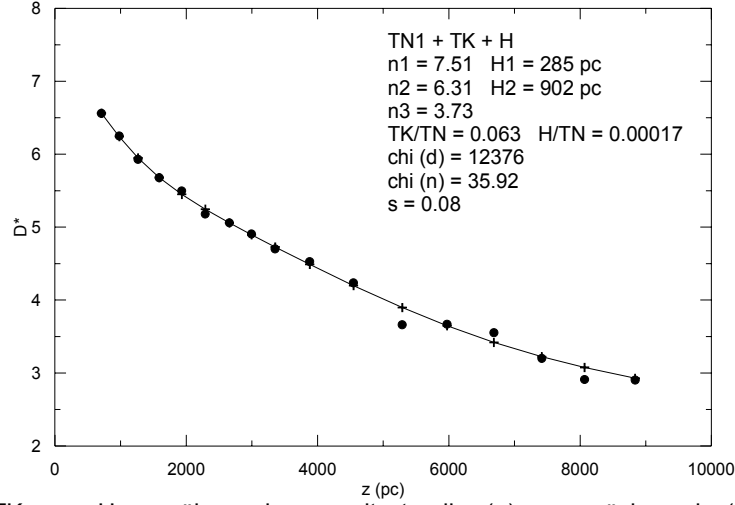
4. Model Parametrelerinin Tayini

Model parametreleri, gözlemsel ve teorik yoğunlukların Galaksi düzlemine dik doğrultudaki değişimlerinin χ^2 yöntemine göre karşılaştırılmasından elde edilmiştir. Önce, TN0, TN1, TK ve H ya ait gözlemsel uzay yoğunlukları ile bunlara karşılık gelen teorik yoğunluklar karşılaştırılarak bu popülasyonlar için yerel yoğunluk ve yükseklik ölçeklerinin değişim aralıkları tayin edilmiş, sonra bu popülasyonlar üç farklı şekilde birleştirilmiş, model parametrelerinin belirtilen değişim aralığında değişmesi sağlanmış ve χ^2_{min} ye karşılık gelen parametre değeri tespit edilmiştir. TN0, TN1, TK ve H ya ait parametre değişim aralıkları, sırası ile, yerel yoğunluklar için 7.5 – 9.0, 6.5 – 8.0, 5.5 – 7.0 ve 3.0 – 4.7; yükseklik ölçekleri (Halo dışında) için 100 – 250, 180 – 400 ve 650 – 1400 pc tir. Değişim adımları yerel yoğunluklarda (logaritmik olarak) 0.01, yükseklik ölçeklerinde ise 1 pc tir.

4.1. TN1, TK ve H Verileri Yardımı ile Parametre Tayini

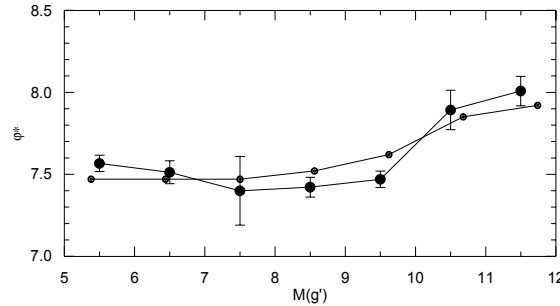
TN1 popülasyonuna ait mutlak kadirlerin tam olduğu aralık $6 < M(g_o') \leq 9$ dur; ayrıca bu aralıkta Hipparcos (Jahreiss ve Wielen 1997) a ait yerel yoğunluk yaklaşık olarak sabittir. TK ve H ya ait mutlak kadirlerin tamlık aralıkları ise, sırası ile $5 < M(g_o') \leq 7$ ve $4 < M(g_o') \leq 6$ dir. TN1, TK ve H popülasyonlarına ait **birim mutlak kadir aralığındaki** yoğunluklar, mutlak kadirlerin tam olduğu aralıklarda ve r uzaklığına ait tamlık sınırları içinde birleştirilerek teorik yoğunluklarla karşılaştırılmış (Şek.1) ve aşağıdaki model parametreleri bulunmuştur (n_i , $i = 1, 2, 3$, yerel yoğunluğu, H_i , $i = 1, 2$ ise yükseklik ölçeğini gösteriyor. Yoğunluklar logaritmik, uzunluklar pc cinsindedir):

$$\begin{array}{llll}
 \text{İnce Disk} & \text{TN1: } n_1 = 7.51 & n_2/n_1 = 0.063 & H_1 = 285 \\
 \text{Kalın Disk} & \text{TK : } n_2 = 6.31 & n_3/n_1 = 0.0001 & H_2 = 902 \\
 \text{Halo} & \text{H : } n_3 = 3.70 & &
 \end{array} \quad (8)$$



Şek.1. TN1, TK ve H popülasyonlarına ait teorik (+) ve gözlemsel (•) yoğunlukların karşılaştırılmasından elde edilen model parametreleri. Yükseklik ölçekleri (H_i) parsek, bölgesel yoğunluklar (n_i) logaritmiktir. Oranlar, ilgili popülasyonların İnce Disk'e göre normalleştirilmiş yoğunluklarıdır. Chi (d) (birim 10^{-10}) ve chi (n): yoğunluk ve sayısal karşılaştırmalara ait minimum χ^2 , s: standart sapmadır.

Bu parametrelerden oluşturulan Galaksi modeli ile $5 < M(g_0') \leq 6$, $6 < M(g_0') \leq 7$, $7 < M(g_0') \leq 8$, $8 < M(g_0') \leq 9$, $9 < M(g_0') \leq 10$, $10 < M(g_0') \leq 11$ ve $11 < M(g_0') \leq 12$ mutlak kadir aralığındaki gözlemsel yoğunluklar karşılaştırılmasından elde edilen ışım gücü fonksiyonu ile Hipparcos'a ait ışım gücü fonksiyonunun uyumu (Şek.2) model parametrelerinin doğruluğunu kanıtlamaktadır.

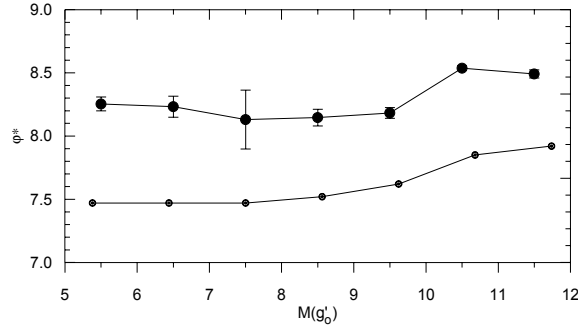


Şek.2. TN1, TK ve H ya ait verilerden oluşturulan Galaksi modeli ve gözlemsel uzay yoğunluklarının karşılaştırılmadan elde edilen ışım gücü fonksiyonu (•) ve Hipparcos'a ait ışım gücü fonksiyonu (⊙)

4.2. TN0, TN1, TK ve H Verileri Yardımı ile Parametre Tayini

Yukarıdaki verilere, TN0 ra ait veriler de eklenerek yeni model parametreleri tayin edilmiştir. TN0 ın tam olduğu mutlak kadir aralığı $9 < M(g_0') \leq 12$ olup bu aralıkta Hipparcos'a ait yerel yoğunluk değeri göreceli olarak büyüktür. TN0, TN1, TK ve H popülasyonlarına ait **birim mutlak kadir aralığındaki** yoğunluklar (4.1) de anlatıldığı gibi birleştirilmiş ve teorik yoğunluklarla karşılaştırılarak aşağıdaki parametreler ve bu parametrelerin kullanılmasından oluşan model yardımı ile de Şek.3 teki ışım gücü elde edilmiştir (semboller ve birimler yukarıda açıklandığı gibidir, "0" indisi TN0 ı temsil ediyor).

TN0	$n_0 = 8.38$	$n_1/n_0 = 0.087$	$H_0 = 136$	
TN1	$n_1 = 7.32$	$n_2/n_0 = 0.020$	$H_1 = 180$	(9)
TK	$n_2 = 6.71$	$n_3/n_0 = 0.0001$	$H_2 = 650$	
H	$n_3 = 4.38$	$n_2/n_1 = 0.245$		
		$n_3/n_1 = 0.00115$		

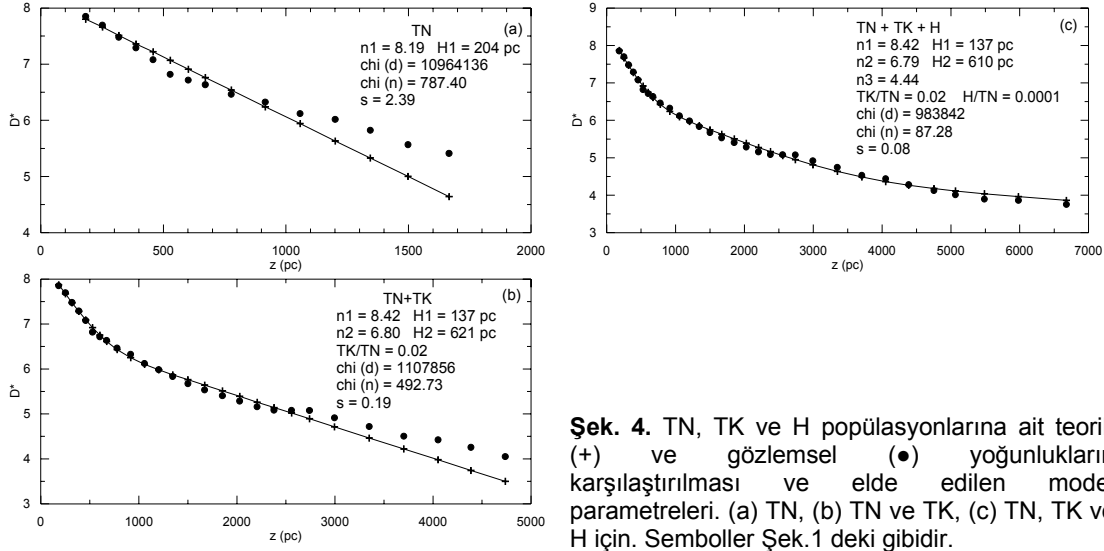


Şek.3. TN0, TN1, TK ve H ya ait verilerden oluşturulan Galaksi modeli ile gözlemsel uzay yoğunluklarının karşılaştırılmadan elde edilen ışıma gücü fonksiyonu (●) ve Hipparcos'a ait ışıma gücü fonksiyonu (⊙).

4.3. TN, TK ve H Verileri Yardımı ile Parametre Tayini

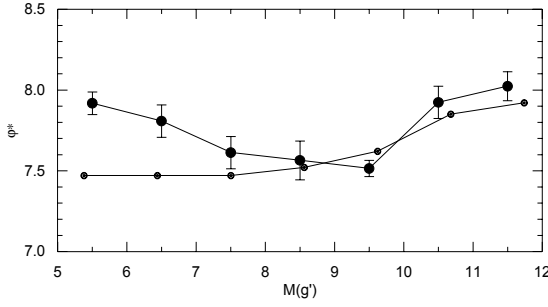
Literatürde, İnce Disk'in TN0 ve TN1 şeklinde bir ayırımı yapılmamakta, Galaksi düzlemine uzaklığı $z < 1.5$ kpc aralığında olan yıldızlar İnce Disk olarak kabul edilmektedir. Model parametresi tayininde bu yaklaşımı dışta tutmamak için TN0 ve TN1 birleştirilmiş ve değişim aralığının $200 < z < 1700$ pc olduğu görülmüştür. O halde bu yıldızlar İnce Disk olarak sınıflandırılabilir. Bu popülasyon TN, yerel yoğunluğu ve yükseklik ölçüğü de n_1 ve H_1 sembolleri ile gösterilmiştir. TN'e ait gözlemsel ve teorik yoğunlukların karşılaştırılması Şek.4a da verilmiştir; uyum olmadığı görülüyor (standart sapma D birimi cinsinden $s = \pm 2.39$). Ayrıca $n_1 = 8.19$ ve $H_1 = 204$ pc parametreleri de beklenenden farklıdır. TN ve TK'nın birleştirilmiş fonksiyonlarının karşılaştırıldığı Şek.4b ve TN, TK, H için yapılan karşılaştırılmanın bulunduğu Şek.4c, ilk şekle göre daha iyi görülüyor. Sonuç parametreleri aşağıda verilmiştir:

TN	$n_1 = 8.42$	$n_2/n_1 = 0.02$	$H_1 = 137$	
TK	$n_2 = 6.79$	$n_3/n_1 = 0.0001$	$H_2 = 610$	(10)
H	$n_3 = 4.44$			



Şek. 4. TN, TK ve H popülasyonlarına ait teorik (+) ve gözlemsel (●) yoğunlukların karşılaştırılması ve elde edilen model parametreleri. (a) TN, (b) TN ve TK, (c) TN, TK ve H için. Semboller Şek.1 deki gibidir.

Bu parametrelerle oluşturulan Galaksi modeli gözlemsel yoğunluk değerleri ile şeklen uyuşmakla beraber (buna ait şekil verilmemiştir) bu karşılaştırmadan elde edilen ışıma gücü fonksiyonu ile Hipparcos'a ait ışıma gücü fonksiyonu arasında sistematik bir fark vardır (Şek.5).



Şek.5. Şek.4 te elde edilen model parametrelerinin gözlemsel yoğunluk histogramları ile karşılaştırılmasından bulunan ışımaya gücü fonksiyonu (●) ve Hipparcos'a ait ışımaya gücü fonksiyonu (⊙).

5. Sonuç

Galaksimize ait üç takım model parametresi tayin edildi. Bütün parametre ve göreceli yerel yoğunluk değerleri literatürde verilen değişim aralığı içinde yer alıyor (yoğunluklar logaritmik, uzunluklar pc cinsinden):

Galaksi Bileşeni	Parametre	Değişim Aralığı	İnce Disk'e göre oran
İnce Disk	Yerel yoğunluk	7.32 – 8.42	-----
	Yükseklik ölçeği	136 – 285	-----
Kalın Disk	Yerel yoğunluk	6.31 – 6.79	0.02 – 0.06
	Yükseklik ölçeği	610 – 902	-----
Halo	Yerel yoğunluk	3.73 – 4.44	0.0010 – 0.0012

Parametreler, popülasyon tiplerinin ayırımına, karşılaştırılan gözlemsel verilere karşılık gelen mutlak kadirlerle çok bağlıdır. Geç spektral tipten İnce Disk (TN0) yıldızları, Kalın Disk'in yükseklik ölçeğini kısaltır ve yerel yoğunluk değerini artırır. En uyumlu ışımaya gücü fonksiyonu, TN0'ın dışındaki yıldızlardan elde edilmiştir. Literatürde farklı parametrelerin bulunması, farklı türden (farklı spektral tipten) yıldızlara ait verilerin kullanılmasından kaynaklanmaktadır. Hatalar aşağıda belirtilmiştir:

	TN0	TN1	TK	H
n (yerel yoğunluk)	± 0.04	± 0.03	± 0.06	± 0.10
H (yükseklik ölçeği, pc)	$\pm 1, (0.01)$	$\pm 3, (0.01)$	$\pm 8, (0.01)$	---

Bu çalışma İ.Ü. Araştırma Fonunca desteklenmiştir. Proje numarası 1417/05052000.

6. Kaynaklar

- Bahcall, J. N., & Soneira, R. M. 1984, ApJS, 55, 67
 Bilir, S., Karaali, S. & Gilmore, G. 2002, XIII. Ulusal Astronomi Toplantısı
 Buser, R., Rong, J., & Karaali, S. 1999, A&A, 348, 98
 Chen, B., & SDSS Çalışanları. 2001, ApJ, 553, 184
 Einasto, J. 1979, IAU Symp., 84, 451
 Gilmore, G., & Reid, N. 1983, MNRAS, 202, 1025
 Gilmore, G. 1984, MNRAS, 207, 223
 Jahreiss, H., & Wielen, R. 1997 (Hipparcos) ESAASP, 402, 675
 Majewski, S. R. 1993, ARA&A, 31, 575
 Phleps, S., Meisenheimer, K., Fuchs, B., & Wolf, C. 2000, A&A, 356, 108
 Robin, A. C., Reylé, C., & Crézé, M. 2000, A&A, 359, 103