

# İnce Diskin Uzunluk Ölçeğinin Belirlenmesi

Esmayaz Gökçe<sup>1\*</sup>, Salih Karaali<sup>1</sup>, Şivan Duran<sup>2</sup>, Selçuk Bilir<sup>1</sup>, Ayşe Yalçınkaya<sup>3</sup>, Serap Ak<sup>1</sup>, Tansel Ak<sup>1</sup>, Martin Lopez-Corredoira<sup>4,5</sup>, Ernst Paunzen<sup>4,5</sup>

<sup>1</sup>İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, İstanbul, Türkiye

<sup>2</sup>İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Astronomi ve Uzay Bilimleri Programı, İstanbul, Türkiye

<sup>3</sup>Mithatpasa cd. 16/4, 35320, Narlıdere, İzmir, Türkiye

<sup>4</sup>Instituto de Astrofísica de Canarias, E-38205 La Laguna, Tenerife, Spain

<sup>5</sup>Departamento Astrofísica, Universidad de La Laguna, E-38206 La Laguna, Tenerife, Spain

## Özet

Galaksimizin yapısının incelenmesinde ince disk, kalın disk ve halo yıldız popülasyonlarının modellenmesi önemlidir. Bu çalışmada Kırmızı Yığın (KY) yıldızlar kullanılarak ince diskin uzunluk ölçeği parametresi diğer parametrelerinden bağımsız olarak hesaplanmıştır. Çalışmada diskin incelenmesinde büyük öneme sahip kızılöte gökyüzü tarama verileri kullanılmıştır. Yıldız alanlarının tamlığı yaklaşık 1.5 kpc uzaklıktan itibaren başladığından,  $100 < r < 300$  pc uzaklık aralığındaki Hipparcos KY yıldızlarının Güneş civarı yoğunluğu  $D^* = 5.95$  hesaplanmış ve model parametresi tayin edilirken gözlemsel veri olarak dikkate alınmıştır. Galaksi merkezine zıt yöndeki yıldız alanları için ince diskin uzunluk ölçeği 2 kpc olarak bulunmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Galaxy: structure, Samanyolu, Galaksiler, Kozmoloji

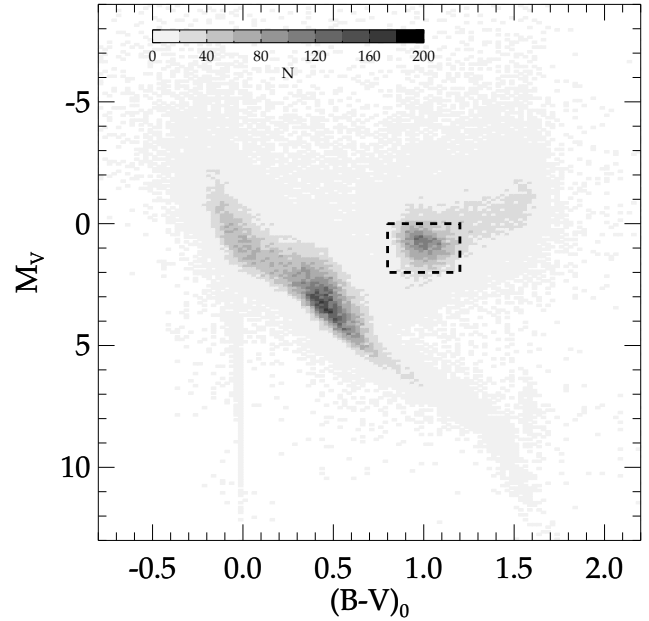
## 1 Giriş

Galaksimizin yapısı, oluşumu ve evrimi uzun yıllardır araştırma konusudur (Eggen ve diğ. 1962; Beers ve Sommer-Larsen 1995). Son zamanlardaki ilerleyen gözlem teknikleri sayesinde öğrendiklerimiz artmaktadır. Galaksimizdeki yıldızlar incelendiğinde Galaksimizin ince disk, kalın disk ve halo olmak üzere üç farklı yıldız popülasyonundan oluştuğu bilinmektedir. Galaksimizin bu üç bileşenin yapısının nasıl olduğunu ifade eden parametreleri yıllar içinde farklılık göstermiştir. Bunun nedenleri araştırmacılar tarafından ortaya konmaya çalışılmaktadır. Bu çalışmalar sonucunda farklı çalışmalarda farklı parametre değerlerinin elde edilmesinin nedenleri şunlardır: mutlak parlaklığa Karaali et al. (2004), limit uzaklığa (Karaali et al. 2007), Galaktik enlem ve boylama (Buser et al. 1998, 1999; Bilir et al. 2006a,b; Cabrera-Lavers et al. 2007a; Yaz & Karaali 2010).

Bu çalışmada, geleneksel yoğunluk kanunu kullanılarak Galaksi diskinin modellenmesi yapılmıştır. Galaksimizin ince diskinin uzunluk ölçeğini diğer yapı parametrelerinden bağımsız olarak hesaplanmıştır.

## 2 Veri

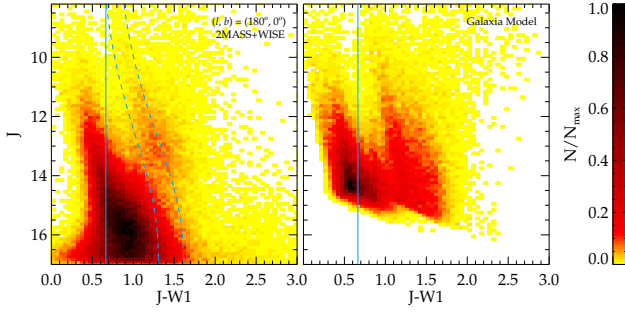
Bir yıldız popülasyonunun hassas model parametrelerinin üretilmesi cismin türünün doğru belirlenmesine, uzaklıkların ve en son olarak kullanılan verilerin hassasiyetine bağlıdır. Bu çalışmada disk yıldızlarının yapısal parametrelerinin üretilmesinde KY yıldızları kullanılmıştır. Güneş civarındaki KY yıldızlarının yoğunluğunu hesaplayabilmek için *Hipparcos* katalogları (ESA 1997; van Leeuwen 2007) kullanılmıştır. İnce diskin uzunluk parametresinin hesaplanmasında kullanılan fotometrik verilerde tamlığın sağlanması ve dev yıldızların alan yıldızlarından iyi bir şekilde ayırt edilebilmesi için, çalışmada *WISE* (The Wide-field Infrared Survey Explorer; Wright et al. 2010; Cutri et al. 2013) verileriyle 2MASS (Two Micron All Sky Survey;



Şekil 1. Yeniden indirgenmiş Hipparcos kataloğundaki yıldızların mutlak parlaklık-renk diyagramı. Kutu içinde yer alan yıldızlar en olası KY yıldızlarıdır. N, yıldız sayılarını göstermektedir.

Skrutskie et al. 2006; Cutri et al. 2003) kızılöte verileri birlikte kullanılmıştır. Galaktik enlem aralığı  $-0.5 \leq b \leq +0.5$  olan kuşak boyunca Galaktik boylama 10 derece karelik adımlarla bölerek 36 yıldız alanı elde edilmiştir. Galaxia modelindeki 2MASS sentetik (Sharma et al. 2011) ve WISE sentetik verileri ise özel olarak iletişime geçilerek sağlanmıştır. Bu sentetik veriler hem fotometrik hem atmosferik parametreleri içermektedir.

\* esmayaz@istanbul.edu.tr

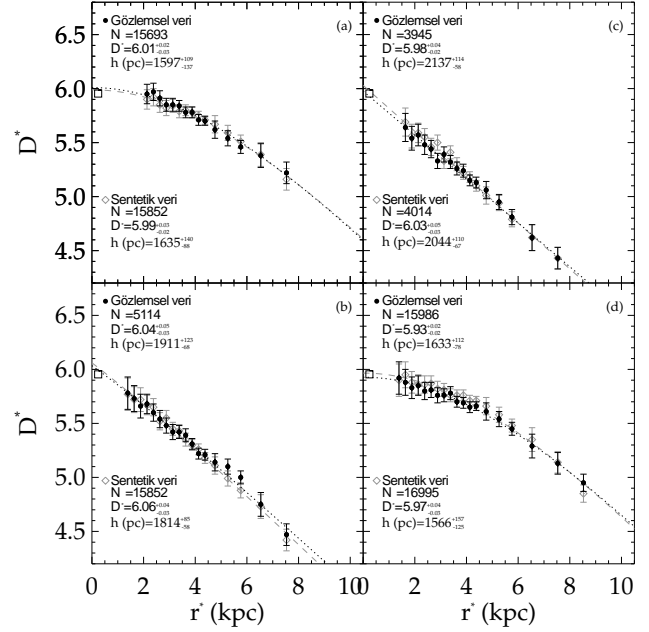


**Şekil 2.** Galaktik boylamı  $175^\circ < l \leq 185^\circ$  ve Galaktik enlemi  $-0.5 \leq b \leq +0.5$  olan yıldız alanı için renk parlaklık diyagramı (solda, *WISE* ve 2MASS gözlemsel veri, *WISE* ve 2MASS sentetik veri). Mavi düz çizgi, KY yıldızlarının  $(J - W1)_0 = 0.665$ 'lik gerçek rengini (Yaz Gökçe et al. 2013), kesikli mavi çizgiler arasındaki bölge alandaki olası KY yıldızlarının yerlerini göstermektedir.

### 3 Yöntem

2MASS ve *WISE* fotometrik verilerinin yakın uzaydaki tamlığı 1.5 kpc'ten başladığından KY yıldızlarının Güneş civarındaki yoğunluğunu ifade eden veri için uzaklıkları iyi bilenen *Hipparcos* yıldızları kullanılmıştır.  $B$ ,  $V$ ,  $W1$  ve  $J$  parlaklıkları aynı yöntemle yıldızlararası sönmükleştirme etkisinden arındırılmıştır. İstenilen doğrultudaki sonsuz sönmükleştirme değerleri (Schlegel et al. 1998) yıldızların uzaklığına indirgenmede Binney et al. (2014) 'in yöntemi kullanılmıştır. *Hipparcos* yıldızlarının uzaklıkları bilindiğinden bu indirgemeler yapılarak *Hipparcos* yıldızlarının gerçek renk ve mutlak parlaklıkları hesaplanmıştır. Relatif paraklası sıfırdan büyük 113596 yıldızın  $M_V - (B - V)_0$  diyagramı çizilerek, bu diyagram üzerindeki göreceli yerleri dikkate alınarak *Hipparcos* yıldızlarının içinden KY yıldızları ayıklanmıştır (Şekil 1). Bu olası KY yıldızları tam olduğu uzaklıklar (100-300 pc) arasında kalan *Hipparcos* KY yıldızlarının yoğunluğu,  $D = N/hacim$  formülü kullanılarak hesaplanmıştır.

Yakın olmayan alan yıldızları içinden KY yıldızlarını belirlemek güçtür. Çünkü, *Hipparcos* yıldızlarındaki gibi uzaklık bilgileri yoktur. Ancak KY yıldızları H-R diyagramında yoğun, göreceli olarak sınırlı küçük bir konumda bulunurlar. Bu özel durumlarından yararlanarak Yaz Gökçe et al. (2013) çalışmasında KY yıldızlarının  $J$  ve  $W1$  mutlak parlaklıklarını  $M_J = -0.970$ ,  $M_{W1} = -1.635$  olarak verilmiştir. Buradan KY yıldızlarının  $(J - W1)_0$  gerçek ortalama rengi 0.665'tir. KY alan yıldızlarının yerlerini belirlemek için  $J - (J - W1)$  diyagramları kullanılmıştır. Örnek olarak bir yıldız alanın renk-parlaklık diyagramı Şekil 2'nin sol panelinde verilmiştir. Bu şekilden de görüleceği gibi, dev ve cüce kolları arasındaki boşluk kullanılarak bu ayırım  $J \leq 13.5$  kadar yapılmıştır. Bir alan için sentetik örneğin önerdiği KY yıldız yoğunluğuna göre karar verilerek bazı alanlarda  $J = 14.5$  kadar sönmüğe kadar gidilmiştir. Aynı alan için Galaxia sentetik modelindeki verileriyle çizilmiş sentetik yıldızların renk-parlaklık diyagramı Şekil 2 sağ panelinde gösterilmiştir. Sentetik yıldız örneğindeki KY yıldızlarının belirlenmesi atmosferik parametrelere kriterleri dikkate alınmıştır:  $1.8 < \log g$  ( $cgs$ )  $\leq 2.6$  ve  $4500 < T_{eff}$  ( $K$ )  $\leq 4900$ 'dir. Yıldızlararası sönmükleştirme etkisi olmasaydı KY yıldızları Şekil 2'deki düz mavi çizgi boyunca dağılacaktı. Şekilde, daha sönmüğe yani daha uzağa doğru gidildikçe dev kolu sağa doğru dönmüştür. Kesikli çizgi arasında kalan yıldızlar en olası KY yıldızları olarak kabul edilmiştir. Toplam



**Şekil 3.** (a)  $l = 90^\circ$ , (b)  $140^\circ$ , (c)  $180^\circ$ , (d)  $270^\circ$  örnek yıldız alanları için KY yıldızlarının gözlemsel logaritmik uzay yoğunluklarının (●) ve sentetik verilerin (Galaxia) elde edilen yoğunlukların (◊) uzaklığına (kpc) göre değişimi. Noktalı ve kesikli çizgiler, sırasıyla, gözlemsel ve kuramsal (Galaxia) yoğunluklarla en iyi uyumu sağlayan modelleri göstermektedir. Kutu simgesi, KY yıldızları için bu çalışmada hesapladığımız  $D^* = 5.954$  değerini temsil eder.

sönmükleştirme ve olası KY yıldızlarının eş zamanlı belirlenmesiyle KY alan yıldızlarının uzaklıkları hesaplanmıştır.

Klasik olarak Galaksi model parametreleri hesabı, gözlemsel yoğunluklarla ( $D = N/hacim$ ) kuramsal yoğunluğun (Eşitlik 1) karşılaştırılmasına dayanır. Eşitlik 1'de,  $n$  normalize edilmiş Güneş civarı yoğunluğu, ilk üstel ifade ilgili popülasyon yoğunluğunun galaksi düzleminde dik, 2. üstel ifade radyal doğrultudaki azalmasını anlatır. Çalışmadaki hedefimiz ince dikin uzunluk ölçeği ( $h$ ) parametresini yükseklik ölçeğinden ( $H$ ) bağımsız elde etmek olduğundan aşağıdaki eşitlikten 1. üstel ifade çıkartılarak 2. üstel kısım kuramsal yoğunluğun elde edilmesi için kullanılmıştır. Bu karşılaştırmada birbirine en iyi uyumu veren parametreler ilgili alandaki yıldız popülasyon model parametreleridir. En iyi uyum  $\chi^2_{min}$  ile test edilmiştir. Bu hesaplamalarda alan yıldızlarından elde edilen gözlemsel yoğunluklara çalışmada elde edilen Güneş civarı yoğunluk değeri de eklenerek model hesabı yapılmıştır.

$$D(x, z) = n \times \exp\left(\frac{-|z|}{H}\right) \times \exp\left(\frac{-(x - R_0)}{h}\right). \quad (1)$$

Burada, yıldızın düzlemden yüksekliği  $z = z_0 + r \sin b$ ,  $r$  yıldızın Güneş'e olan uzaklığı;  $b$ , Galaktik enlemi;  $z_0$  Güneş'in Galaksi düzleminde yüksekliğini (25 pc; Jurić et al. 2008);  $x$ , yıldızın Galaksi düzlemindeki izdüşümünün Galaksi merkezine olan uzaklığı;  $R_0$ , Güneş'in Galaksi merkezine uzaklığı (8 kpc) göstermektedir. Çalışmadaki yıldız alanları dar bir enlem aralığında ( $-0.5 \leq b \leq +0.5$ ) seçilerek bu kuşaktaki yıldız alanları için dik doğrultuda yoğunluğun değişmediği kabul edildi.

**Çizelge 1.** 19 yıldız alan için KY yıldızlarından (sütun 3 ve 4) ve sentetik veriden (sütun 7 ve 8) hesaplanmış ince disk Galaktik model parametreleri.  $N$  her bir yıldız alanındaki yıldız sayısını,  $D^*$  yoğunluk  $D^* = \log D + 10$ ,  $l$  Galaktik boylama,  $\chi^2_{min}$  istatistiksel test bilgisini göstermektedir.

$l(^{\circ})$	Gözlemsel veri				Sentetik veri			
	$N$	$D^*$	$h$ (pc)	$\chi^2_{min}(\times 10^{-6})$	$N$	$D^*$	$h$ (pc)	$\chi^2_{min}(\times 10^{-6})$
90	15693	$6.01^{+0.02}_{-0.03}$	$1597^{+109}_{-137}$	3.3	15852	$5.99^{+0.03}_{-0.03}$	$1635^{+140}_{-88}$	2.3
100	11318	$5.99^{+0.04}_{-0.05}$	$1624^{+117}_{-127}$	11.5	12310	$5.98^{+0.10}_{-0.10}$	$1634^{+306}_{-146}$	22.6
110	7911	$6.04^{+0.03}_{-0.08}$	$1574^{+94}_{-141}$	10.8	8817	$6.04^{+0.07}_{-0.07}$	$1579^{+151}_{-84}$	6.7
120	6228	$6.00^{+0.04}_{-0.03}$	$1697^{+74}_{-69}$	3.5	6889	$6.08^{+0.08}_{-0.08}$	$1575^{+159}_{-93}$	11.5
130	5518	$6.00^{+0.06}_{-0.03}$	$1797^{+121}_{-66}$	3.9	5718	$6.08^{+0.07}_{-0.07}$	$1667^{+132}_{-79}$	9.7
140	5114	$6.04^{+0.05}_{-0.03}$	$1911^{+123}_{-68}$	2.2	4836	$6.06^{+0.04}_{-0.04}$	$1814^{+85}_{-58}$	2.6
150	4923	$6.00^{+0.04}_{-0.03}$	$2021^{+104}_{-68}$	2.3	4593	$6.03^{+0.06}_{-0.06}$	$1896^{+124}_{-76}$	4.2
160	4350	$6.02^{+0.07}_{-0.03}$	$1956^{+138}_{-61}$	4.6	4429	$5.99^{+0.07}_{-0.07}$	$2036^{+148}_{-78}$	5.1
170	4338	$6.03^{+0.06}_{-0.03}$	$1998^{+128}_{-67}$	5.5	4325	$6.04^{+0.03}_{-0.03}$	$2003^{+63}_{-51}$	1.9
180	3945	$5.98^{+0.04}_{-0.02}$	$2137^{+114}_{-58}$	2.3	4014	$6.03^{+0.05}_{-0.05}$	$2044^{+110}_{-67}$	4.0
190	4528	$6.02^{+0.06}_{-0.05}$	$2012^{+118}_{-76}$	8.5	4616	$6.01^{+0.05}_{-0.05}$	$2026^{+80}_{-65}$	3.9
200	4061	$6.01^{+0.06}_{-0.03}$	$1926^{+113}_{-58}$	3.3	4178	$6.05^{+0.05}_{-0.05}$	$1887^{+98}_{-57}$	3.3
210	4369	$6.05^{+0.06}_{-0.04}$	$1895^{+133}_{-68}$	4.9	4085	$6.05^{+0.05}_{-0.05}$	$1846^{+102}_{-51}$	3.1
220	5242	$6.07^{+0.04}_{-0.03}$	$1817^{+84}_{-54}$	2.1	4646	$6.07^{+0.07}_{-0.07}$	$1697^{+126}_{-77}$	5.6
230	5149	$6.05^{+0.05}_{-0.09}$	$1712^{+113}_{-151}$	9.7	5500	$6.11^{+0.03}_{-0.05}$	$1604^{+96}_{-68}$	4.4
240	6082	$6.04^{+0.06}_{-0.10}$	$1598^{+131}_{-131}$	12.3	6659	$6.10^{+0.08}_{-0.08}$	$1489^{+115}_{-89}$	7.5
250	6784	$5.99^{+0.05}_{-0.09}$	$1549^{+119}_{-153}$	9.5	8342	$6.05^{+0.07}_{-0.07}$	$1524^{+140}_{-83}$	7.7
260	10368	$5.97^{+0.03}_{-0.06}$	$1577^{+111}_{-143}$	9.0	11290	$5.98^{+0.07}_{-0.07}$	$1546^{+186}_{-102}$	9.9
270	15986	$5.93^{+0.02}_{-0.02}$	$1633^{+112}_{-78}$	2.8	16995	$5.97^{+0.04}_{-0.04}$	$1566^{+157}_{-125}$	5.2

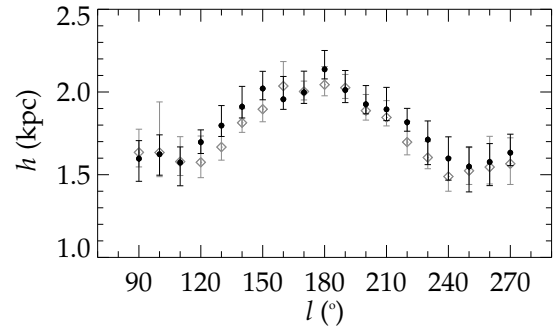
#### 4 İnce Diskin Uzunluk Ölçeği

Çalışmada 36 yıldız alanından 19'unun ince disk yoğunluğu ve uzunluk ölçekleri hesaplanmıştır (Çizelge 1). Uzunluk ölçeği parametresi birkaç bin pc arasında değişmektedir. Bu ölçek kendisi kadar gidildiğinde yıldız yoğunluğunun  $1/e$  kat azaldığını ifade eder. Dolayısıyla bu parametrenin duyarlı bir şekilde hesaplanması verilerin birkaç  $h$  uzaklığı kadar olmasını gerektirir. Galaksimize merkezi ve civarındaki doğrultularda çok uzaklarda yıldız bulunmadığından üretilen uzunluk ölçeği parametreleri çalışmada sunulmamıştır. Dört örnek yıldız alanının gözlemsel, kuramsal ve sentetik yoğunluk profilleri Şekil 3'te verilmiştir.

#### 5 Sonuç

Bu çalışmada ilk defa *Hipparcos* kataloğundaki olası KY yıldızlarının Güneş civarı yoğunluğu  $D^*(0) = \log D(0) + 10 = 5.954 \pm 0.004$  olarak hesaplanmıştır. İnce disk uzunluk ölçeği parametresi ilk defa 2MASS ve *WISE* verilerinden ve yükseklik ölçeğinden bağımsız olarak hesaplanmıştır. Galaktik düzlemde ve farklı doğrultularda ( $l = 90^{\circ}, 100^{\circ}, \dots, 270^{\circ}$  ve  $-0.5 \leq b \leq +0.5$ ) seçilmiş 19 yıldız alanı için model parametreleri üretilmiştir. İnce disk uzunluk ölçeği değerleri galaktik boylama göre sinüsoidal bir dağılım sergilemektedir (Şekil 4).

Uzunluk ölçeğinin duyarlı bir şekilde hesaplanması radyal doğrultuda gidilen uzaklığa bağlıdır. Galaksi merkezine zıt doğrultuda en büyük uzaklığa gidildiğinden ince disk uzunluk ölçeğini  $h = 2$  kpc olarak kabul edilmiştir. Literatürde ince disk uzunluk ölçeği geniş aralıklar ( $2 \leq h \leq 4$  kpc) verildiği gibi daha dar aralık veren çalışmalar da yer almaktadır ( $2 \leq h \leq 2.5$  kpc; Robin et al. 1996; Robin, Reylé & Crézé 2000; Chen et al. 2001; Siegel et al. 2002). Son zamanlarda yapılan López-Corredoira & Molgó (2014) çalışmasında ince disk uzunluk ölçeği 2 kpc verilmiştir. Bu değer, çalışmada bulduğumuz değerle uyumludur.



**Şekil 4.** Gözlemsel ( $\bullet$ ) ve sentetik ( $\diamond$ ) (Galaxia) verilerden elde edilen uzunluk ölçeği parametrelerinin Galaktik boylama göre değişimi.

#### Teşekkür

Bu araştırma 112T120 numaralı TÜBİTAK tarafından araştırma projesi olarak desteklenmiştir. Ayrıca İstanbul üniversitesi BAP birimi tarafından BYP48483 ve UDP51396 projeleriyle de desteklenmiştir. İsteğimiz üzerine *WISE* için Galaxia modelini geliştiren Dr. Sanjib Sharma'ya da teşekkür ederiz. Bu çalışmada *WISE*, 2MASS, NASA/IPAC Infrared Science Archive (<http://irsa.ipac.caltech.edu/>), NED (NASA/IPAC Extragalactic Database, <http://ned.ipac.caltech.edu/>)'daki veriler kullanılmıştır.

#### Kaynaklar

- Beers, T.C., Sommer-Larsen, J. 1995, ApJS, 96,175  
 Bilir, S., Karaali S., Gilmore, G. 2006a, MNRAS, 366, 1295  
 Bilir, S., Karaali, S., Ak, S., Yaz, E., Hamzaoğlu, E. 2006b, NewA, 12, 234  
 Binney, J., et al. 2014, MNRAS, 437, 351

- 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., López-Corredoira, M. 2007a, *A&A*, 464, 565  
Chen, B., et al. 2001, *ApJ*, 553, 184  
Cutri, R. M. vd. 2003. *VizieR Online Data Catalog: 2MASS All-Sky Catalog of Point Sources (Cutri+ 2003)*, 2246, 0  
Cutri, R.M., et al. 2013. *WISE All-Sky Data Release*, CDS/ADC Electronic Catalogues, 2328  
Eggen, O., J. Lynden-Bell, D. Sandage, A. R. 1962. *ApJ*, 136, 748  
ESA, 1997, *The Hipparcos and Tycho Catalogues*, CDS/ADC Electronic Catalogues, 1239  
Jurić, M., et al. 2008, *ApJ*, 673, 864  
Karaali, S., Bilir, S., Hamzaoğlu, E. 2004, *MNRAS*, 355, 307  
Karaali, S., Bilir, S., Yaz, E., Hamzaoğlu, E., Buser, R. 2007, *PASA*, 24, 208  
López-Corredoira, M., Molgó, J. 2014, *A&A*, 567A, 106  
Robin, A. C., Haywood, M., Crézé, M., Ojha, D. K., Bienayme, O. 1996, *A&A*, 305, 125  
Robin, A. C., Reylé, C., Crézé, M. 2000, *A&A*, 359, 103  
Schlegel, D. J., Finkbeiner, D. P., Davis, M. 1998, *ApJ*, 500, 525  
Sharma, S., Bland-Hawthorn, J., Johnston, K. V., Binney, J. 2011, *ApJ*, 730, 3  
Siegel, M. H., Majewski, S. R., Reid, I. N., Thompson, I. B. 2002, *ApJ*, 578, 151  
Skrutskie, M. F. et al. 2006 *AJ*, 131, 1163  
van Leeuwen, F. 2007, *A&A*, 474, 653  
Wright, E. L., et al. 2010, *AJ*, 140, 1868  
Yaz, E., Karaali, S. 2010, *NewA*, 15, 234  
Yaz Gökçe, E., Bilir, S., Öztürkmen, N. D., Duran, Ş., Ak, T., Ak, S., Karaali, S. 2013, *NewA*, 25, 19

**Erişim:**

O42-1200: [UAK-2015 Program](#) --- [UAK Bildiri](#) --- [Turkish J.A&A](#).