



**T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



YÜKSEK LİSANS TEZİ

GALAKTİK MODEL PARAMETRELERİNİN GÖKYÜZÜ TARAMA PROGRAMLARINA BAĞLILIĞI

Sezin ÖZDEMİR

Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı

Astronomi ve Uzay Bilimleri Programı

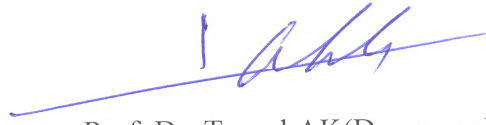
**DANIŞMAN
Prof. Dr. Tansel AK**

EKİM, 2018

İSTANBUL

Bu çalışma, 18.10.2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı, Astronomi ve Uzay Bilimleri Programında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

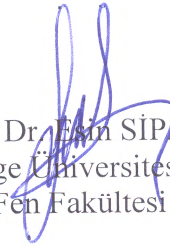
Tez Jürisi



Prof. Dr. Tansel AK(Danışman)
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi



Prof. Dr. Selçuk BİLİR
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi



Doç. Dr. Esin SİPAHİ
Ege Üniversitesi
Fen Fakültesi



Doç. Dr. H. Hasan ESENOĞLU
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi



Doç. Dr. Z. Funda BOSTANCI GÜVER
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi



20.04.2016 tarihli resmi gazetede yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi'nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

ÖNSÖZ

Ümmü Kenan'a,

Bu tez çalışmasının son haline gelmesindeki katkılarından dolayı danışman hocam

Prof. Dr. Tansel AK'a,

Çalışmanın her aşamasında destek veren Prof. Dr. Selçuk BİLİR'e,

Gözden geçirme sürecinde katkı sağlayan Prof. Dr. Serap AK'a,

Bilgisayarla programlama sürecindeki desteği için arkadaşım Araş. Gör. Olcay PLEVNE'ye,

Maddi, manevi desteklerini esirgemeyen aileme ve yol arkadaşlarıma,

Hocam Cemâlnur SARGUT'a,

En içten teşekkürlerimle.

Ekim 2018

Sezin ÖZDEMİR

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER	v
ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
TABLO LİSTESİ.....	xi
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ	xii
ÖZET	xv
SUMMARY	xvii
1. GİRİŞ	1
2. GENEL KISIMLAR	5
2.1. GÖKYÜZÜ TARAMALARI.....	5
2.1.1. SDSS.....	20
2.1.2. 2MASS.....	23
2.2. SAMANYOLU.....	26
2.2.1. Galaktik Merkez	29
2.2.2. Şişkin Bölge ve Galaktik Çubuk.....	30
2.2.3. Spiral Kollar.....	31
2.2.4. Disk.....	33
2.2.4.1. İnce Disk	34
2.2.4.2. Kalın Disk	34
2.2.5. Halo.....	35
2.3. YILDIZ POPÜLASYONLARI VE GALAKSİ OLUŞUM SENARYOLARI	36
2.4. GALAKSİ MODELLERİ VE PARAMETRELERİNİN TARİHÇESİ	37
2.4.1. Disk.....	38
2.4.2. Halo.....	41
3. MALZEME VE YÖNTEM	43
3.1. FOTOMETRİK VERİLER	43
3.1.1. SDSS.....	43
3.1.2. 2MASS.....	44

3.2. GALAKSİ DIŞI CİSİMLERİN AYIRIMI	45
3.3. ANAKOL VE EVRİMLEŞMİŞ YILDIZLARIN AYIRIMI	48
3.3.1. SDSS Fotometrisinde Anakol ve Evrimleşmiş Yıldızların Ayırımı	49
3.3.2. 2MASS Fotometrisinde Anakol ve Evrimleşmiş Yıldızların Ayırımı.....	51
3.4. FOTOMETRİK DÖNÜŞÜM FORMÜLLERİ.....	52
3.5. ANAKOL YILDIZLARININ UZAKLIK TAYİNİ.....	54
3.6. GALAKSİ MODELİ	57
3.6.1. Yoğunluk Kanunları	57
3.6.2. Gözlemsel Yıldız Yoğunluklarının Hesaplanması	59
3.6.3. Galaksi Model Parametrelerinin Hesabı	60
4. BULGULAR.....	61
4.1. SDSS FOTOMETRİK SİSTEMİNDE ANAKOL YILDIZLARININ SEÇİMİ... 61	
4.2. 2MASS FOTOMETRİK SİSTEMİNDE ANAKOL YILDIZLARININ SEÇİMİ.....	65
4.3. ANAKOL YILDIZ ÖRNEĞİ.....	70
4.4. ANAKOL YILDIZLARININ UZAKLIK TAYİNİ.....	71
4.5. GÖZLEMSEL YOĞUNLUK PROFİLLERİNİN OLUŞTURULMASI	75
4.6. GALAKSİ MODEL PARAMETRELERİNİN TAYİNİ	77
5. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	83
5.1. LİTERATÜRDE VERİLEN GALAKSİ MODEL PARAMETRELERİ.....	85
5.2. TAYİN EDİLEN GALAKSİ MODEL PARAMETRELERİN LİTERATÜR İLE KARŞILAŞTIRILMASI	90
KAYNAKLAR	95
ÖZGEÇMİŞ	110

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1: Çıplak göz çağındaki gelişmelerin kronolojik olarak gösterilmesi.....	6
Şekil 2.2: Babilliler tarafından oluşturulan Mul.Apın tabletleri.....	6
Şekil 2.3: Napoli Ulusal Arkeoloji Müzesi'nde bulunan ve Atlas'ı bir gök küresini taşıırken gösteren Roma heykeli.	7
Şekil 2.4: Abdurrahman el-Sufi'nin <i>Sabit Yıldızlar Kitabı</i> eserinden <i>Büyük Ayı</i> 'ya ait çizim.....	8
Şekil 2.5: Solda Uluğ Bey'in Semerkant'taki gözlemevinin restore edilmiş binaları, sağda ise yıldızların ve gezegenlerin pozisyonlarını ölçmekte kullanılan 40 m'lik kuadrant.....	9
Şekil 2.6: Teleskop çağındaki gelişmelerin kronolojik olarak gösterilmesi.....	11
Şekil 2.7: Galileo'nun Jüpiter ve dört uydusu için tuttuğu gecelik kayıtlar.....	11
Şekil 2.8: Messier'in tespit ettiği bazı cisimler.	13
Şekil 2.9: Andrew Common'ın 1883'te elde ettiği Orion Nebulası fotoğrafı.....	14
Şekil 2.10: 1887 Kongresi'nde Paris Gözlemevi'nde bulunan astronomlar.	15
Şekil 2.11: Palomar dağındaki 48 inç'lik Schmidt Teleskobu.	16
Şekil 2.12: Elektromanyetik tayfin farklı bölgelerinde yer atmosferinin geçirgenliği	17
Şekil 2.13: Radyo, kızılötesi, kozmik mikrodalga arka plan ışıması, mor ötesi, X-ışını ve Gama ışını bölgelerinde gerçekleştirilen başlıca gökyüzü taramaları.....	18
Şekil 2.14: Solda astrometrik kesinliğin zaman içinde değişimi, sağda ise yörüngesinde <i>Gaia</i> uzay aracı.....	19
Şekil 2.15: 2.5 m'lik Sloan Teleskobu, New Mexico.....	20
Şekil 2.16: SDSS filtreleri ve kaynak tayf.....	21
Şekil 2.17: SDSS kamerasındaki CCD ve filtrelerin yerleşimini gösterimi.....	22
Şekil 2.18: Tayfçeker ve Sloan Teleskobu'nun odağına monte edilecek olan metal plaka arasındaki fiber kabloların bağlanması.	22

Şekil 2.19: 2MASS J , H , K_s filtrelerinin duyarlılık fonksiyonları.....	24
Şekil 2.20: Tüm gökyüzünde, 2MASS tarafından görüntülenen nokta kaynakların, kızılötesi görüntüsü ile görsel dalgalıboylarındaki görüntüsünün karşılaştırılması.....	25
Şekil 2.21: Yerel evrendeki galaksilerin 2MASS haritası.....	26
Şekil 2.22: William Herschel'in Samanyolu'nun yapısına dair yıldız sayım metoduna göre oluşturulan şekil. Şeklin merkezi yakın bir konumda bulunan Güneş yıldız sembolüyle gösterilmiştir.	27
Şekil 2.23: Samanyolu Galaksisi'nin genel görünümü (Rix ve Bovy, 2015).	28
Şekil 2.24: Galaksi merkezi (solda) ve merkez bölgenin farklı dalgalıboylarında görüntüleri.....	29
Şekil 2.25: Üç farklı şişkin bölge örneği: NGC 4594 klasik (sol); NGC 4565 kutu/fıstık (orta) ve NGC 5907 pseudo (sağ).....	31
Şekil 2.26: Galaksimizin spiral kolları.	32
Şekil 2.27: NGC 4762 galaksisinin ince ve kalın disk bileşenleri.	34
Şekil 3.1: NGC 188 açık kümesi doğrultusundaki nesnelerin yıldızlımsılık indeksi (YI) ile V görünen parlaklıkları arasındaki ilişki. $YI = 0.8$ 'den büyük nesneler <i>yıldız</i> , bu değerdan küçük olanlar ise <i>kozmiık ışın</i> veya <i>galaksidir</i>	46
Şekil 3.2: SDSS fotometrisinde farklı türden nesnelerin ayırımında kullanılan iki-renk diyagramları: $(u'-g') \times (g'-r')$ (a), $(g'-r') \times (r'-i')$ (b) ve $(r'-i') \times (i'-z')$ (c).	46
Şekil 3.3: Juric ve diğ. (2008) tarafından SDSS fotometrisiyle incelenmiş yaklaşık 48 milyon yıldızın $g-r \times r-i$ iki-renk diyagramındaki konumları. Panelin sol üst köşesinde parlak ve sönük yıldızların fotometrik hataları gösterilmiştir. Parlak ve mavi yıldızlarda ($g-r < 1$) hata 0.02 kadir iken, sönük ve kırmızı yıldızlarda ($g-r \sim 1.4$) bu değeri 0.06 kadire ulaşmaktadır.	48
Şekil 3.4: SPS ile aynı yıldız alanında bulunan SDSS yıldızlarının $u - g \times g - r$ iki-renk (a) ve $r \times P_2$ renk-parlaklık (b) diyagramları. Her iki diyagramda SDSS yıldızları yıldız sayı yoğunluğunun bir fonksiyonu olarak kontür çizgileriyle, SPS'den seçilen ve tayfsal analizleri yapılarak ışıma gücü sınıfları belirlenmiş dev ve anakol yıldızları, sırasıyla, (●) ve (Δ) üçgen sembolüyle gösterilmiştir.....	51
Şekil 3.5: Cayrel ve diğ. (2001) ve Ratnatunga ve Freeman'ın (1989) kataloglarından seçilen anakol ve evrimleşmiş yıldızların parlaklık-parlaklık diyagramları: (a) $J \times V$, (b) $H \times V$ ve (c) $K_s \times V$. Panellerdeki (+) ve (●) ile gösterilen semboller, sırasıyla, anakol ve dev yıldızları göstermektedir.	52
Şekil 3.6: Farklı araştırmacıların anakol yıldızları için elde ettiğı ışıma gücü-renk ilişkileri. Juric ve diğ. (2008) tarafından üretilen bağıntı nokta-nokta çizgiyle	

gösterilmiştir. Diğer araştırmacılara ait bağıntılar şekil üzerinde farklı sembol kullanılarak gösterilmiştir.	56
Şekil 3.7: Bir yıldız alanının Galaksi'deki konumunu gösteren temsili bir çizim.	58
Şekil 4.1: Merkezi Galaktik koordinatları $(l, b) = (50^\circ, 50^\circ)$ olan 10 derece kare büyüklüğündeki yıldız alanında SDSS fotometrik verilerine ulaşılan nokta kaynakların g_0 görünen parlaklıklarının frekans dağılımı.	61
Şekil 4.2: Fotometrik hatalar ve düşük z -kayması gösteren kuazarların örnekten çıkartılması sonucu kalan 57,467 yıldızın $(u - g)_0 \times (g - r)_0$ (sol panel) ve $(g - r)_0 \times (r - i)_0$ (sağ panel) iki-renk diyagramlarındaki konumları. Şekillerin sağ kısımlarında bulunan renk ölçeği logaritmik yıldız sayılarını gösterir.	62
Şekil 4.3: Nokta kaynak olarak sınıflanan nesnelerin yıldız sayı yoğunluğuna göre oluşturulmuş $(g - r)_0 \times (r - i)_0$ iki-renk diyagramı. Şekil üzerinde kesikli çizgi Juric ve diğ.'nin (2008) yıldız ağırlık noktalarını, kırmızı, siyah ve turuncu renk ile gösterilen çizgiler de, sırasıyla, yıldız yoğunluklarının 1σ , 2σ ve 3σ değerleri içinde kalan nesneleri göstermektedir. Yıldız sayı yoğunlukları şeklin sayı tarafından gösterilen renk ölçeğiyle gösterilmiştir.	63
Şekil 4.4: SDSS anakol ve evrimleşmiş yıldızlarının $(g - r)_0 \times (r - i)_0$ iki-renk diyagramı üzerindeki konumları. Anakol yıldızları yıldız sayı yoğunluklarıyla, evrimleşmiş yıldızlar ise ($\star$) sembolüyle gösterilmiştir.	64
Şekil 4.5: Yıldız alanı doğrultusunda belirlenen 93,434 nokta kaynak (içi boş çubuklar) ile farklı yöntemler kullanılarak ayrımı yapılan 55,439 anakol yıldızının (içi dolu çubuklar) g_0 görünen parlaklığına göre frekans dağılımı.	65
Şekil 4.6: 2MASS örneğindeki tüm yıldızlar ile SDSS'te gözlenmemiş yıldızların K_{S0} histogramı.	67
Şekil 4.7: 6,142 yıldızın $K_{S0} \times V_0$ parlaklık-parlaklık diyagramı. İçi dolu kırmızı ve mavi daireler, sırasıyla, evrimleşmiş ve anakol yıldızlarını temsil etmektedir. Şekil üzerindeki turuncu renkli çizgi evrimleşmiş/anakol yıldız ayrımını göstermektedir.	69
Şekil 4.8: 6,142 yıldızın $K_{S0} \times (J - K_S)_0$ renk-parlaklık diyagramı. İçi dolu kırmızı ve mavi daireler, sırasıyla, evrimleşmiş ve anakol yıldızlarını temsil etmektedir.	69
Şekil 4.9: Bilir ve diğ.'nin (2006c) yöntemi kullanılarak 6,157 yıldız içinde belirlenen 617 evrimleşmiş yıldız ile tüm örneğin K_{S0} parlaklığına göre verilen frekans dağılımları. Mavi çizgi (6142 + 15) yıldızı, içi dolu kırmızı çubuklar da 617 evrimleşmiş yıldız göstermektedir.	70
Şekil 4.10: Yıldız alanı doğrultusunda SDSS ve 2MASS fotometrik sistemlerinde belirlenen anakol yıldız sayılarının K_{S0} görünen parlaklığına göre frekans	

dağılımları. Mavi çizgi 2MASS verilerini, pembe çizgi SDSS verilerini ve siyah çizgi de toplam yıldız sayısını göstermektedir.	71
Şekil 4.11: 2MASS ve SDSS fotometrik verilerine ait mutlak parlaklık kalibrasyonlarının kullanılmasıyla hesaplanan M_g mutlak parlaklıklarının frekans dağılımları. Renkli çubuklara ait bilgiler şekil üzerinde ifade edilmiştir.	73
Şekil 4.12: SDSS ve 2MASS fotometrik verilerinden hesaplanan uzaklıkların karşılaştırılması (üst panel) ve uzaklık farkları (alt panel). Üst panelde kırmızı renk ile gösterilen sürekli çizgi bire-bir doğrusudur.	74
Şekil 4.13: : $4 < M_g \leq 5$, $5 < M_g \leq 6$ ve $6 < M_g \leq 7$ mutlak parlaklık aralıkları için oluşturulan gözlemsel yoğunluk profilleri.	76
Şekil 4.14: Farklı mutlak parlaklıklarda bulunan anakol yıldızlarının $g_0 \times Z$ diyagramı. Farklı renkte gösterilen çizgiler M_g mutlak parlaklığını temsil etmektedir. Siyah dikey çizgiler birim mutlak parlaklık aralıklarına karşılık gelen tamlık sınırlarını göstermektedir.	77
Şekil 4.15: $4 < M_g \leq 5$ mutlak parlaklık aralığı için oluşturulan gözlemsel ve teorik yoğunluk profilleri. Yoğunluk profillerinde siyah noktalar gözlemsel uzay yoğunluklarını, kırmızı sürekli çizgi ince disk, mavi kesikli çizgi kalın disk, yeşil kesikli çizgi haloyu ve turuncu sürekli çizgi de üç popülasyonun toplam yoğunluğunu göstermektedir. Her bir parametre değerinin birbirleriyle olan değişimleri, χ^2 değerlerinin bir fonksiyonu olarak şeklin üst kısmında verilen renk ölçeğine göre gösterilmiştir.	80
Şekil 4.16: $5 < M_g \leq 6$ mutlak parlaklık aralığı için oluşturulan gözlemsel ve teorik yoğunluk profilleri. Tanımlar ve semboller Şekil 4.15’de verildiği gibidir.	81
Şekil 4.17: $6 < M_g \leq 7$ mutlak parlaklık aralığı için oluşturulan gözlemsel ve teorik yoğunluk profilleri. Tanımlar ve semboller Şekil 4.15’de verildiği gibidir.	82
Şekil 5.1: Kalın diskin eksponansiyel yükseklik ölçeği ve normalizasyon değerleri.	89

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 4.1: Galaksi modelindeki popülasyonlara ait parametrelerin değer aralıkları.....	78
Tablo 4.2: Üç ardışık mutlak parlaklık aralığı için hesaplanan Galaksi model parametreleri. Tablonun son iki satırında her bir mutlak parlaklık aralığı için belirlenen ışıma gücü fonksiyonu ve Güneş civarı için hesaplanan değerler verilmiştir.....	79
Tablo 5.1: 1982 yılından itibaren yapılan gökyüzü yıldız sayımlarından hesaplanan Galaktik-yapı parametreleri.....	88
Tablo 5.2: Orta tayf türündeki anakol yıldızlarının temel astrofizik parametreleri ve anakolda kalma süreleri.	93

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
$^{\circ}$	: Derece
$'$	: Yay dakikası
$''$	: Yay saniyesi
AAA	: 2MASS JHK_s bandları için fotometrik kalite bilgisi
b	: Galaktik enlem
Ca I	: Nötral kalsiyum atomu
Ca II	: Bir kere iyonize olmuş kalsiyum atomu
d	: Yıldız ile Güneş arasındaki uzaklık (pc)
D[*]	: Yıldız sayı yoğunluğunun logaritması
Δd	: Yıldızlar arası açısal uzaklık
dex	: Deka eksponansiyel
[Fe/H]	: Metal bolluğu
h_{R1}	: İnce disk popülasyonunun uzunluk ölçeği
h_{R2}	: Kalın disk popülasyonunun uzunluk ölçeği
H_{Z1}	: İnce disk popülasyonunun yükseklik ölçeği
H_{Z2}	: Kalın disk popülasyonunun yükseklik ölçeği
J, H, K_s	: 2MASS parlaklıkları
κ	: Halonun basıklığı
K	: Potasyum atomu
l	: Galaktik boylam
M_g	: SDSS g bandında hesaplanan mutlak parlaklık
M_⊙	: Güneş kütlesi
M_J	: 2MASS J bandında hesaplanan mutlak parlaklık
n₁, n₂, n₃	: Sırasıyla, ince disk, kalın disk ve halo popülasyonlarının Güneş civarındaki yoğunluk değerleri
N	: Birim mutlak kadirdeki yıldız sayısı
probPSF	: SDSS filtrelerindeki yıldız/galaksi olma olasılığı
P₁, P₂	: SDSS fotometrisinde dev yıldızların belirlenmesinde kullanılan düzlemler

ρ_{top}	: Toplam uzay yoğunluğu
r^*	: Kesik piramidin kütle merkezinin uzaklığı
$R_{\odot}$	: Güneş yarıçapı
σ	: Standart sapma
t	: SDSS gözlemlerinde kullanılan poz süresi
u, g, r, i, z	: SDSS parlaklıkları
U, B, V, R, I	: Johnson-Cousins parlaklıkları
χ^2	: Ki-kare
x	: Yıldızların Galaktik düzlemdeki izdüşüm uzaklıkları
z^*	: Kütle merkezinin Galaktik düzlemden uzaklığı
z	: Kırmızıya kayma
Z	: Galaktik düzlemden uzaklık
$\square$	: Alan büyüklüğü (derece kare)

Kısaltmalar

Açıklama

2MASS	: Two Micron All Sky Survey
AGN	: Active Galactic Nuclei
BOSS	: Baryon Oscillation Spectroscopic Survey
CCD	: Charge Coupled Device
CELG	: Compact Emission-Line Galaxy
COSMOS	: Cosmological Evolution Survey
DR	: Data Release
ELS	: Eggen, Lynden-Bell ve Sandage
ESA	: European Space Agency
Gyl	: Milyar yıl
kpc	: Kiloparsek
LGA	: Large Galaxy Atlas
LF	: Luminosity Function
MACHO	: Massive Compact Halo Object
Pan-STARSS	: Panoramic Survey Telescope and Rapid Response System
pc	: Parsek
POSS	: Palomar Observatory Sky Survey
PSC	: Point Source Catalog
QSO	: Quasi-stellar Object or Quasar

rms	: Root mean square
S/N	: Sinyal/gürültü oranı
SA	: Selected Area
SDSS	: Sloan Digital Sky Survey
SEGUE	: The Sloan Extension for Galactic Understanding and Exploration
SPS	: Spaghetti Project Survey
SQL	: Structured Query Language
SZ	: Searle ve Zinn
TAMS	: Terminal Age Main Sequence
WD	: White Dwarf
XSC	: Extended Source Catalog
YI	: Yıldızlımsılık İndeksi
yy	: Yüzyıl
ZAMS	: Zero Age Main Sequence

ÖZET

GALAKTİK MODEL PARAMETRELERİNİN GÖKYÜZÜ TARAMA PROGRAMLARINA BAĞLILIĞI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Sezin ÖZDEMİR

İstanbul Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr.Tansel AK

Bu tez çalışmasında, SDSS ve 2MASS kataloglarından alınan fotometrik veriler kullanılarak orta Galaktik enlemleri, 10 derece kare büyüklüğündeki bir alanda bulunan anakol yıldızları kullanılarak Galaksi model parametreleri tayin edilmiştir. Üç bileşenli Galaksi model parametreleri F8-K5 tayf türü arasındaki ardışık üç mutlak parlaklık aralığı için hesaplanmıştır. Gözlemsel yoğunluk profillerini en iyi fit eden teorik modelin parametreleri dikkate alınarak, ince diskin yükseklik ve uzunluk ölçekleri, sırasıyla, $198 \leq H_{Z1} \leq 221$ pc ve $2.20 \leq h_{R1} \leq 2.91$ kpc aralığında hesaplanmıştır. Kalın diskin Güneş civarındaki yoğunluğu, yükseklik ve uzunluk ölçekleri de, sırasıyla, $4.60 \leq n_2 (\%) \leq 9.21$, $616 \leq H_{Z2} \leq 678$ pc ve $1.89 \leq h_{R2} \leq 2.11$ kpc'tir. Halonun Güneş civarındaki yoğunluğu ve eksen basıklık oranı $0.07 \leq n_3 (\%) \leq 0.09$ ve $0.690 \leq \kappa \leq 0.824$ olarak tayin edilmiştir. Model parametrelerinin belirlenmesinde belirgin bir dejenerasyonluğa rastlanmamıştır. Kalın disk bileşeninin farklı mutlak parlaklık aralıklarındaki uzay yoğunluğunun oldukça geniş bir aralıkta belirlenmesinin nedeni, $4 < M_g \leq 5$ mutlak parlaklık aralığındaki kalın disk yıldızlarının yarısından fazlasının evrimleşmiş olmasıdır.

Ekim 2018, 128 sayfa.

Anahtar kelimeler: Galaksi: gökyüzü taramaları, Galaksi: yapı, Galaksi: model parametreleri



SUMMARY

DEPENDENCE OF THE GALACTIC MODEL PARAMETERS ON THE SKY SURVEY PROGRAMS

M.Sc. THESIS

Sezin ÖZDEMİR

İstanbul University

Institute of Graduate Studies in Science and Engineering

Department of Astronomy and Space Sciences

Supervisor : Prof. Dr.Tansel AK

In this master thesis, we derived galactic model parameters for a 10 deg^2 , intermediate Galactic latituded field by using photometric data of main sequence stars obtained from SDSS and 2MASS catalogs. Three-component Galactic model parameters are calculated within three absolute magnitude intervals for F8 to K5 spectral types. By considering the theoretical model parameters that best fit the observational density profiles, we estimated the scale height and scale length of the thin disk, respectively, in the $198 \leq H_{Z1} \leq 221 \text{ pc}$ and $2.20 \leq h_{R1} \leq 2.91 \text{ kpc}$ intervals. For the thick disk, the local space density around the Sun, scale height and scale length values are estimated respectively, $4.60 \leq n_2 (\%) \leq 9.21$, $616 \leq H_{Z2} \leq 678 \text{ pc}$ and $1.89 \leq h_{R2} \leq 2.11 \text{ kpc}$. The local space density around the Sun and the power-law index of the halo are $0.07 \leq n_3 (\%) \leq 0.09$ and $0.690 \leq \kappa \leq 0.824$. There is no significant degeneracy be detected while determining the model parameters. The reason of the thick disk's space density for different absolute magnitude intervals determined within a wide range is that more than half of the thick disk stars within the $4 < M_g \leq 5$ absolute magnitude interval are evolved stars.

October 2018, 128 pages.

Keywords: Galaxy: sky surveys, Galaxy: structure, Galaxy: model parameters



1. GİRİŞ

Evren, günümüzdeki kozmolojik yaklaşıma göre “Büyük Patlama”yla oluşmuş ve madde çağının hâkim olmasıyla birlikte birkaç milyar yıl içinde ilk galaksiler oluşmaya başlamıştır. Samanyolu Galaksisi’ndeki birçok yıldızın tek tek incelenebilmesi, araştırmacılara bir galaksiyi ayrıntılı bir şekilde inceleme fırsatını da sağlamaktadır. Galaksimizdeki yıldız popülasyonları karakterize edilerek galaksi oluşumu ve evrimi hakkında, uzak galaksi gözlemlerinden elde edilemeyecek ipuçları sağlanmaktadır.

Samanyolu’nun oluşumu ve evrimi üzerine yapılan ilk model, Galaksimizin başlangıçta ilkel bir Galaktik bulutun radyal olarak hızlı ($\sim 10^8$ yıl) bir şekilde çökmesi ve düzlemde toplanan gazın Galaksi merkezi etrafında dönmesiyle oluştuğunu iddia eden Eggen, Lynden-Bell ve Sandage (ELS; 1962) tarafından geliştirilmiştir. ELS senaryosu (1962), Galaksi’nin doğuşu, yapısı, kinematiği ve gözlemsel olarak ayırt edilebilen alan yıldızlarının metal bolluğu ilişkilerini açıklamış ve bugün gözleyebildiğimiz yıldızlara düzenli bir dağılım öngörmüştür. ELS senaryosunun öngörülleri Bahcall ve Soneira (1980), Gilmore ve diğ. (1989) ve Majewski (1993) tarafından oluşturulan yeni modeller ile ayrıntılı olarak gözden geçirilmiştir. Bu modellerde Samanyolu Galaksisi, Güneş merkezli 5 kpc’lik bir yarıçaptaki görece yakın bir bölge içerisinde, ince disk, kalın disk ve halo olmak üzere üç farklı bileşen ile tanımlanmıştır. Bu büyük yapının bilinen diğer iki bileşeni olan şişkin bölge ve Galaktik çubuk ise, incelenen bölgeye yıldız popülasyonları açısından doğrudan katkı sağlamamaktadır.

Searle ve Zinn’in (SZ; 1978) öncü çalışmasıyla başlayan ve Samanyolu’nun yıldız halosundaki alt yapıların keşfedilmesiyle devam eden süreçte, Galaksi’nin oluşum ve evrimine dair senaryolar karmaşık bir hal almaya başlamıştır. Yerel ölçeklerde basit bileşenlerle oluşturulan düzenli modeller yerine, geniş ölçekte keşfedilen Sagittarius cüce gelgit akımı (Ibata ve diğ., 1994; 2001), halodaki Virgo (Vivas ve diğ., 2001; Duffau ve diğ., 2006) ve Pisces (Watkins ve diğ., 2009) aşırı yıldız yoğunluk bölgeleri, Galaktik düzleme yakın Monoceros akımı (Ibata ve diğ. 2003; Yanny ve diğ. 2003) gibi

düzensiz yapılar, SZ modelini destekleyen delilleri teşkil etmektedir. Geniş gökyüzü tarama programlarıyla elde edilen yeni gözlemsel veriler, Samanyolu'nun izole bir sistem olmayıp, tam aksine komşu küçük galaksiler ile etkileşerek halen şekillenmekte olduğunu göstermiştir (Ivezic ve diğ., 2012). Sayısal simülasyonlar, birleşmelerin Galaksi içindeki yıldızların yapısı ve hareketinde önemli rol oynadığını göstermekte olup, mevcut kozmolojik modeller de bunu doğrulamaktadır (Brook ve diğ., 2005; Bullock ve Johnston, 2005; Font ve diğ., 2011; Governato ve diğ., 2004; 2007; Johnston ve diğ., 2008; Sommer-Larsen, Götz ve Portinari, 2003; Steinmetz ve Navarro, 2002).

Galaktik astrofizikte yıldız popülasyonları aynı bölgede, kimyasal yapıda, ışıma gücünde, yaşta ve aynı kinematiğe sahip nesnelerden oluşan topluluklara verilen isimdir. *Samanyolu'nun yapısı ve evrimine ait çalışmalarda, yıldızların Galaksideki üç boyutlu uzay dağılımları ya da çeşitli yıldız popülasyonlarının istatistiksel davranışlarının incelemesinde kullanılan yedi boyutlu (üç uzaysal koordinat, üç hız bileşeni ve metal bolluğu) faz uzayı verileri kullanılır.*

Samanyolu hakkındaki güncel bilgiler 21. yüzyılın başında, teknolojiye gelişmelere paralel olarak, modern gökyüzü taramalarının devreye girmesiyle birlikte köklü değişimlere uğramıştır. Teleskop aynalarının büyümesi ve dedektör hassasiyeti ve boyutunun artması, özellikle derin gökyüzü tarama programlarının başlatılmasına öncülük etmiştir. Yirminci yüzyılın son çeyreğinde Galaksimizin kinematik haritalama çalışmalarında birkaç yüz nesne kullanılırken (Majewski, 1992), 2000'li yıllardan itibaren bu sayı önceleri binlerce yıldız (Chiba ve Beers, 2000) ve günümüzde ise artan tayfsal ve astrometrik gökyüzü tarama programları sayesinde milyonlarca yıldız ulaşmıştır. Yıldız sayısının artması, analizlerde basit istatistiksel yöntemler yerine gelişmiş olanların kullanılmasına yol açmıştır. Böylece sayısal simülasyonların oluşturulması ve model parametre tayinlerinde karşılaşılan parametre dejenerasyonunun kırılması gibi önemli sorunların üstesinden gelinmiştir.

Derin gökyüzü tarama programlarının devreye girmesi, sönük yıldızların yeterli fotometrik duyarlılıkla tayin edilmesinin yolunu açmış ve daha uzak yıldızların incelenmesine olanak vermiştir. 2000 yılının başında Galaksimizin yapısı ve galaksi-

dışı uzayın araştırmasına yönelik hazırlanan *Sloan Sayısal Gökyüzü Tarama Programı*'yla (Sloan Digital Sky Survey, **SDSS**; York ve diğ., 2000) Güneş'ten 10 kpc uzaklığa kadar olan anakol yıldızlarının incelenebilmesi söz konusu olmuştur. Bu da bilim insanlarına, SDSS ile gözlenmiş disk ve halo popülasyonlarını eş zamanlı araştırabilme imkânı vermiştir. Gökyüzü tarama programlarının amaçlarından biri de Galaksimizin geniş ölçekte haritalanarak, Galaksi yapısına ait matematiksel modellerin oluşturulması ve bu modellere ait parametrelerin belirlenmesidir. Galaksimizin büyük ölçekte yapısına dair bir modelin oluşturulmasında, kullanılan gökyüzü taramasına ait filtreler ve bu filtreler ile ulaşılabilecek limit parlaklıklar önemlidir. SDSS de bu amaca yönelik tasarlanmış bir gökyüzü tarama programıdır (Ivezic ve diğ., 2004).

Yedi boyutlu faz uzayında bir yıldızın koordinatlarını belirleyebilmek için bilinmesi gereken en önemli etken incelenen yıldızın uzaklığıdır. *Hipparcos* taramasıyla (ESA, 1997; Perryman ve diğ., 1997) yıldızların ölçülebilen trigonometrik paralakslarından hesaplanan uzaklıkları $d=500$ pc'e kadar belirlenebilirken, bu değer SDSS ve *İki Mikron Tüm Gökyüzü Taraması* (2 Micron All Sky Survey, **2MASS**; Skrutskie ve diğ., 2006) gibi derin tarama programlarında fotometrik paralaks yöntemi kullanılarak hesaplanan yıldız uzaklıklarıyla karşılaştırıldığında, *Hipparcos* taramasının çok sık bir tarama olduğu sonucuna ulaşılmaktadır. *Gaia* tüm gökyüzü taramasıyla $V=20$ kadirten parlak, yaklaşık bir milyon yıldızın trigonometrik paralakslarından itibaren hesaplanan uzaklıkları literatüre kazandırana kadar (Gaia ortakları, 2016), yıldızların uzaklık tayini için çeşitli fotometrik sistemlerde sürdürülen gökyüzü tarama programlarının verileri kullanılacaktır. Günümüzde gökyüzü tarama programlarıyla yıldızların parlaklık ve renkleri belirlenerek, daha önceden oluşturulan ışıma gücü-renk kalibrasyonları sayesinde yıldızların mutlak parlaklıkları hesaplanmakta ve Pogson bağıntısıyla da yıldızların uzaklıkları tayin edilmektedir (Bilir ve diğ., 2008a; 2009).

Samanyolu Galaksisi ile ilgili anlayışımızın büyük ölçüde gelişmesi, Galileo'nun Samanyolu diskindeki yıldızları ayırt edebilmesi örneğinde canlı bir biçimde görüldüğü gibi, 'görme' kabiliyetimizin zaman içindeki gelişimine bağlıdır. Geçen yüzyıl boyunca teleskopların gelişimine rağmen, astronomik çalışmaların büyük çoğunluğu küçük cisim örnekleri üzerine yoğunlaşmıştır. Bunun sebebi en büyük teleskop sistemlerinin genelde

daha küçük görüş alanına sahip olması ve büyük görüş alanına sahip olanların ise çok sönük yıldızları tespit edememesiydi. Son 20 yıldır astronomide, geleneksel gözlem yaklaşımının ötesinde SDSS (York ve diğ., 2000) ve 2MASS (Skrutskie ve diğ., 2006) gibi geniş görüş alanlı dijital gökyüzü taramaları çağına geçilmiştir. Bu gözlemsel gelişim, teleskop optiği üretim teknolojisindeki, teleskop kurgularındaki, dedektörlerdeki, en önemlisi veri teknolojisindeki gelişmelere dayanmaktadır ve astronominin tüm alanlarında, özellikle Galaksi yapısı ile ilgili çalışmalarda büyük öneme sahiptir.

Bu tez çalışmasında, seçilen bir yıldız alanı doğrultusunda biri sığ (2MASS), diğeri derin (SDSS) iki gökyüzü tarama programına ait veriler kullanılarak, yıldızların mutlak parlaklıklarına göre yoğunluk profilleri elde edilecektir. Yoğunluk profilleri iki disk bileşeni ve bir halo bileşeninden oluşan model yardımıyla karşılaştırılarak, modele ait en uygun parametreler tayin edilecektir. Elde edilen sonuçlar, Galaksimiz için literatürde verilen model parametreleri ile karşılaştırılarak parametre dejenerasyonluğu araştırılacaktır.

Tez çalışması şu şekilde tasarlanmıştır: Tezin II. bölümünde çalışma için gerekli genel bilgiler, III. bölümünde çalışmada kullanılan veriler ve yöntemler, IV. bölümünde çalışmada elde edilen bulgular ve V. bölümünde ise çalışmanın sonuçları yer alacaktır.

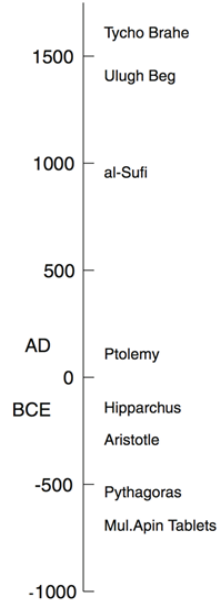
2. GENEL KISIMLAR

2.1. GÖKYÜZÜ TARAMALARI

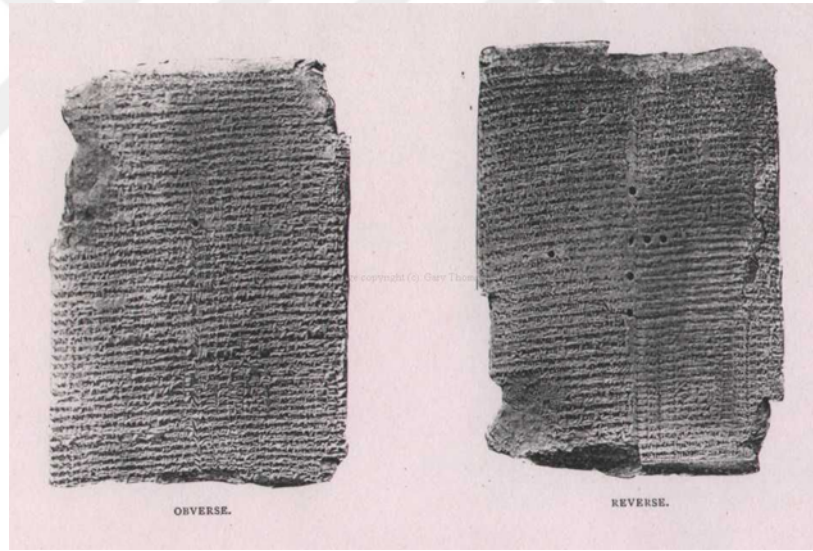
Önemli bir astronomik problemi çözebilmek için farklı disiplinlerden bir araya gelen araştırmacıların, gökyüzünün seçilen bir bölgesinde sistematik olarak yaptıkları gözlemleri içeren araştırmalara “gökyüzü taraması” adı verilmektedir. Gökyüzü tarama programları, elektromanyetik tayfın belirli bir bölgesinde, belli bir süre boyunca yapılan gözlemlerin toplandığı ana kaynaklardır. Bu gözlemsel veriler, gökyüzü tarama programına dâhil uzmanlar tarafından belirlenen algoritmalar ile indirgenerek sayısal hale getirilir. Böylece yeni astronomik cisimlerin keşfedilmesi başta olmak üzere, birçok astronomik çalışma için veri setleri oluşturulur. Günümüzde yer ve uzay tabanlı teleskoplar ile yapılan gökyüzü taramaları sayesinde, Galaksi içinde ve dışında yer alan milyonlarca nesneye ait, çok büyük miktarda veri elde edilmekte ve bu veriler astronomik veri tabanlarında toplanmaktadır.

Gözlem araçlarının zamanla değişmesi ve gelişmesi neticesinde, gelişen her teknolojiyle birlikte gökyüzü yeni bir yöntem ile yeniden taranmış ve her yeni tarama sonucunda, yeni astronomik cisimler keşfedilmiştir. Wynn-Williams'a (2016) göre astronomi tarihi, gözlemlerde kullanılan teknolojiye göre; çıplak göz çağı, teleskop çağı, fotoğrafik çağ, elektromanyetik çağ ve CCD çağı olarak beş ana kısma ayrılabilir.

Çıplak göz çağı, tarih öncesi devirlerden teleskobun icadına kadar olan dönemi kapsar. Bu dönem kronolojik sırayla, yapılan astronomik gözlemleri içerecek biçimde Şekil 2.1’de gösterilmiştir. Bilinen en eski yıldız kataloğu, milattan önce (M.Ö.) 8. yy’da Babilliler tarafından belirlenmiş 71 takımyıldız ve parlak yıldızlardan oluşan, kil tabletler üzerine, çivi yazısıyla kaydedilen *Mul.Apin* tabletleridir (Şekil 2.2). *Mul.Apin* adını, tabletin ilk kelimesi olan Büyük Ayı’dan almaktadır. Babilliler Evren’e fiziksel bir bakış getirmek yerine daha çok gökyüzünün mevsimler boyunca nasıl değiştiğiyle ilgilenmişlerdir (Wynn-Williams, 2016).



Şekil 2.1: Çıplak göz çağındaki gelişmelerin kronolojik olarak gösterilmesi¹.



Şekil 2.2: Babilliler tarafından oluşturulan Mul.Apin tabletleri².

Bilinen ilk gökyüzü taraması, M.Ö. 320-260 yılları arasında yaşayan Timocharis tarafından, yıldızların gökyüzündeki gerçek sayısal konumları kaydedilmek suretiyle hazırlanmış ve bu çalışmada 18 yıldızın koordinatları verilmiştir (Newton, 1974). Günümüzde bu veriler kayıp olsa da, ölçümleri kendinden sonra gelen astronomlar tarafından kullanılmıştır.

¹ Wynn-Williams, *Surveying the Skies*, 2016, s.8.

² Görsel: Gary D. Thompson, <http://members.westnet.com.au/gary-david-thompson/page11-8.html>

İznik’li Hipparchus (M.Ö. 190-120), çıplak göz ile görülebilen 850 yıldızın konumlarını hesaplayarak bir katalog oluşturmuştur (Willard Turner, 1935). Çalışmaları sırasında trigonometriyi sistematik olarak kullanmış (Heath, 1981) ve gökyüzündeki nesneler için yeni bir parlaklık sistemi geliştirmiştir (Heifetz ve Tirion, 2004). Hipparchus, Timocharis’in verileriyle kendi verilerini karşılaştırarak Ekinoksların Presesyonu adını verdiği Yer’in presesyon hareketini de keşfetmiştir (Santillana ve Dechend, 1977). Batlamyus’un bundan 250 yıl sonra yayımladığı ünlü kataloğu *Almagest*, Hipparchus’un verilerine dayanmaktadır.

Gökyüzünün bilinen en eski iki boyutlu gösterimi Farnese Atlas adı verilen, 2. yy Roma’sına ait mermer heykeldir. Bu heykelde, Zeus tarafından gökyüzünü taşımaya mahkûm edilen Atlas, omuzlarında gök küresini taşıırken gösterilmiştir (Şekil 2.3). Gök küresinin yüzeyinde Hipparchus tarafından belirlenen 41 takımyıldızın tasviri yer almaktadır (Schaefer, 2005).

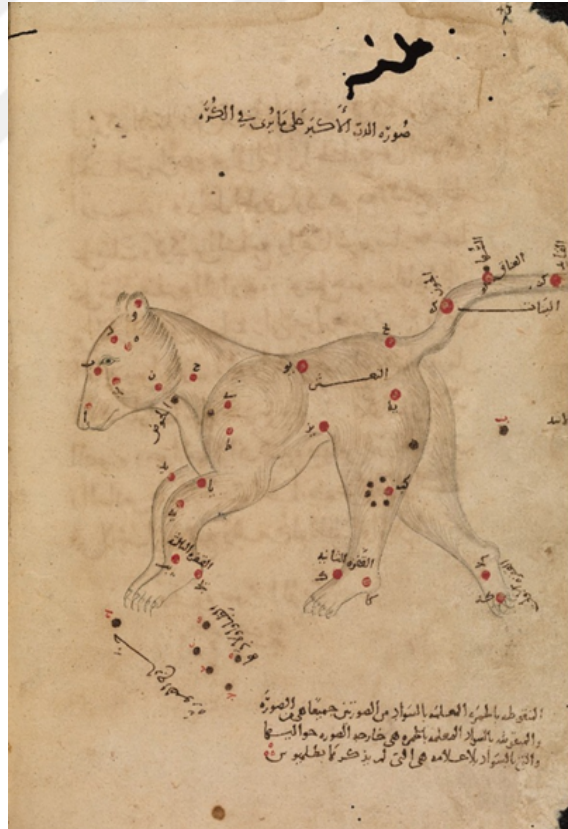


Şekil 2.3: Napoli Ulusal Arkeoloji Müzesi’nde bulunan ve Atlas’ı bir gök küresini taşıırken gösteren Roma heykeli¹.

¹ Görsel: Museo Archeologico Nazionale di Napoli, <http://www.electrummagazine.com/2016/09/the-farnese-atlas/>

Batlamyus'un, Hipparchus'un verilerini kullanarak oluşturduğu ve 48 farklı takımyıldıza bölünmüş 1,028 yıldızın verilerini içeren *Almagest*'inin (Duke, 2002) binlerce yıllık rakipsiz şöhretinden sonra, 10 yy'da astronominin İslam âleminde yükselişi ile birlikte yenilikler de başlamıştır.

Batıda Azophi olarak da bilinen İranlı astronom Abdurrahman el-Sufi, 964 yılında Arapça yazdığı ve daha sonra Farsça ve Latince'ye de tercüme edilen, *Sabit Yıldızlar Kitabı* adlı eserini yayımlamıştır (Şekil 2.4). Çalışmanın en önemli özelliklerinden biri, her yıldızın koordinatlarıyla birlikte, günümüzde hâlâ kullanılmakta olan Aldebaran, Vega, Rigel gibi Arapça isimlerinin de zikredilmesidir (Hafez, 2010). Ayrıca *Küçük Bulut* adını verdiği Andromeda galaksisine ve Büyük Magellan bulutsusuna ait kayıtlı ilk gözlemler de eserde yer almaktadır. Astronomiye yaptığı katkılarının anısına, Ay'daki bir kratere Azophi ve küçük gezegen 12621'e Al-sufi adı verilmiştir.



Şekil 2.4: Abdurrahman el-Sufi'nin *Sabit Yıldızlar Kitabı* eserinden *Büyük Ayı*'ya ait çizim¹.

¹ Görsel: Bodleian Library, <http://digital.bodleian.ox.ac.uk/terms.html>

El-Sufi'nin çalışması kendinden 500 yıl sonra, Timurleng'in torunu Semerkant hükümdarı ve astronom Uluğ Bey tarafından gözden geçirilmiştir. Uluğ Bey, astronomi çalışmalarına adanmış bir medrese içinde, 40 m yarıçaplı bir kuadrant ve sabit gözlem aletlerine sahip ilk gözlemevini kurmuştur. Burada yapılan çalışmalar ile Uluğ Bey, *Zîc-i Cedîd-i Sultanî* adını verdiği Batlamyus'un *Almagest*'i ile neredeyse aynı sayıda yıldızın verilerini, daha az hata ve daha büyük hassasiyetle hesapladığı eserini ortaya koymuştur (Sezgin, 2010). Gözlemevi 1449'da yıkılmış, fakat yerin altındaki büyük sekstantın bulunduğu kısımlar 1908'de yeniden keşfedilerek müze haline getirilmiştir (Şekil 2.5).



Şekil 2.5: Solda Uluğ Bey'in Semerkant'taki gözlemevinin restore edilmiş binaları, sağda ise yıldızların ve gezegenlerin pozisyonlarını ölçmekte kullanılan 40 m'lik kuadrant¹.

Antik Çin astronomisi, Yunan ve İslam astronomisinin hesaplamalardaki kesinliğine erişemese de, kağıt üzerine yapılmış bilinen en eski gökyüzü haritası (7-10 yy) Çin'in batısında, İpek Yolu üzerindeki *Dunhuang* adlı mağarada bulunmuştur. Bu harita içerdiği 1,500 yıldız ile *Almagest*'ten daha fazla yıldız sayısına sahiptir (Bonnet-Bidaud ve Praderie, 2004). Çinli astronomlar kuyrukluyıldız, nova, Güneş lekeleri gibi dönemsel olaylara önem verip, kayıtlarını tutmuşlardır. Bilinen en eski astronomik olaylardan ikisi, M.Ö. 1281 yılında gerçekleşen Güneş tutulması ve M.Ö. 1300 yılında meydana gelen nova ya da süpernova patlamasına ait kayıtlar, Çinliler tarafından kaplumbağa göğsü ya da öküz kemiğinden yapılan kehanet kemikleri üzerine kaydedilmiştir. 1054 yılına ait misafir yıldız kaydı gibi bazı gözlemlerin daha sonra,

¹ Görsel: Alex Ostrovsky, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ulugh_Beg_observatory.JPG

Yengeç bulutsusunu (M1) oluşturan süpernova gibi büyük astrofiziksel öneme sahip olaylar ile ilişkili olduğu anlaşılmıştır.

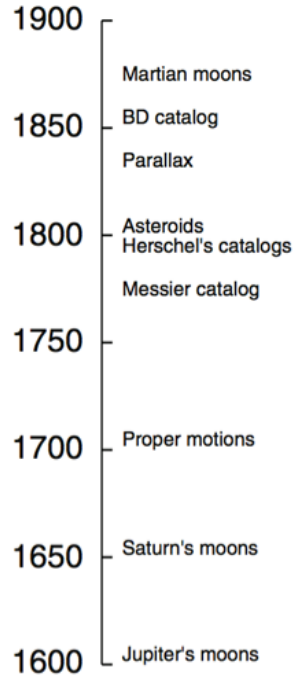
1546-1601 yılları arasında yaşayan Tycho Brahe kurduğu Uraniborg Gözlemevi'nde, kendisini astrometriye adanmış ve özellikle 1572'deki parlak yeni yıldız olayı ile 1577'deki kuyruklu yıldız geçişini büyük bir hassasiyetle kaydetmiştir. Bu ölçümler sayesinde Aristo'nun yıldızların ve takımyıldızların sabit olduğu, hareket eden ya da parlaklığı değişen nesnelerin Yer atmosferi içinde olması gerektiğini savunan görüşü geçerliliğini kaybetmiştir. Tycho'nun 1,004 yıldızın, yarım yay dakikası doğrulukla hesaplanan pozisyonlarından oluşan yıldız kataloğu ilk olarak 1598'de yayımlanmıştır (Cavin, 2012). Tycho'nun bu çalışması, Hipparchus'un hazırladığı katalogdan 60 kat daha duyarlıdır ve atmosferik kırılım hesaba katılarak hazırlanan ilk katalogdur. Ayrıca Tycho ve ekibinin Ay'ın ve diğer gezegenlerin pozisyonlarının, arka plandaki sabit yıldızlara göre sürekli değişimini kaydettikleri çalışmaları ise, bu veriler üzerine yoğunlaşan Kepler'in (1609) gezegenlerin Güneş'in etrafında eliptik yörüngelerde hareket ettiklerini keşfetmesine yardımcı olmuştur. Bundan yaklaşık seksen yıl sonra da Newton (1687), *Hareket Yasaları* ve *Evrensel Çekim Yasası* ile bunu matematiksel olarak ispat ederek *Klasik Fizik*'in temellerini atmıştır.

1603'te Alman astronom Johann Bayer, Tycho'nun katalogunu kullanarak *Uranometria* adını verdiği yıldız atlasını oluşturmuştur. Bu atlasın en çarpıcı özelliklerinden bir tanesi, Hollandalı denizci Frederick de Houtman tarafından sağlanan, güney yarıküredeki 300 yıldızla ait gözlemler sayesinde tüm gökyüzünü kapsayan ilk gökyüzü atlası olması, diğeri ise bugün kullanılan şekliyle takımyıldız temelli yıldız adlandırmasının ilk defa kullanılmasıdır. Buna göre bir takımyıldız içindeki yıldızlar, azalan parlaklık sırasına göre Yunan alfabesindeki harfler ile adlandırılmaktadır; Orion takımyıldızındaki en parlak yıldız olan Betelgeuse için α Orionis, ikinci en parlak yıldız olan Rigel için β Orionis gibi...

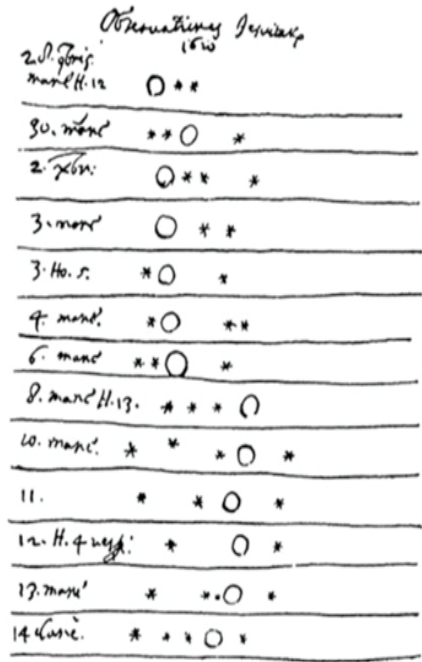
Teleskop Çağı 1609'da Galileo'nun teleskobunu gökyüzüne çevirmesi ile başlayıp, 1880'lerde fotoğraf plaklarının astronomik araştırmalarda önem kazanmasına kadar devam eder (Şekil 2.6). Bu dönemde kataloglanan yıldız sayısı artmış, yeni gezegenler,

gezegen uyduları, asteroidler, bulutsular, değişen ve çift yıldızlar, yıldız kümeleri ve paralaks gibi keşifler yapılmıştır. Bu çağ boyunca sistematik taramalarla ve tesadüfi gözlemlerle keşfedilen küçük Güneş Sistemi cisimlerinin sayısı milyonlara yükselmiştir. Ayrıca tayfları, uzaklıkları ve hareketleriyle yıldızların başlı başına bir araştırma konusu olduğu anlaşılmıştır.

İlk teleskop Hollandalı Johannes Lippershey tarafından 1608’de icat edilse de, bundan bir yıl sonra teleskobu gözlem yapmak için ilk defa gökyüzüne çeviren kişi Galileo Galilei’dir. Galileo düzenli olarak tuttuğu kayıtlar sayesinde Güneş lekelerini açıklamış, Samanyolu’nu oluşturan yıldızları belirlemiş, Ay’daki dağları ve en önemlisi 1910 yılında Jüpiter’in etrafında dolanan uyduları keşfetmiştir. Galileo onları Medici Yıldızları olarak isimlendirmiş, daha sonra bunlar Io, Europa, Ganymede ve Callisto olarak anılmaya başlamıştır. Galileo’ya göre bu uyduların keşfi, Dünya merkezli Evren modeline karşıt olan en büyük kanıtlardandır (Şekil 2.7).



Şekil 2.6: Teleskop çağındaki gelişmelerin kronolojik olarak gösterilmesi¹.



Şekil 2.7: Galileo'nun Jüpiter ve dört uydusu için tuttuğu gecelik kayıtlar².

¹ Wynn-Williams, *Surveying the Skies*, 2016, s. 22.

² Görsel: Galileo'nun not defteri, http://burro.astr.cwru.edu/JavaLab/MoonsWeb/main_back.html

Teleskoplar gelişmeye devam ederken, 1655'te Christiaan Huygens Satürn'ün uydusu Titan'ı ve Satürn'ün etrafında bir halka olduğunu keşfetmiştir. Daha sonra Giovanni Cassini ise Satürn'ün etrafında dolanan dört uydu daha keşfetmiş, ayrıca Satürn etrafındaki disk yapısının birden fazla halkadan oluştuğunu belirlemiştir.

Teleskop çağında keşfedilen gezegenler ise William Herschel tarafından 1781 yılında keşfedilen Uranüs ve Uranüs'ün Güneş etrafındaki hareketinin incelenmesi sonucu, kütleçekimsel olarak büyük bir cisimden etkilenmesi gerektiği ile ilgili yapılan öngörü neticesinde 1846 yılında Urbain LeVerrier tarafından keşfedilen Neptün'dür.

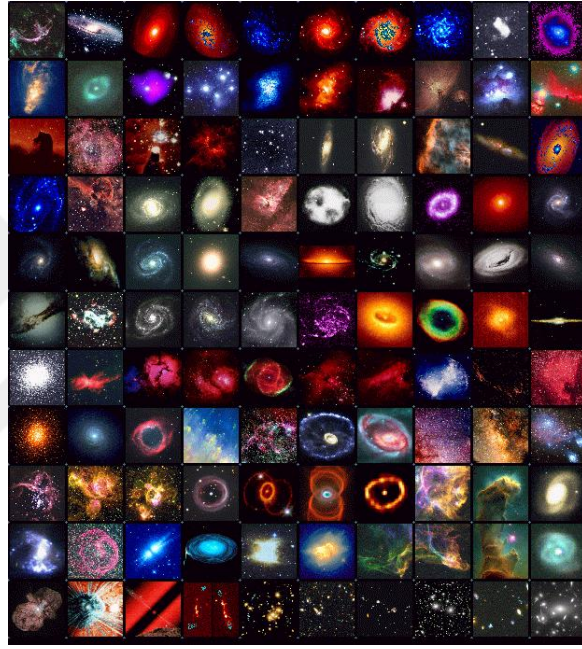
Teleskop kullanılarak hazırlanan ilk gökyüzü taraması, Edmond Halley tarafından Atlantik Okyanusu'nda, 16° güney enleminde yer alan bir adada, 7 m boyunda bir teleskop kullanılarak yapılan gözlemler sonucu oluşturulmuş ve 1679'da *Catologus Stellarum Australium* adıyla yayımlanmıştır. Bu tarama, güney yarıküreden yapılmış ilk yüksek kaliteli gökyüzü taramasıdır.

1675'te kurulan İngiltere Kraliyet Rasathanesi'nin ilk Kraliyet Astronomu John Flamsteed burada 40 yıla yakın süre boyunca, yaklaşık 10 yay saniyesi doğrulukla yaptığı 20,000'e yakın gözlem neticesinde 2,935 yıldızın verilerini içeren bir katalog oluşturmuştur. Bu katalog ekvatorial koordinat sisteminin kullanıldığı ilk katalogdur.

Yıldızlar dışındaki astronomik cisimlere ait, teleskopla yapılan ilk gözlem Fransız Nicolas-Claude de Peiresc tarafından yapılan Orion bulutsusu gözlemidir. Ardından 1771'de Charles Messier, 10 cm'lik teleskobuyla yaptığı gözlemler sonucu oluşturduğu ünlü bulutsu katalogunu yayınlamıştır. Bu katalog Samanyolu Galaksisi'nde yer alan altı farklı cisim ve dört farklı galaksi tipini de içeren yaklaşık 100 bulanık cismin görüntüsünden oluşmaktadır. Şekil 2.8'de katalogda yer alan, büyük astrofiziksel öneme sahip bazı cisimler görölmektedir.

İngiliz astronom William Herschel 1781'de 2 m uzunluklu ve 16 cm çapında aynaya sahip yansıtıcı bir teleskop ve 6 m uzunluklu, 8.5 inç'lik aynaya sahip ikinci bir teleskopla çok önemli gökyüzü taramaları yapmıştır. Herschel 1786 – 1802 yılları

arasında yaptığı bu gözlemler neticesinde, görünümlerine göre sekiz kategoriye ayırdığı 2,000'den fazla bulutsu keşfetmiştir. William Herschel'in bu çalışması daha sonra kardeşi Caroline Herschel ve oğlu John Herschel tarafından genişletilmiş ve 5,000 kayıt içeren bu katalog *General Catalog of Nebulae and Clusters* (1864) adıyla yayımlanmıştır. Ardından John Dryer, Herschel'in bulutsu kataloglarını geliştirerek, 1888'de *Yeni Genel Katalog (New General Catalogue)* adlı çalışmasını, 1895 ve 1907'de ise bu çalışmanın ekleri olan *Index Katalogları*'nı yayınlamıştır. Bu kataloglar toplamda 13,000 cisme ait kayıtları içermektedir.



Şekil 2.8: Messier'in tespit ettiği bazı cisimler¹.

Uzun periyotlu bir değişen yıldız sınıfına adını veren ve şimdilerde Mira olarak da adlandırılan Omicron Ceti yıldızındaki parlaklık değişimlerini, ilk kez Johannes Holwarda (1638) fark etmiştir. Bundan sonra Goodricke ve Pigott (1780), 39 değişen yıldızdan oluşan bir liste hazırlamışlardır. Carl von Steinheil ve daha sonra Friedrich Zollner tarafından icat edilen karşılaştırmalı fotometre cihazı, yıldızların parlaklığını ve değişen yıldızları belirlemek konusunda atılan önemli adımlardandır. Bundan sonra Edward Pickering 1879-1882 yılları arasında kendi geliştirdiği fotometre cihazı ile 4,000 değişen yıldızın parlaklığını içeren bir katalog oluşturmuştur.

¹ Görsel: Rohan Janos, <http://www.messier.seds.org/xtra/ngc/ngcindex.html>

Fotoğrafi çağından önce hazırlanan en önemli kataloglardan biri de Alman astronom Freidrich Argelander ve ekibi tarafından 1859 yılında Bonn Gözlemevi'nde yayımlanan ve 10 kadirde büyük parlaklığa sahip 320,000 yıldızdan oluşan *Bonner Durchmusterung (BD)* katalogudur. Bu katalog -23° enleminin kuzeyindeki yıldızları kapsamaktadır. Buna ek olarak 1892'de Arjantin'deki Cordoba Gözlemevi'nde yayımlanan ve 580,000 yıldız içeren *Cordoba Durchmusterung* katalogu -22° ile -90° enlemleri arasındaki yıldızları, serinin son katalogu olarak 1896'da yayımlanan ve 450,000 yıldız içeren *Cape Photographic Durchmusterung* katalogu ise tüm güney yarıküreyi kapsamaktadır.

1830'larda Louis Daguerre ve Henry Fox, çok uzun pozlama vererek cam ve kağıt üzerine görüntü aktarmayı başarmış ve 1850'de *daguerrotype* yönteminin gelişmesi ile de 15 inçlik bir mercekli teleskop ile Harvard College Gözlemevi'nde, Vega yıldızının görüntüsünü elde etmişlerdir. Fotoğrafik plakların ışığa duyarlılığı artarken, 1850'de amatör astronom Andrew Common 91 cm'lik mercekli teleskobu ile 60 dakika poz süresi vererek gözle görülemeyecek kadar sönük yıldızları görüntülemeyi başarmıştır (Şekil 2.9).



Şekil 2.9: Andrew Common'ın 1833'te elde ettiği Orion Nebulası fotoğrafı¹.

¹ Görsel: Andrew Anslie Common, <http://collection.sciencemuseum.org.uk/objects/co486046/the-great-nebula-in-orion-black-and-white-prints-photographs-astrophotographs-nebulae>

1887’de Paris Gözlemevi müdürü Amédée Mouchez, her iki yarıküredeki 20 gözlemevinden toplam 50 astronomun katıldığı bir kongre düzenlemiş ve burada tüm gökyüzünün fotoğraflık taramasının yapılmasına karar verilmiştir. Paris Gözlemevi’nde yapılan bu kongreye katılan astronomlar Şekil 2.10’da görülmektedir. Buna göre tüm gözlemevleri, 33 cm çaplı ve 3.3m uzunluklu teleskoplar ile 13 cm’lik kare cam plaklar üzerine $2^{\circ} \times 2^{\circ}$ ’lik alanlara ayırdıkları gökyüzünü tarayacak ve her gözlemevi belirli bir deklinasyon aralığından sorumlu olacaktı. Projenin amaçlarından biri *Astrografik Katalog* adı verilen ve 11.5 kadire kadar olan yıldızların konumlarının, altışar dakikalık pozlamalarından elde edilen bir referans kataloğu oluşturmaktır. *Carte du Ciel* isimli ikinci kısım ise aynı teleskoplar ve daha uzun poz süreleri ile 14 kadire kadar ulaşmak, ve daha sonra bunları büyüterek bakır plaklar üzerine kabartma olarak basmaktır. Bu projenin ancak yarısı tamamlanmış, yani gökyüzünün ancak yarısı taranabilmiştir. Son görüntüler 1950 yılında alınmış ve *Astrografik Katalog*’un son versiyonu 1964 yılında yayınlanmıştır. Başarısız bir çalışma gibi görünse de, daha sonra bu kataloğun sayısal ortama aktarılması sayesinde 4.6 milyon yıldızın ekvatorial koordinatları *Hipparcos* astrometri uydusunun referans yıldızları kullanılarak yeniden hesaplanmış ve böylece yaklaşık 2.5 milyon yıldızın öz hareketi hesaplanmıştır.



Şekil 2.10: 1887 Kongresi’nde Paris Gözlemevi’nde bulunan astronomlar.

¹ Görsel: Marina Rieznik, 2010, <http://www.scielo.br/pdf/hesm/v17n3/07.pdf>

Bir diğerk önemli fotoğrafik tarama ise değışen yıldızları incelemek için, 1885-1993 yılları arasında, Harvard College Gözlemevi tarafından yürütölen gökyüzü taramasıdır. Kuzey yarıküre için Harvard'dan, güney yarıküre için Peru ve Güney Afrika'dan alınan gökyüzü görüntöleri ile toplam 500,000 cam plak pozlanmıştır. Plakların büyük çoğunluğu görünen parlaklıkları 15 kadire kadar, en iyi plaklar ise 18 kadire kadar olan yıldızları kaydedebilmiştir. Bu plaklar Cambridge, Massachussets'te ısı ve titreşim kontrollerinin yapıldığı bir odada saklanmaktadır. Ayrıca 2004'te başlatılan bir projeyle, bu iş için özel olarak tasarlanan bir tarayıcı ile tüm plaklar sayısal ortama aktarılmıştır.

En yaygın kullanılan fotoğrafik gökyüzü taraması, 1949-1958 yılları arasında Palomar dağında gerçekleştirilen *Palomar Gözlemevi Gökyüzü Taraması*'dır (POSS). Şekil 2.11'de görölen 1.2 m'lik *Schmidt Teleskobu* kullanılarak, her biri gökyüzünde 6°×6°'lik alana karşılık gelen görüntöler 14 inç'lik kare cam plaklara kaydedilmiştir. 1980'lerin başında Palomar Schmidt Teleskobu, POSS II adlı ikinci bir tarama yapmak için dijital kamera kullanabilecek şekilde geliştirilerek, *Samuel Oschin Teleskobu* olarak yeniden adlandırılmıştır. Bu iki gökyüzü taraması da sayısal ortama aktarılmıştır.

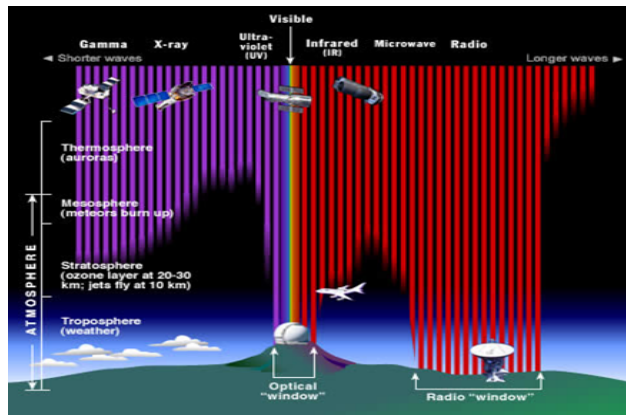


Şekil 2.11: Palomar dağındaki 48 inç'lik Schmidt Teleskobu¹.

¹ Görsel: Caltech Archives, <http://www.astro.caltech.edu/palomar/about/telescopes/oschin.html>

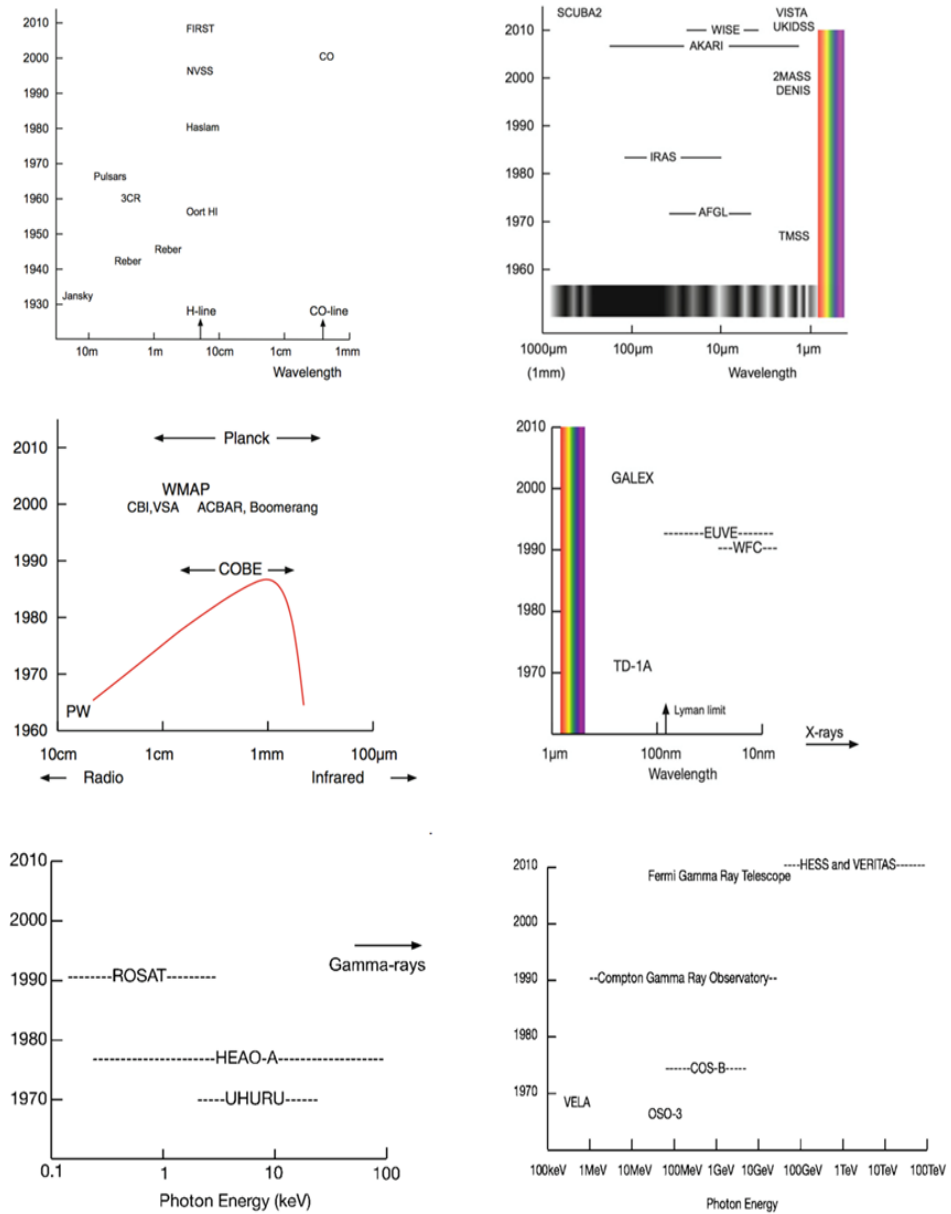
On dokuzuncu yüzyıldaki en önemli astronomik gelişmelerden biri de tayf biliminin gelişmesidir. İlk tayfçeker Joseph von Fraunhofer tarafından icat edilmiş ve ardından Güneş tayfındaki siyah çizgiler 1802’de William Wollaston tarafından keşfedilmiştir. İlk tayfsal gökyüzü taraması 1866’da İtalyan astronom Angelo Secchi tarafından yapılmış ve bu taramada görsel olarak 220 yıldız yer almıştır. Fotoğrafiyi tayf bilimine ilk olarak uygulayan ise, 1872’de elde ettiği Vega yıldızına ve 100 kadar başka yıldızla ait tayf ile Henry Draper olmuştur. Ardından Harvard College Gözlemevi’nden Edward Pickering, teleskop merceğinin önüne bir prizma koyarak objektif prizma yöntemini keşfetmiş ve bu yöntemle bir plak üzerinde 200 yıldızın tayfını elde etmeyi başarmıştır. Gözlemleri analiz etmede kendisine yardım eden çok sayıda kadından biri olan Annie Jump Cannon, günümüzde de kullanımda olan *OBAFGKM* tayfsal sınıflandırmasının mucididir. Tayfsal sınıflarına göre ayrılmış yaklaşık 220,000 yıldızdan oluşan son katalog, *Henry Draper Kataloğu* (HD Kataloğu) olarak adlandırılmıştır. Her iki yarıküreyi de kapsayan, dokuz bölümden oluşan katalog, görünen parlaklıkları 9 kadire kadar olan yıldızları içermektedir.

Fotoğrafik çağdan sonra gelen elektromanyetik çağ ile birlikte astronomlar görünen ışığın dışında kalan dalgalı boyları üzerine de çalışmaya başlamışlardır. 1930’larda başlayan ve İkinci Dünya Savaşı’ndan sonra hız kazanan radyo astronomi gözlemlerini, 1960’larda X-ışını, gama ışını, morötesi ve kızılötesi gözlemler izlemiştir. Bir gökyüzü taramasının niteliğini belirleyen en önemli faktörlerden biri de, taramanın yürütüldüğü dalgalı boyu aralığıdır. Şekil 2.12’de Dünya atmosferinin geçirgenliğine göre yerden ve uzaydan yapılabilecek taramaların dalgalı boyu aralıkları elektromanyetik tayf üzerinde görülmektedir.



Şekil 2.12: Elektromanyetik tayfın farklı bölgelerinde yer atmosferinin geçirgenliği

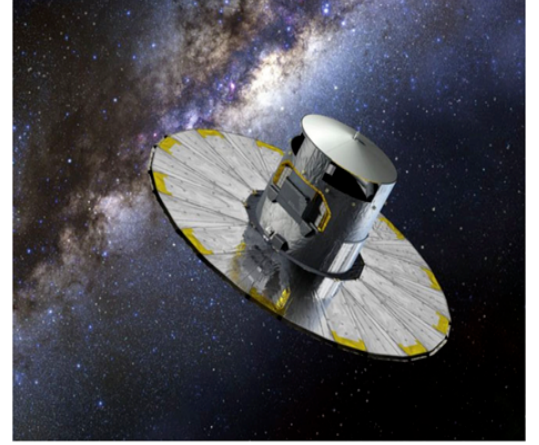
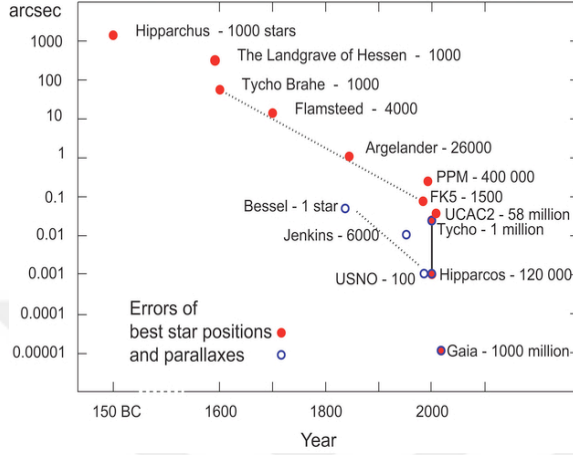
Buna göre radyo, görünür ve bir kısım kızılötesi dalgalıylarındaki taramalar yeryüzünde yapılabilirken, tüm X-ışını ve birçok gama, morötesi ve kızılötesi dalgalıylundaki gözlemler uzaydan yapılmalıdır. Şekil 2.13’de ise elektromanyetik çağ boyunca radyo, kızılötesi, kozmik mikrodalga zemin ışıması, morötesi, X-ışını ve gama ışını bölgelerinde yapılmış olan en önemli gökyüzü tarama programları toplu olarak görölmektedir.



Şekil 2.13: Radyo, kızılötesi, kozmik mikrodalga arka plan ışıması, mor ötesi, X-ışını ve Gama ışını bölgelerinde gerçekleştirilen başlıca gökyüzü taramaları¹.

¹ Wynn-Williams, *Surveying the Skies*, 2016.

Bunların dışında gökyüzünün daha küçük bölgelerine odaklanmış mikro taramalar da yapılmıştır. Bunlara örnek olarak Hubble Deep Fields, COSMOS, MACHO ve *Kepler* Öte-gezegen taramaları verilebilir. Ayrıca *Hipparcos* ve vârisi *Gaia* uydularıyla yürütülen astrometri odaklı taramalar da çok önemli kilometre taşlarıdır (Şekil 2.14).



Şekil 2.14: Solda astrometrik kesinliğin zaman içinde değişimi, sağda ise yörüngesinde *Gaia* uzay aracı¹.

Teleskoplara monte edilen dijital kameralar sayesinde, gökyüzünün sürekli olarak sistemli bir şekilde taranması ve elde edilen verilerin çok büyük dijital veri tabanlarına kaydedilmesi ile birlikte CCD Çağı'na geçilmiş olur. CCD (Charged Coupled Device) ilk olarak 1969'da AT&T Bell Laboratuvarı'nda icat edilmiş ve 1980'lerde teleskoplarda kullanılmaya başlanmıştır. Işığa duyarlı bir silikon yüzey üzerine monte edilmiş devrelerden oluşan matris şeklindeki yapıdan oluşan CCD, gelen fotonları elektrik yüklerine çevirerek, analiz edilmesi ve depolanması için bilgisayara yönlendirir. İlk CCD'ler birkaç yüz piksellik yüzeylere sahip iken, teknoloji geliştikçe CCD'lerin bir araya getirilmesi ile yüz milyonlarca pikselden oluşan dizilimler elde etmek mümkün hale gelmiştir. Görünür bölge CCD'leri *Hubble Uzay Teleskobu* gibi bazı uydularda oldukça başarılı olsa da, geniş çaplı taramalar için yeryüzündeki teleskopları kullanmak maliyetler ve veri aktarımı açısından daha avantajlıdır. SDSS (York ve diğ., 2000), 2MASS (Skrutskie ve diğ., 2006), ve Pan-STARRS (**P**anoramic **S**urvey **T**elescope **A**nd **R**apid **R**esponse **S**ystem; Chambers ve Pan-STARRS Ekibi, 2016) CCD Çağı'nda tasarlanmış ve günümüzde kullanılan önemli gökyüzü taramalarına örnek olarak verilebilir. Bu gökyüzü taramaları, elektromanyetik tayfın farklı bölgelerinde, tüm

¹ Grafik: ESA; Görsel: ESA, D. Ducros, <http://sci.esa.int/jump.cfm?oid=33840>

gökyüzünü veya gökyüzünün büyük bir kısmını içeren, yeterince sönük nesnelerin incelenerek, gökyüzü atlasının ortaya konması için tasarlanmış bilimsel programlardır. Bir sonraki bölümde bu tez çalışmasında kullanılan SDSS ve 2MASS taramalarından ayrıntılı olarak bahsedilecektir.

2.1.1. SDSS

Sloan Dijital Gökyüzü Taraması, CCD dedektör kullanılarak yürütülen ilk ve en önemli gökyüzü taramalarından biridir. 2000 yılından bu yana New Mexico Apache Point Gözlemevi'ndeki 2.5 m'lik teleskop (Gunn ve diğ., 2006) ile yürütülmektedir (Şekil 2.15). SDSS'in temel amacı fotometrik ve tayfsal taramalar yaparak, elde edilen verilerden seçilen 1 milyon galaksinin ve 100 bin kuazarın tayfını elde etmek (York ve diğ., 2000) ve yerel evrendeki galaksilerin üç boyutlu haritasını oluşturmaktır.

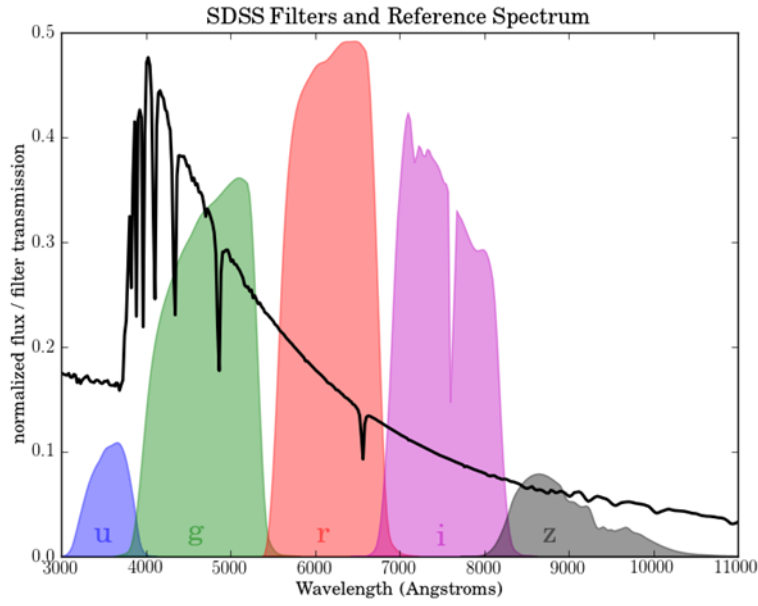


Şekil 2.15: 2.5 m'lik Sloan Teleskobu, New Mexico¹.

Fukugita ve diğ. (1996), SDSS fotometrisini ortalama dalga boyları sırasıyla, 3551 Å, 4686 Å, 6165 Å, 7481 Å ve 8931.8 Å olan u , g , r , i , z geniş bant filtreleriyle tanımlamışlardır (Şekil 2.16). Bu filtreler bir CCD mozaïği üzerinde altı sütun ve beş sıra şeklinde her biri 2048×2048 piksel boyutunda 30 CCD'den oluşmuştur (Şekil 2.17). Altı sütun teleskobun tarama doğrultusu ile hizalanmıştır ve her bir sıra farklı renk filtrelerini temsil etmektedir (York ve diğ., 2000). Alınan görüntülerden galaksilerin konumları ve parlaklıkları belirlenmektedir.

¹ Görsel: SDSS Team, Fermilab Visual Media Services, <https://apod.nasa.gov/apod/ap980617.html>

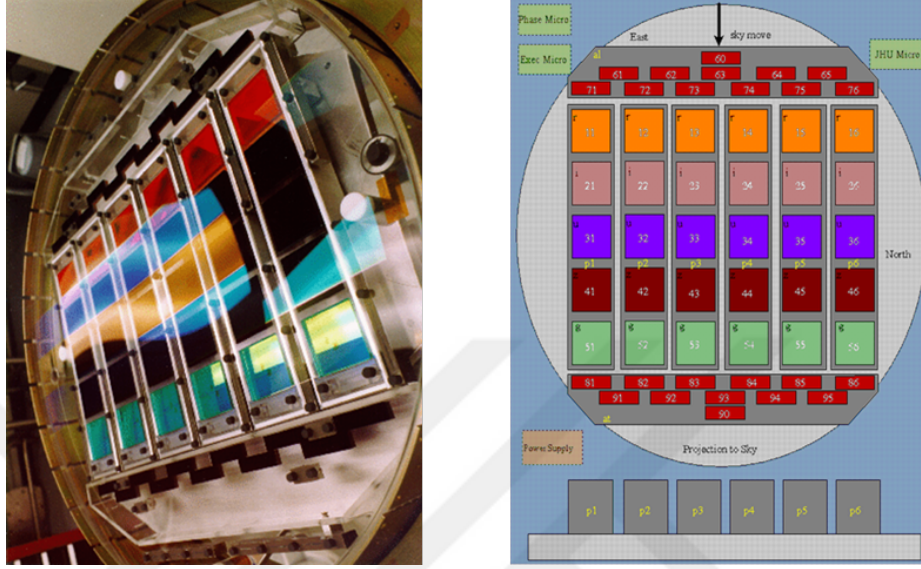
Nokta kaynakların u , g , r , i , z filtreleri için parlaklık limitleri, sırasıyla, 22.0, 22.2, 22.2, 21.3, 20.5 kadir olup, aşırı doyma limitleri ise g , r ve i bantları için 14 kadir, u ve z bantları için 12 kadir olarak tespit edilmiştir (Stoughton ve diğ., 2002). Standart alan yıldızlarının fotometrik ölçümleri US Naval Gözlemevi'ndeki 1 m'lik teleskop ile yapılırken, astrometrik ölçümler de kameradaki astrometrik CCD'ler ile kalibre edilmektedir. g , r ve i bantlarındaki fotometrik kalibrasyon duyarlılığı %2, u ve z bantlarında ise %3 (Ivezic ve diğ., 2004), astrometrik kalibrasyon duyarlılığı ise $0''.1$ (rms)'den daha yüksektir (Pier ve diğ., 2003).



Şekil 2.16: SDSS filtreleri ve kaynak tayf.

Fotometrik verilerin yanı sıra SDSS, birçoğu Sloan Extension for Galactic Understanding and Exploration (SEGUE 1; Yanny ve diğ., 2009) ve onun devamı olan SEGUE 2'den elde edilmiş dört milyondan fazla tayfsal veri içerir. Ayrıca SDSS projesinin uzantıları olarak SDSS-II ve SDSS-III (Eisenstein ve diğ., 2011) alt taramaları da yürütülmüştür. SDSS gözlemlerinde kullanılan tayfların dalgaboyu aralığı 3,800 - 9,200 Å'dur. Sistemde görüntü çeviriciye monte edilmiş ve her seferinde 1,000 galaksinin kırmızıya kayma miktarını ölçebilen iki adet tayfçekker bulunmaktadır. Fotometrik ve astrometrik ölçümlerden sonra görüntü almakta kullanılan CCD kamera kaldırılarak, gözlemlenecek bölgedeki her bir galaksi için bir delik açılmış özel bir metal plaka teleskobun odak düzlemine yerleştirilir. Her bir delik, tayfçekkere ışığı ileten bir fiber optik kabloya bağlanır (Şekil 2.18). Elde edilen tayf ile galaksilerdeki yıldız

türleri ve galaksi çekirdeklerindeki aktiviteler hakkında bilgi sağlanmaktadır. İncelenen galaksilerin uzaklıkları ise gözlemlerden hesaplanan kırmızıya kayma değerlerinin Hubble sabitiyle çarpımı sayesinde hesaplanabilmektedir.



Şekil 2.17: SDSS kamerasındaki CCD ve filtrelerin yerleşimini gösterimi¹.



Şekil 2.18: Tayfçeker ve Sloan Teleskobu'nun odağına monte edilecek olan metal plaka arasındaki fiber kabloların bağlanması².

¹ Görsel: SDSS, <http://skyserver.sdss.org/dr1/en/sdss/instruments/instruments.asp>

² Görsel: SDSS, <http://newscenter.nmsu.edu/Articles/view/8899>

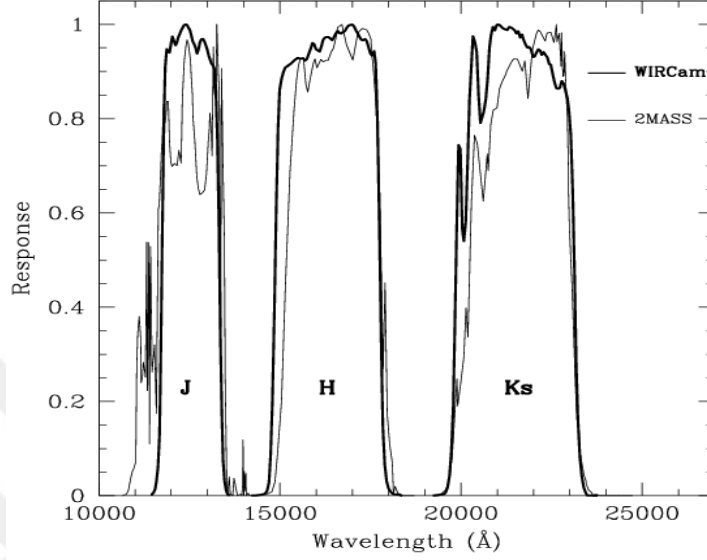
Tez çalışmasında kullanılan SDSS-III DR 12 kataloğu (Alam ve diğ., 2015) Temmuz 2014'te yayınlanmıştır. DR12'de toplam 31,637 derece kare; çiftler, örtüşmeler ve tekrarlar çıkarıldığında ise 14,555 derece karelik alan görüntülenmiştir. Tarama programı çerçevesinde optik tayfları alınmış veri seti dışında SDSS'in diğer alt programlarında alınan tayflar da söz konusudur. *Baryon Oscillation Spectroscopic Survey* (BOSS; Dawson ve diğ., 2013) tarafından toplanmış galaksi, kuazar ve yıldız tayfları, çeşitli yöntemler ile hesaplanmış galaksi parametrelerini içeren veri tabanlarında bir araya getirilmiştir. Ayrıca SDSS DR12, SEGUE (Yanny ve diğ., 2009) alt tarama programında ölçülen tüm tayfları ve yıldız parametrelerini de içermektedir. Temmuz 2013 itibarıyla SDSS ile tüm gökyüzünün 1/3'ü taranmış, görünen parlaklıkları 22 kadire kadar 200 milyondan fazla galaksinin konum, parlaklık ve renk verileri ile 1 milyon galaksi ve 100,000 kuazarın tayfı alınmıştır. Halen kuzey yarıküreden gözlenen galaksiler ve Samanyolu'nun seçilmiş bölgelerinden tayf alınmaya devam edilirken, Chile'deki 2.5 m'lik Irénée du Pont teleskobu ile güney yarıküredeki gözlemler başlatılmıştır (Sobeck ve diğ., 2014).

2.1.2. 2MASS

Neugebauer ve Leighton (1969) tarafından başlatılan ve gökyüzünün %70'ini tarayan *İki Mikron Gökyüzü Taraması* (Two Micron Sky Survey, **TMSS**; Neugebauer ve Leighton, 1997) sayesinde 5,700 kızılötesi kaynak tespit edilmiştir. Gelişen teknolojiyle birlikte 1990'ların sonlarına doğru 2MASS (Skrutskie ve diğ., 2006) programı devreye girmiştir. Bu tarama sayesinde yakın kızılötesi gökyüzü hakkındaki bilgimiz artarak, geniş ölçekte Samanyolu ve yerel Evren'in yapısı hakkındaki sorulara cevap bulunabilmiştir.

Bunun için biri kuzey yarı kürede Mt. Hopkins (Arizona; ABD), diğeri güney yarı kürede Cerro Tololo'da (Şili) bulunan iki adet 1.3 m'lik teleskop ile tüm gökyüzü yakın kızılötesindeki üç bantta taranmıştır. Her banttaki 1mJy'den daha parlak nokta kaynaklar, sinyal/gürültü oranı 10'dan büyük ve $2''$.0 piksel olacak şekilde belirlenmiştir. Böylece daha önceki taramalardan yaklaşık 80,000 kat daha duyarlı ölçüm yapılabilmesi sağlanmıştır. Her iki teleskop, her bir kanalı 256×256 diziliminde

HgCdTe dedektörlerine sahip üç kanallı kamera ile donatılmıştır. Böylece gökyüzü aynı anda J (1.25 μm), H (1.65 μm) ve K_s (2.17 μm) dalgalıboylarında gözlenebilmektedir (Şekil 2.19).



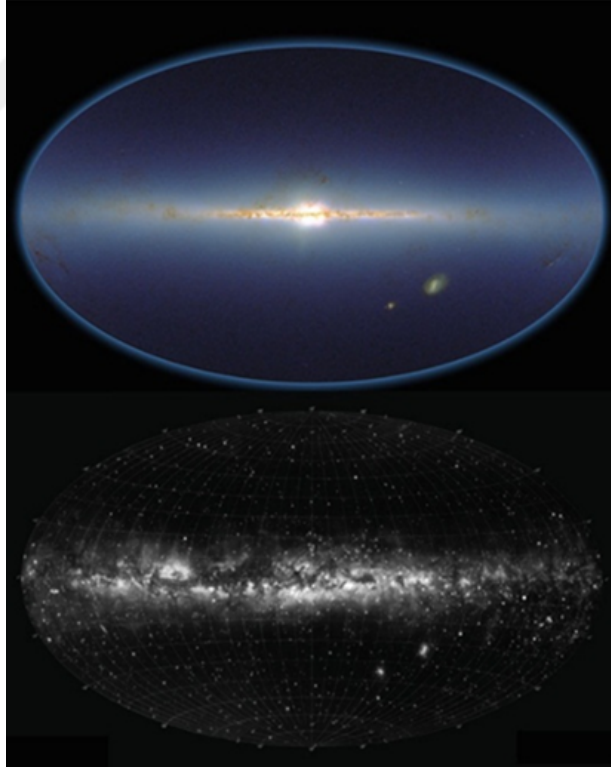
Şekil 2.19: 2MASS J , H , K_s filtrelerinin duyarlılık fonksiyonları.

Şekil 2.20 üst panelde 2MASS ile alt panelde ise optik dalgalıboylarında gözlenmiş yıldızların Galaksimizdeki konumları gösterilmektedir. Kızılötesi tarama yapmanın en önemli avantajı, Galaksimizde bulunan toz bulutlarının sönümleme etkisini azaltarak, özellikle Galaktik düzlem civarında, daha derin gözlemlerinin yapılabilmesine olanak vermesidir. Şekil 2.20'nin üstünde ve altında gösterilen kızılötesi ve optik görüntüler karşılaştırıldığında, yıldızlararası ortamın neden olduğu sönümleme etkisi, yıldızların dizilimi ve kütle dağılımları kızılötesinde alınan görüntüde daha belirgindir. Galaksimizde bulunan yıldızların çoğu Galaktik düzlem ile sınırlanmış ve Galaksi merkezinin çevresinde bir düzlemde yoğunlaşmıştır ki bu doğrultudaki yıldız yoğunlukları kızılötesi gözlemlerinden önce bilinmemekteydi. 2MASS $K_s=13.5$ kadirinden daha parlak galaksilerin belirlenebildiği ilk fotometrik tüm gökyüzü taramasıdır. Bir milyonun üzerinde galaksi verisi içeren katalog (The 2MASS Extended Catalog), üç dalgalıboylunda fotometrik ölçümler ve birkaç yapısal parametrenin de dahil olduğu zengin bir istatistiksel veri tabanı oluşturmaktadır (Skrutskie ve diğ., 2006).

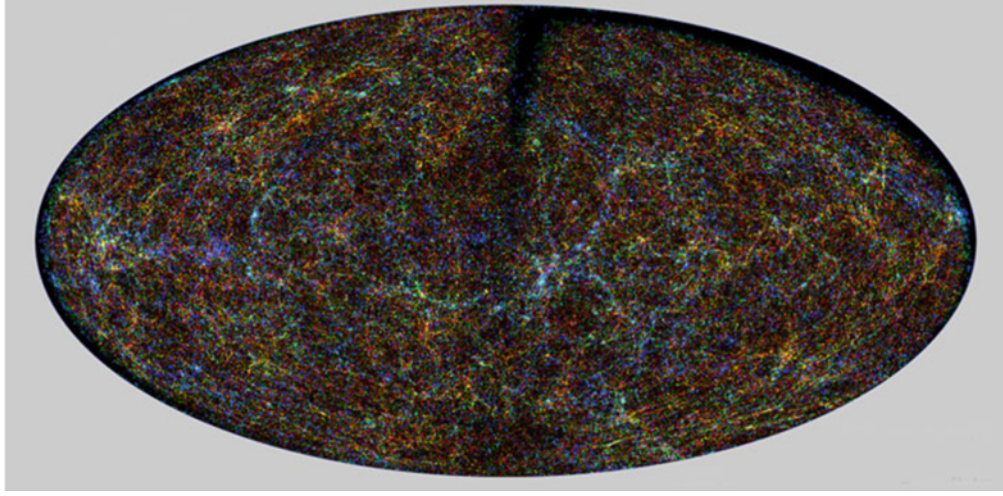
Şekil 2.21'de ise 2MASS'teki galaksiler görülmektedir. Bu harita tüm nokta kaynaklar

yani yıldızlar elenerek elde edilmiştir. Bu görseller yerel evrendeki madde dağılımı hakkında sahip olduğumuz en iyi haritaları oluşturmaktadır. Ayrıca 2MASS, soğuk, sönük yıldızlar ya da kahverengi cüceler gibi oldukça kırmızı ya da tozdan dolayı görülemeyen aktif galaksi çekirdekleriyle (AGN), Galaktik düzlemdeki küresel kümeler gibi optik dalgaboylarında görülemeyen, nadir fakat astrofiziksel öneme sahip cisimlerin araştırılması için de önemli bir kaynaktır.

2MASS, *J*, *H*, *K*, bantlarında, sırasıyla, 15.8, 15.1 ve 14.3 limit kadirlerle kadar tüm gökyüzünde gözlemlediği yaklaşık 500 milyon yıldız ile diğer belirlenemeyen cisimlere ait konumlar ve akıları içeren *Nokta Kaynak Kataloğu* (PSC; Cutri ve diğ. 2003), 1.6 milyon çözümlenmiş galaksi ve diğer bulutsuların pozisyonlarını ve parlaklıklarını içeren *Yaygın Kaynak Kataloğu* (XSC), 600 yakın galaksi ve küresel küme içeren *Büyük Galaksi Atlası* (LGA) ve yaklaşık 4" açısal çözünürlüklü 8' × 16' boyutlarındaki 4 milyon görseli içeren sayısal gökyüzü atlasından oluşmaktadır (Skrutskie ve diğ., 2006).



Şekil 2.20: Tüm gökyüzünde, 2MASS tarafından görüntülenen nokta kaynakların, kızılötesi görüntüsü ile görsel dalgaboylarındaki görüntüsünün karşılaştırılması



Şekil 2.21: Yerel evrendeki galaksilerin 2MASS haritası¹

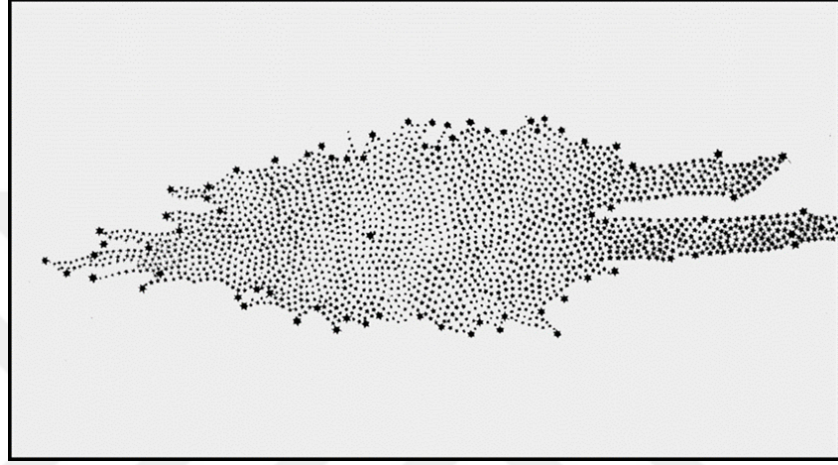
Kuzey yarıkürede 1997 Haziran ve güney yarıkürede 1998 Mart ayından, 15 Şubat 2001 tarihine kadar gökyüzünün %99.998'ini tarayan 2MASS, 2003 Mart ayında Tüm Gökyüzü Veri Sürümü'nü yayınlamıştır (Cutri ve diğ., 2003). Massachusetts Üniversitesi'nden Susan Kleinmann ve Michael Struskie ile Kızılötesi İşleme ve Analiz Merkezi tarafından ortak yürütülen 2MASS projesi, Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi ile Ulusal Bilim Vakfı tarafından desteklenmiştir.

2.2. SAMANYOLU

Karanlık bir gecede, gökyüzüne bakıldığında düzensiz yıldızlar ve gaz bulutlarından oluşan parlak bir şeridin gökyüzü boyunca uzandığı görülür. Bu şeride *Samanyolu* adı verilir. Aslında Samanyolu Galaksisi, Güneş'in de aralarında olduğu birkaç yüz milyar yıldız içeren büyük spiral bir sistemdir. Yoğun bir yıldızlararası gaz ve toz tabakasının, Galaksi'nin büyük bir kısmının optik olarak incelenmesine olanak vermemesi, yalnızca Galaksi'nin içinden gözlem yapılabilmesi, uzaklık ölçümlerinin zor oluşu gibi sebeplerden dolayı astronomlar Galaksimizin yapısı hakkında bütünsel bir kavrayışa sahip değildirler. Geniş ölçekteki yapı ancak, yıldızlararası maddeden etkilenmeyen radyo ve kızılötesi bölgelerde yapılan gözlemler yardımıyla belirlenebilmektedir. Bununla birlikte, Samanyolu Galaksisi'nin yapısı ile ilgili araştırmalarda, diğer galaksiler, galaksi kümeleri ve yıldız popülasyonları incelenerek elde edilen bilgilerden de yararlanılmaktadır.

¹ Görsel: 2MASS/UMass/IPAC-Caltech/NASA/NSF, <https://images.nasa.gov/details-PIA04252.html>

Galaktik yapı araştırmaları 1610'da Galileo'nun Samanyolu'nun birçok yıldızdan oluştuğunu keşfetmesiyle başlamış, ardından Kant (1755) galaksinin düzlemsel bir yapıya sahip olduğunu öne sürmüştür. Herschel (1785) galaksi içindeki tüm yıldızların eşit parlaklığa sahip olduğunu, bu yıldızların Samanyolu boyunca homojen dağıldıklarını ve Güneş'in de yıldızlar diskinin merkezine yakın bir bölgede olması gerektiğini savunmuştur (şekil 2.22).



şekil 2.22: William Herschel'in Samanyolu'nun yapısına dair yıldız sayım metoduna göre oluşturulan şekil. şeklin merkezi yakın bir konumda bulunan Güneş yıldız sembolüyle gösterilmiştir.¹

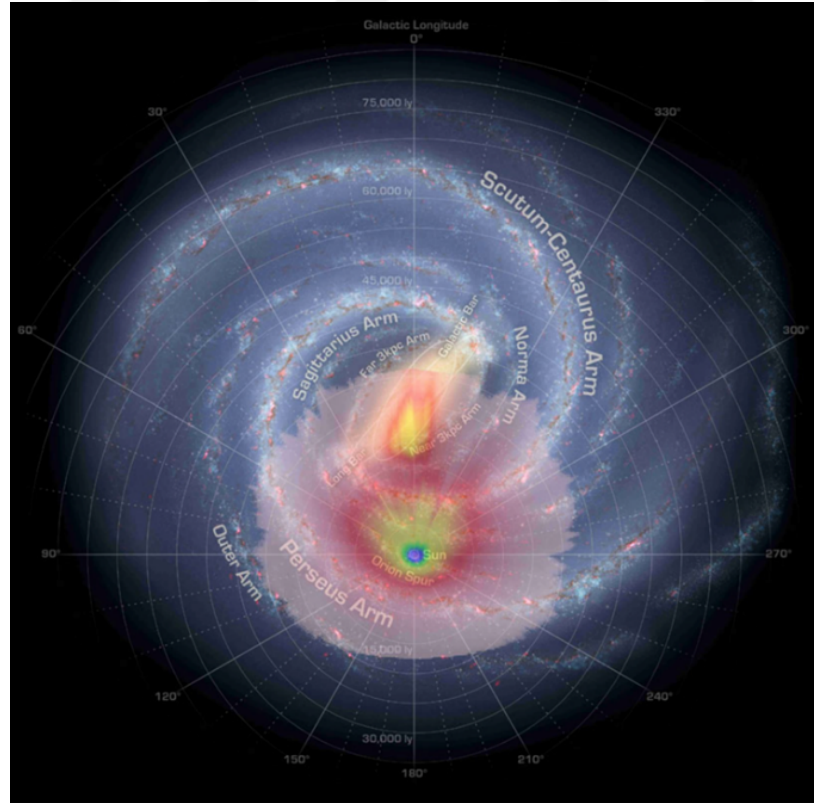
Shapley (1919) yıldızlararası tozun etkisini göz önüne almadan yaptığı çalışmasıyla küresel kümelerin uzaklıklarını hesaplayarak, Samanyolu'nun yaklaşık 100 kpc çapında olduğunu ve Güneş'in de Samanyolu merkezine 15 kpc uzaklıkta bulunduğunu belirtmiştir. Kapteyn ve van Rhijn (1920) Güneş'ten itibaren çeşitli doğrultularda yıldız yoğunluğunu ve uzaklıklarını hesaplayarak, Güneş'in Samanyolu'ndaki yerini belirlemeye çalışmıştır. Kapteyn'in yapmış olduğu hesaplamalara göre incelediği büyük yapı, yaklaşık 10 kpc çapında ve 2 kpc kalınlığındadır. Güneş ise bu büyük yapının merkezi civarında bulunmaktadır. Shapley, Samanyolu'nun çok büyük olduğunu ve bu nedenle bulutsuların Samanyolu'nun içinde olması gerektiğini savunmuştur. Bu düşünceye karşı Curtis, Kapteyn modeline göre Samanyolu'nun çok daha kk olması gerektiğini ve bulutsuların Samanyolu'nun dışında, ayrı birer galaksi olduğunu öne sürmüştür. Bu tartışma, Hubble'ın (1924), Mount Wilson'da 100 in'lik bir teleskopla Andromeda galaksisindeki sefeid değişenlerini gözleyerek Andromeda'nın uzaklığını

¹ Görsel: W. Herschel, On the Construction of the Heavens, 1785, https://www.e-education.psu.edu/astro801/content/l8_p3.html

hesaplamasıyla sona ermiştir. Lindblad 1927’de ilk ayrıntılı kinematik galaksi modelini ortaya koyarak, Samanyolu’nun kütlesini ve Güneş civarında diskin 200-300 km/sn hızla döndüğünü hesaplamıştır.

Bugünkü güncel bilgiler çerçevesinde Galaksi’nin küresel kümelerle çevrildiği varsayılarak, Galaksi çapının yaklaşık 100,000 ışık yılı ve Güneş’in de Galaktik merkezden yaklaşık 26,000 ışık yılı (8 kpc) uzakta yer aldığı belirlenmiştir. Güneş ise Galaksi merkezi etrafında 240 km/sn’lik bir hızla, bir turunu 240 milyon yılda tamamlamaktadır (Sparke ve Gallagher, 2007).

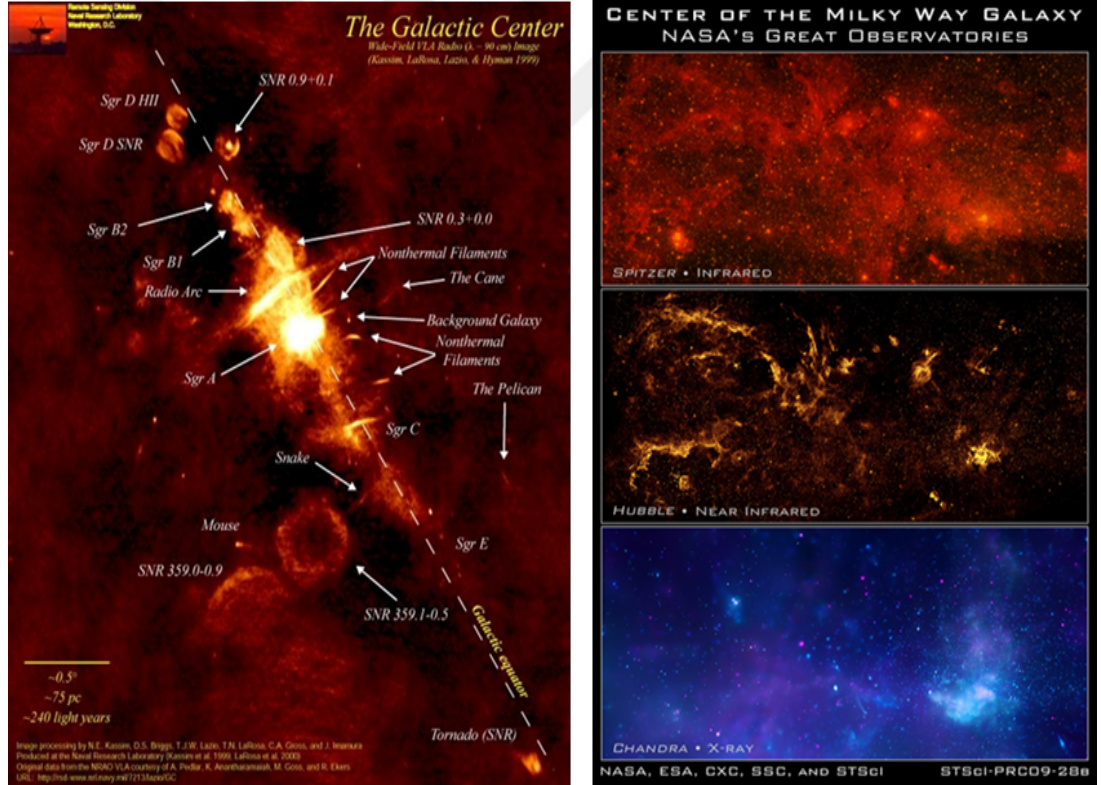
Samanyolu Galaksisi SBbc tipi çubuklu spiral bir sistemdir (Frommert ve Kronberg, 2005). Bu yapı, Galaktik merkez, Şişkin Bölge ve Galaktik Çubuk, Spiral Kollar, Disk ve Halo olmak üzere altı farklı bileşenden oluşmaktadır. Bu bileşenlerden bazıları birbirleri ile iç içe geçmiştir. Şekil 2.23’de Samanyolu Galaksisi’ne ait temsili bir görünüm yer almaktadır.



Şekil 2.23: Samanyolu Galaksisi’nin genel görünümü (Rix ve Bovy, 2015)

2.2.1. Galaktik Merkez

Galaksi merkezinde, sıcak gazdan oluşan bir yığılma diski ile çevrelenmiş süperkütleli bir kara delik olduğu tahmin edilmektedir. Merkezdeki cisim ve onu çevreleyen madde, kalın gaz ve toz tabakası nedeniyle optik dalgaboylarında gözlenememektedir. Galaksi merkezi doğrultusundaki optik sönümleme 30 kadir civarındadır ki bu Galaksi merkezinden gelen 10^{12} fotondan sadece birinin Dünya'ya ulaştığı anlamına gelir. Bir istisna olarak, Galaksi merkezi doğrultusunda olduğu halde, $(l, b) = (0.0^\circ, -3.9^\circ)$ Galaktik koordinatlarında yer alan ve Galaksi düzleminde dikine uzaklığı yaklaşık $Z = 550$ pc olan *Baade penceresi* adı verilen bölge, yıldızlararası ortamının neden olduğu sönümlemenin az oluşu nedeniyle, optik olarak araştırılabilmektedir. Şekil 2.24'ün sol panelinde Galaksi Merkezi'nde bulunan nesneler, sağ panelinde ise Galaksi Merkezi'nin çeşitli dalgaboylarındaki görüntüleri gösterilmiştir.



Şekil 2.24: Galaksi merkezi (solda) ve merkez bölgenin farklı dalgaboylarında görüntüleri¹.

¹ Soldaki görsel: Kassim et al., NRAO/AUI/VLA, http://www.wissenschaft-online.de/astrowissen/astro_slgc.html; sağdaki görsel: NASA, ESA, SSC, CXC ve STScI, https://www.nasa.gov/topics/universe/features/milkyway_heart.html

Galaksi merkezi Sagittarius (Yay) takımyıldızı doğrultusunda olup, merkeze en yakın cisim radyo dalgaboylarında gözlenen Sagittarius A*'dır. Bu cismin yaklaşık $4.28 \times 10^6 M_\odot$ süper kütleli bir kara delik olduğu anlaşılmıştır (Gillessen ve diğ., 2017). Roger ve diğ. (1994) 3 mm dalgaboyunda yaptıkları çalışmada, Sgr A*'nın 1.4×10^{13} cm boyutunda ($285 R_\odot$) ve 15 km/sn hızında olduğunu hesaplamıştır. Aktif galaksilerin merkezlerinde olduğu gibi, Galaksi merkezi de, gücünü merkezî kara delikten aldığı tahmin edilen yoğun aktivitelere ev sahipliği yapmaktadır. Merkezde kara delik dışında, nötron yıldızı ve X-ışın çiftleri de yer almaktadır (Chou ve diğ., 2015). Bölgeden kızılötesi ve X-ışın radyasyonu yayınlanmakta olup, Galaksi merkezi etrafında hızla hareket eden gaz bulutları gözlenmektedir. Galaktik diske dik yöndeki gazı da içeren merkezdeki bu madde kara deliğin içine doğru çekilmektedir. Merkezi kara deliğin yakınına gelen gaz, güçlü kütle çekim kuvvetiyle çekilerek merkezi cisimden 5-30 ışık yılı mesafeye uzanan, hızla dönen diskin içine sıkıştırılmaktadır.

2.2.2. Şişkin Bölge ve Galaktik Çubuk

Şişkin bölge, Galaksi merkezini çevreleyen, şekli neredeyse küresel olan ve Pop II yıldızları olarak da bilinen, metalce zengin en yaşlı yıldızlardan oluşur. Bu bölgenin, yıldız oluşumunun hala devam ettiği merkezi kısımlarında ise genç yıldızlar bulunur. Şişkin bölge, spiral galaksilerin merkezinde yer alır ve galaksi evriminin incelenmesinde önemli bir bileşendir. Burada yıldızlarla birlikte birçok küresel küme de bulunmaktadır. Birleşmeler (Toomre ve Toomre, 1972) ve disk kararsızlıkları (Noguchi, 1999; Elmegreen, 2009) sonucu oluşan klasik şişkin bölge, Galaksi çubuğu kararsızlıkları (Athanassoula, 2005) sonucu oluşan kutu/fıstık biçimli şişkin bölge ve uzun bir evrim (Kormendy ve Kennicutt, 2004) sonucu oluşan yapay (pseudo) şişkin bölge olmak üzere üç farklı şekilde tanımlanmaktadır (Şekil 2.25). Diğer galaksilerin şişkin bölgeleri oldukça iyi görülebilmeye rağmen, oldukça parlak görülen Samanyolunun şişkin bölgesi Galaksi merkezindeki aşırı sönmülemeye dolaylı optikten ziyade kızılötesi dalgaboylarında gözlenebilmektedir.

Galaktik çubuk ise, katı bir yapı gibi görünmesine rağmen, Galaksi merkezi etrafında hızlı dönen, 4 kpc'e kadar uzanan ve yaklaşık 27,000 ışık yılı uzunluğunda, yoğun bir bölgedir. Galaksi merkezine yakın bulunan gaz, dıştakilere göre daha hızlı dönerek çubuğu oluşturan yoğunluk dalgalarıyla birleşir. Yoğunluk dalgaları Galaksi merkezindeki ya da komşu galaksilerdeki çekimsel kararsızlıklardan oluşabilir. Galaktik çubuk, kırmızı ve görece yaşlı yıldızlardan oluşmaktadır (Knapen, 2005).



Şekil 2.25: Üç farklı şişkin bölge örneği: NGC 4594 klasik (sol); NGC 4565 kutu/fıstık (orta) ve NGC 5907 pseudo (sağ)¹.

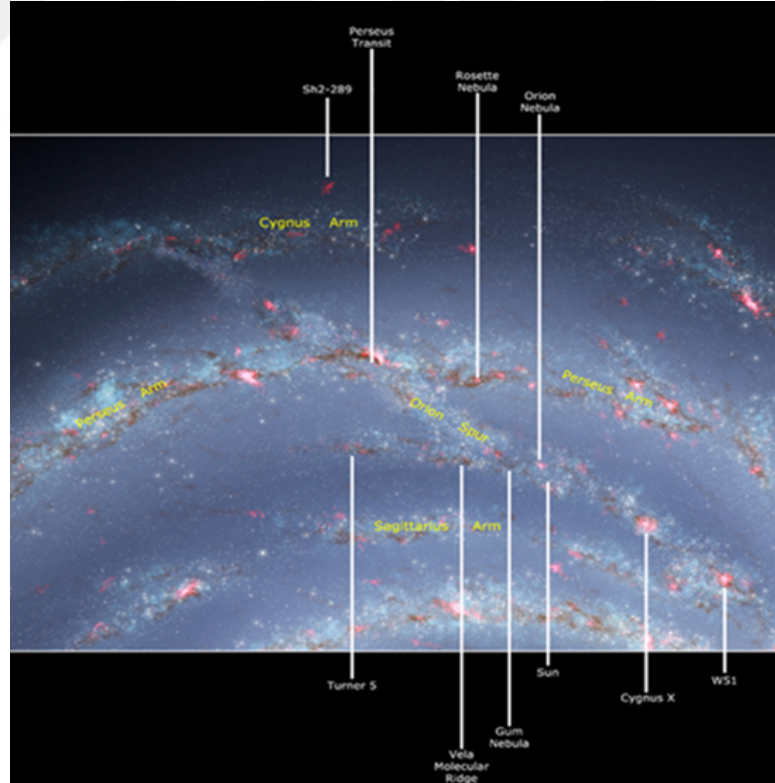
2.2.3. Spiral Kollar

1953 yılında yıldızlararası uzaklıklar güvenilir bir şekilde elde edilene kadar Galaksi'nin spiral bir yapıya sahip olduğu bilinmemektedir. Yıldızlararası maddenin neden olduğu sönmüleme etkisi ve Güneş Sistemi'nin Galaksi içindeki konumu nedeniyle spiral yapının optik olarak gözlenmesi zordur. Spiral yapı ancak, nötral hidrojen ya da molekül bulutlarının radyo haritalarıyla ortaya konmaktadır. Diğer galaksilerin çalışmalarına bakıldığında, spiral kolların genel olarak $\log r = a - b\phi$ bağıntısına uygun bir spiral form izlediği görülmektedir. Burada ϕ merkezden kolun en dış kısmına kadar olan pozisyon açısı, r Galaksi merkezinden uzaklık, a ve b ise bağıntının sabitleridir.

Galaksiler için pitch açıları, yani spiral kolun Galaktik rotasyona göre eğimi yaklaşık 50° ile 85° arasındadır. Samanyolu Galaksisi gerçek bir logaritmik spiral şekil izliyorsa pitch açısının sabit olması gerekir. Sınırlı optik veriler ile Galaksi'nin spiral kolları için pitch açısı belirlemek zordur, fakat ölçümlerin çoğunluğu 7° ile 25° arasında bir değere

¹ Görsel: K. C. Freeman, "Galactic Bulges: overview", 2008.

işaret etmektedir (Levine ve diğ., 2006). Güneş Sistemi'nin de içinde bulunduğu Samanyolu Galaksisi, optik olarak birbirinin aynısı olan dört spiral kola sahiptir (Churchwell ve diğ., 2009). Galaksinin spiral kollarıyla ilgili teorik çalışmalar 1950'li yıllardan beri yapılıyor olsa bile, henüz bu yapı tam olarak ortaya konamamıştır. Yapının yoğunluk-dalga modeli olarak bilinen genel dinamik bir etkiden kaynaklandığı düşünülmektedir. Lin ve Shu (1964) spiral şeklin Galaktik diskteki yıldızların yoğunluk dağılımındaki büyük ölçekli sapmalardan kaynaklandığını göstermiştir. Yıldızların birbirleriyle etkileşimleri hesaplandığında, oluşan yoğunluk dağılımı yıldızlar ile birlikte dönmekten ziyade, Galaksi merkezi etrafında daha yavaş hareket eden spiral bir form izlemektedir. Yörüngelerinde hareket eden tek yıldızlar spiral kollara girip çıkarken, kolda geçici olarak yavaşlar ve bu da yoğunluğun artmasına sebep olur. Samanyolu için Lin ve Shu'nun (1964) hesaplamaları, nötral hidrojen verisi ile karşılaştırıldığında, spiral kol hızının her 1,000 ışık yılı için 4 km/sn olduğunu göstermiştir.



Şekil 2.26: Galaksimizin spiral kolları¹.

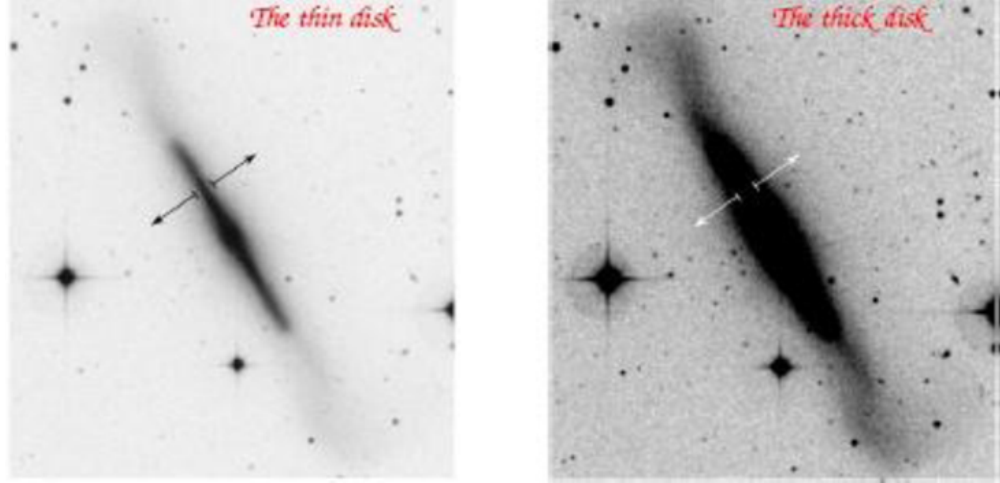
¹ Görsel: R. Hurt, 2010, <http://earthsky.org/space/does-our-sun-reside-in-a-spiral-arm-of-the-milky-way-galaxy>

Galaksinin spiral şeklini etkileyebilecek diğer faktörler de araştırılmıştır. Buna göre spiral form, Galaksi'nin diferansiyel rotasyona sahip olması, yani Galaktik merkezden farklı uzaklıklarda farklı dönme hızlarına sahip olmasından kaynaklanabilir. Yıldız oluşumunun bir bölümü gibi neredeyse doğrusal bir forma sahip bir etki bile, diferansiyel dönme nedeniyle bir süre sonra spiral şeklini alacaktır. Spiral yapı, bazı galaksilerde galaksi etkileşimleri sonucu oluşan yamyamlık neticesinde oluşabilir. Bununla birlikte, kuramsal çalışmalar süpernova gibi büyük patlamaların galaksilerdeki spiral yapıyı bozabileceğini göstermiştir. Şekil 2.26'da Galaksimizin beş spiral kolunu gösteren temsili bir görsel yer almaktadır.

2.2.4. Disk

Galaksi merkezinden yaklaşık 75,000 ışık yılı uzaklığına ulaşan disk bileşeni, belirli bir mesafeden Galaksi'nin en fazla göze çarpan kısmını oluşturur. Samanyolu Galaksisi, bütününe yayılmış parlak ve belirli bir düzene sahip yıldız topluluğu, gaz bulutları ve spiral yapısıyla diğer spiral galaksilere benzemektedir. Disk bileşeni spiral ve merceğimsi galaksiler gibi disk galaksilerinde görülen bir bileşendir. Bu bileşen spiral kolların eklendiği, genç yıldızlar, gaz, toz ve yıldız kümelerinden oluşan iskelet yapı olarak görülmektedir. Galaksimizdeki baryonik maddenin %80'i ince diskte bulunur. Samanyolu diski Galaksi merkezi çevresinde 220 km/sn hızla dönmektedir. Diskin dış kısımlarında, spiral galaksilerin hemen hemen yarısında görülen ve kökeninin galaksiler arası etkileşme olduğu tahmin edilen burulma (warp) olayı görülmektedir.

Samanyolu diskinin uzunluk ölçeği, yükseklik ölçeğinin yaklaşık 10 katıdır ve farklı disk bileşenlerinin farklı kalınlıkları vardır (López-Corredoira ve diğ., 2002). En ince bileşen olan ince disk, toz, gaz ve metalce zengin genç yıldızları içerirken, kalın disk ise daha yaşlı, metalce fakir yıldızlardan oluşmaktadır. Kalın disk yıldızlarının Galaktik düzleme dik doğrultudaki uzay hız bileşeni ince disk yıldızlarına göre daha büyük olduğundan, Galaktik düzlemde daha büyük uzaklıklara ulaşabilirler. Bu da bu bileşenin neden kalın disk olarak adlandırıldığını açıklar. Diğer galaksilerdeki ince ve kalın disklere örnek olarak kenardan görülen NGC 4762 galaksisi Şekil 2.27'de gösterilmiştir.



Şekil 2.27: NGC 4762 galaksisinin ince ve kalın disk bileşenleri¹.

2.2.4.1. İnce Disk

İnce diskin kalınlığı 300-400 pc civarındadır. Yıldız oluşumunun yaklaşık 10 milyar yıldan beri devam ettiği ince diskte, geniş bir yaş aralığında yer alan orta ve geç tayf türündeki yıldızlar, spiral kolların içinde HI bulutları, HII bölgeleri, molekül bulutları, ilkel yıldızlar, O ve B yıldızları ve süper devler gibi nesneler bulunmaktadır. Spiral kollarda bulunan metalce zengin ve en genç cisimler Galaktik düzlemde yoğunlaşmıştır. İnce diskteki yıldızlar Galaksi merkezi etrafında çember yörüngelerde dolanırlar, yaşları 0 ile 10 Gyl aralığında ve metal bollukları $\langle [Fe/H] \rangle \sim 0$ dex civarındadır. Güneş civarındaki ince disk nesnelerinin Galaksi merkezi etrafındaki dönüş hızı yaklaşık 220 km/sn'dir (Koupeelis ve Kuhn, 2007). Yıldızların R ve Z doğrultularındaki dağılımları çift ekspanansiyelli yoğunluk profiliyle modellenmektedir. Buna göre yıldız yoğunlukları, Galaksi merkezinden radyal ve Galaktik düzlemde dik doğrultularda çift ekspanansiyelli olarak azalmaktadır (Gilmore ve Reid, 1983).

2.2.4.2. Kalın Disk

Kalın disk bileşeni Samanyolu galaksisinde olduğu gibi birçok spiral galakside mevcuttur. Merkezinde şişkin bölge bulunmayan galaksiler disk ve halo bileşenlerinden oluşur. Şişkin bölgeye sahip olan galaksilerin ise başka bir bileşene daha sahip oldukları tespit edilmiştir (van der Kruit ve Searle, 1981; van der Kruit ve Searle 1982). Gilmore ve Reid (1983), Güney Galaktik kutup doğrultusundaki yıldız yoğunluk profillerinin Bahcall ve Soneira (1980)'nın disk ve halo bileşenlerini içeren Galaksi modeliyle

¹ Görsel: Vassiliki Tsikoudi, 1980, <https://www.pas.rochester.edu/~iminchev/NGC891.html>

uyumlu olmadığını göstermiş, buna göre başka bir bileşenin modele eklenmesi gerekliliği anlaşılarak kalın disk bileşeni literatüre kazandırılmıştır. Kalın diskin radyal göçler (Schönrich ve Binney, 2009; Roskar ve diğ., 2008), küçük birleşmeler (Villalobos ve Helmi, 2008) ya da büyük kütleli bir uydu katılımı (Sales ve diğ., 2009) senaryolarından biriyle oluşmuş olabileceği düşünülmektedir. Bunun kesin olarak belirlenebilmesi için, bu tezin de amacı olan galaksi model parametrelerinin yüksek duyarlılıkla tayin edilmesi gerekmektedir. Ayrıca metal bolluğu ve kinematik analizlerin yapılabilmesi için de Bölüm 2.1’de anlatılan büyük ölçekli gökyüzü tarama programlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Kalın diskin kütlesi ince diskin kütlesinin yaklaşık %10-20’si olup $10^{10} M_{\odot}$ ’tir. Kinematik, tayfsal ve uzay dağılımları kalın disk bileşeninin ince disk ile halo arasında olduğunu göstermektedir. Kalın diskteki yıldızlar Galaktik düzlemden dik doğrultuda 1-2 kpc uzaklık aralığında etkindir. Kalın diskin yaşı 12 Gyr’dan büyük ve metal bolluğu $\langle [Fe/H] \rangle \sim 0.6$ dex’tir. Kalın diskte, metalce zengin küresel kümeler, mira türü değişenler, RR Lyr yıldızları ve alan yıldızları bulunmaktadır. Tüm yıldızların yaklaşık %5’i kalın diskte yer alır. Kalın diskin ortalama yükseklik ve uzunluk ölçekleri, sırasıyla, 1 ve 3 kpc civarındadır (Buser ve diğ., 1998; 1999).

2.2.5. Halo

Samanyolu’nun en az anlaşılmış, en korunmuş ve en yaşlı bileşeni kütleli ve büyük halosudur ve bu sferoid halo Galaksi merkezinden yaklaşık 100,000 ışık yılı (30 kpc) kadar mesafe içerisinde yer almaktadır (Harris, 1996). Bu bileşen, gözlemlenebilir *yıldız halosu* ve Galaksi’nin dönme eğrisi üzerindeki etkisi ile açıklanabilen *karanlık halodan* oluşmaktadır. Halo bileşeninin kütlesi, Galaksi’nin diskinden geri kalan tüm kütlesinden birkaç kat daha büyüktür. Galaksi halosunun şeklinin neye benzediği, galaksiler arası uzayda ne kadar yer kapladığı tam olarak bilinmemektedir.

Haloda, metalce zengin ve metalce fakir küresel kümeler, geç tayf türündeki alan yıldızları, RR Lyr yıldızları, Mira türü değişenler ve alt cüce yıldızları bulunmaktadır. Galaksi’deki en yaşlı ve metalce en fakir yıldızlar haloda bulunduğu için bu bileşen, Samanyolu’nun evriminin en erken aşamalarına ait bilgiyi içermektedir.

Halo yıldızlarının yoğunluğu, Galaksi merkezine göre radyal doğrultuda eksponansiyel ya da bir güç kanununa uygun olarak azalmaktadır. Işıma gücü Galaksi diskinin %10'u civarında olup yaklaşık $10^9 L_{\odot}$ 'tir. Halonun çok yavaş döndüğü veya dönmediği düşünülmektedir. Bu bileşendeki yıldızlar yaklaşık 12 ile 14 Gyl yaş aralığındadır. Halonun eksen basıklığı yaklaşık $\eta = 0.6$ ve metal bolluğu ise $\langle [Fe/H] \rangle \sim -1.5$ dex'tir (Cox, 2000).

Yıldız halosunun dışında, halonun çok az ışık alınabilen ya da hiç ışık alınamayan karanlık halosunun bulunması gerektiği düşünülmektedir. Karanlık halo gözlemlenemediğinden yapısı tam olarak bilinmemektedir; ancak çekim etkisi sayesinde varlığı anlaşılmaktadır. Yuvarlak bir şekle sahip olduğu, yıldız içermediği ve 100 kpc'e kadar uzandığı varsayılır. Karanlık madde parçacıkları, astronomik cisimler ya da atom altı parçacıklardan oluşuyor olabilir. Karanlık madde halosunun kütesinin $6 \times 10^{11} - 3 \times 10^{12} M_{\odot}$ arasında olduğu tahmin edilmektedir (Battaglia ve diğ., 2005). Galaksi merkezinden haloya doğru gidildikçe karanlık madde yoğunluğu azalmaktadır. Karanlık madde, Galaksimizin %95'ini oluştururken diğer madde ve enerjilerle etkileşime girmez. Çok sayıda karanlık madde adayı olmasına rağmen, karanlık maddenin içeriği henüz tam olarak bilinmemektedir. (Kafle ve diğ., 2014)

2.3. YILDIZ POPÜLASYONLARI VE GALAKSİ OLUŞUM SENARYOLARI

Yıldız popülasyonu kavramı, Andromeda galaksisine ait fotoğraflık plaklar üzerinde bağımsız yıldızları keşfeden ve onları Pop I ve Pop II olarak sınıflandıran Baade (1944) tarafından ortaya konmuştur. Baade (1944), küresel kümelerdeki yıldızlar ile Güneş civarındaki yıldızların yapısal farklılıklarını göz önüne almış ve Güneş civarındaki yıldızları Pop I ve küresel kümelerdeki yıldızları da Pop II olarak adlandırmıştır. Tanım itibariyle Pop I, Galaktik merkezden radyal ve Galaktik düzleme dik doğrultularda eksponansiyel olarak azalan, genç, metalce zengin, çember yörüngelerde düzenli hareket eden disk nesneleridir. Pop II ise Galaksi merkezinde yoğunlaşan parlaklık profiline sahip, yaşlı, metalce fakir ve rastgele yönlenmiş eliptik yörüngelerde hareket eden halo nesnelerini temsil etmektedir. Bu kavramlar Samanyolu dışındaki diğer spiral galaksiler için de geçerlidir.

1957 Vatikan Konferansı'nda, Pop I ve Pop II ayırımının Galaksi'deki tüm yıldızlar için geçerli olmadığı, ara popülasyonlara da ihtiyaç olduğu anlaşılmıştır (O'Connell, 1958). Bundan sonra Galaktik düzleme dik doğrultudaki K devleri (Oort, 1960), RR Lyr değişenleri (Plaut, 1965) ve F-G tayf türündeki anakol yıldızları (Elvius, 1965; Upgren, 1963) gibi farklı türden yıldızların yoğunluk dağılımı birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir. Çalışılan örneklerin parlaklık limiti 13 kadir olduğundan, Güneş'ten maksimum 1.5-2 kpc uzaklıkta olan K devleri için bile ara popülasyona rastlanmamıştır. Fakat Güneş çevresindeki bazı değişen yıldızların kinematiğine bakıldığında ara popülasyona ait oldukları görülmüştür (Blaauw, 1965). Galaksi'deki yıldızların ne kadarının ara popülasyona dâhil olduğu konusu 1980'lerin başına kadar belirsizliğini korumuştur. Teknolojik gelişmeler sayesinde Galaksi'deki sönük yıldızların duyarlı fotometrik ölçümlerinin yapılarak parlaklık ve renk verilerinin birlikte kullanılması Galaksi'nin uzaysal yapısının anlaşılmasını sağlamıştır.

Galaksimizin oluşumunun ilk fiziksel modeli Eggen, Lynden-Bell, Sandage (ELS; 1962) tarafından ortaya konmuştur. ELS modeline göre, Galaksimiz yaklaşık 10^8 yılda çok büyük bir gaz kütesinin içe doğru çökmesi ve çöktükçe metal bakımından zenginleşmesi şeklinde oluşmuştur. Searle ve Zinn (SZ; 1978) ise Galaksimizin büyük bir gaz bulutunun kendi içine çökmesinden ziyade, metal içeriği bakımından farklı birkaç bulutun birleşmesiyle oluştuğunu ve küresel kümelerin yaşlarını göz önüne alarak bunun 10^8 yıldan daha uzun bir sürede gerçekleşmesi gerektiği fikrini ileri sürmüştür.

2.4. GALAKSİ MODELLERİ VE PARAMETRELERİNİN TARİHÇESİ

1980'li yıllardan itibaren Samanyolu'nun yapısını ortaya koymak amacı ile çeşitli galaksi modelleri oluşturulmuştur. Galaksi modelleri, Galaksimizdeki uzay yoğunluklarının, Galaktik koordinatlarının bir fonksiyonu olarak ifade edildiği matematiksel formüllerdir (Bahcall ve Soneira, 1980, Yoshii, 1982, Gilmore ve Reid, 1983, Robin ve Creze, 1986).

Samanyolu için yapılan ilk model Bahcall ve Soneira'ya (1980) ait disk ve halo bileşenlerinden oluşan *standart model*dir. Bu modelde ince disk bileşenine ait yoğunluk

kanununun, Galaksi merkezinden radyal ve Galaktik düzleme dik doğrultularda çift eksponansiyelli bir fonksiyon ile değiştiği kabul edilmektedir. 2000’li yılların başında yoğunluk kanununun mutlak parlaklığa bağlı olduğu ve parlak kadirler için eksponansiyel ve sönük kadirler için sech^2 fonksiyonu ile uyumlu olduğu gösterilmiştir (Karaali ve diğ., 2004; Bilir ve diğ., 2006a, b). Galaksi model parametreleri, Galaktik enlem ve boylama (Bilir ve diğ., 2008b) ve mutlak parlaklığa da (Karaali ve diğ., 2004; Bilir ve diğ., 2006b) bağlıdır. Ayrıca limit uzaklık ile de değişim göstermektedir (Karaali ve diğ., 2007). Farklı Galaktik enlem ve boylamlardaki yıldız alanları için hesaplanan Galaksi model parametrelerinin farklı oluşu, diskin flare (parlama) ve warp (burulma) etkisi ile açıklanabilir (López-Corredoira ve diğ., 2002; Momany ve diğ., 2006; Cabrera-Lavers ve diğ. 2007; Bilir ve diğ. 2008b, Yaz ve Karaali 2010). Yaklaşık 40 yıldır literatüre kazandırılan Galaksi model parametrelerinin bir tarihçesi disk ve halo bileşenleri için bu çalışmada derlenmiştir (bkz Tablo 5.1).

2.4.1. Disk

Bahcall ve Soneira (1980), Güneş civarındaki ışınma gücü fonksiyonunun (LF) tüm Galaksi boyunca geçerli olduğunu kabul ederek, disk ve halo olmak üzere iki bileşenden oluşan bir Galaksi modeli önerdiler. Onlara göre bu iki bileşen, 22. kadirten parlak olan tüm yıldız sayımı verilerini değişik yönlerde açıklamak için yeterliydi. Modellerinde disk yıldızlarını, yükseklik ölçeği 325 pc ve uzunluk ölçeği 4 kpc olan çift eksponansiyelli yoğunluk yasası ve halo yıldızlarını da efektif yarıçap ölçeği 5 kpc olan de Vaucoueurs $r^{1/4}$ profili ile gösterdiler. Halo yıldızlarının sayısal yoğunluğunun disk yıldızlarıninkine oranı ise 0.00125 (=1/800) olarak alınmıştır (Schmidt, 1975).

Yoshii (1982), Basel yıldız sayımları verilerine, Kapteyn Seçilmiş Alan (SA) SA57’deki kuzey Galaktik kutba yakın 2.61 derece karelik yıldız alanında, $G=19$ kadirten parlak U , G , R bantları için benzer bir Galaksi modeli fit etmiştir. Örnekte alt devlerden gelen kirlenmeler göz önüne alınarak mevcut diske yeni bir bileşen eklenmiş ve küresel kümelerdeki gibi parlak mutlak kadirlerle doğru giderken dik bir şekilde azalan bir LF fonksiyonu ortaya konmuştur. Bu bileşenin eksponansiyel yükseklik ölçeği 2 kpc ve normalizasyonu ise Schmidt’in normalizasyonunun 10 katı, Güneş civarında ise mevcut diskin 0.01-0.02 katı olarak bulunmuştur. Yoshii (1982)’nin halo

dediği bu bileşen aslında halo olmayıp, mevcut disk ile halo arasındaki bir başka bileşendir ve bu bileşen ara Pop II olarak adlandırılır.

Yoshii (1982)'nin bulguları, dikey yoğunluk profili eğiminin, Güney Galaktik Kutup yönünde $Z = 1-2$ kpc yüksekliğinde büyük bir değişime uğradığını fark eden Gilmore ve Reid (1983) tarafından desteklenmiştir. Gilmore ve Reid (1983), 18.24 derece karelik yıldız alanında V ve I bantlarını kullanarak fotometrik paralaks yöntemiyle, $I = 18$ kadirde parlak anakol yıldızlarının uzaklıklarını tayin etmiştir. Yıldız uzaklıklarının doğrudan ölçümü, LF'nin parlak kısmında, disk yakınındaki küresel kümelerde görüldüğü gibi, Galaktik düzlemden artan uzaklıkla birlikte yıldız sayı yoğunluğunun beklenenin aksine arttığını göstermiştir. Bunun üzerine mevcut diske ilaveten, eksponansiyel yükseklik ölçeği 1.45 kpc ve sayı yoğunluğu 0.02 olan ikinci bir bileşene ihtiyaç duyulmuştur. Bu ikinci bileşene kalın disk, mevcut diske de ince disk adı verilmiştir. Yoshii'nin (1982) model fit analizinden ve Gilmore ve Reid'in (1983) fotometrik paralaks yönteminden ayrı ayrı tespit edilen bu ara bileşene (kalın disk) olan ihtiyaç, Bahcall ve Soneira'nın (1980) iki bileşenli Galaksi modeli ile çatışıyordu. Bahcall ve Soneira (1984), ince ve kalın diskten oluşan bir modelin 20 kadirde sönük yıldızlar için renk dağılımını temsil edemeyeceğini iddia etmiştir. Bu bulgular ışığında Gilmore ve Reid (1983) ince disk, kalın disk ve halodan oluşan üç bileşenli Galaksi modelini literatüre önermiştir. Bahcall ve diğ. (1985), $G=19$ kadirde parlak olan tüm Basel RGU yıldız sayımı verilerinin analizinin, hem Bahcall ve Soneira'nın (1980) iki bileşenli, hem de Gilmore ve Reid'in (1984) üç bileşenli Galaksi modeliyle uyumlu olduğunu gösterdiler.

Kalın disk tartışmalarına bir çözüm getirebilmek amacıyla (Bahcall ve Soneira, 1984; Gilmore, 1984), daha duyarlı fotometrik ölçümler ile daha büyük gökyüzü bölgelerini içeren ve böylelikle yıldızların uzaysal dağılımındaki yerel dalgalanmaların en aza indirgendiği gökyüzü taramalarından alınan verilerin kullanılması önerilmiştir. Özellikle, kutup bölgelerine ait yıldız sayımı verileri uygundur; çünkü seçilen bu özel doğrultularda, daha parlak kadirlerdeki ince disk yıldızları yerini kalın disk yıldızlarına bırakmakta ve bu doğrultularda incelenen tüm yıldızlar Galaksi diskindeki yıldızlararası ortam ile daha az etkileşmektedir.

Stobie ve Ishida (1987), Kuzey Galaktik Kutup yakınlarındaki 20 derece karelik yıldız alanında (SA 57) $V=18$ kadirinden parlak yıldızların U , B , V fotometrik çalışmasını yapmıştır. Bu fotometrik verileri kullanan Yoshii ve diğ. (1987), ince diskin 0.02'sini oluşturan, yükseklik ölçeği 1 kpc ve dikey metal bolluğu gradyenti -0.1 dex/kpc olan bir kalın disk bileşeni olması gerektiği vurgulamıştır. Böylelikle kalın disk, Kuzey Galaktik Kutup (Yoshii ve diğ., 1987) ve Güney Galaktik Kutup (Gilmore ve Reid, 1983) bölgelerindeki yıldız sayımları yöntemiyle keşfedilmiş ve tanımlanmıştır. Galaktik kutup bölgeleri dışındaki yıldız alanları için oluşturulan yıldız yoğunluk profillerinin incelenmesiyle hesaplanan kalın diskin uzunluk ölçeği ($h_z > 2.5$ kpc) beklenen duyarlı sonuçları üretememiştir (Bahcall ve Soneira, 1984).

Kalın diskin yükseklik ölçeğinin ince diskinki ile aynı olduğu tahmin ediliyordu. Bu da daha farklı yönlerdeki gökyüzü taraması verilerine olan ihtiyacı doğurdu. Bu amaç doğrultusunda orta Galaktik enlemli, Galaksi merkezi ve bu merkeze zıt doğrultularda bulunan simetrik yıldız alanlarında gerçekleştirilecek yıldız sayımları kalın diskin yükseklik ölçeğinin belirlenmesinde anahtar rol oynayacaktı.

Çalışılmış en iyi kutup bölgeleri dışında (Chiu, 1980; Gilmore ve Reid, 1983; Kron, 1980; Stobie ve Ishida, 1987; Tyson ve Jarvis, 1979), kalın diskin etkin bir şekilde incelendiği bir başka çalışma da Gilmore ve diğ. (1985) tarafından Galaktik koordinatları $(l, b) = (37^\circ, -51^\circ)$ olan 17 derece karelik bir yıldız alanında $V = 19$ görünen kadirine kadar BVI fotometrik analizlerin yapıldığı çalışmadır. Bu çalışma dışında Yamagata ve Yoshii (1992), Galaksi merkezinin zıt doğrultusunda yer alan Galaktik koordinatları $(l, b) = (200^\circ, +59^\circ)$ olan ve 16 derece kare büyüklüğündeki SA 54 yıldız alanını, kalın diskin yapısal parametrelerini belirleyebilmek için analiz etmiştir. Bu çalışmada Galaktik düzlemden 4 kpc'lik bir limit uzaklığa kadar ulaşılmasına rağmen, ince ve kalın diskin yükseklik ölçekleri tayin edilememiştir. Geçen 20 yıl içerisinde ise derin gökyüzü tarama programlarının devreye girmesiyle birlikte, ince ve kalın diske ait yapısal parametreler birçok araştırmacı tarafından belirlenmiştir (Karaali ve diğ. 2004; Bilir ve diğ., 2006a). Fakat araştırmacılar özellikle kalın disk bileşenin yapısal parametrelerine karar verememişlerdir.

2.4.2. Halo

İlk modern yıldız sayım yöntemini kullanan Bahcall ve Soneira (1980) farklı doğrultularda gözlenen fotoğrafik plaklardan ölçtükleri yıldız parlaklıkları ve renklerini analiz ederek halo için eksen basıklık oranı ($\eta \cong 0.85$) ve yıldız sayı yoğunluğunu ($n = 1/800$) belirlemişlerdir. Bahcall ve Soneira'nın (1980) elde ettiği bulgulardan sonra literatürde yüksek Galaktik enlemli, farklı büyüklüklerdeki yıldız alanlarının analizinden halonun Güneş civarındaki yıldız yoğunluğu ve eksen basıklıklarıyla ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Literatürde yer alan söz konusu çalışmalar Karaali ve diğ. (2004) ve Bilir ve diğ. (2006a, b) tarafından derlenerek listelenmiştir. Bu listelerde halo için verilen eksen basıklık oranlarının $Z = 10$ kpc'ten küçük uzaklıklar için basık ($\eta \cong 0.60$), daha uzakta bulunan yıldızların çalışmaya katılmasıyla da daha küresel bir yapıya ($\eta \cong 1$) yaklaştığı görülmektedir. Güneş civarındaki halo yıldızlarının sayısı dikkate alındığında, her 1,000 ince disk yıldızına karşılık 1 veya 2 halo yıldızının bulunduğu gösterilmiştir.

SDSS'in devreye girmesiyle birlikte Galaktik yapı çalışmalarında bir Rönesans yaşanmıştır. Bu dönemin en önemli özelliği ince ve kalın diskin eksponansiyel yükseklik ölçekleri için ayrı kısıtlamalar getirilebilmesidir ki bunlar ince disk için 2-2.5 kpc ve kalın disk için 3-4 kpc'tir. Ayrıca ikisi de genişletilmiş bir halo içine gömülmüştür. Ayrıca belirtmek gerekir ki kalın disk için önerilen daha büyük yükseklik ölçeği diğer disk galaksilerinki ile mükemmel bir şekilde uyumludur ki bu da Galaksimizin birçok başka galaksiden biri olduğu görüşünü doğrulamaktadır (Yoachim ve Dalcanton, 2006).

Halodan kalın diske ve oradan da ince diske doğru giderken yükseklik ölçeğinin yavaş yavaş azalması, farklı yıldız popülasyonlarının gözlemlenen özelliklerinin galaksilerin oluşumundan itibaren geçen evrimsel süreçlerle yorumlanabileceği anlamına gelebilir. Kalın diskin yapısal parametreleri belirlenmeye devam ederken, kökeni de geniş bir biçimde tartışılmıştır. Bazı araştırmacılar kalın diski tamamen ayrı bir popülasyon olarak (Carney ve diğ., 1989; Gilmore ve Wyse, 1985; Gilmore ve diğ., 1989) değerlendirirken, bazıları da onu ince diskin yüksek hızlı ya da halonun düşük hızlı bir

kuyruğu olarak görmektedir (Norris, 1986; Norris ve Green, 1989).

Bileşenlerin kesin olarak ayırt edilebilmesi için kinematik dağılımlar, kimyasal bolluklar ve Galaksi'deki yıldızların yaşlarıyla ilgili daha derin bilgiye sahip olunması gerekmektedir. Bunun içinse, çok renkli fotometrik veriyi destekleyecek, dinamik ve kimyasal yapının detaylı olarak çalışılabilmesi için tayfsal gözlemlerin yapılması gereklidir. Böylece toplam metal bolluğu, yaş ve yıldızların uzaysal dağılımı hakkında yararlı bilgiler sağlanacaktır. Kalın disk çalışmaları, Galaksimizin ve diğer spiral galaksilerin oluşumu, evrimi ve yapısını anlamak için anahtar niteliğindedir.



3. MALZEME VE YÖNTEM

Bu tez çalışmasında, Galaksimizin orta Galaktik enlemli bir yıldız alanında biri sıg, diğeri derin, iki farklı fotometrik gökyüzü tarama programından seçilen F-G tayf türündeki anakol yıldızları kullanılarak, Galaksimize ait model parametrelerinin elde edilmesi hedeflenmiştir. Bu amaç doğrultusunda Galaktik koordinatları $(l, b) = (50^\circ, 50^\circ)$ olan 10 derece karelik bir yıldız alanına ait sıg parlaklıklar için, yakın kızılötesindeki gözlemleri içeren 2MASS JHK_s (Cutri ve diğ. 2003), derin (sönük) parlaklıklar için ise aynı bölgeye ait SDSS DR12 *ugriz* (Alam ve diğ., 2015) fotometrik verileri kullanılmıştır. Tez çalışmasındaki veriler her bir fotometrik sistem için ayrı ayrı derlenmiştir.

3.1. FOTOMETRİK VERİLER

3.1.1. SDSS

SDSS, Galaktik kuzey yarıkürede ($b > 30^\circ$) gök küresinin dörtte birini ve Galaktik güney yarıkürede ise gök ekvatoru boyunca (Aihara ve diğ., 2011) uzanan yaklaşık 300 derece karelik bir yıldız alanını sönük parlaklıkları içerecek şekilde tarayan fotometrik ve tayfsal bir taramadır. SDSS kataloglarındaki nokta kaynakların u , g , r , i ve z bandlarındaki sönük limit parlaklıkları, sırasıyla, 22.0, 22.2, 22.2, 21.3 ve 20.5 kadir iken, r bandının parlak kısmındaki limit 14 kadirdir. SDSS *ugriz* bantlarının rölatif fotometrik kalibrasyon duyarlılıkları %1 ile %2 aralığındadır (Padmanabhan ve diğ. 2008). Bu fotometrik duyarlılıklar sayesinde, nokta kaynakların fotometrik paralaksarı ve fotometrik metal bollukları istenen hassasiyette hesaplanabilmektedir. Ayrıca kuzey yarıkürenin sönük parlaklıklıklarını içeren bir gökyüzü atlası da SDSS web sitesinde yer almaktadır¹.

Bu çalışmada Güneş'ten uzak Galaktik bölgelerde yer alan yıldızların parlaklıkları SDSS-III (Eisenstein ve diğ., 2011) Data Release 12 (DR12) kataloğundan elde

¹ <https://skyserver.sdss.org/dr12/en/tools/chart/naviinfo.aspx>

edilmiştir (Alam ve diğ., 2015). Fakat tez çalışması sırasında SDSS DR13 (Albareti ve diğ., 2016) veri sürümü gerçekleştirilmiş olup, çalışmanın bütünlüğünün bozulmaması adına SDSS DR12'den alınan veriler ile çalışmaya devam edilmiştir. Zaten iki veri sürümü arasındaki gerçek farklılık SDSS'in alt programlarındaki gelişmelerden kaynaklanmaktadır.

Tez çalışmasındaki fotometrik veriler, merkezi Galaktik koordinatları $(l, b) = (50^\circ, 50^\circ)$ olan ve 10 derece kare büyüklüğündeki bir alan için SDSS DR12'in SQL sayfası yardımıyla elde edilmiştir¹. Veri çekiminde kullanılan kod aşağıdaki gibidir:

```
Select
objID, ra, dec, l, b, flags, psfMag_u, psfMag_g, psfMag_r, psfMag_i, psfMag_z, psfMagErr_u,
psfMagErr_g, psfMagErr_r, psfMagErr_i, psfMagErr_z, extinction_u, extinction_g, extinction_r,
extinction_i, extinction_z, u, g, r, i, z, err_u, err_g, err_r, err_i, err_z, dered_u, dered_g, dered_r,
dered_i, dered_z, probPSF, clean from PhotoObjAll
Where
l<=52 AND l>=48 AND b>=48 AND b<=52 AND clean=1 AND probPSF=1
```

Sorgu sonunda fotometrik veriler *txt* biçimindeki bir dosya olarak bilgisayara aktarılmıştır. Dosya içinde yıldız alanında belirlenen tüm nokta kaynakların ekvatorial koordinatları, sönmülemenden arındırılmış u_o, g_o, r_o, i_o, z_o parlaklıkları ve bu parlaklıklara ait fotometrik hatalar yer almaktadır. Sorgu sonunda 93,434 SDSS yıldızına ait veri elde edilmiştir.

3.1.2. 2MASS

2MASS, tüm gökyüzünün yakın kızılötesi atlasını oluşturmak ve atlasda yer alan nokta kaynakların $J = 15.8$, $H = 15.1$ ve $K_s = 14.3$ limit kadire kadar parlaklıklarını elde etmek üzere tasarlanmış bir tarama programıdır. Tarama sonucunda yaklaşık 471 milyon nokta kaynak için elde edilen ekvatorial koordinatlar ve yakın kızılötesindeki fotometrik veriler Cutri ve diğ. (2003) tarafından literatüre kazandırılmıştır. Katalogdaki sönük yıldızların parlaklıklarındaki ortalama hatalar 0.03 kadirinden az iken, nokta kaynakların konumlarındaki belirsizlikler birkaç 100 mas mertebesinde (Skrutskie ve diğ., 2006).

Tez çalışmasında merkezi Galaktik koordinatları $(l, b) = (50^\circ, 50^\circ)$ olan ve 10 derece kare büyüklüğündeki alanda yer alan yıldızların yakın kızılötesi fotometrik verileri

¹ <https://skyserver.sdss.org/dr12/en/tools/search/sql.aspx>

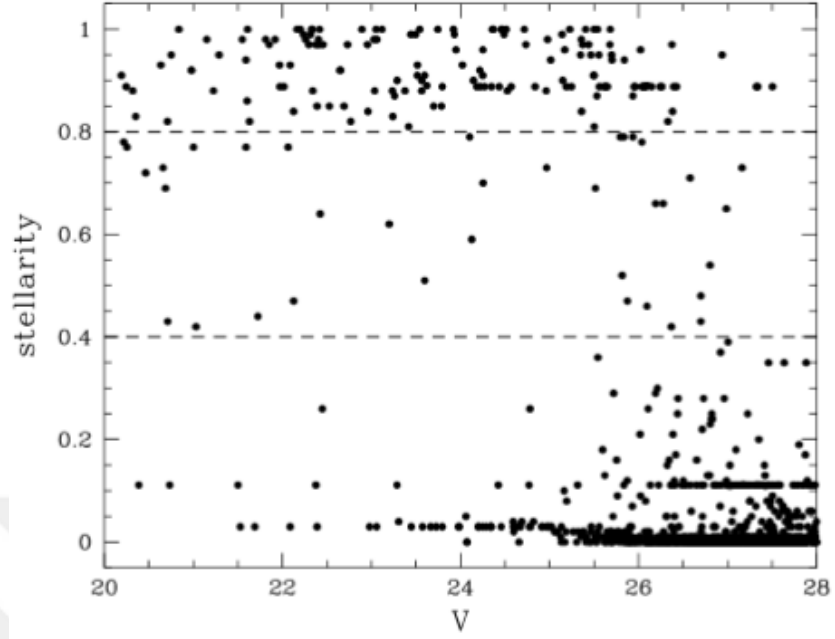
VizieR’de yer alan Cutri ve diğ.’nin (2003) nokta kaynak kataloğundan¹ alınmıştır. VizieR’in ilgili sayfasında yıldız alanın merkezi Galaktik koordinatları ve alan büyüklüğü girilerek yıldızların yakın kızılötesi fotometrik verilerine ulaşılmıştır. Bu veriler, yıldızların ekvatorial koordinatlarını, J , H , K_s parlaklıkları ile bu parlaklıklara ait hataları ve parlaklıkların kalite bilgisini içermektedir. Tez çalışmasında her bir parlaklıkta AAA olarak ifade edilen kaynaklar dikkate alınmıştır. Burada kullanılan A ifadesi kaynağın fotometrik sinyal/gürültü (S/N) oranının 20’den büyük olduğunu ifade etmektedir. Bu şartları sağlayan yıldızların sayısı 12,901’dir.

3.2. GALAKSİ DIŞI CİSİMLERİN AYIRIMI

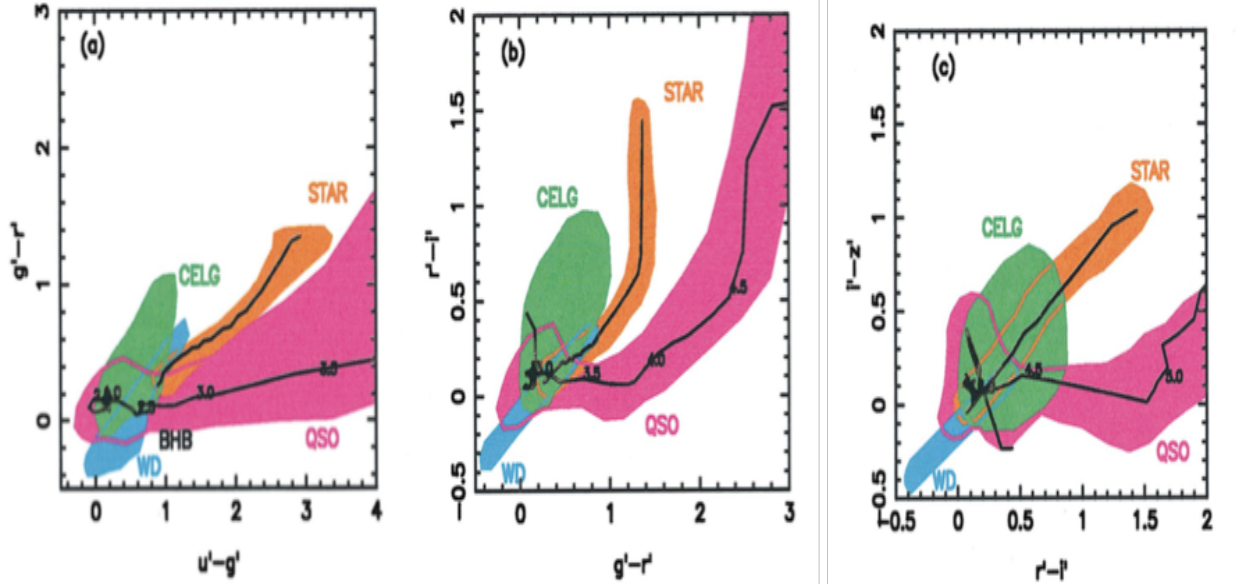
Derin fotometrik gökyüzü taramalarının devreye girmesiyle birlikte Galaksimize ait olmayan, sönük parlaklıklardaki nesnelerin ayrımı önemli olmaya başlamıştır. CCD’lerden elde edilen fotometrik verilerin morfolojik yapılarının analizi nokta kaynak (*yıldız*) ve yaygın kaynak (*galaksi*) ayırımını yapmaya imkân vermektedir. CCD görüntülerinde nokta yayılım fonksiyonuyla (PSF, Point Spread Function) nesnelerin parlaklıklarının ölçümüyle, incelenen nesnelerin nokta kaynaktan saçılmaları hakkında doğrudan bilgi sahibi olunmaktadır. Morfolojik hesaplamalarda *yıldızlımsılık indeksi* (YI) olarak bilinen ölçüm, nesnelerin Galaksimize ait olup olmadığına dair bilgi vermektedir. Andreuzzi ve diğ. (2002), NGC 188 açık kümesi doğrultusundaki yıldız alanının *Hubble Uzay Teleskobu* verilerini kullanarak, CCD görüntüsü üzerinde teşhis edilen her bir nesnenin morfolojik yapı parametresi olan YI değerlerini hesaplamış ve bunları V görünen parlaklığının bir fonksiyonu olarak incelemişlerdir. Şekil 3.1’den de görüleceği gibi $YI = 0.8$ ’den daha büyük değere sahip nokta kaynaklar *yıldız*, bu değer altında bulunan kaynaklar ise *kozmetik ışın* veya *galaksi* olarak sınıflandırılmıştır.

Çalışmamızda SDSS *ugriz* filtrelerinde gözlenen her bir nesne için YI indeks analizi yapılmış ve nesnelerin türleri belirlenmiştir. SDSS’deki fotometrik analizlerde yıldız olarak sınıflanan nesneler, SQL kodunda “*probPSF = 1*” olarak çağırılmaktadır. Çalışmada SDSS’in kullanıcılara sunmuş olduğu bu özellik dikkate alınmıştır (bkz; Bölüm 3.1.1’deki SQL kodu).

¹ <http://vizier.cfa.harvard.edu/viz-bin/VizieR?-source=II/246>



Şekil 3.1: NGC 188 açık kümesi doğrultusundaki nesnelerin yıldızlılık indeksi (YI) ile V görünen parlaklıkları arasındaki ilişki. $YI = 0.8$ 'den büyük nesneler *yıldız*, bu değerden küçük olanlar ise *kozmik ışın* veya *galaksidir*.



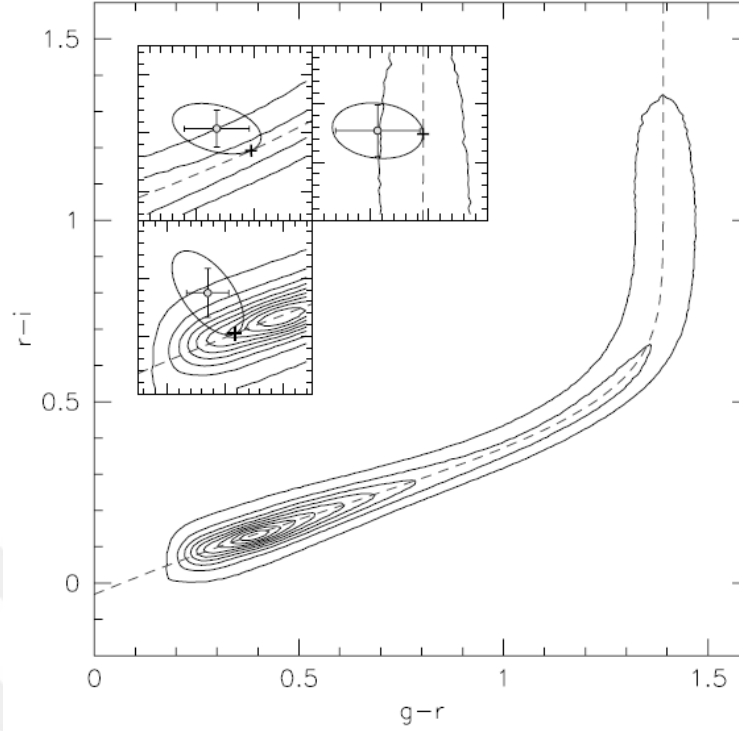
Şekil 3.2: SDSS fotometrisinde farklı türden nesnelerin ayırımında kullanılan iki-renk diyagramları: $(u'-g') \times (g'-r')$ (a), $(g'-r') \times (r'-i')$ (b) ve $(r'-i') \times (i'-z')$ (c).

Yıldızimsılık indeksi sönük parlaklıklardaki nesneleri belirlemek için yeterli değildir. Çünkü yıldız alanlarında sönük parlaklıklara doğru yıldızların morfolojik özelliklerine benzer özellikler taşıyan galaksi dışı kaynaklardan *kuazarlar* baskın olmaya başlar. Yıldız örneği içindeki kuazarların belirlenmesinde nesnelerin çok renk fotometrik ölçümlerinden yararlanılır. Fan (1999), sentetik fotometrik SDSS verilerini kullanarak çok renk uzaylarında farklı türden nesnelerin konumlarını belirlemiştir (Şekil 3.2). Şekil 3.2’den de görüleceği gibi özellikle erken ve orta tayf türündeki yıldız örneği ($g'-r' < 1$), yoğun emisyon çizgili galaksiler (CELG), beyaz cüce (WD) ve düşük z kayması gösteren kuazarlar (QSO) ile bir arada bulunmaktadır.

Chen ve diğ. (2001) SDSS fotometrisinde sönük parlaklıklarda düşük z kayması gösteren kuazarların yıldız örneğinden ayrılması için örneklerindeki nesnelere $u-g > 0.5$ kadir sınırlamasını getirmişlerdir. Juric ve diğ. (2008) ise, 6,500 derece kare büyüklüğündeki yıldız alanında, *ugriz* verilerini kullanarak Samanyolu’nun yapısına ait parametreleri belirlemişlerdir. Evrimleşmemiş yıldızların seçiminde $g-r \times r-i$ iki-renk diyagramındaki anakol yıldızlarının yerlerini dikkate alan Juric ve diğ. (2008), yaklaşık 48 milyon yıldızın $g-r \times r-i$ iki-renk diyagramını oluşturmuş ve bu diyagram üzerinde anakol yıldızlarının ağırlık noktalarını belirlemişlerdir. Şekil 3.3’ten görüleceği gibi yıldızların büyük kısmı erken ve orta tayf türünde yer almaktadır. İki-renk diyagramı üzerinde farklı bölgelerde yer alan yıldızların fotometrik hataları da aynı şeklin sol üst panelinde gösterilmiştir. Yıldızların ağırlık noktaları şekil üzerinde kesikli çizgiler ile gösterilmiş olup, bu çizginin analitik bağıntısı aşağıdaki gibidir:

$$g-r = 1.39 \{1 - \exp [-4.9(r-i)^3 - 2.45(r-i)^2 - 1.68(r-i) - 0.050]\} \quad (3.1)$$

Juric ve diğ. (2008) iki-renk diyagramı üzerinde, yıldızların fotometrik hatalarını da dikkate alarak, saçılmaların yıldız ağırlık noktalarından itibaren 0.3 kadiri geçmediğini deneysel olarak göstermiş ve yıldız örneğini renk uzaylarındaki konumlarına bağlı olarak belirlemişlerdir. Tez çalışmasında YI değerinin yanı sıra, Juric ve diğ.’nin (2008) kullandığı bu yöntem de dikkate alınacaktır.



Şekil 3.3: Juric ve diğ. (2008) tarafından SDSS fotometrisiyle incelenmiş yaklaşık 48 milyon yıldızın $g-r \times r-i$ iki-renk diyagramındaki konumları. Panelin sol üst köşesinde parlak ve sönük yıldızların fotometrik hataları gösterilmiştir. Parlak ve mavi yıldızlarda ($g-r < 1$) hata 0.02 kadir iken, sönük ve kırmızı yıldızlarda ($g-r \sim 1.4$) bu değer 0.06 kadire ulaşmaktadır.

3.3. ANAKOL VE EVRİMLEŞMİŞ YILDIZLARIN AYIRIMI

Tayfsal yöntemler kullanılarak yıldızların ışıma gücü sınıflarının belirlenmesi literatürdeki en güvenilir yoldur. Parlak ve sönük yıldızların tek tek tayfsal analizlerinin yapılabilmesi ise araştırmacılar için hem uzun bir süre gerektirir, hem de verilerin indirgenmesinde bir takım zorluklar içerir. Fotometrik çalışmalarda ise anakol ve evrimleşmiş yıldızların ayrımı çok renk fotometrik ölçümleriyle daha kolay yapılabilmektedir. Özellikle parlak kadirlerdeki yıldızların çok renk fotometrik ölçümleri, yıldızların ışıma gücü sınıflarının daha duyarlı belirlenmesini sağlamaktadır. Literatürde bu şekilde yapılmış birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalara, iki-renk diyagramlarında boşluk kriterini kullanarak dev/cüce ayrımı yapan Becker (1962), SDSS fotometrisinde dev ve cüce yıldızların ayrımını, bunların renk uzaylarındaki konumları için analitik ifadeler geliştirerek yapan Helmi ve diğ. (2003) ve yıldızların optik ve yakın kızılötesi parlaklıklarını kullanarak deneysel olarak ayırım yapan Bilir ve diğ. (2006c) örnek verilebilir.

3.3.1. SDSS Fotometrisinde Anakol ve Evrimleşmiş Yıldızların Ayrımı

Metalce fakir evrimleşmiş yıldızların analizi Galaksimizin dış bileşenlerinin yapısı ve oluşumu hakkında önemli bilgiler içerir. Helmi ve diğ. (2003) SDSS'in duyarlı fotometrik filtrelerini kullanarak yıldız alanlarındaki metalce fakir evrimleşmiş yıldızları belirleyen bir algoritma geliştirmişlerdir. Çalışmalarındaki yıldızları, Washington fotometrisinde gerçekleştirilen Spagetti Fotometrik Taraması'ndan (SPS; Morrison ve diğ., 2000) seçmişlerdir. Washington geniş band fotometrisinde (Canterna, 1976) kullanılan ($M-T_2$) ve ($M-51$) renkleri yıldızların sıcaklıklarının tayininde, 5200 Å'da bulunan Mg b ve MgH çizgi şiddetleri de (Geisler ve diğ., 1991; Paltoglou ve Bell, 1994) yıldızların ışıma gücü sınıflarının belirlenmesinde önemlidir. Helmi ve diğ. (2003), SPS ile SDSS'in örtüştüğü yıldız alanlarını karşılaştırarak yıldızların M , T_2 , 51, u , g , r , i , z parlaklıklarını içeren bir katalog oluşturmuşlardır. Seçilen yıldızların tayfsal gözlemleri yapılmış ve aşağıda verilen kriterler dikkate alınarak tayfsal analizler sonucu cüce ve dev yıldızlar belirlenmiştir. Yıldızların sınıflanmasında kullanılan kriterler şöyledir:

- 5200 Å civarındaki Mg b ve MgH çizgiler cüce yıldızların temel göstergesidir ve bu özellik $0.8 \leq B-V \leq 1.3$ (Flynn ve Morrison, 1990) renk aralığında bulunan dev yıldızlarda neredeyse hiç görülmez.
- CaI $\lambda 4227$ çizgisi genellikle cüce yıldızlarda bulunurken, dev yıldızlarda görülmez. Sadece $[Fe/H] \geq -1.5$ dex olan metalce fakir dev yıldızlarda görülebilir.
- 3950 Å civarındaki Ca II H ve K çizgileri, $[Fe/H]$ demir bolluğuna duyarlıdır (Beers ve diğ., 1999).

Helmi ve diğ. (2003) SPS'den seçtikleri dokuz dev yıldızı (Dohm-Palmer ve diğ., 2001), aynı yıldız alanında bulunan $r = 19$ kadirde daha parlak ve tüm bantlardaki (u , g ve r) fotometrik hataları 0.05'den küçük olan yaklaşık 19,000 yıldız ile birlikte $u-g \times g-r$ iki-renk diyagramı üzerinde kontürler yardımıyla göstermiştir (Şekil 3.4; sol panel). Dev yıldızların, yıldızların ağırlıklı olarak bulunduğu konuma göre belirgin bir şekilde saptığı görülmüştür. Dev yıldızların $u-g \times g-r$ iki-renk diyagramı üzerindeki konumlarını daha iyi ifade edebilmek için iki düzlem (P_1 , P_2) tanımlanmıştır. Burada P_1 ağırlıklı yıldız konumuna paralel olup, P_2 de bu konuma olan uzaklığı ölçmektedir (ayrıca bkz. Odenkirchen ve diğ., 2001; Willman ve diğ., 2002). Ölçümlerin merkezi

olarak $u - g \times g - r$ iki-renk diyagramı üzerinde en büyük yıldız yoğunluğunun bulunduğu $(u - g, g - r) = (1.21, 0.42)$ noktası seçilmiştir. Metalce fakir dev yıldızlar sınırlı bir bölgede bulundukları için, Helmi ve diğ. (2003) kalibrasyonun renk aralıklarını $1.1 \leq u - g \leq 2$ ve $0.3 \leq g - r \leq 0.8$ kadar ile sınırlamıştır. Bu işlem sonucunda aşağıdaki ifadeler elde edilmiştir.

$$P_1 = 0.910 (u - g)_0 + 0.415 (g - r)_0 - 1.28 \quad (3.2)$$

$$P_2 = -0.415 (u - g)_0 + 0.910 (g - r)_0 + 0.12 \quad (3.3)$$

Şekil 3.4'ün sağ panelinde ise 47,771 SDSS yıldızının $r \times P_2$ düzlemindeki konumları gösterilmiştir. Şekil üzerinde SDSS yıldızları sayı yoğunluğuna göre kontür çizgileriyle, tayfsal olarak ışımaya gücü sınıfı belirlenen dev ve anakol yıldızları, sırasıyla, kare ve üçgen sembolleriyle gösterilmiştir. SDSS yıldızlarının konumlarının r parlaklığına bağlı olduğu, P_2 renginin de sönük yıldızlara doğru daha kırmızılaştığı Şekil 3.4'ün sağ panelinden açıkça görülmektedir. P_2 renginin r parlaklığı ile doğrusal değişimi, verilere geçirilen fit ile düzeltilmiştir. Bu düzeltmeler parlak ve sönük r parlaklıklarında, sırasıyla 0.03 ve 0.05 kadirdir. Söz konusu düzeltmenin yapılmasının ardından, Helmi ve diğ. (2003) SPS'ye ithafen yeni bir s rengi tanımlamışlardır. Yeni renge ait hata yaklaşık olarak bir banttaki ortalama fotometrik hataya eşit olacak şekilde yeniden normalize edilmiştir. Buradan yeni s rengi şöyle tanımlanmıştır.

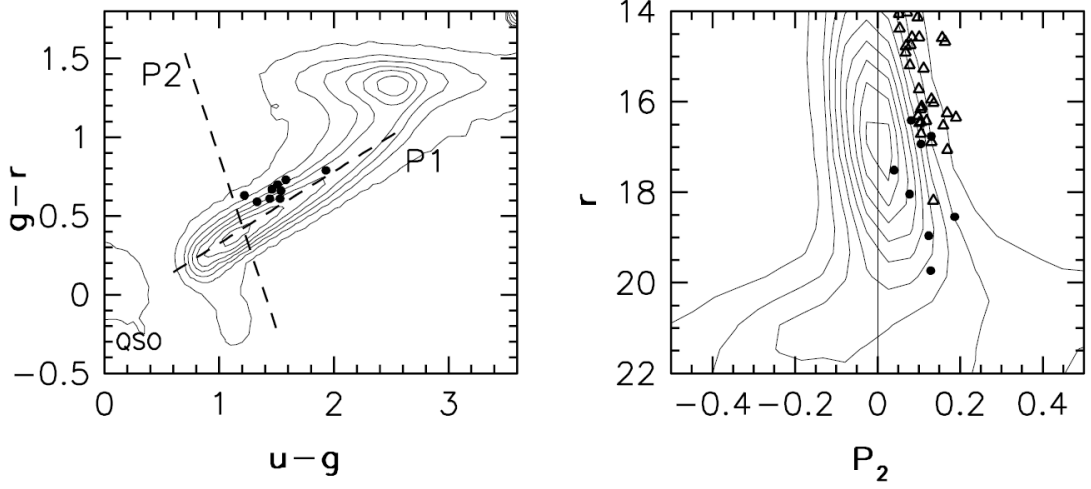
$$s = -0.249u + 0.794g - 0.555r + 0.24 \quad (3.4)$$

Helmi ve diğ. (2003) çalışmalarının son aşamasında SDSS alanlarındaki metalce fakir dev yıldızların seçilmesinde aşağıda verilen sınırlamaları oluşturmuştur:

- $r < 19$
- $-0.1 < P_1 < 0.6$ ($1.1 \leq u - g \leq 2$ ve $0.3 \leq g - r \leq 0.8$)
- $s > m_s + 0.05$

Burada m_s , s değerinin medyanı olup yaklaşık 0.025 kadirdir.

Tez çalışmasında SDSS verileri içindeki metalce fakir dev yıldızların belirlenmesinde Helmi ve diğ. (2003) tarafından geliştirilen sınırlamalar kullanılacaktır.



Şekil 3.4: SPS ile aynı yıldız alanında bulunan SDSS yıldızlarının $u - g \times g - r$ iki-renk (a) ve $r \times P_2$ renk-parlaklık (b) diyagramları. Her iki diyagramda SDSS yıldızları yıldız sayı yoğunluğunun bir fonksiyonu olarak kontür çizgileriyle, SPS’den seçilen ve tayfsal analizleri yapılarak ışıma gücü sınıfları belirlenmiş dev ve anakol yıldızları, sırasıyla, ($\bullet$) ve (Δ) üçgen sembolüyle gösterilmiştir.

3.3.2. 2MASS Fotometrisinde Anakol ve Evrimleşmiş Yıldızların Ayırımı

Bilir ve diğ. (2006c) optik ve yakın kızılötesi fotometrik verileri yıldızların tayfsal verileriyle bir araya getirerek, anakol ve evrimleşmiş yıldızların ayırımını yapabilecek bir yöntemi literatüre kazandırmışlardır. Çalışmalarında iki farklı tayfsal veri kullanmışlardır. İlk veri setinde yıldız alanlarından seçilen 196 cüce ve 156 dev yıldız (Cayrel ve diğ., 2001), ikinci veri setinde ise 101 dev yıldız bulunmaktadır (Ratnatunga ve Freeman, 1989). Işıma gücü sınıfları belirlenmiş bu yıldızların optik ve yakın kızılötesi (2MASS) verileri de literatürdeki kataloglardan derlenmiştir. Katalogtaki yıldızların V görünen parlaklıkları dikkate alındığında 8 ile 16 kadir aralığında bulundukları görülmüştür. Seçilen yıldızlar yüksek Galaktik enlemlerde bulundukları için fotometrik parlaklıklarına bir sönümlleme düzeltmesi uygulanmamıştır. Bilir ve diğ. (2006c) optik V bandı verilerini, yakın kızılötesi J , H ve K_s bant gözlem verileriyle ayrı ayrı incelemek üzere parlaklık-parlaklık diyagramlarını oluşturmuşlardır (Şekil 3.5). Araştırmacılar tayfsal olarak ayırımı yapılan anakol ve dev yıldızları parlaklık-parlaklık diyagramlarında farklı semboller ile göstermiş ve birbirleri içine karışmadıklarını görerek, her bir panel için anakol-dev yıldız ayırımını doğrusal bir fit ile ifade etmişlerdir:

$$J = 0.957 \times V - 1.079 \quad (3.5)$$

$$H = 0.931 \times V - 1.240 \quad (3.6)$$

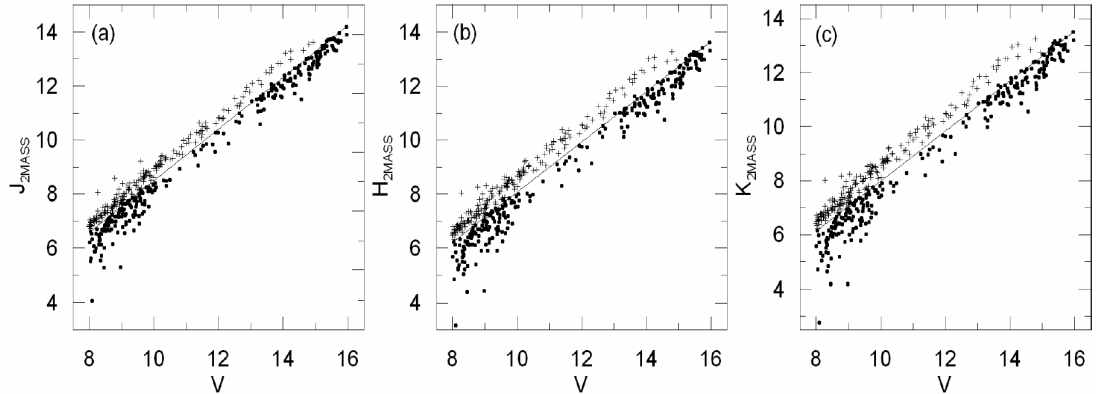
$$K_s = 0.927 \times V - 1.292 \quad (3.7)$$

Tez çalışmasında 2MASS verilerinden itibaren yıldız alanında bulunan evrimleşmiş yıldızların ayrımını yapabilmek için Bilir ve diğ.'nin (2006c) literatüre kazandırdıkları bu bağıntılar kullanılacaktır.

3.4. FOTOMETRİK DÖNÜŞÜM FORMÜLLERİ

Fotometrik sistemler arasında bir köprü görevini üstlenen dönüşüm formülleri farklı fotometrik sistemlerde çalışan araştırmacılar için önemlidir. Fotometrik dönüşüm formülleri iki fotometrik sistem arasındaki geçişlerin yapılabilmesine olanak vermekle birlikte, farklı fotometrik sistemlerde tanımlanan kalibrasyonların birbirleri cinsinden ifade edilmeleri açısından da önemlidir.

Tez çalışmasında SDSS ve 2MASS fotometrik verileri bir arada kullanılacağı için, bir grup fotometrik verinin diğeri açısından da ifade edilmesi söz konusu olacaktır. Bunun için Bilir ve diğ.'nin (2008c), Johnson-Cousins (*UBVRI*), SDSS (*ugriz*) ve 2MASS (*JHK_s*) fotometrik sistemlerinde anakol yıldızları için elde ettiği deneysel dönüşüm formülleri kullanılacaktır.



Şekil 3.5: Cayrel ve diğ. (2001) ve Ratnatunga ve Freeman'ın (1989) kataloglarından seçilen anakol ve evrimleşmiş yıldızların parlaklık-parlaklık diyagramları: (a) $J \times V$, (b) $H \times V$ ve (c) $K_s \times V$. Panellerdeki (+) ve (•) ile gösterilen semboller, sırasıyla, anakol ve dev yıldızları göstermektedir.

Bilir ve diğ. (2008c), öncelikle Stetson'ın (2000), Landolt (1992) alanlarında ve

gökyüzünün diğer yıldız alanlarında yaptığı CCD *UBVRI* fotometrik gözlemler neticesinde oluşturduğu 40,090 yıldız içeren katalogunu ana kaynak olarak kabul etmiştir. Stetson'ın (2000) katalogundaki yıldızların ekvatorial koordinatlarını SDSS DR5'deki (Adelman-McCarthy ve diğ., 2007) veriler ile eşleştiren araştırmacılar, her iki fotometrik sistemde verisi bulunan 3,798 yıldız olduğunu belirlemişlerdir. Bir sonraki adımda bu ortak yıldızların 2MASS nokta yıldız katalogundaki (Cutri ve diğ., 2003) karşılıkları araştırılmış ve ancak 1984 tanesinin her üç katalogda da bulunduğu görülmüştür. 2MASS katalogunda üç filtrede de yüksek *S/N* sahip yıldızların seçimiyle bu sayı 886'ya inmiştir. Katalogdaki yıldızlar farklı Galaktik enlemde bulundukları için, yıldızlararası ortamın neden olduğu sönmüleme ve kızarma miktarları Schlegel ve diğ.'nin (1998) kızarma haritaları kullanılarak tayin edilmiştir. Kızarma haritalarındaki veriler Galaksi sınırına kadar hesaplandığından, Bahcall ve Soneira'nın (1980) bağıntısı kullanılarak bu kızarma değerleri Güneş ile incelenen yıldız arasındaki uzaklık dikkate alınarak indirgenmiştir. Katalogdaki evrimleşmiş yıldızların ayrımı, Helmi ve diğ.'nin (2003) SDSS fotometrisi için geliştirdiği yöntem dikkate alınarak yapılmıştır. SDSS'in *ugr* verileri Karaali ve diğ.'nin (2005) fotometrik metal bolluğu kalibrasyonunda kullanılarak, katalogdaki yıldızların metal bollukları tayin edilmiştir. Konuyla ilgili ayrıntılı bilgiler Bilir ve diğ.'nin (2008c) çalışmasından elde edilebilir.

Bilir ve diğ. (2008c), katalogdaki yıldızları yıldızlararası ortamın neden olduğu etkilerden ve örnek içindeki evrimleşmiş yıldızlardan arındırarak, Johnson-Cousins ve SDSS verilerini, 2MASS verilerini ifade edecek şekilde iki-renk ve bir parlaklık değişkeni içeren formülleri tasarlamış ve anakol yıldızları için optik bölgeyle kızılötesi bölge arasındaki dönüşüm formüllerini elde etmişlerdir. Daha sonra bu dönüşümlerin terslerini de elde ederek kızılötesi bölgedeki verilerin optik karşılıklarını elde etmişlerdir. Fotometrik dönüşüm formüllerinin elde edilmesinde, yıldızların popülasyon türlerinin etkin oldukları metal bolluğu aralığındaki yıldızlar ile metal bolluğu değerlerinin dikkate alınmadığı tüm yıldızları içeren veri setleri kullanılmıştır.

Tez çalışmasında SDSS ile 2MASS fotometrik sistemleri arasında tüm anakol yıldızlarının dikkate alındığı aşağıdaki dönüşüm formülleri kullanılmıştır. Bu formüllerde SDSS parlaklık ve renkleri kullanılarak, *J*, *H* ve *K_s* parlaklıkları elde

edilmiştir.

$$(g - J)_0 = 1.379(g - r)_0 + 1.702(r - i)_0 + 0.518 \quad (3.8)$$

$$(g - H)_0 = 1.849(g - r)_0 + 1.536(r - i)_0 + 0.666 \quad (3.9)$$

$$(g - K_s)_0 = 1.907(g - r)_0 + 1.654(r - i)_0 + 0.684 \quad (3.10)$$

2MASS verilerinin SDSS fotometrik sistemine çevrilmesinde kullanılan ters dönüşüm formülleri de şu şekilde tanımlanmıştır:

$$(g - r)_0 = 1.951(J - H)_0 + 1.199(H - K_s)_0 - 0.230 \quad (3.11)$$

$$(r - i)_0 = 0.991(J - H)_0 + 0.792(H - K_s)_0 - 0.210 \quad (3.12)$$

3.5. ANAKOL YILDIZLARININ UZAKLIK TAYİNİ

Yıldızların en duyarlı uzaklık tayinleri trigonometrik paralaks ölçümlerinden gelir. Bu yöntem ancak Güneş civarında sınırlı bir uzay hacmindeki yıldızlar için yapılabilir. *Hipparcos* uydu verilerinin indirgenmesi sonucunda literatüre kazandırılan yakın yıldızların astrometrik verileri sayesinde yaklaşık 120,000 yıldızın uzaklıkları duyarlı şekilde ölçülebilmektedir (ESA, 1997; Perryman ve diğ., 1997). *Hipparcos* uydu verilerinin yayımlanmasından 10 yıl sonra, indirgeme aşamalarında ortaya çıkan sorunların giderilebilmesi için yeni geliştirilen bir algoritmayla yıldızların astrometrik verileri yeniden hesaplanmıştır. Bu veriler, van Leeuwen (2007) tarafından derlenerek yaklaşık 117,000 yıldız içeren bir katalogda toplanmıştır.

Bilir ve diğ. (2008a) yeniden indirgenen *Hipparcos* yıldızlarının astrometrik verileriyle (van Leeuwen, 2007) bu yıldızların optik ve yakın kızılötesi fotometrik verilerini bir araya getirerek, anakol yıldızları için yeni ışım gücü-renk bağıntılarını elde etmişlerdir. Bilir ve diğ. (2008a) *Hipparcos* yıldızlarının optik ve yakın kızılötesi renk-parlaklık diyagramlarını oluşturmuş ve anakol yıldızlarını seçebilmek için farklı ağır element bolluklarında ve yaşlarda bulunan Padova eş-yaş eğrilerini (Marigo ve diğ., 2008) renk-parlaklık diyagramına işaretlemişlerdir. Eş-yaş eğrilerinin sıfır yaş anakolu (ZAMS) ve anakolu terk etme sınırları (TAMS) dikkate alınarak, iki bölge arasında kalanlar *anakol yıldızları* olarak belirlenmiştir. Bu aşamadan sonra araştırmacılar,

yıldızların optik ve yakın kızılötesi mutlak parlaklıklarını renklerinin fonksiyonu olarak aşağıda verilen bağıntılarla ifade etmişlerdir.

$$M_V = -4.003(B - V)_0^2 + 0.837(V - I)_0^2 + 2.633(B - V)_0(V - I)_0 + 11.796(B - V)_0 - 5.691(V - I)_0 + 1.122 \quad (3.13)$$

$$M_J = -1.732(J - H)_0^2 - 7.734(H - K_s)_0^2 + 1.084(J - H)_0(H - K_s)_0 + 7.509(J - H)_0 + 2.208(H - K_s)_0 + 1.305 \quad (3.14)$$

Johnson M_V ve 2MASS M_J mutlak parlaklıklarındaki hatalar, sırasıyla 0.27 ve 0.19 kadirdir. Tez çalışmasında (3.14) bağıntısıyla verilen ışıma gücü-renk ilişkisi, 2MASS verileri olan anakol yıldızlarının mutlak parlaklıklarının tayininde kullanılacaktır. Yıldızların uzaklıkları da Pogson bağıntısıyla, $J_0 - M_J = 5 \log d - 5$, hesaplanacaktır. Burada J_0 , yıldızın sönmülemmeden arındırılmış yakın kızılötesi görünen J parlaklığını, M_J , J bandındaki mutlak parlaklığı ve d ise yıldızın Güneş'e uzaklığını göstermektedir. Geniş gökyüzü alanlarında gözlenen sönük nesnelerin çok bantlı CCD fotometrisiyle ölçebilen SDSS'in, diğer optik gökyüzü taramalarına göre üstün yanları bulunmaktadır. SDSS'in gözlem stratejisinden dolayı, gözlenen Galaktik nesnelerin %98'i anakol yıldızlarıdır (Finlator ve diğ., 2000). Bu nesnelerin literatürde iyi tanımlanmış renk-parlaklık bağıntıları bulunmaktadır (Hawley ve diğ., 2002; Williams ve diğ., 2002; Siegel ve diğ., 2002; West ve diğ. 2005; Karaali ve diğ. 2005, Bilir ve diğ. 2005). SDSS gözlemlerinden elde edilen parlaklık ve renk verileri, söz konusu ışıma gücü-renk bağıntılarında kullanılarak anakol yıldızlarının mutlak parlaklıkları tayin edilebilir. Pogson bağıntısıyla da anakol yıldızının Güneş'e uzaklığı hesaplanabilir.

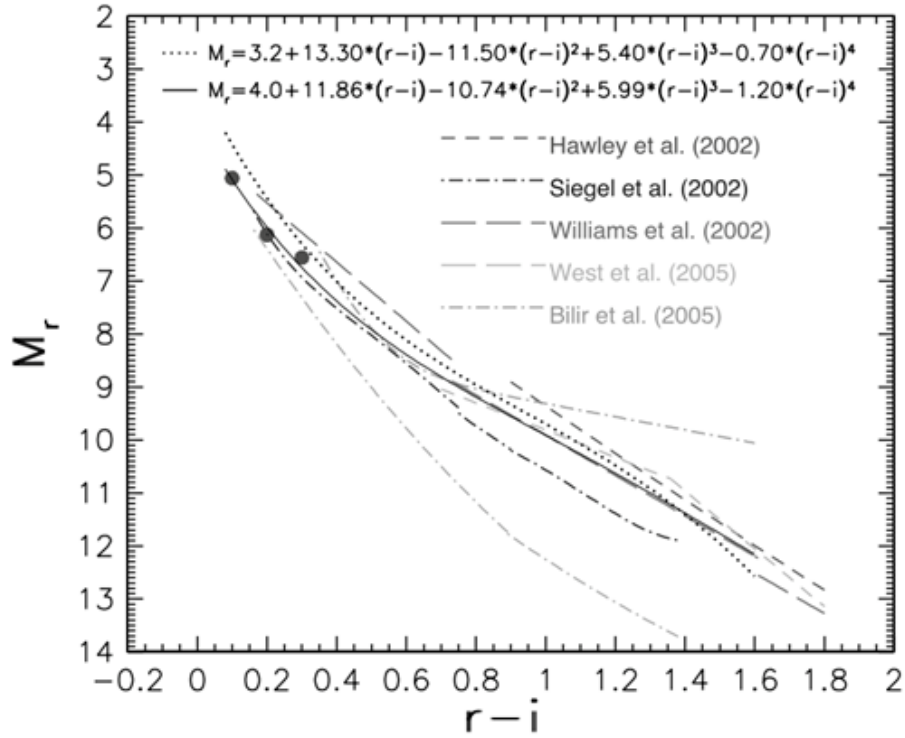
SDSS'in incelediği yıldızlar içinde optik olarak ayırt edilemeyen çiftler veya ışıma gücü belirlenememiş yıldızların bulunması söz konusudur. Bu tür yıldızların anakol yıldızlarıyla birlikte değerlendirilmesi büyük ölçekteki hesaplamaları çok etkilememektedir (Juric ve diğ., 2008).

Juric ve diğ. (2008), anakol yıldızlarının mutlak parlaklıklarının belirlenmesi için literatüre kazandırılan ışıma gücü-renk bağıntılarını kullanmışlardır. Bu bağıntılarda kullanılan veriler farklı fotometrik sistemlerde tanımlandıkları için, Ivezić ve diğ. (2007) tarafından elde edilen dönüşüm formülleri kullanılarak M_r mutlak parlaklığına ve

$r-i$ rengine çevrilmiştir. Araştırmacılar, renk-parlaklık diyagramı üzerinde verileri daha iyi ifade edilebilmek için, Ivezić ve diğ. (2004) tarafından elde edilen ağırlıklı yıldız nokta fitlerini kullanmışlardır. Bu yöntemler ile belirlenen gözlemsel sonuçlar ve fitler Şekil 3.6’da gösterilmiştir. Juric ve diğ. (2008) literatürdeki bu verilere ağırlıklar vererek yeni bir hibrit ışıma gücü-renk bağıntısı elde etmişlerdir. Bağıntı şu şekildedir:

$$M_r = 3.2 + 13.30(r - i) - 11.50(r - i)^2 + 5.40(r - i)^3 - 0.70(r - i)^4 \quad (3.15)$$

Geniş bir renk aralığında tanımlanan bu ışıma gücü-renk bağıntısı tez çalışmasında belirlenen SDSS anakol yıldızlarının uzaklıklarının tayininde kullanılacaktır. Mutlak parlaklıkları belirlenen anakol yıldızlarının Güneş’e uzaklıkları da Pogson bağıntısı kullanılarak hesaplanacaktır.



Şekil 3.6: Farklı araştırmacıların anakol yıldızları için elde ettiği ışıma gücü-renk ilişkileri. Juric ve diğ. (2008) tarafından üretilen bağıntı nokta-nokta çizgiyle gösterilmiştir. Diğer araştırmacılara ait bağıntılar şekil üzerinde farklı sembol kullanılarak gösterilmiştir.

3.6. GALAKSİ MODELİ

Samanyolu Galaksisi'nin belirli bir Galaktik enlem ve boylamında yer alan yıldız alanı için oluşturulan, gözlemsel yıldız sayı yoğunluklarını ifade eden matematiksel ifadeler *Galaksi modeli* olarak bilinir. Gözlemsel yöntemler kullanılarak oluşturulan yoğunluk profilleri literatürde tanımlanmış Galaksi modellerine fit edilerek Samanyolu'nun farklı bileşenlerine ait yapısal parametreler belirlenir. Bu da Galaksi yapısının ortaya konulmasında önemlidir.

3.6.1. Yoğunluk Kanunları

Literatürde genellikle disk bileşenleri için Galaksi merkezinden radyal doğrultuda ve Galaktik düzleme dik doğrultuda tanımlanmış çift eksponansiyelli bir yoğunluk kanunu kullanılırken, halo bileşeni için sadece radyal doğrultuda değişim gösteren tek eksponansiyelli yoğunluk kanunları kullanılır. Tez çalışmasında ince disk, kalın disk ve haloyu içeren üç bileşenli Galaksi modeli kullanılacaktır. İnce ve kalın disk için kullanılacak yoğunluk kanunu şu şekildedir:

$$D_i(x, Z) = n_i \exp\left(-\frac{Z}{H_{Z,i}}\right) \exp\left(-\frac{x-R_0}{h_{R,i}}\right) \quad (3.16)$$

Burada Z incelenen nesnenin Galaktik düzlemden dik uzaklığı, R_0 Güneş'in Galaksi merkezine uzaklığı (8 kpc kabul edilmiştir; Reid, 1993), $H_{Z,i}$ ve $h_{R,i}$ parametreleri, sırasıyla bileşenlerin yükseklik ve uzunluk ölçekleri, x incelenen nesnenin Galaksi merkezinden uzaklığının Galaktik düzlem üzerindeki izdüşüm uzaklığı ve i alt indeksi de disk bileşenlerini göstermektedir. Buna göre $i = 1$ ve $i = 2$, sırasıyla ince disk ve kalın diski ifade etmektedir. n_i parametresi disk bileşenlerinin Güneş civarında normalize edilmiş sayı yoğunluklarıdır.

Halo bileşeninin yoğunluk kanunu için de Vaucouleurs (1948) bağıntısı tercih edilmiştir:

$$D_s(R) = \frac{n_s \exp\left\{10.093\left[1 - (R/R_0)^{1/4}\right]\right\}}{(R/R_0)^{7/8}} \left(1 - \left(\frac{0.08669}{(R/R_0)^{1/4}}\right)\right) \quad (3.17)$$

Burada n_s , haloya ait yerel uzay yoğunluğu; R , uzay yoğunluğunun hesaplandığı bölgenin Galaksi merkezine olan uzaklığı ($R = [x^2 + (Z/\kappa)^2]^{1/2}$); κ , Galaksi halosunun

basıklığı; x ise incelenen nesnenin Galaksi merkezine olan uzaklığının Galaktik düzlem üzerindeki izdüşümüdür.

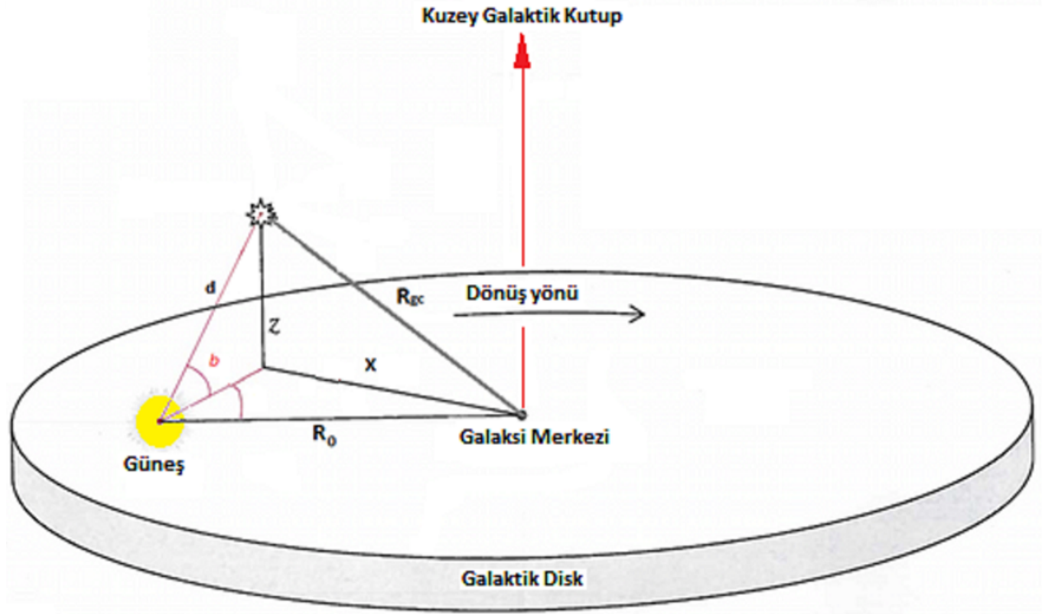
$$x = \left[R_0^2 + r^2 \cos^2 b - 2R_0 r \cos b \cos l \right]^{1/2} \quad (3.18)$$

Burada, b ve l sırasıyla, incelenen bir yıldız alanının Galaktik enlem ve boylamıdır. Toplam uzay yoğunluk (ρ_{top}) değerinin hesaplanmasında aşağıda verilen bağıntı kullanılmaktadır:

$$\rho_{top}(r) = \rho_1(r) + \rho_2(r) + \rho_s(r) \quad (3.19)$$

Burada ρ_1 ve ρ_2 , sırasıyla, ince ve kalın diskin, ρ_s ise halonun, belli bir r uzaklığındaki uzay yoğunluklarını ifade etmektedir.

Galaksi modellerinin oluşturulmasında kullanılan bir yıldız alanının Galaksi'deki temsili konumu Şekil 3.7'de gösterilmiştir.



Şekil 3.7: Bir yıldız alanının Galaksi'deki konumunu gösteren temsili bir çizim.

3.6.2. Gözlemsel Yıldız Yoğunluklarının Hesaplanması

Seçilen bir yıldız alanı doğrultusunda gözlemsel yıldız yoğunluklarının hesaplanması için aşağıda verilen bir dizi bağıntı kullanılır:

$$D = \frac{N}{\Delta V_{1,2}} \quad (3.20)$$

$$\Delta V_{1,2} = \left(\frac{\pi}{180}\right)^2 \left(\frac{\square}{3}\right) (r_2^3 - r_1^3) \quad (3.21)$$

Burada D yıldız sayı yoğunluğunu göstermekte olup, birim mutlak parlaklık aralığı için iki ardışık uzaklık arasında bulunan yıldız sayısının (N), bulunduğu uzay hacmine ($\Delta V_{1,2}$) bölünmesiyle elde edilir. Yıldız alanı doğrultusunda belli bir katı açı içinde gökyüzüne bakıldığında, seçilen ilk iki ardışık (r_1, r_2) uzaklıkta oluşan üç boyutlu şekil bir piramittir. Derin uzaya gidildikçe oluşan üç boyutlu şekil kesik piramit şeklini alır ve bu şeklin hacmi (3.21) bağıntısıyla hesaplanır. Bu bağıntıda verilen $\square$ sembolü, yıldız alanının büyüklüğünü; r_1 ve r_2 , ardışık minimum ve maksimum uzaklıkları ve $\Delta V_{1,2}$, r_1 ve r_2 uzaklık aralıklarına karşılık gelen uzaysal hacmi gösterir. Derin uzaya doğru gidildikçe uzaysal hacim büyüdüğü için, hesaplanan yıldız sayı yoğunluğu çok küçülür. Bu değeri daha iyi ifade edebilmek için literatürde D^* sembolüyle gösterilen aşağıdaki yıldız sayı yoğunluğu bağıntısı kullanılır:

$$D^* = \log D + 10 \quad (3.22)$$

D^* yıldız sayı yoğunluğunun logaritmik değerini göstermektedir. Gözlemsel yıldız yoğunluk profillerinin oluşturulmasında, yatay ekseninde Güneş'e uzaklık veya Galaktik düzlemden dik uzaklık, dik ekseninde ise logaritmik yıldız sayı yoğunluğu (D^*) kullanılır. Her bir uzay hacmi için elde edilen yıldız sayı yoğunluğuyla kesik piramidin kütle merkezine denk gelen uzaklığın hesaplanmasıyla (r^*), yıldız yoğunluk profilleri oluşturur. Burada r^* kesik piramidin kütle merkezinin uzaklığıdır ve aşağıdaki bağıntıyla verilir:

$$r^* = \left[\frac{r_2^3 - r_1^3}{2} \right]^{1/3} \quad (3.23)$$

Kütle merkezinin Galaktik düzlemden uzaklığı ise $z^* = r^* \sin b$ bağıntısıyla hesaplanır. Burada b yıldız alanının Galaktik enlemidir.

3.6.3. Galaksi Model Parametrelerinin Hesabı

Galaksi model parametreleri, seçilen yoğunluk kanunlarına yıldız alanından hesaplanan gözlemsel yoğunluk profillerinin fit edilmesiyle belirlenir. Yoğunluk kanunlarındaki parametreler; ince ve kalın diskin Güneş civarındaki yoğunluk değeri (n_1, n_2), uzunluk (h_{R1}, h_{R2}) ve yükseklik ölçekleri (H_{Z1}, H_{Z2}) ve halonun Güneş civarındaki yoğunluk değeri (n_3) ile halonun basıklık oranıdır (κ). Bu parametreler geniş bir değer aralığı içinde hassas adımlar ile hesaplanır. Bu şekilde gerçekleşen her bir işlem bilgisayarda yapılacak hesaplama zamanını oldukça artırmaktadır.

Hesaplamalarda gözlem-teori uyumunun belirlenmesi için ki-kare (χ^2) yöntemi kullanılmaktadır. Geniş bir parametre aralığındaki her bir adım için tek tek hesaplanarak oluşturulan teorik yoğunluk değerleri, gözlemsel yoğunluk değerleriyle aşağıda verilen ki-kare analizine tabii tutulur:

$$\chi^2 = \sum \frac{(\text{gözlem-teori})^2}{\text{teori}} \quad (3.24)$$

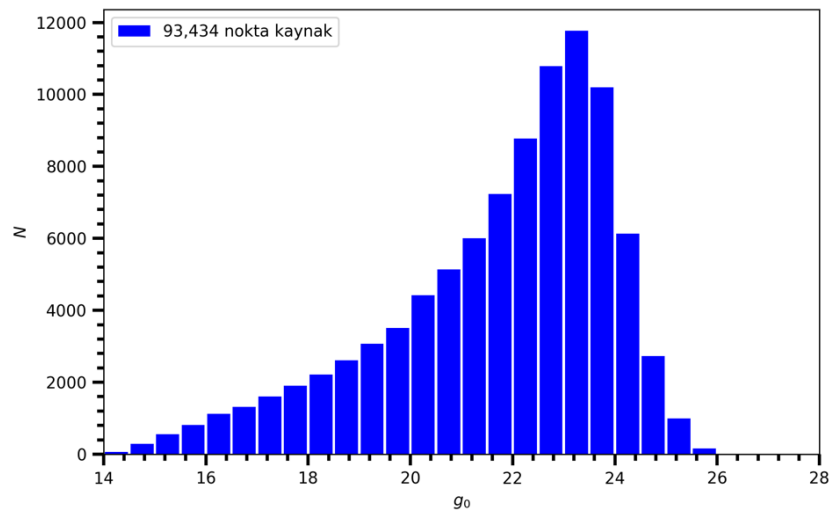
En iyi model parametrelerinin belirlenmesinde gözlemsel ile teorik yoğunluklar karşılaştırılarak, hesaplanan milyonlarca model içinde *en küçük ki-kare* değerli model dikkate alınır. Böylece üç bileşenli Galaksi modelinin yapısal parametreleri belirlenir.

4. BULGULAR

Tez çalışmasında iki farklı gökyüzü tarama programından elde edilmiş fotometrik veriler kullanılarak, seçilen bir yıldız alanı doğrultusundaki Galaktik yapı parametreleri hesaplanmıştır. Bu işlemlerin yapılabilmesi için her iki fotometrik sistemdeki anakol yıldızlarının iyi tanımlanmış ve uzaklıklarının hassas yöntemler ile belirlenmiş olması gerekmektedir. Anakol yıldızlarının seçimi karmaşık süreçler içerdiğinden her bir fotometrik sistem için ayrı ayrı yapılmıştır.

4.1. SDSS FOTOMETRİK SİSTEMİNDE ANAKOL YILDIZLARININ SEÇİMİ

Tez çalışmasındaki sönük fotometrik veriler, merkezi Galaktik koordinatları $(l, b) = (50^\circ, 50^\circ)$ olan ve 10 derece kare büyüklüğündeki bir yıldız alanı için SDSS DR12'in SQL sayfasına Bölüm 3.1.1'de verilen kod yazılarak elde edilmiştir. Sorgulama sonucunda, görünen parlaklıkları $14.24 < g_0 < 29.41$ kadir aralığında bulunan 93,434 nokta kaynak listelenmiştir. Bu kaynakların g_0 görünen parlaklığına göre frekans dağılımları Şekil 4.1'de gösterilmiştir. SDSS gözlemlerinde kullanılan poz süresinden ($t = 53.9$ sn) dolayı $g_0 = 23$ kadirde bir maksimum oluştuğundan sonra, sönük parlaklıklara doğru bir azalma görülmektedir.

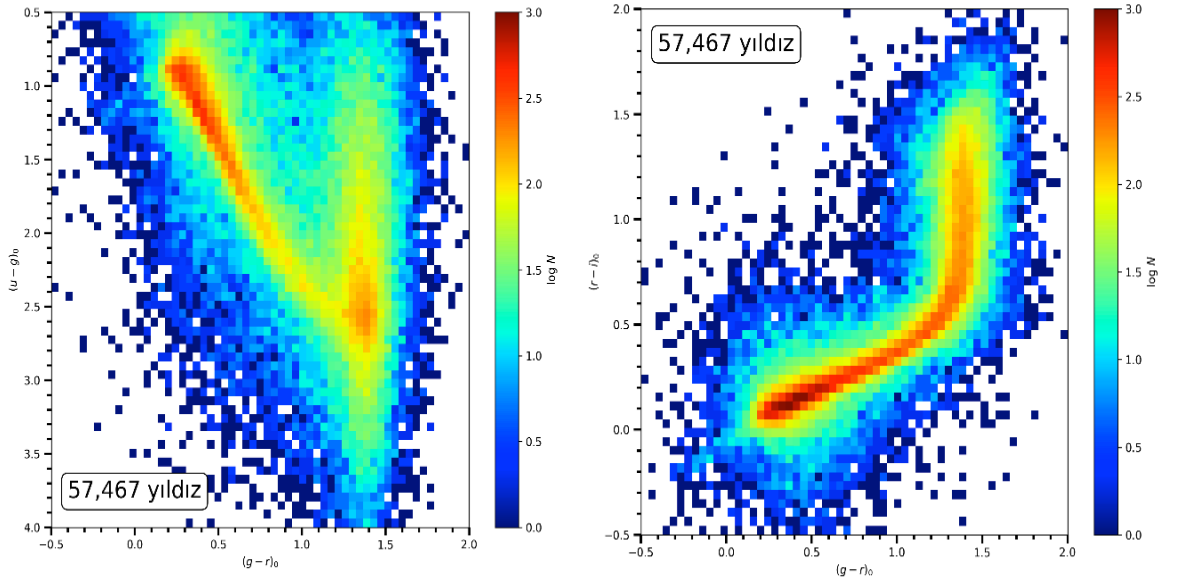


Şekil 4.1: Merkezi Galaktik koordinatları $(l, b) = (50^\circ, 50^\circ)$ olan 10 derece kare büyüklüğündeki yıldız alanında SDSS fotometrik verilerine ulaşılan nokta kaynakların g_0 görünen parlaklıklarının frekans dağılımı.

Veri seti içindeki fotometrik hataları büyük yıldızlar ile düşük z -kayması gösteren kuazarların örnekten çıkartılması için, g_0 görünen parlaklığına $14 < g_0 < 23$ kadir ve $(u - g)_0 > 0.5$ kadir (Chen ve diğ., 2001) sınırlamaları getirilmiş ve bu sınırlamalar sonucu yıldız sayısı 57,467 olmuştur.

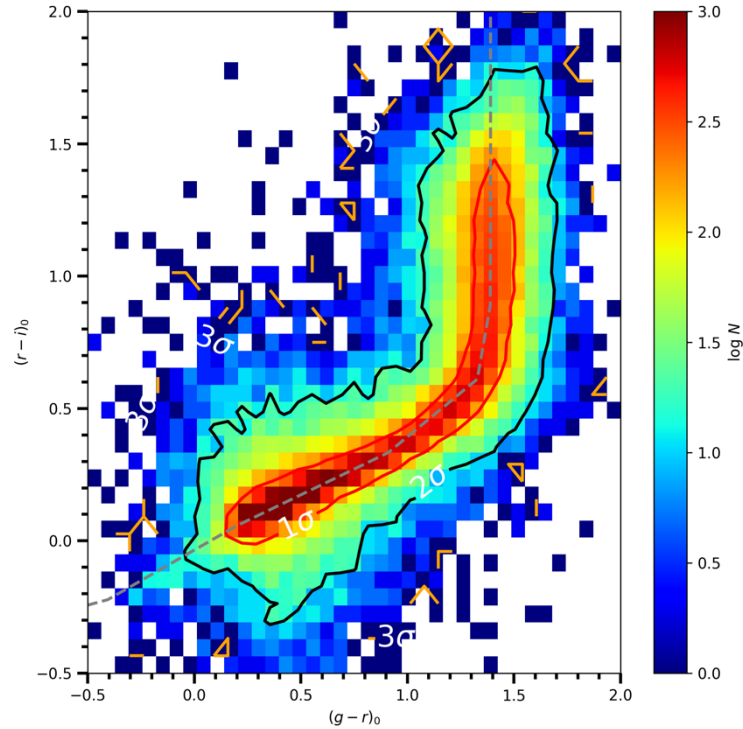
57,467 yıldızın $(u - g)_0 \times (g - r)_0$ ve $(g - r)_0 \times (r - i)_0$ iki-renk diyagramlarındaki konumları yıldız sayı yoğunluğuna göre Şekil 4.2’de gösterilmiştir. Panellerde kırmızı renk ile gösterilen yoğun bölgeler anakol yıldızlarının bulunduğu yerleri ifade etmektedir (Fan, 1999). Şekilden de görüleceği gibi anakol bölgesinin dışında farklı ışımaya gücünde veya büyük z -kayması gösteren kuazarların da hâlâ veri seti içinde bulunduğu görülmektedir.

Farklı türden nesnelerin örnekten çıkartılması için Juric ve diğ.’nin (2008) geliştirdiği ve Bölüm 3.2’de bahsedilen yöntem dikkate alınmıştır. Bu yöntemde göre yıldızların $(g - r)_0 \times (r - i)_0$ iki-renk diyagramı üzerinde yıldız ağırlık noktaları belirlenerek, bu merkezlerden itibaren 0.3 kadir uzaklığı içinde bulunan nesneler fotometrik ölçümlerine göre *yıldız* olarak kabul edilmiştir.



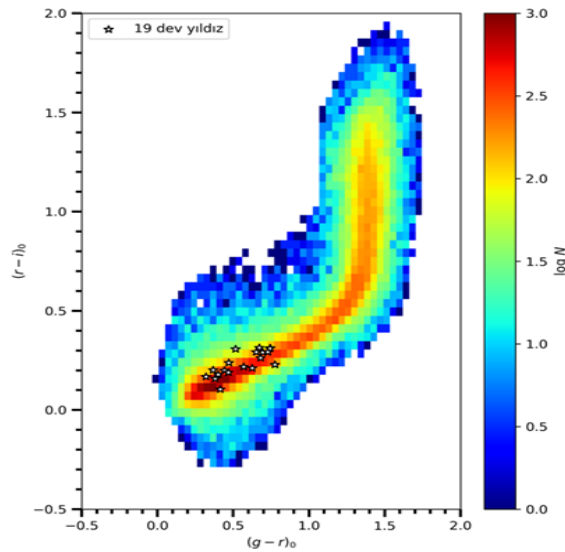
Şekil 4.2: Fotometrik hatalar ve düşük z -kayması gösteren kuazarların örnekten çıkartılması sonucu kalan 57,467 yıldızın $(u - g)_0 \times (g - r)_0$ (sol panel) ve $(g - r)_0 \times (r - i)_0$ (sağ panel) iki-renk diyagramlarındaki konumları. Şekillerin sağ kısımlarında bulunan renk ölçeği logaritmik yıldız sayılarını gösterir.

Tez çalışmasında yıldız örneğinin daha duyarlı seçilebilmesi için Juric ve diğ.'nin (2008) yöntemi geliştirilerek kullanılmıştır. Öncelikle örnekte bulunan nesneler ile Juric ve diğ.'nin (2008) (3.1) bağıntısıyla verilen yıldız ağırlık noktaları $(g-r)_0 \times (r-i)_0$ iki-renk diyagramları üzerine işaretlenmiştir. Bununla birlikte, yıldız ağırlık noktalarının merkezlerinden itibaren yıldız sayıları aynı diyagram üzerinde, normal dağılıma uyduğu varsayılarak, 1σ , 2σ ve 3σ 'ya karşılık gelen kontürler ile gösterilmiştir (Şekil 4.3). Tez çalışmasında, veri seti içindeki yıldız örneğinin oluşturulması için $\pm 2\sigma$ değerleri arasında kalan nesneler tercih edilmiştir. Bu şartlar altında yıldız olarak sınıflanan nesnelerin sayısı 55,458'dir. Juric ve diğ.'nin (2008) yıldız ağırlık noktalarından itibaren 0.3 kadirlik uzaklık içinde kalan nesneleri yıldız olarak kabul etme varsayımı, çalışmamızdaki $\pm 2\sigma$ değerleri arasında kalan nesnelerin $(g-r)_0 \times (r-i)_0$ iki-renk diyagramı üzerindeki konumlarıyla uyumludur.

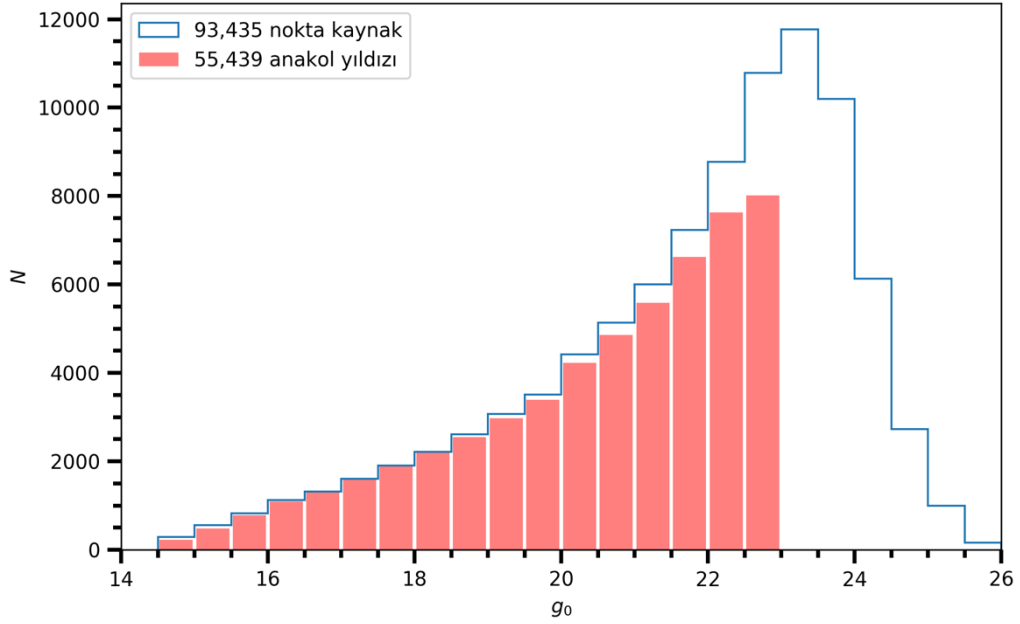


Şekil 4.3: Nokta kaynak olarak sınıflanan nesnelerin yıldız sayı yoğunluğuna göre oluşturulmuş $(g-r)_0 \times (r-i)_0$ iki-renk diyagramı. Şekil üzerinde kesikli çizgi Juric ve diğ.'nin (2008) yıldız ağırlık noktalarını, kırmızı, siyah ve turuncu renk ile gösterilen çizgiler de, sırasıyla, yıldız yoğunluklarının 1σ , 2σ ve 3σ değerleri içinde kalan nesneleri göstermektedir. Yıldız sayı yoğunlukları şeklin sayı tarafından gösterilen renk ölçeğiyle gösterilmiştir.

Yukarıda bahsedilen birçok sınırlama sonucu oluşturulan yıldız örneği farklı ışıma gücündeki yıldızları içermektedir. Bilindiği gibi yıldızlar yaşantılarının büyük kısmını (%90) anakolda geçirirken, geriye kalan ömürlerini HR diyagramının evrimleşmiş bölgesinde sürdürürler. Bu da yıldız alanlarında istatistiksel olarak anakol ve evrimleşmiş yıldızların bulunma olasılıklarının daha fazla olacağı anlamına gelir. Tez çalışmasında anakol yıldızları kullanılarak Galaksi model parametreleri elde edileceği için, yıldız örneğinde bulunan evrimleşmiş yıldızların istatistik dışı bırakılması gerekmektedir. Çalışmada evrimleşmiş yıldızların (dev) belirlenmesinde Bölüm 3.3.1’de bahsedilen Helmi ve diğ.’nin (2003) yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde tüm yıldızların SDSS fotometrisindeki parlaklık ve renk verileri dikkate alınmakta ve (3.1) ve (3.3) bağıntıları kullanılarak P_1 ve s parametreleri hesaplanmaktadır. Tez çalışmasında SDSS verileri içindeki dev yıldızların belirlenmesinde ise $r < 19$, $0.1 < P_1 < 0.6$, $s > m_s + 0.05$ sınırlamaları getirilerek 19 aday dev yıldız olarak belirlenmiştir. Bu evrimleşmiş yıldızlar $(g - r)_0 \times (r - i)_0$ iki-renk diyagramı üzerinde yıldız sembolüyle Şekil 4.4’te gösterilmiştir. Evrimleşmiş yıldızların istatistik dışı bırakılmasıyla SDSS örneği içinde 55,439 anakol yıldızı kalmıştır. Farklı yöntemler kullanılarak tez çalışmasından çıkartılan kaynaklar ile tüm nokta kaynakları içeren örneğin g_0 görünen parlaklık histogramlarının karşılaştırılması Şekil 4.5’te verilmiştir.



Şekil 4.4: SDSS anakol ve evrimleşmiş yıldızlarının $(g - r)_0 \times (r - i)_0$ iki-renk diyagramı üzerindeki konumları. Anakol yıldızları yıldız sayı yoğunluklarıyla, evrimleşmiş yıldızlar ise (★) sembolüyle gösterilmiştir.



Şekil 4.5: Yıldız alanı doğrultusunda belirlenen 93,434 nokta kaynak (içi boş çubuklar) ile farklı yöntemler kullanılarak ayrımı yapılan 55,439 anakol yıldızının (içi dolu çubuklar) g_0 görünen parlaklığına göre frekans dağılımı.

4.2. 2MASS FOTOMETRİK SİSTEMİNDE ANAKOL YILDIZLARININ SEÇİMİ

Tez çalışmasındaki parlak yıldızlar 2MASS’de yayımlanan nokta kaynak kataloğundan seçilmiştir (Cutri ve diğ., 2003). Bunun için, seçilen yıldız alanının merkezi Galaktik koordinatları ($l = 50^\circ$, $b = 50^\circ$) ve alanın büyüklüğü (10 derece kare) Vizier veri tabanında bulunan Cutri ve diğ.’nin (2003) nokta kaynak kataloğuna¹ girilmiştir. Sorgulama sonucunda üç fotometrik bantta fotometrik kalite bilgisi “AAA” olan 12,901 yıldızın ekvatorial koordinatları, JHK_S parlaklıkları ve bu parlaklıkların hatalarına ulaşılmıştır. Yakın kızılötesinde gözlenmiş bu kaynakların tümü yıldız olarak sınıflanmış olup ışıma gücü sınıfları hakkında bir veriye ulaşılamamıştır.

Yıldızların yakın kızılötesi parlaklıklarını yıldızlararası ortamın neden olduğu sönmüleme etkisinden arındırmak için 12,901 yıldızın ekvatorial koordinatları, Schlafly ve Finkbeiner’in (2011) toz haritaları² üzerine işaretlenmiş ve bulundukları doğrultudaki

¹ http://vizier.u-strasbg.fr/viz-bin/VizieR-3?-source=II/246/out&-out.max=50&-out.form=HTML%20Table&-out.add=_r&-out.add=_RAJ_DEJ&-sort=_r&-oc.form=sexa

² <http://irsa.ipac.caltech.edu/applications/DUST/>

A_V değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan A_V değerlerinin 3.1 katsayısına bölünmesiyle de her yıldız için $E(B-V)$ renk artıkları belirlenmiştir. Yakın kızılötesi parlaklıkların sönmüleme etkisinden arındırılmasında ise aşağıdaki bağıntılar kullanılmıştır:

$$J_0 = J - 0.887 \times E(B - V) \quad (4.1)$$

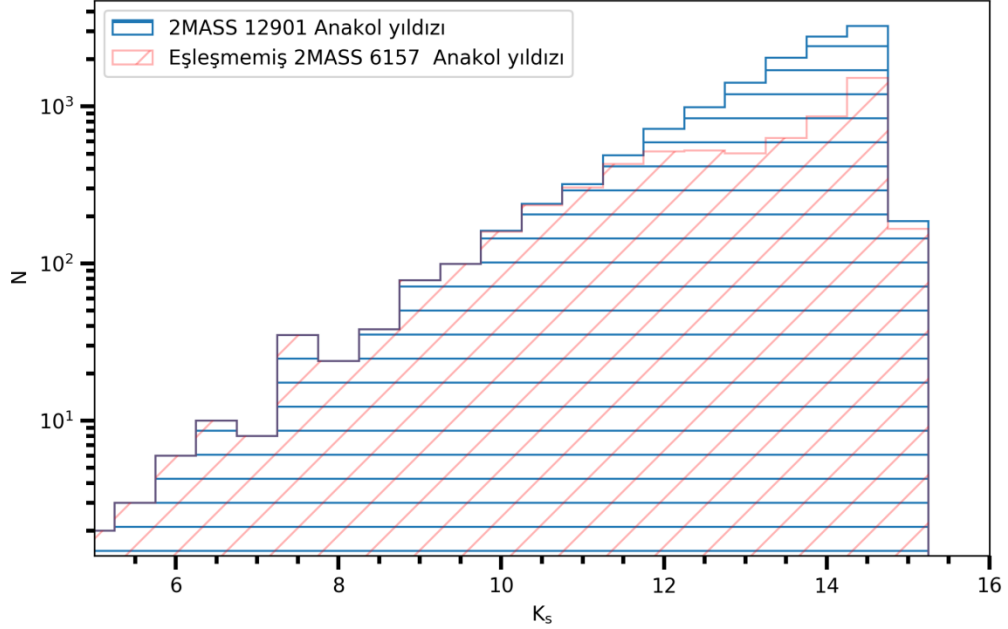
$$H_0 = H - 0.565 \times E(B - V) \quad (4.2)$$

$$K_{S_0} = K_S - 0.388 \times E(B - V) \quad (4.3)$$

Burada, yakın kızılötesi filtreler için sönmülemeye ait katsayılar Fiorucci ve Munari'den (2003) alınmıştır. Yıldız alanı doğrultusunda 2MASS filtreleriyle gözlenen 12,901 yıldızın her bir filtredeki sönmülemeden arındırılmış parlaklıkları (4.1) - (4.3) bağıntıları kullanılarak hesaplanmıştır.

Çalışılan yıldız alanının Galaksi model parametrelerinin belirlenebilmesi için 2MASS ve SDSS gökyüzü tarama programlarından alınan yıldızların bir araya getirilmesi ve 2MASS verileri içinde evrimleşmiş yıldızların ayrımının yapılması gerekmektedir. Tez çalışmasında iki fotometrik sistemdeki yıldızların bir araya getirilerek tek fotometrik sistemde ifade edilebilmesi için, SDSS'deki yıldızların parlaklık ve renklerinin fotometrik dönüşüm formülleriyle 2MASS sistemine çevrilmesi tercih edilmiştir. SDSS'deki fotometrik veriler Bilir ve diğ.'nin (2008c) elde ettiği ve bu tez çalışmasında Bölüm 3.4'de verilen (3.10) bağıntısı kullanılarak 2MASS K_{S_0} parlaklığına çevrilmiştir. Bu aşamadan sonra her iki fotometrik sistemde de gözlenmiş ortak yıldızları belirleyebilmek için yıldızların ekvatorial koordinatları arasındaki uzaklıklar $\Delta d \leq 5$ yay saniyesi olacak şekilde birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Her iki katalogdaki yıldızların birbirine olan açısal uzaklığı $\Delta d = \sqrt{(\alpha_1 - \alpha_2)^2 + (\delta_1 - \delta_2)^2}$ bağıntısıyla hesaplanmıştır. Bu karşılaştırmada 6,744 yıldızın her iki fotometrik sistemde yer aldığı, 6,157 yıldızın ise sadece 2MASS fotometrisinde gözleendiği görülmüştür. Bu yıldızların K_{S_0} görünen parlaklığına ait histogramları Şekil 4.6'da gösterilmiştir. Bu şekilde, yıldız alanı doğrultusunda 2MASS verilerine ulaşılan tüm yıldızlar mavi renk ile, SDSS fotometrik verileriyle örtüşmeyen 2MASS yıldızları ise içi taralı pembe bölgeyle gösterilmektedir. Her iki fotometrik sistemde örtüşen yıldızlar $11 < K_{S_0} < 15.5$ kadir aralığında bulunmakta olup, yıldız sayılarındaki belirgin farklılıklar ise

$12 < K_{S0} < 14.75$ kadir aralığındadır. Her iki fotometrik sistemde gözlenmiş 6,744 yıldızın tek bir fotometrik sistemde ifade edilebilmesi için SDSS verilerinin dikkate alınması tercih edilmiştir.



Şekil 4.6: 2MASS örneğindeki tüm yıldızlar ile SDSS'te gözlenmemiş yıldızların K_{S0} histogramı.

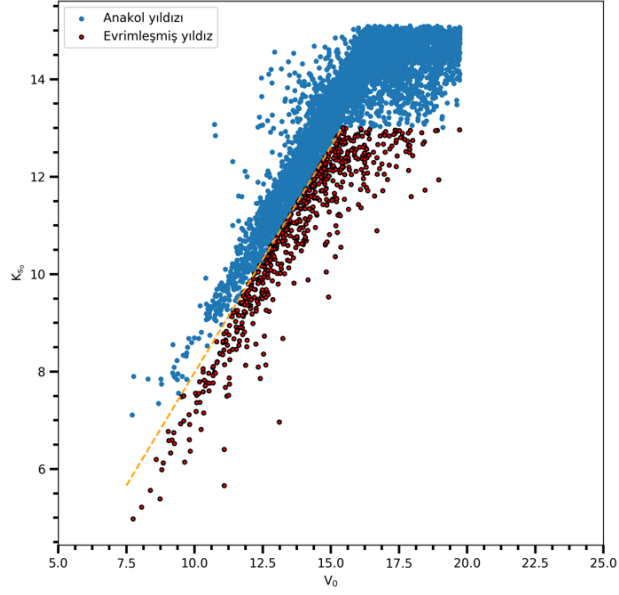
İncelenen yıldız alanında SDSS ile 2MASS verileri örtüşen yıldızlar çıkartıldıktan sonra kalan 6,157 yıldız içinde evrimleşmiş olanların belirlenebilmesi için, Bölüm 3.3.2'de bahsedilen Bilir ve diğ.'nin (2006c) yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde incelenen her bir yıldızın optik ve kızılötesi parlaklıklarına ihtiyaç duyulmaktadır. Tez çalışmasındaki 6,157 yıldızın V görünen parlaklıkları, Guide Star Kataloğu'ndaki¹ (Lasker ve diğ., 1996) yıldızların ekvatorial koordinatlarıyla eşleştirilmek suretiyle belirlenmiştir. Koordinatların eşleştirilmesinde her iki katalogdaki yıldızların aralarındaki açısal uzaklık $\Delta d \leq 5$ yay saniyesi olacak şekilde bir sınırlama getirilmiştir. Eşleştirme sonucunda 6,142 yıldızın her iki katalogda da verilerinin bulunduğu tespit edilmiştir. Sadece 15 yıldızın V görünen parlaklıkları Guide Star Kataloğu'ndan belirlenememiştir. 15 yıldız için evrimleşmiş yıldız sınaması uygulanamayacağından, tez çalışmasında bunlar anakol yıldızı olarak kabul edilmiştir.

Optik ve yakın kızılötesi parlaklıkları bilinen 6,142 yıldızın evrimleşmiş/anakol

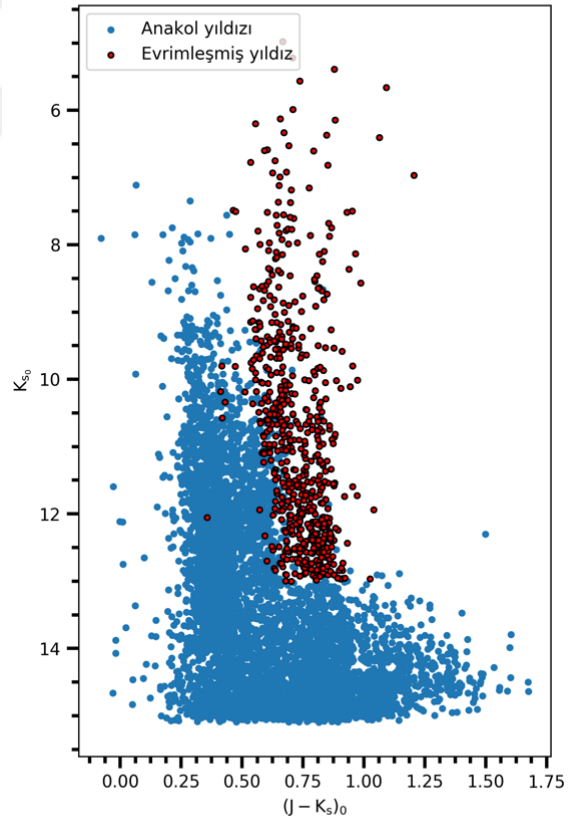
¹ <http://vizier.u-strasbg.fr/viz-bin/VizieR?-source=GSC1.2>

ayrımında, Bilir ve diğ.'nin (2006c) $K_{S_0} \times V_0$ parlaklık-parlaklık diyagramı için oluşturdukları bağıntı tercih edilmiştir. 6,142 yıldız, Galaktik enlemi $b = 50^\circ$ olan bir yıldız alanında bulunsalar bile, az da olsa, yıldızlararası ortamın neden olduğu sönmülemenden etkilenirler. Bu etkiden arınmak için Guide Star Kataloğu'ndan (Lasker ve diğ., 1996) alınan görünen V parlaklıkları, Schlafly ve Finkbeiner'in (2011) toz haritalarından belirlenen A_V değerlerinden çıkartılmak suretiyle sönmülemenden arındırılmış ve V_0 parlaklıkları hesaplanmıştır. 6,142 yıldızın $K_{S_0} \times V_0$ parlaklık-parlaklık diyagramındaki konumları ve Bilir ve diğ. (2006c) tarafından verilen evrimleşmiş yıldız/anakol ayrım çizgisi (bkz. bağıntı 3.7) Şekil 4.7'de gösterilmiştir.

Bilir ve diğ.'nin (2006c) evrimleşmiş/anakol yıldız ayrımı $K_{S_0} = 13$ kadire kadar uygulanabildiğinden, ancak bu parlaklık sınırına kadarki yıldızlar için ayrım yapılabilmektedir. Daha sönük yıldızların tümü ise anakol yıldızı olarak kabul edilmiştir. Şekil 4.7'de, $K_{S_0} = 13$ kadirden daha sönük yıldızların sayısının artmasıyla birlikte ayrımın da zorlaştığı görülmektedir. Bilir ve diğ.'nin (2006c) yöntemi $K_{S_0} = 13$ kadirden daha parlak yıldızlara uygulandığında, yıldız alanı doğrultusunda 617 evrimleşmiş yıldız belirlenmiştir. Ayrımı yapılan yıldızların, $K_{S_0} \times (J - K_S)_0$ renk-parlaklık diyagramı Şekil 4.8'de gösterilmiştir. Şekil üzerindeki içi dolu kırmızı ve mavi daireler, sırasıyla, evrimleşmiş yıldızları ve anakol yıldızlarını temsil etmektedir. $K_{S_0} = 10$ kadire kadar çoğu yıldız evrimleşmiş olarak sınıflanmış ve bu yıldızların $(J - K_S)_0 > 0.6$ kadirden daha büyük değerlerde bulunduğu görülmüştür. Anakol yıldızları ise $K_{S_0} = 10$ kadirden daha sönük parlaklıklarda ve $(J - K_S)_0 < 0.7$ kadirden daha mavi bölgelerde yoğunlaşmıştır. Parlaklık-parlaklık diyagramı kullanılarak yapılan ayrım, evrimleşmiş yıldızların renk-parlaklık diyagramındaki konumlarıyla uyumludur.

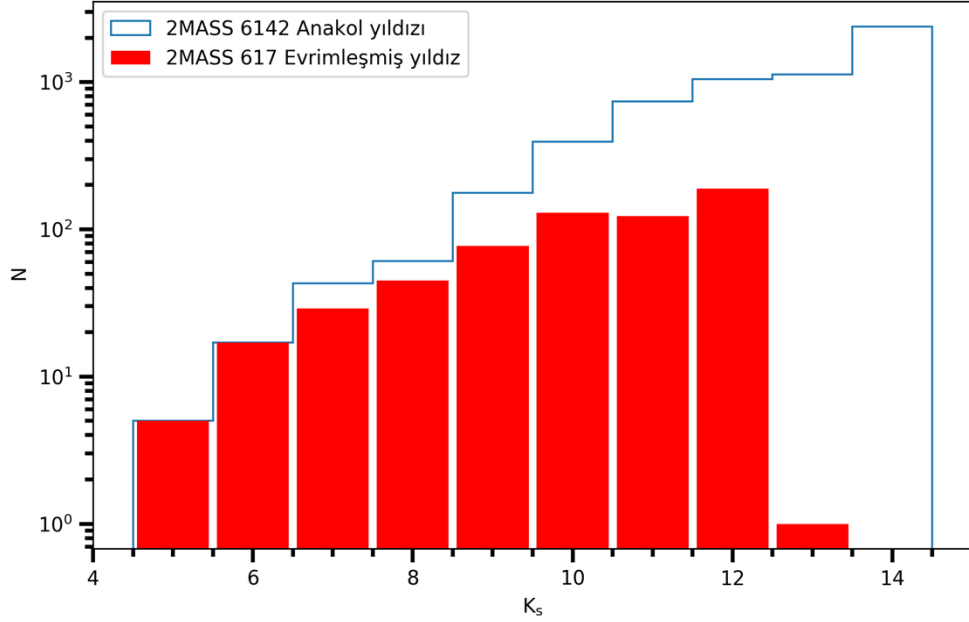


Şekil 4.7: 6,142 yıldızın $K_{S0} \times V_0$ parlaklık-parlaklık diyagramı. İçi dolu kırmızı ve mavi daireler, sırasıyla, evrimleşmiş ve anakol yıldızlarını temsil etmektedir. Şekil üzerindeki turuncu renkli çizgi evrimleşmiş/anakol yıldız ayrımını göstermektedir.



Şekil 4.8: 6,142 yıldızın $K_{S0} \times (J - K_s)_0$ renk-parlaklık diyagramı. İçi dolu kırmızı ve mavi daireler, sırasıyla, evrimleşmiş ve anakol yıldızlarını temsil etmektedir.

Evrimleşmiş/anakol yıldız ayrımı yapılan yıldızların K_{S0} parlaklığına göre oluşturulmuş histogramı Şekil 4.9’da gösterilmiştir. Şekilden de görüleceği gibi evrimleşmiş yıldızlar parlak kadirlerde baskın iken, sönük kadirlerle gidildikçe anakol yıldızlarının etkinliği artmaktadır. Sonuç olarak, Bilir ve diğ.’nin (2006c) yöntemi kullanılarak 6,157 yıldızın 617’si evrimleşmiş ve 5,540’ı ise anakol yıldızı olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.9: Bilir ve diğ.’nin (2006c) yöntemi kullanılarak 6,157 yıldız içinde belirlenen 617 evrimleşmiş yıldız ile tüm örneğin K_{S0} parlaklığına göre verilen frekans dağılımları. Mavi çizgi (6142 + 15) yıldızı, içi dolu kırmızı çubuklar da 617 evrimleşmiş yıldızı göstermektedir.

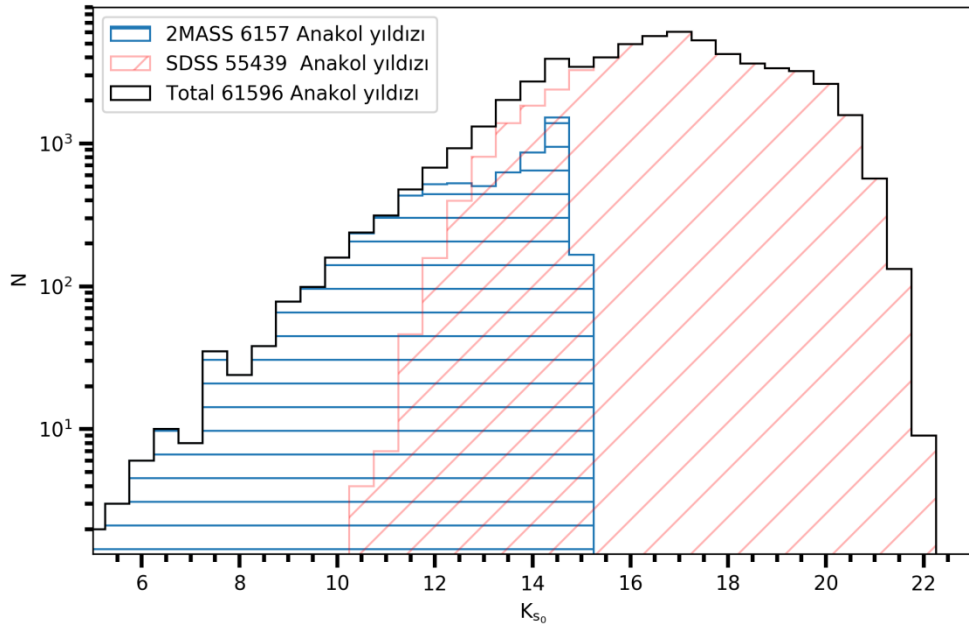
4.3. ANAKOL YILDIZ ÖRNEĞİ

Tez çalışmasında seçilen bir yıldız alanı doğrultusunda biri sıg (2MASS) diğeri derin (SDSS) fotometrik verileri bulunan iki gökyüzü tarama programı kullanılmıştır. Her iki veri setine farklı yöntemler kullanılarak getirilen sınırlamalar çerçevesinde anakol yıldızları belirlenmiştir. SDSS ve 2MASS veri setleri içinde anakol olarak belirlenen yıldızların sayısı, sırasıyla, 55,439 ve 5,540 olup, toplam anakol yıldız sayısı 60,979’dur.

Belirlenen 60,979 anakol yıldızının parlaklık dağılımlarını analiz edebilmek için verilerin tek türden bir fotometrik sistemde ifade edilmesi gerekmektedir. Bu nedenle tez çalışmasında SDSS fotometrik verilerinin, Bilir ve diğ.’nin (2008a) Bölüm 3.4’te

(3.8)-(3.10) bağıntılarıyla verilen dönüşüm formülleri kullanılarak 2MASS parlaklıklarına çevrilmesi tercih edilmiştir. SDSS ve 2MASS sistemlerinde anakol olarak belirlenen 60,979 yıldızın K_{S_0} görünen parlaklıklarına göre logaritmik ölçekte oluşturulmuş frekans dağılımları Şekil 4.10'da gösterilmiştir.

Şekil 4.10'da verilen K_{S_0} parlaklık histogramında, 2MASS verilerinin $5 \leq K_{S_0} < 15.5$ kadir (mavi çizgi) ve SDSS verilerinin de $10 < K_{S_0} < 22.5$ kadir (pembe çizgi) aralıklarında bulunduğu görülmektedir. İki veri setinin birleşmesi sonucu oluşan anakol örneği de aynı şekil üzerinde siyah çizgiyle gösterilmiştir. Yıldız sayılarının $K_{S_0} \cong 17$ kadir civarında maksimumdan geçip sönük parlaklıklara doğru yavaşça azaldığı görülmektedir.



Şekil 4.10: Yıldız alanı doğrultusunda SDSS ve 2MASS fotometrik sistemlerinde belirlenen anakol yıldız sayılarının K_{S_0} görünen parlaklığına göre frekans dağılımları. Mavi çizgi 2MASS verilerini, pembe çizgi SDSS verilerini ve siyah çizgi de toplam yıldız sayısını göstermektedir.

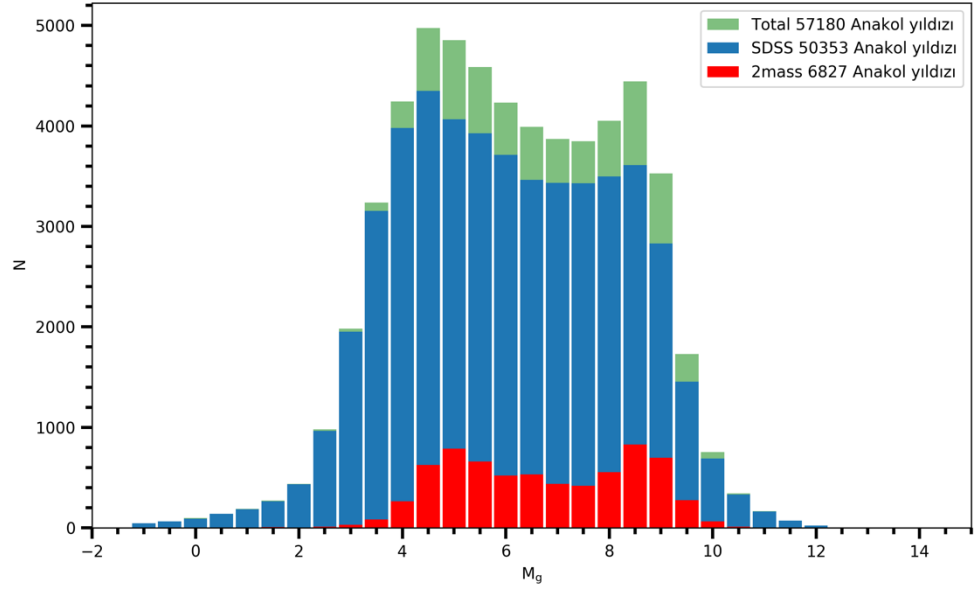
4.4. ANAKOL YILDIZLARININ UZAKLIK TAYİNİ

Tez çalışmasında yıldızların uzaklıklarının tayininde kullanılan yöntemler Bölüm 3.5'te verilmiştir. Çalışmada 2MASS ve SDSS fotometrik verileri kullanıldığı için her bir fotometrik sistemde tanımlanmış uzaklık kalibrasyonlarının kullanılması gerekmektedir. Bu nedenle yıldız alanı doğrultusunda 2MASS verileriyle belirlenen anakol yıldızlarının

M_J mutlak parlaklıkları Bilir ve diğ.'nin (2008a) Bölüm 3.5'te verilen (3.14) bağıntısı, SDSS verilerden tayin edilen anakol yıldızlarının M_r mutlak parlaklıkları ise Juric ve diğ.'nin (2008) Bölüm 3.5'te verilen (3.15) bağıntısı kullanılarak hesaplanmıştır. Mutlak parlaklıkları belirlenen yıldızların uzaklıkları Pogson bağıntısıyla hesaplanmıştır. Tüm yıldızların parlaklıkları yıldızlararası ortamın neden olduğu sönmüleme etkisinden arındırıldığı için, uzaklık hesabında sönmülemeyen arındırılmış uzaklık modülü, $(m - M)_0 = 5 \log d + 5$, kullanılmıştır.

Tez çalışmasında, SDSS ve 2MASS veri setinden belirlenen 60,979 anakol yıldızının mutlak parlaklıklarının tek fotometrik sistemde ifade edilmesi için, Güneş civarındaki anakol yıldızlarına ait ışıma gücü fonksiyonlarının iyi bir şekilde tanımlandığı M_g mutlak parlaklığı (bkz: Tablo 9; Bilir ve diğ. 2006a) tercih edilmiştir. 2MASS sisteminde verisi bulunan 5,540 anakol yıldızının fotometrik verileri, Bilir ve diğ.'nin (2008a) Bölüm 3.4'te, (3.11)-(3.12) bağıntılarıyla verilen dönüşüm formülleri kullanılarak SDSS parlaklıklarına çevrilmiştir. Bu aşamadan sonra 5,540 anakol yıldızının M_r mutlak parlaklıkları, Juric ve diğ.'nin (2008) Bölüm 3.5'te verilen (3.15) bağıntısı kullanılarak hesaplanmıştır. Bu değer, M_g mutlak parlaklığı cinsinden ifadesi için $M_g = M_r + g - r$ bağıntısı kullanılmıştır. Böylece tez çalışmasındaki 60,979 anakol yıldızının mutlak parlaklıkları sadece M_g mutlak parlaklığı cinsinden hesaplanmıştır. Farklı fotometrik sistemlerden hesaplanan M_g mutlak parlaklıklarının frekans dağılımları Şekil 4.11'de gösterilmiştir. Şekil 4.11'de kırmızı çubuklar 2MASS verileri kullanılarak M_J mutlak parlaklıklarının fotometrik dönüşüm formülleriyle, mavi çubuklar SDSS verilerinden belirlenen M_r mutlak parlaklıklarının, $g-r$ indeksiyle toplanmasıyla hesaplanan M_g mutlak parlaklıklarının frekans dağılımını, yeşil çubuklar ise toplam yıldız sayısını göstermektedir. 2MASS ve SDSS verilerinden hesaplanan mutlak parlaklıklar, sırasıyla, $2 < M_g < 11$ ve $-2 < M_g < 13$ kadir aralıklarında yer almaktadır. İki fotometrik sistemden gelen yıldızların toplamına bakıldığında iki modlu bir dağılım olduğu ve dağılımlardan birinin $M_g = 4.5$, diğ. birinin de $M_g = 8.5$ kadirde bir maksimum yaptığı görülmektedir. Bu da örnek içinde en az iki farklı popülasyonun varlığını işaret etmektedir. Bu modlar Galaksimizin farklı popülasyon türlerinin etkin olduğu mutlak parlaklık değerlerine karşılık gelmektedir (Chen ve diğ., 2001). Şekil 4.11'deki diyagram g görünen parlaklığının bir fonksiyonu olarak verilmediğinden

$M_g = 4.5$ kadirde oluşan maksimum, yıldız alanı doğrultusunda görülen kalın disk ve halo yıldızlarını, $M_g = 8.5$ kadirinde oluşan diğer maksimum ise Galaksimizin yaşlı ince diskine ait anakol yıldızlarını göstermektedir.

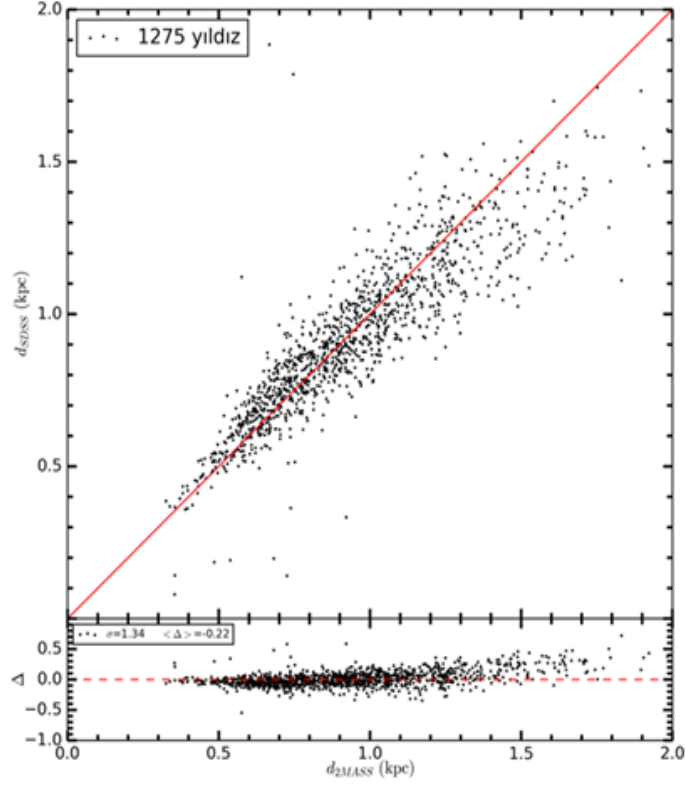


Şekil 4.11: 2MASS ve SDSS fotometrik verilerine ait mutlak parlaklık kalibrasyonlarının kullanılmasıyla hesaplanan M_g mutlak parlaklıklarının frekans dağılımları. Renkli çubuklara ait bilgiler şekil üzerinde ifade edilmiştir.

Tez çalışmasında yıldız alanı doğrultusundaki yıldızların SDSS ve 2MASS fotometrik verileri kullanıldığından, iki farklı ışınma gücü-renk bağıntısının kullanılması zorunlu olmuştur (bkz. bağıntılar (3.14) ve (3.15)). Bağıntıların sıfır noktaları aynı olmadığından fotometrik paralaks yöntemi kullanılarak hesaplanan uzaklıklarda bir miktar farklılık olması beklenir. İki farklı kalibrasyon kullanılarak hesaplanan uzaklıklar arasındaki seviye farklarını, saçılma değerlerini ve sistematik yanlışlıklar içerip içermediklerini analiz edebilmek için hem SDSS hem de 2MASS verisi örtüşen yıldızların uzaklıklarının birbirleriyle karşılaştırılması gerekmektedir. Her iki fotometrik sistemde verisi bulunan anakol yıldızlarının seçimi için şu sınırlamalar getirilmiştir:

- $3.5 \leq M_j \leq 4.5$ kadir
- $13.5 \leq K_s \leq 14.5$ kadir
- $15.5 \leq g_0 \leq 18.5$ kadir

Bu şartlara uygun 1,275 yıldız tespit edilmiştir. Bu yıldızların mutlak parlaklıkları, (3.14) ve (3.15) bağıntıları kullanılarak hesaplanmış ve uzaklıkları da Pogson bağıntısıyla belirlenmiştir. Her iki fotometrik sistemde uzaklıkları ölçülen yıldızların birbirleriyle karşılaştırılması Şekil 4.12'nin üst panelinde gösterilmiştir. Aynı şeklin alt panelinde, yıldızların iki fotometrik sistemden ölçülen uzaklık farkları verilmiştir.



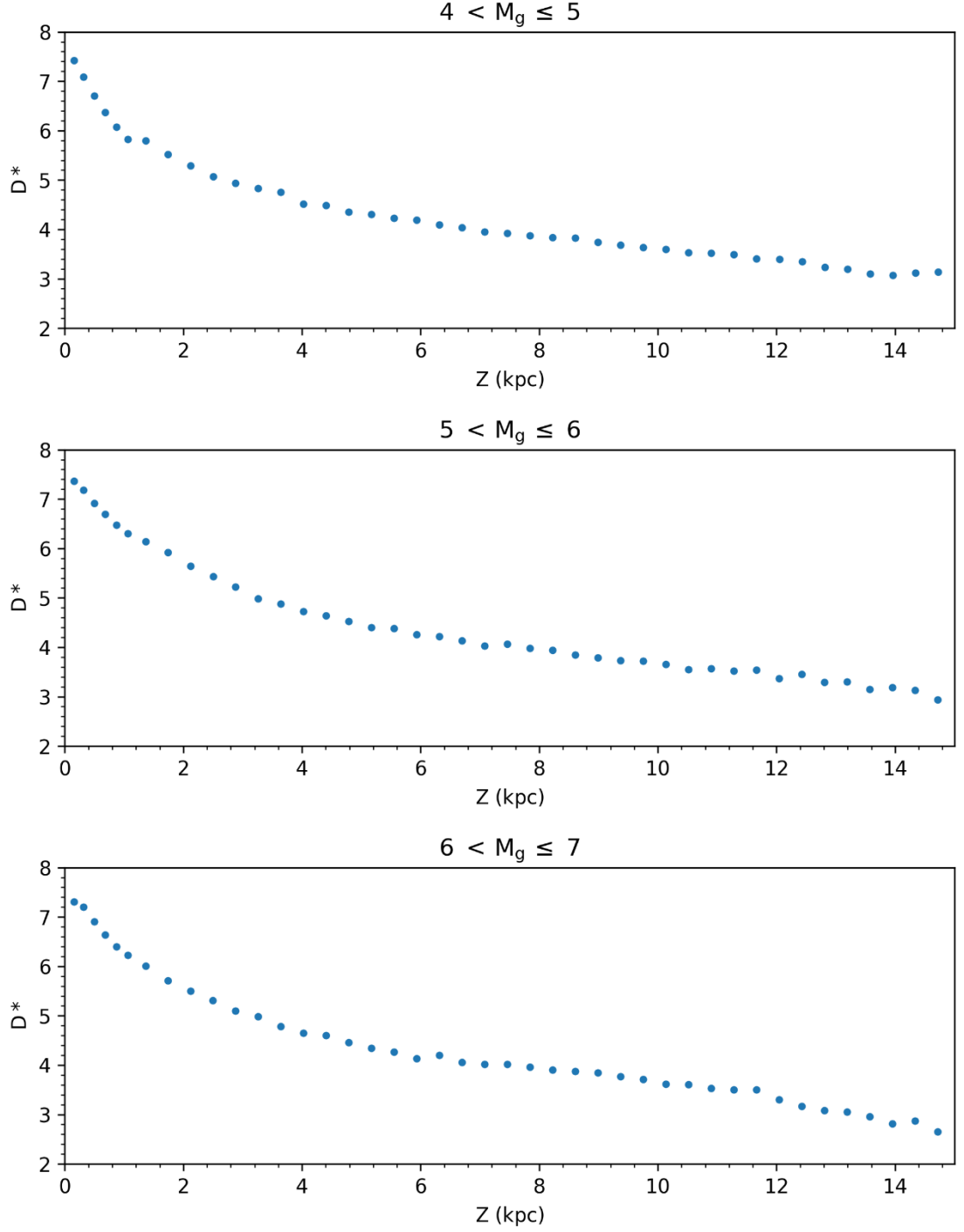
Şekil 4.12: SDSS ve 2MASS fotometrik verilerinden hesaplanan uzaklıkların karşılaştırılması (üst panel) ve uzaklık farkları (alt panel). Üst panelde kırmızı renk ile gösterilen sürekli çizgi bire-bir doğrusudur.

Şekil 4.12 ayrıntılı bir şekilde incelendiğinde iki fotometrik sistemden hesaplanan uzaklıkların yaklaşık olarak 0.4 ile 2 kpc aralığında bulunduğu görülmektedir. Uzaklık farklarının ortalaması -0.22 kpc ve bu farklara ait standart sapma da 1.34 kpc'dir. İki fotometrik sistem için hesaplanan uzaklıkların $d = 1.3$ kpc'e kadar birbirleriyle uyumlu olduğu görülmektedir. Bu değer in ötesinde SDSS kalibrasyonlarından hesaplanan uzaklıklar, 2MASS'den hesaplananlara göre sistematik olarak daha uzak ölçülmektedir. Bu farklılık, seçilen yıldız örneği için 2MASS'in sönük tamlığına yaklaşıldığını göstermektedir. Ancak, sonuç olarak her iki fotometrik sistemdeki verilerin uzaklık kalibrasyonlarından hesaplanan uzaklıklar genel olarak uyumludur.

4.5. GÖZLEMSEL YOĞUNLUK PROFİLLERİNİN OLUŞTURULMASI

Galaksi model parametrelerinin hesaplanmasında genellikle seçilen yıldız alanı boyunca oluşturulan gözlemsel yıldız yoğunluk profilleri kullanılır. Bunun için öncelikle yıldızların Güneş'e uzaklıklarının belirlenmesi gerekir. Tez çalışmasında Bölüm 4.4'te yıldızların mutlak parlaklıklarının tayini ve Güneş'e uzaklıklarının hesaplanması ayrıntılı bir şekilde anlatılmıştır. Gözlemsel yoğunluk profillerinin oluşturulabilmesi için yıldız örneği birim mutlak parlaklık aralıklarına (M_i, M_{i+1}) ayrılmıştır. Yıldız alanı doğrultusunda ölçümleri yapılan yıldızların $-2 < M_g < 13$ kadir aralığında bulunduğu (bkz. Bölüm 4.4) ve geniş bir tayf türünden anakol yıldızlarını içerdiği tespit edilmiştir. Çalışmada yıldız alanı doğrultusunda üç popülasyonu da içeren yoğunluk profillerine ihtiyaç olduğundan, mutlak parlaklıkları $4 < M_g < 7$ kadir aralığında bulunan anakol yıldızlarına ağırlık verilmiştir. Bununla birlikte bu mutlak parlaklık aralığında, Güneş civarındaki ışınma gücü fonksiyonunun hemen hemen düz oluşu ($7.30 \leq D^* \leq 7.47$; Bilir ve diğ. 2006a) birim mutlak parlaklık aralıklarından elde edilecek Galaksi model parametrelerinin birbirleriyle karşılaştırılması açısından da son derece önemlidir.

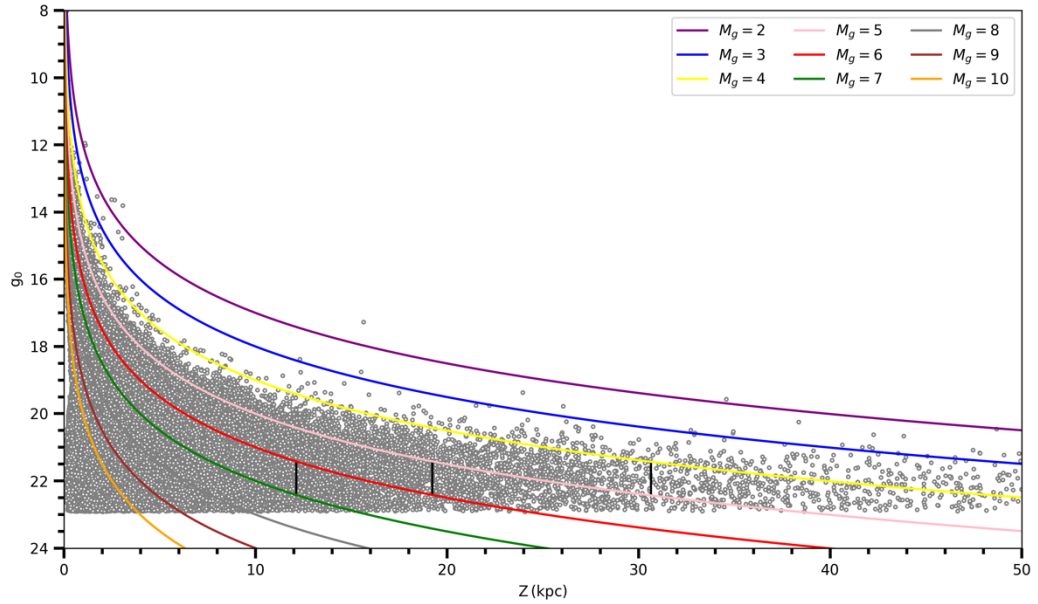
Tez çalışmasında yukarıda bahsedilen sınırlamalar dikkate alınarak mutlak parlaklıkları $4 < M_g \leq 7$ kadir aralığında bulunan 26,888 anakol yıldızı dikkate alınmıştır. Yıldızlar $4 < M_g \leq 5$, $5 < M_g \leq 6$ ve $6 < M_g \leq 7$ birim mutlak parlaklık aralıklarına ayrılmıştır. Daha sonra her bir mutlak parlaklık aralığındaki yıldızlar $Z = 1.5$ kpc uzaklığına kadar 0.25 kpc, bu uzaklığın ötesinde ise 0.5 kpc'lik uzaklık aralıklarına bölünmüş ve Bölüm 3.6.2'de verilen bağıntılar yardımıyla bulundukları uzay hacmi içinde kalan yıldızların uzay yoğunlukları hesaplanmıştır. Seçilen uzaklık aralıklarının ağırlık merkezleri (Z^*) ile bu merkezler için hesaplanan D^* değerleri kullanılarak uzaysal yoğunluk profilleri oluşturulmuştur. $4 < M_g \leq 5$, $5 < M_g \leq 6$ ve $6 < M_g \leq 7$ mutlak parlaklık aralıkları için oluşturulan gözlemsel yoğunluk profilleri Şekil 4.13'te gösterilmiştir.



Şekil 4.13: : $4 < M_g \leq 5$, $5 < M_g \leq 6$ ve $6 < M_g \leq 7$ mutlak parlaklık aralıkları için oluşturulan gözlemsel yoğunluk profilleri.

Birim mutlak parlaklık aralıklarındaki yıldızların parlak ve sönük tamlık (uzaklık) sınırlarının belirlenmesi için $4 < M_g \leq 7$ kadar aralığında bulunan anakol yıldızları Şekil 4.14'te gösterilen $g_0 \times Z$ diyagramına yerleştirilmiş ve bu diyagram farklı M_g mutlak

parlaklıklarına göre kalibre edilmiştir. Şekil 4.14'te mutlak parlaklıkları $M_g = 2$ kadirinden daha parlak olan yıldız sayılarının yeterli olmadığı görülmektedir. Bunun nedeni, çalışılan yıldız alanı doğrultusunda erken tayf türünden yıldızların bulunmamasıdır ve bu beklenen bir durumdur. A tayf türünden daha erken anakol yıldızlarının yükseklik ölçekleri küçük olduğundan ($H_Z < 100$ pc; Cox 2000), bu tür yıldızlar Galaktik düzlemin çok yakınında bulunmaktadır. Mutlak parlaklıkları $4 < M_g \leq 5$, $5 < M_g \leq 6$ ve $6 < M_g \leq 7$ aralıklarında ve görünen parlaklıkları $g_0 = 23$ kadire kadar olan yıldızların tamlık sınırları, sırasıyla, $Z = 30.50$, $Z = 19.24$ kpc ve $Z = 12.14$ kpc olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.14: Farklı mutlak parlaklıklarda bulunan anakol yıldızlarının $g_0 \times Z$ diyagramı. Farklı renkte gösterilen çizgiler M_g mutlak parlaklığını temsil etmektedir. Siyah dikey çizgiler birim mutlak parlaklık aralıklarına karşılık gelen tamlık sınırlarını göstermektedir.

4.6. GALAKSİ MODEL PARAMETRELERİNİN TAYİNİ

Galaksi model parametreleri, seçilen bir yıldız alanı doğrultusunda oluşturulan gözlemsel yıldız yoğunluk profilleri ile teorik hesaplamalar sonucu oluşturulan yoğunluk profillerinin karşılaştırılmasıyla tayin edilmektedir. Tez çalışmasında gözlemsel yoğunluk profilleri, bir önceki bölümde bahsedildiği gibi, birim mutlak parlaklık aralıkları için elde edilmiştir. Teorik Galaksi yoğunluk profillerinin oluşturulmasında ise detayları Bölüm 3.6'da verilen üç bileşenli Galaksi modeli kullanılmıştır. Bu modelde ince ve kalın disk yoğunluklarının hesaplanmasında (3.16)

bağıntısı kullanılırken, halo yoğunluğunun belirlenmesinde ise (3.17) bağıntısı kullanılmıştır. Bu popülasyonlara ait birleştirilmiş yoğunluk değeri de (3.19) bağıntısıyla hesaplanmıştır. Teorik modellerin hesaplanmasında geniş bir parametre aralığı kullanılmış olup parametrelerin tanımlandığı aralıklar Tablo 4.1’de verilmiştir. Bu tablodaki tüm parametrelerin değişim aralıkları dikkate alınarak hazırlanan teorik yoğunluk profillerinin sayısı yaklaşık 44 milyonu (44,142,408 model) aşmaktadır. Bu hesaplamaların yapılabilmesi için büyük bir bilgisayar işlem zamanına ihtiyaç duyulmaktadır. Üretilen her bir teorik yoğunluk modeli gözlemsel yoğunluk modelleriyle karşılaştırılmaktadır. Bu karşılaştırmada Bölüm 3.6.3’te verilen χ^2 istatistiği kullanılır. Farklı Z uzaklıkları için hesaplanan teorik değerler, aynı Z değerlerine karşılık gelen gözlemsel değerler ile χ^2 istatistiğine tâbi tutularak (bağıntı 3.24) üzerinde çalışılan model parametre takımı için toplam χ^2 değeri hesaplanır. Bu döngü tüm parametre uzayları dikkate alınarak tekrarlanır. En küçük χ^2 değerine sahip model parametreleri gözlemleri en iyi ifade eden parametreler olacağından, bu değerler çalışmanın Galaksi model parametreleri olarak kabul edilir.

Tablo 4.1: Galaksi modelindeki popülasyonlara ait parametrelerin değer aralıkları.

Popülasyon	Parametre	Birim	Değer Aralığı	Adım
İnce disk	H_{Z1}	pc	50 - 500	1
	h_{R1}	kpc	1-4	0.05
Kalın disk	n_2	%	0 - 20	0.01
	H_{Z2}	pc	500 – 1,500	1
	h_{R2}	kpc	1-4	0.05
Halo	n_3	%	0 - 1	0.001
	κ	-	0.1 - 1	0.01

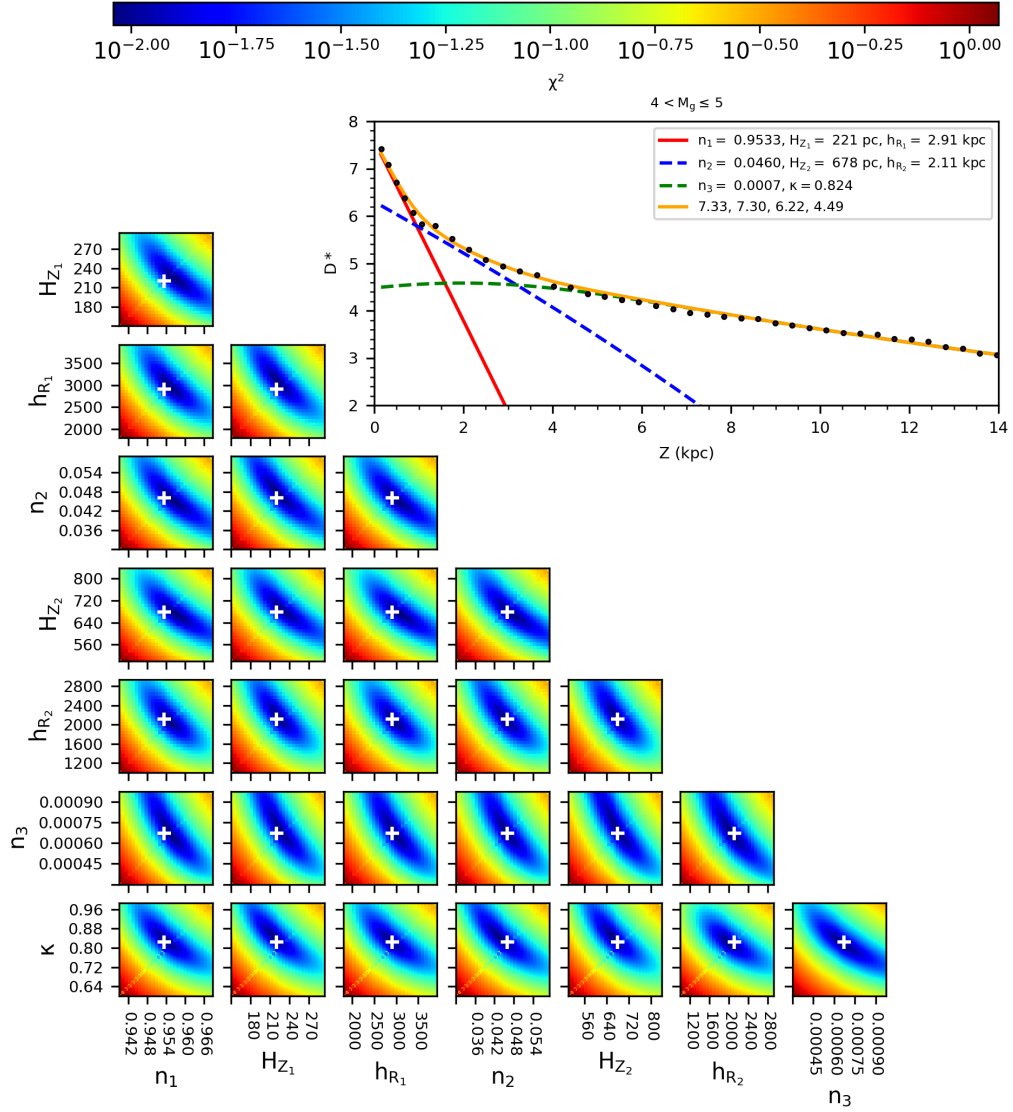
Tez çalışmasında üç bileşenli Galaksi modeli tercih edildiği için, Galaktik popülasyonların yapısal parametrelerinin belirlenmesinde n_1 , H_{Z1} , h_{R1} , n_2 , H_{Z2} , h_{R2} , n_3 ve κ ’dan oluşan sekiz serbest parametre bulunmaktadır. İnce diskin yerel yoğunluk değerinin belirlenmesinde $n_1 = 1 - (n_2 + n_3)$ bağıntısı kullanılmıştır. Bu yapısal parametrelerin belirlenmesinde üç farklı M_s mutlak parlaklık aralığı için oluşturulan yoğunluk profilleri üzerine, Tablo 4.1’de listelenen parametre değer aralıkları dikkate alınarak yaklaşık 44.2 milyon model üretilmiş ve her bir mutlak parlaklık aralığındaki gözlemsel yoğunluk değerleriyle karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma işlemlerinde χ^2 istatistiği (bağıntı 3.24) her bir model için uygulanmıştır. Tablo 4.1’de listelenen tüm

model parametrelerinin dikkate alınmasıyla oluşturulan model havuzu içinde en küçük χ^2 'li model belirlenmiş ve bu modele ait sekiz parametre değeri incelenen mutlak parlaklık aralığının Galaksi model parametreleri olarak kabul edilmiştir.

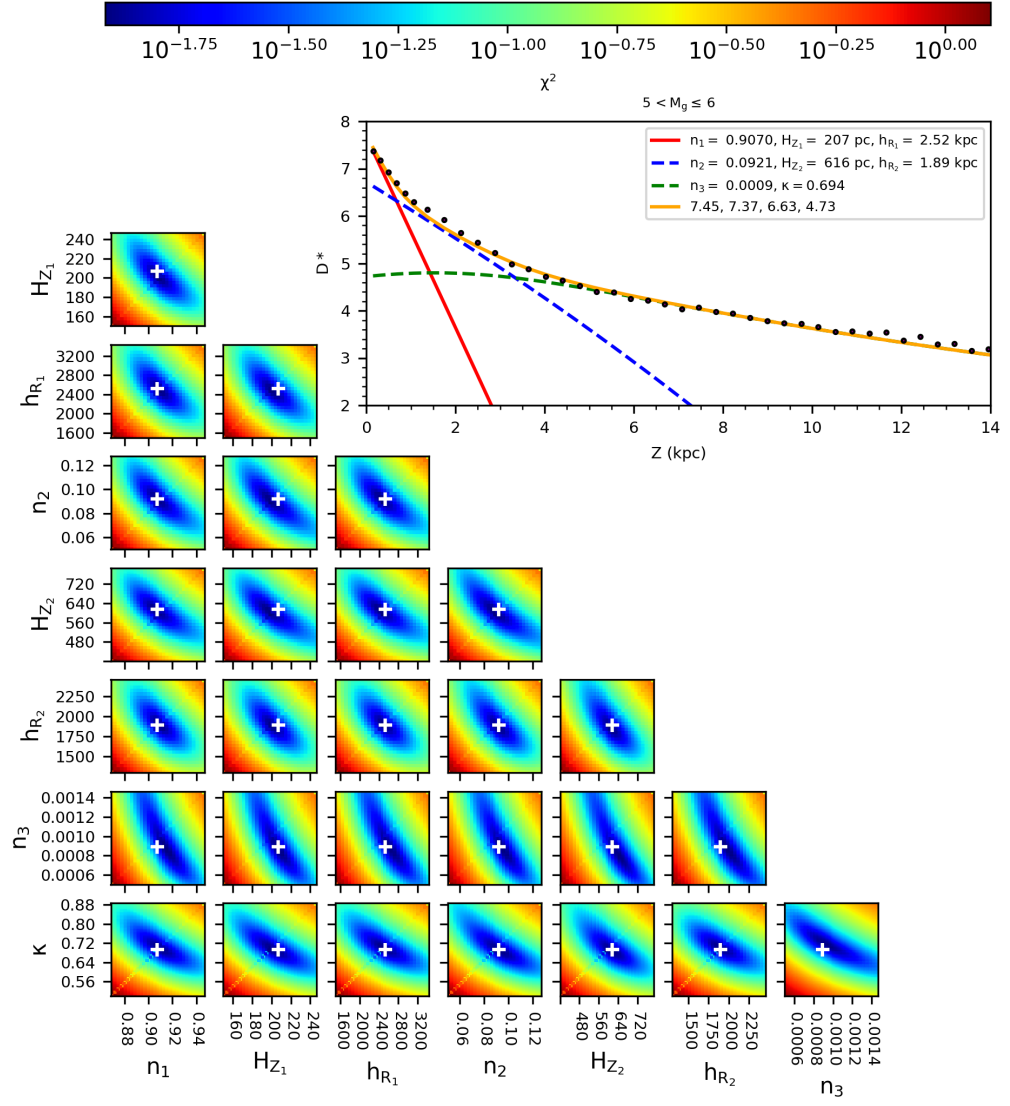
$4 < M_g \leq 5$, $5 < M_g \leq 6$ ve $6 < M_g \leq 7$ ardışık mutlak parlaklık aralıkları için oluşturulan gözlemsel yoğunluk profilleri ve bunlar için hesaplanan en uygun teorik yoğunluk profilleri, her bir popülasyon ve bu popülasyonların birleşimi için, sırasıyla Şekil 4.15, Şekil 4.16 ve Şekil 4.17'de gösterilmiştir. Hesaplanan model parametreleri de Tablo 4.2'de listelenmiştir. Ayrıca şekillerde hesaplanan her bir parametre değerinin birbirleriyle olan değişimleri, χ^2 değerlerinin bir fonksiyonu olarak şekillerin üst kısmında verilen renk ölçeğine göre gösterilmiştir. Buna göre, modelin en uygun parametreleri her bir küçük panel içinde koyu mavi renge (en küçük χ^2) karşılık gelen yıldız sembolüyle gösterilmiştir.

Tablo 4.2: Üç ardışık mutlak parlaklık aralığı için hesaplanan Galaksi model parametreleri. Tablonun son iki satırında her bir mutlak parlaklık aralığı için belirlenen ışıma gücü fonksiyonu ve Güneş civarı için hesaplanan değerler verilmiştir.

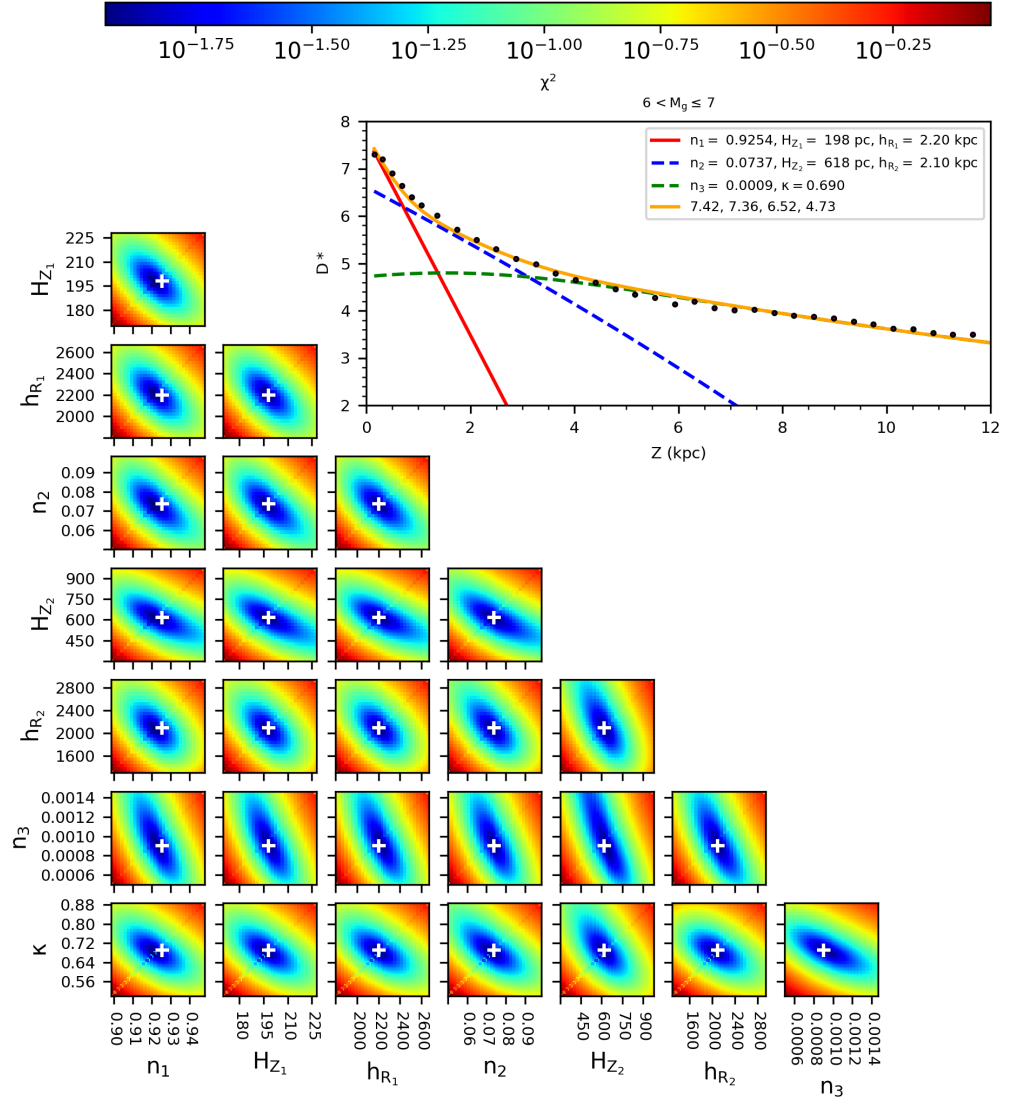
Popülasyon	Parametre	$4 < M_g \leq 5$	$5 < M_g \leq 6$	$6 < M_g \leq 7$
İnce disk	n_1 (%)	95.33 ± 0.38	90.70 ± 1.25	92.54 ± 1.5
	H_{Z1} (pc)	221 ± 19	207 ± 15	198 ± 17
	h_{R1} (kpc)	2.91 ± 0.32	2.52 ± 0.24	2.20 ± 0.22
Kalın disk	n_2 (%)	4.60 ± 0.46	9.21 ± 1.46	7.37 ± 1.30
	H_{Z2} (pc)	678 ± 45	616 ± 70	618 ± 74
	h_{R2} (kpc)	2.11 ± 0.26	1.89 ± 0.21	2.10 ± 0.22
Halo	n_3 (%)	0.07 ± 0.002	0.09 ± 0.002	0.09 ± 0.001
	κ	0.824 ± 0.060	0.694 ± 0.05	0.690 ± 0.04
Gözlemsel ışıma gücü fonksiyonu		7.33	7.45	7.42
Güneş civarındaki ışıma gücü fonksiyonu (Bilir ve diğ., 2006a)		7.30	7.47	7.47



Şekil 4.15: $4 < M_g \leq 5$ mutlak parlaklık aralığı için oluşturulan gözlemsel ve teorik yoğunluk profilleri. Yoğunluk profillerinde siyah noktalar gözlemsel uzay yoğunluklarını, kırmızı sürekli çizgi ince diski, mavi kesikli çizgi kalın diski, yeşil kesikli çizgi haloyu ve turuncu sürekli çizgi de üç popülasyonun toplam yoğunluğunu göstermektedir. Her bir parametre değerinin birbirleriyle olan değişimleri, χ^2 değerlerinin bir fonksiyonu olarak şeklin üst kısmında verilen renk ölçeğine göre gösterilmiştir.



Şekil 4.16: $5 < M_g \leq 6$ mutlak parlaklık aralığı için oluşturulan gözlemsel ve teorik yoğunluk profilleri. Tanımlar ve semboller Şekil 4.15’de verildiği gibidir.



Şekil 4.17: $6 < M_g \leq 7$ mutlak parlaklık aralığı için oluşturulan gözlemsel ve teorik yoğunluk profilleri. Tanımlar ve semboller Şekil 4.15’de verildiği gibidir.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu tez çalışmasında, orta Galaktik enlemleri küçük bir yıldız alanı için biri sıg (parlak) diğeri derin (sönük) nesneleri içeren iki gökyüzü tarama programının fotometrik verileri kullanılarak, Galaksi model parametreleri iki farklı yöntem ile hesaplanmıştır. Sönük nesnelerin fotometrik verileri elektromanyetik tayfin optik bölgesinde gözlemlerini sürdüren SDSS DR 12 (Alam ve diğ., 2015) kataloğundan, parlak nesnelerin fotometrik verileri ise yakın kızılötesinde tüm gökyüzünün fotometrik verilerini içeren 2MASS Nokta Kaynak Kataloğu'ndan (Cutri ve diğ., 2003) elde edilmiştir.

Galaksi model parametrelerinin belirlenmesinde tek türden nesneler kullanılmaktadır. Bilindiği gibi yıldızlar nükleer evrimlerinin büyük kısmını anakol evresinde geçirmektedir. Bu nedenle Galaktik yapı araştırmalarında farklı mutlak parlaklıklara sahip olan anakol yıldızları kullanılmaktadır. Bu tez çalışmasında da anakol yıldızları tercih edilmiştir. Araştırmada iki gökyüzü tarama programına ait fotometrik verilerin kullanılması, incelenen yıldız alanı doğrultusunda hem Güneş'e yakın, hem de Güneş'ten çok uzak anakol yıldızlarının bulunmasına olanak vermiştir. Bu da geniş bir uzaklık aralığı için farklı mutlak parlaklıklardaki anakol yıldızlarından Galaksi model parametrelerinin elde edilmesi anlamına gelmektedir. Tez çalışmasındaki en büyük veri seti SDSS gözlemlerinden gelmektedir. Bu fotometrik veriler içinde hem Galaksimize ait farklı ışıma gücünde bulunan yıldızlar, hem de Galaksi-dışı yaygın ve nokta kaynaklar bulunmaktadır. SDSS sisteminde Galaksimize ait nokta kaynakların (yıldız) belirlenmesinde SDSS *ugriz* parlaklıklarından yararlanılmıştır. Veriler SDSS web sayfasından çekilirken kaynakların morfolojik yapıları dikkate alınmış ve nokta kaynakların (yıldız) seçimine önem verilmiştir. Bunun sonucunda 93,434 nesnenin yıldızlararası sönümlemeden arındırılmış *ugriz* parlaklıkları ve bu parlaklıkların hatalarına ulaşılmıştır. Bu aşamadan sonra yakın Galaksi-dışı nokta kaynakların ayrımı, $g_0 < 23$ ve $(u - g)_0 > 0.5$ kadir sınırlamaları getirilerek yapılmıştır. Oluşturulan yeni veri setinde halen büyük kırmızıya kayma gösteren kuazarlar ile evrimleşmiş yıldızlar bulunmaktadır. Bu türden nesneleri SDSS verileri bulunan kaynaklar içinden ayırırken

Juric ve diğ.'nin (2008) $(g - r)_0 \times (r - i)_0$ iki-renk diyagramı üzerinde anakol yıldızlarını belirledikleri yöntem ile, metalce fakir evrimleşmiş yıldızların renk uzaylarındaki konumlarını belirleyen Helmi ve diğ.'nin (2003) metodu kullanılmıştır. Detayları Bölüm 3.3.1'de ve uygulamaları da Bölüm 4.1'de verilen çalışma sonucunda SDSS verileri bulunan kaynaklar içinde 55,439 anakol yıldızı belirlenmiştir.

Çalışılan yıldız alanı doğrultusunda parlak yıldızların yakın kızılötesi fotometrik verileri 2MASS Nokta Kaynak Kataloğu'ndan (Cutri ve diğ., 2003) alınmıştır. Fotometrik verilerin yeterince duyarlı olabilmesi için her bir filtrede "A" sınıfı veriye sahip olan kaynaklar dikkate alınmış ve yıldız alanı doğrultusunda 12,901 yıldızın parlaklıklarına ulaşılmıştır. Bu aşamadan sonra 2MASS verileri yıldızlararası ortamın neden olduğu sönmüleme etkisinden arındırılmıştır. İncelenen yıldız alanında hem SDSS hem de 2MASS verileri bulunan kaynakların ortaya çıkartılması için iki katalogdaki tüm kaynakların ekvatorial koordinatları, 5 yay saniyesi şartını sağlayacak şekilde, birbirleriyle karşılaştırılmış ve 6,744 kaynağın her iki katalogda bulunduğu tespit edilmiştir. Verilerin tek türden ifade edilmesi gerektiğinden tez çalışmasında 6,744 kaynağın SDSS verilerinin kullanılması tercih edilmiştir. Geriye kalan 6,157 2MASS yıldızı içinde anakol/evrimleşmiş yıldızların ayrımı Bilir ve diğ.'nin (2006c) yöntemiyle yapılarak, 617 evrimleşmiş yıldız belirlenmiştir. Bu yıldızların istatistik dışı bırakılmasıyla 2MASS verileri içinde 5,540 anakol yıldızı tespit edilmiştir. Buna göre her iki fotometrik sistemde belirlenen toplam anakol yıldız sayısı 60,979 olmuştur (bkz. Bölüm 4.3).

Tez çalışmasında, SDSS ve 2MASS veri setinden belirlenen 60,979 anakol yıldızının mutlak parlaklıklarının tek fotometrik sistemde ifade edilmesi için Güneş civarındaki anakol yıldızlarına ait ışıma gücü fonksiyonlarının iyi bir şekilde tanımlandığı M_g mutlak parlaklığı tercih edilmiştir. 2MASS sisteminde verisi bulunan 5,540 anakol yıldızının fotometrik verileri, Bilir ve diğ.'nin (2008a) Bölüm 3.4'te, (3.11) ve (3.12) bağıntılarıyla verilen dönüşüm formülleri kullanılarak SDSS parlaklıklarına çevrilmiştir. Bu aşamadan sonra 5,540 anakol yıldızının M_r mutlak parlaklıkları, Juric ve diğ.'nin (2008) Bölüm 3.5'te verilen (3.15) bağıntısı kullanılarak hesaplanmıştır. Yıldızların hesaplanan M_r mutlak parlaklıklarını, M_g mutlak parlaklığı cinsinden ifade

etmek için $M_g = M_r + g - r$ bağıntısı kullanılmıştır. M_g mutlak parlaklıkları ve g_0 görünen parlaklıkları bilinen her bir yıldızın Güneş'e uzaklıkları Pogson bağıntısı yardımıyla hesaplanmıştır.

5.1. LİTERATÜRDE VERİLEN GALAKSİ MODEL PARAMETRELERİ

Galaksimizin yapısının anlaşılmasında Galaksimizin farklı popülasyonları için kabul gören modellere ait parametre değerleri kullanılmaktadır. Samanyolu Galaksisi'nin modern anlamda incelenmesi 1980'li yıllarda Bahcall ve Soneira'ya (1980) ait iki bileşenli model ile başlamıştır. Gilmore ve Reid'in (1983) Güney Galaktik Kutup doğrultusundaki bir yıldız alanında yaptığı araştırma sonucunda disk bileşeninin ince ve kalın diskten oluştuğu anlaşılmış ve Samanyolu için üç bileşenli bir galaksi modeli önerilmiştir. Galaksimizin farklı doğrultularında yürütülen sistematik gökyüzü taramaları sonucunda, bu üç bileşenli Galaksi modeli kullanılarak elde edilen model parametreleri farklı araştırmacılar tarafından literatüre kazandırılmıştır. Araştırmacıların Galaksimiz için hesapladıkları model parametreleri Tablo 5.1'de verilmektedir.

1982 yılından günümüze kadar yapılan Galaktik yapı araştırmaları incelendiğinde ince diskin yükseklik ölçeğinin $125 \leq H_{ZI} \leq 495$ pc aralığında değiştiği görülmektedir (Robin ve Creze, 1986; Karaali ve diğ., 2004). İnce diskin yükseklik ölçeğinin ilk zamanlarda genellikle 300 pc'ten daha büyük değerlerde, 2000'li yıllardan sonra ise 200 ile 300 pc arasında verildiği görülmektedir (bkz: Tablo 5.1). İnce diskin yükseklik ölçeği hesabından mutlak parlaklık aralıkları da dikkate alındığında geri tayf türündeki yıldızlara doğru gidildikçe yoğunluk kanunundaki exp ifadesinin yerini önce $sech$ ardından $sech^2$ ifadesine bıraktığı görülmüştür (Phelps ve diğ. 2000; Bilir ve diğ. 2006b). Literatürde ince diskin uzunluk ölçeğine ait çalışmalar dikkate alındığında en küçük değerlerin Phelps ve diğ. (2000; $1 < H_{RI} < 1.5$ kpc) ile Yaz ve Karaali (2010; $1 < H_{RI} < 1.5$ kpc), en büyük değerlerin ($H_{RI} = 4$ kpc) ise Gilmore (1983) ve Buser ve diğ. (1998; 1999) tarafından verildiği görülmektedir. İnce diskin uzunluk ölçeğinin duyarlı bir şekilde verilmesi söz konusu olduğunda incelenen yıldız alanlarının Galaktik düzleme yakın ve farklı doğrultularda bulunması gerekir. Bu analizlerde yıldızlararası ortamın neden olduğu sönmüleme ve kızarma etkilerinin en aza indiği, elektromanyetik tayfin yakın veya orta kızılötesi bölgelerinde sürdürülen gökyüzü tarama programlarına

ait fotometrik verilerin kullanılması gerekmektedir. Bu konu üzerine yapılan en güncel çalışma Yaz ve diğ.'ne (2015) aittir. Bu araştırmacılar, kırmızı yığın yıldızlarının yakın (J) ve orta kızılötesi ($W1$) fotometrik verilerini kullanarak ince diskin uzunluk ölçeğini belirlemeye çalışmışlardır. Galaktik düzlem civarında ve Galaksi merkezinin zıt yönlerinde eş aralıklara ayrılmış 19 yıldız alanında, Galaksi merkezinden $8 < R_{gc} < 16$ kpc uzaklık aralığında bulunan kırmızı yığın yıldızlarının gözlemsel yoğunluk değerlerini hesaplayıp tek bileşenli ince disk yoğunluk kanunuyla modelleyerek ince diskin uzunluk ölçeğini $1.57 < H_{RI} < 2.14$ kpc aralığında hesaplamışlardır.

Modern yıldız sayımları sonucunda ortaya çıkartılan kalın disk popülasyonuna ait yapısal parametrelerin geçen 40 yıl içerisinde halen yerine oturmadığı görülmektedir. Kalın diskin normalize yoğunluk değerleri dikkate alındığında Güneş civarındaki en düşük değerlerin %1.25 ile %1.5 olarak, sırasıyla Yoshii (1982) ve Fenkart ve Karaali (1987) tarafından verildiği görülmektedir (bkz Tablo 5.1). Teknolojinin gelişmesiyle ve 2000'li yıllardan sonra CCD'lerin gökyüzü tarama programlarında kullanılmaya başlanmasıyla birlikte, sönük yıldızların hassas fotometrik ölçümleri yapılabilir hale gelmiştir. Bu da kalın diske ait yapısal parametrelerin daha duyarlı hesaplanmasına fırsat vermiştir. Özellikle 2000'li yıllardan sonra Güneş civarındaki kalın disk yıldız normalize yoğunluk değerlerinin %10 ile %16 aralığında değiştiği görülmüştür (Chen ve diğ., 2001; Siegel ve diğ., 2002; Cabrera-Laver ve diğ., 2005; Ak ve diğ., 2007; Juric ve diğ., 2008). Keşfedildiği yıllarda kalın diskin yükseklik ölçeği yaklaşık 1.45 (Gilmore ve Reid, 1983) ile 2.39 kpc (Yoshii, 1982) aralığında, 2000'li yıllardan sonra ise genellikle $500 < H_{Z2} \leq 750$ pc aralığında verilmiştir (Chen ve diğ., 2001; Siegel ve diğ., 2002; Du ve diğ. 2003; Bilir ve diğ. 2006c; Du ve diğ., 2006; Ak ve diğ., 2007; Karaali ve diğ., 2007; Bilir ve diğ. 2008b; Juric ve diğ., 2008). Kalın disk üzerine yapılan araştırmaların artmasıyla birlikte kalın diskin normalize yoğunluk değerinin yükseklik ölçeğiyle dejenere olduğu görülmüştür. Kalın diskin hesaplanan yoğunluk ve yükseklik ölçeği değerleri arasında oluşturulan bir grafik yardımıyla, Şekil 5.1'de iki parametrenin birbirleriyle ters orantılı olduğu görülmektedir. Gözlemler ve modellerdeki tüm gelişmelere rağmen, kalın diskin yapısı hâlâ tam olarak anlaşılabilmemiş değildir. $n_z \times H_z = \text{sabit}$ bağıntısına göre, elde edilen n_z ve H_z değerleri birbirleriyle oldukça ilişkilidir ki bu değer, belli bir doğrultuda taranan koni şeklinde bir bölge içinde

gözlenen yıldız sayısına göre modelin en büyük dağılımını vermektedir. Buna göre kalın diskin normalize yoğunluğu $0.01 < n_z < 0.1$ ve yükseklik ölçeği $0.5 < H_z < 2$ kpc değerleri arasında sınırlandırılabilir.

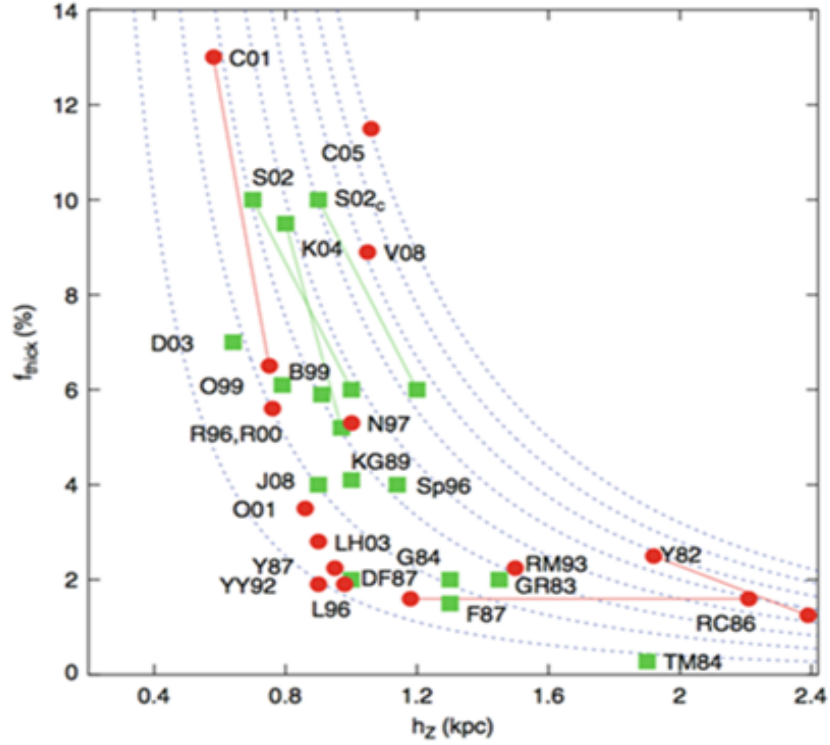
Kalın diskin radyal uzunluk ölçeğinin araştırılmasında farklı doğrultularda incelenen yıldız alanlarının büyük önemi vardır. Disk yapısı Galaktik düzleme yakın bulunduğundan düşük Galaktik enlemlerdeki yıldız alanlarının modellenmesi radyal uzunluk ölçeğine ait verilerin daha duyarlı belirlenmesinde önemli rol oynar. Bilindiği gibi Galaksi merkezi doğrultusundaki yıldız sayısı Galaksi merkezinin zıt tarafındaki yıldız sayısı ile karşılaştırıldığında belirgin oranda fazladır. Bu da yıldız sayılarının belli bir uzunluk ölçeğiyle azaldığını gösteren belirgin bir bulgudur. 1980'li yılların başında kalın diske ait çalışmalar (Yoshii, 1982; Gilmore ve Reid, 1983; Gilmore, 1984; Tritton ve Morton, 1984) genellikle Galaktik düzleme dik doğrultularda yapıldığından kalın diskin uzunluk ölçeği yeterli duyarlılıkla tayin edilememiş ve ince diskin uzunluk ölçeğiyle aynı değerde olduğu varsayılmıştır. Kaliteli yıldız sayımlarından elde edilen büyük veri setleri sayesinde yapılan hesaplamalar ile kalın diskin uzunluk ölçeği için $h_R = 3.0$ kpc (Basel verileri; Buser ve diğ. 1998, 1999), $h_R = 2.8$ kpc (Besançon verileri, Robin ve diğ. 1996, 2000), $h_R = 3-4$ kpc (CCD verileri, Siegel ve diğ. 2002), $h_R = 2.8 \pm 0.3$ kpc (2MASS verileri, Ojha 2001) ve $h_R = 3.04 \pm 0.11$ kpc (2MASS verileri, Cabrera-Lavers ve diğ. 2005) gibi hemen hemen birbirine yakın değerler elde edilmiştir. Bu çalışmalar dışında, Larsen ve Humphreys (2003) tüm gökyüzü optik verilerini kullanarak kalın diskin uzunluk ölçeğini $h_R = 4.7 \pm 0.2$ kpc olarak hesaplamıştır. Elde edilen bu sonuç kısmen, yıldız alanlarındaki değişen kızarma değerlerinden kaynaklanmış olabilir. Aslında, 2MASS tüm gökyüzü taramasından elde edilen veriler kullanılarak yapılan sönümlemeye bağımsız analizler ile kalın diskin uzunluk ölçeği $h_R = 2.8-3.0$ kpc olarak elde edilmiştir (Cabrera-Lavers ve diğ. 2005; Ojha 2001). Daha da önemlisi, Larsen ve Humphreys'in (2003) kalın diskin uzunluk ölçeği için verdiği $h_R = 4.7$ kpc değeri, ince disk için hesapladıkları uzunluk ölçeğinden çok daha büyüktür. Bu bulgu Galaksimizde kalın diskin uzunluk ölçeğinin ince diskinkine göre daha büyük olduğu görüşünü kuvvetlendirmektedir (Cabrera-Lavers ve diğ. 2005; Juric ve diğ. 2008; Ojha 2001; Robin ve diğ. 1996; Siegel ve diğ. 2002).

Tablo 5.1: 1982 yılından itibaren yapılan gökyüzü yıldız sayımlarından hesaplanan Galaktik yapı parametreleri.

H_z (pc)	h_z (kpc)	n_z (%)	H_z (kpc)	h_z (kpc)	n_z (%)	$R_z(S)$ (kpc)	κ	Kaynak
310-325	—	1.25-2.5	1.92-2.39	—	—	—	—	1
300	—	2	1.45	—	—	—	—	2
325	4.0	2	1.3	—	0.20	3.0	0.85	3
280	—	0.28	1.9	—	0.12	—	—	4
125-475	—	1.6	1.18-2.21	—	0.13	3.1	0.80	5
300	—	2	1.0	—	0.10	—	0.85	6
285	—	1.5	1.3-1.5	—	0.20	2.36	düz	7
325	—	2.24	0.95	—	0.10	2.9	0.9	8
249	—	4.1	1.0	—	0.20	3.0	0.85	9
350	3.8	1.9	0.9	3.8	0.11	2.7	0.84	10
290	—	—	0.86	—	—	4.0	—	11
325	—	2.0-2.5	1.6-1.4	—	0.15	2.67	0.80	12
325	3.2	1.9	0.98	4.3	0.24	3.3	0.48	13
250	2.5	5.6	0.76	2.8	0.15	2.44	0.60	14
260	2.3	7.4	0.76	3.0	—	—	—	15
290	4.0	5.9	0.91	3.0	0.05	2.69	0.84	16
240	—	6.1	0.79	—	—	—	—	17
280	—	2	1.26	—	—	2.99	0.63	18
330	2.25	6.5-13	0.58-0.75	3.5	0.13	—	0.55	19
—	2.8	3.5	0.86	3.7	—	—	—	20
280	2-2.5	6-10	0.7-1.0	3-4	0.15	—	0.50-0.70	21
285	1.97	—	—	—	—	—	—	22
—	3.5	2-3	0.9	4.7	0.2-0.3	4.3	0.5-0.6	23
320	—	7	0.64	---	0.125	—	0.6	24
265-495	—	5.2-9.8	0.80-0.97	---	0.02-0.15	—	0.6-0.8	25
268	2.1	11	1.06	3.04	—	—	—	26
300	—	4-10	0.9	—	—	3.0	1	27
220	1.9	—	—	—	—	—	—	28
160-360	—	3.3-7.6	0.84-0.87	—	0.04-0.06	—	0.6-0.8	29
301	—	8.7	0.58	—	0.10	—	0.74	30
220-320	—	1-7	0.6-1.1	—	0.125	—	>0.4	31
206	—	16	0.49	—	—	—	0.45	32
140-269	—	6.2-14.5	0.80-1.16	—	—	—	—	33
220-360	1.65-2.52	2.7-9.9	0.62-1.03	2.3-4.0	0.01-0.22	—	0.25-0.85	34
167-200	—	5.5-15.1	0.55-0.72	—	0.07-0.19	—	0.53-0.76	35
245	2.15	13	0.74	3.26	0.51	2.77	0.64	36
325-369	1.00-1.68	6.4-6.59	0.86-0.95	2.65-5.49	0.33-0.39	---	0.49-0.65	37
360	3.7	7	1.02	5.0	0.20	2.6	0.55	38
260	3.7	10	1.04	5.0	—	—	—	39
103-350	—	8.3-16.5	0.52-0.68	—	0.05-0.65	—	0.20-0.84	40
—	1.55-2.14	—	—	—	—	—	—	41
322	2.34	11	0.79	3.64	0.16	—	0.65	42

(1) Yoshii (1982), (2) Gilmore ve Reid (1983), (3) Gilmore (1984), (4) Tritton ve Morton (1984), (5) Robin ve Creze (1986), (6) del Rio ve Fenkart (1987), (7) Fenkart ve Karaali (1987), (8) Yoshii ve diğ. (1987), (9) Kuijken ve Gilmore (1989), (10) Yamagata ve Yoshii (1992), (11) von Hippel ve Bothun (1993), (12) Reid ve Majewski (1993), (13) Larsen (1996), (14) Robin ve diğ. (1996, 2000), (15) Ojha ve diğ. (1996), (16) Buser ve diğ. (1998, 1999), (17) Ojha ve diğ. (1999), (18) Phleps ve diğ. (2000), (19) Chen ve diğ. (2001), (20) Ojha (2001), (21) Siegel ve diğ. (2002), (22) Lopez-Corredoira ve diğ. (2002), (23) Larsen ve Humphreys (2003), (24) Du ve diğ. (2003), (25) Karaali ve diğ. (2004), (26) Cabrera-Lavers ve diğ. (2005), (27) Phleps ve diğ. (2005), (28) Bilir ve diğ. (2006a), (29) Bilir ve diğ. (2006b), (30) Bilir ve diğ. (2006c), (31) Du ve diğ. (2006), (32) Ak ve diğ. (2007), (33) Cabrera-Lavers ve diğ. (2007), (34) Karaali ve diğ. (2007), (35) Bilir ve diğ. (2008b), (36) Juric ve diğ. (2008), (37) Yaz ve Karaali (2010), (38) Chang ve diğ. (2011), (39) Chang ve diğ. (2012), (40) Jia ve diğ. (2014), (41) Yaz

Gökçe ve diğ. (2015), (42) Chen ve diğ. (2017)



Şekil 5.1: Kalın diskin eksponansiyel yükseklik ölçeği ve normalizasyon değerleri.²⁹

Galaksimizin halo bileşeni için yapılan çalışmalar özellikle 2000’li yıllarda CCD gözlemlerinin artmasıyla hız kazanmıştır. Gözlemsel yoğunluk profillerine yapılan modellemeler sonucunda, halo bileşeninin Güneş civarındaki yoğunluğunun %0.01 ile %0.65 aralığında değiştiği görülmektedir (Karaali ve diğ., 2007; Jia ve diğ., 2014). Bu değer aralığı Güneş civarındaki 10,000 yıldızdan 1 veya 65’inin halo yıldızı olacağını ifade etmektedir. Modern yıldız sayımlarının ilk zamanlarında halonun eksen basıklık oranı $\langle \kappa \rangle = 0.85$ olarak hesaplanırken, yani basık sferoid, güncel çalışmalarda bu değer daha da küçülerek $\langle \kappa \rangle = 0.65$ değerine azalmıştır. Bunun nedeni halonun iç ve dış olarak iki kısımdan meydana gelmesidir. İç haloya ($R_{gc} \leq 10$ kpc) ait yıldız sayıları halonun çok basık olduğunu, dış haloya doğru gidildikçe ($R_{gc} > 10$ kpc) halonun küreselleştiğini göstermektedir (Bilir ve diğ. 2006a, 2008c). Halonun Güneş civarındaki yoğunluk değerleriyle eksen oranları arasındaki ilişkiye bakıldığında iki parametrenin birbirine göre dejenere olmadığı görülmektedir (bkz Tablo 5.1). Bunun temel nedeni halonun Güneş civarındaki yoğunluğunun düşük bir değer aralığında bulunmasıdır.

²⁹ Oswalt ve Gilmore, 2013

5.2. TAYİN EDİLEN GALAKSİ MODEL PARAMETRELERİN LİTERATÜR İLE KARŞILAŞTIRILMASI

Üç bileşenli Galaksi modelinde belirlenmesi istenen üçü ince disk, üçü kalın disk ve ikisi de halo popülasyonuna ait olmak üzere sekiz yapısal parametre bulunmaktadır. Galaksi model parametrelerinin belirlenmesi için çalışmamızda geniş bir parametre uzayı tercih edilmiştir (bkz Tablo 4.1). Seçilen parametre aralıkları ve adım sayıları da dikkate alındığında yaklaşık 44.2 milyon teorik yoğunluk profili üretilmiştir. Bu teorik modeller içerisinde en küçük χ^2 değerine sahip olan modelin gözlemleri en iyi temsil ettiği düşünülerek modele ait yapısal parametreler, çalışılan mutlak parlaklık aralığının Galaksi model parametreleri olarak kabul edilmiştir. $4 < M_g \leq 5$, $5 < M_g \leq 6$ ve $6 < M_g \leq 7$ ardışık mutlak parlaklık aralıkları için hesaplanan sonuçlar Tablo 4.2’de verilmiştir.

$4 < M_g \leq 5$, $5 < M_g \leq 6$ ve $6 < M_g \leq 7$ ardışık mutlak parlaklık aralıkları için hesaplanan ince diskin yükseklik ölçeği değerinin $196 \leq H_{ZI} \leq 221$ pc aralığında değiştiği görülmektedir. Yükseklik ölçeğindeki hatalar dikkate alındığında yükseklik ölçeğinin ortalama değerinin yaklaşık 209 pc olduğu tespit edilmiştir. Hesaplanan bu değer literatürde ince disk için verilen değerlerden daha küçük olduğu görülmekle birlikte, Ak ve diğ.’nin (2007) $H_{ZI} = 206$ pc ve Bilir ve diğ.’nin (2008b) $H_{ZI} = 200$ pc’lik sonuçlarıyla çok iyi uyushmaktadır. Bu çalışmada üç mutlak parlaklık aralığı için hesaplanan ince diskin uzunluk ölçeği $2.20 \leq h_{RI} \leq 2.91$ kpc aralığında değişmekte olup ortalama değeri $\langle h_{RI} \rangle = 2.54$ kpc’tir. Üç mutlak parlaklık aralığı için hesaplanan uzunluk ölçeği değeri literatürdeki çalışmalar ile karşılaştırıldığında Robin ve diğ.’nin (1996) $h_{RI} = 2.5$ kpc, Ojha ve diğ.’nin (1996) $h_{RI} = 2.3$ kpc, Chen ve diğ.’nin (2001) $h_{RI} = 2.25$ kpc Siegel ve diğ.’nin (2002) $2 \leq h_{RI} \leq 2.5$ kpc ve Chen ve diğ.’nin (2017) $h_{RI} = 2.34$ kpc değerleriyle oldukça uyumlu olduğu söylenebilir.

Tablo 4.2’de, kalın disk popülasyonunun Güneş civarındaki yoğunluk değerinin $4.60 \leq n_2 (\%) \leq 9.21$ aralığında değiştiği, $4 < M_g \leq 5$ mutlak parlaklık aralığı dışında ise kalın diskin yoğunluk değerinin $7.37 \leq n_2 (\%) \leq 9.21$ aralığında olduğu görülmektedir. Çalışmamızda kalın diskin yoğunluğu geniş bir aralık ($4.60 \leq n_2 (\%) \leq 9.21$) içinde verildiğinden literatürdeki çoğu çalışmayla uyum içerisinde (Ojha ve diğ., 1996, 1999; Robin ve diğ., 1996, 2000; Chen ve diğ., 2001; Siegel ve diğ., 2002; Karaali ve

diğ., 2004; Phleps ve diğ. 2005; Bilir ve diğ., 2006b, 2006c, 2008b; Cabrera-Lavers ve diğ., 2007; Yaz ve Karaali, 2010; Chang ve diğ., 2011). Çalışmamızda sadece $5 < M_g \leq 6$ ve $6 < M_g \leq 7$ mutlak parlaklık aralığı için hesaplanan yoğunluk değerleri ($7.37 \leq n_2 (\%) \leq 9.21$) dikkate alındığında ise Bilir ve diğ.'nin (2006c) $n_2 = \%8.7$ değeriyle oldukça uyumludur. Üç mutlak parlaklık aralığı için kalın disk popülasyonunun yükseklik ölçeği değerleri $616 \leq H_{Z2} \leq 678$ pc aralığında olup ortalama değeri $\langle H_{Z2} \rangle = 637$ pc'tir. Hesaplanan bu değerler özellikle son 10 yıl içinde literatürde verilen sonuçlara benzerdir (Chen ve diğ., 2001; Du ve diğ., 2003; Bilir ve diğ., 2006b, 2008b; Juric ve diğ., 2008; Jia ve diğ., 2014; Chen ve diğ., 2017). Çalışmada kalın diskin hesaplanan ortalama yükseklik ölçeği dikkate alındığında ise Du ve diğ.'nin (2003) $H_{Z2} = 640$ pc, Bilir ve diğ.'nin (2006c) $H_{Z2} = 580$ pc ve Jia ve diğ.'nin (2014) $520 \leq H_{Z2} \leq 680$ pc uzaklık aralığıyla oldukça uyumludur. Tez çalışmasında, kalın diskin Güneş civarındaki yoğunluğuyla yükseklik ölçeği arasında bir ilişki görülmemiştir. Yani mutlak parlaklık aralıkları için hesaplanan yükseklik ölçekleri Güneş civarındaki yoğunluk değerleriyle bir değişim göstermemektedir. Üç mutlak parlaklık aralığı için hesaplanan kalın diskin uzunluk ölçeği değerleri $1.89 \leq h_{R2} \leq 2.11$ kpc aralığında hesaplanmış olup ortalama değeri $\langle h_{R2} \rangle = 2.03$ kpc'tir. Bu sonuç literatürde verilen en küçük değerdir. Bölüm 5.1'de kalın diskin uzunluk ölçeği değeri hakkında yapılan ayrıntılı tartışmalar da dikkate alındığında hâlâ detaylı çalışmaların yapılmasına ihtiyaç olduğu görülmektedir.

Tablo 4.2'ye bakıldığında halo popülasyonu için üç mutlak parlaklık aralığında elde edilen yoğunluk değerlerinin $0.07 \leq n_3 (\%) \leq 0.09$ aralığında değiştiği görülmektedir. Bu sonuçlar literatür ile karşılaştırıldığında del Rio ve Fenkart'ın (1987) $n_3 = \%0.1$, Yoshii ve diğ.'nin (1987) $n_3 = \%0.1$, Karaali ve diğ.'nin (2004) $0.02 \leq n_3 (\%) \leq 0.15$, Bilir ve diğ.'nin (2006c) $n_3 = \%0.1$ ve Bilir ve diğ.'nin (2008b) $0.07 \leq n_3 (\%) \leq 0.19$ sonuçlarıyla oldukça uyumludur. Çalışmamızda üç mutlak parlaklık aralığı için hesaplanan halo eksen oranı $0.690 \leq \kappa \leq 0.824$ olarak belirlenmiştir. Bu değer aralığı çoğu çalışmayla uyum içerisindedir (Robin ve Creze, 1986; Reid ve Majewski 1993; Karaali ve diğ., 2004; Bilir ve diğ. 2006c; Cabrera-Lavers ve diğ., 2005). $4 < M_g \leq 5$, $5 < M_g \leq 6$ ve $6 < M_g \leq 7$ mutlak parlaklık aralıklarında halonun yoğunluğu hemen hemen sabit olmasına karşın eksen basıklık oranları, sırasıyla, 0.824, 0.694 ve 0.690

olarak azalmaktadır. Bu durum parametrelerin birbirlerine göre dejenere olmadığını, tam aksine, Güneş civarından uzaklaştıkça halonun daha küresel bir yapıda olduğunu gösteren önemli bir delildir.

Son olarak incelenen mutlak parlaklık aralıkları için tüm modellerden Güneş civarı için bir ışıma gücü değeri elde edilmiştir. $4 < M_g \leq 5$, $5 < M_g \leq 6$ ve $6 < M_g \leq 7$ mutlak parlaklık aralıkları için hesaplanan ışıma gücü değerleri, sırasıyla, 7.33, 7.45 ve 7.42'tür. Aynı mutlak parlaklık aralıkları için Güneş civarındaki ışıma gücü fonksiyonları da, sırasıyla, 7.30, 7.47 ve 7.47 olup tez çalışmasındaki sonuçlara çok yakındır. Bu da modellerin Güneş civarını temsil ettiğini gösteren önemli bir kanıttır.

Tez çalışmasındaki önemli bulgulardan biri de kalın disk popülasyonunun $4 < M_g \leq 5$ mutlak parlaklık aralığında Güneş civarındaki yoğunluğu %4.60 iken, $5 < M_g \leq 6$ ve $6 < M_g \leq 7$ mutlak parlaklık aralıklarında ise, sırasıyla, %9.21 ve %7.37 değerlerinde bulunmasıdır. Bu, incelenen yıldız alanının konumu ve derinliği dikkate alındığında beklenmedik bir durumdur. Her bir mutlak parlaklık aralığında kalın disk popülasyonunun Güneş civarındaki yoğunluk değerlerinin hatalar içinde birbirleriyle uyumlu olması gerekirdi. $4 < M_g \leq 5$ mutlak parlaklık aralığındaki kalın diske ait uzay yoğunluğunun hemen hemen diğer aralıklara göre yarı yarıya az olması, incelenen aralıktaki yıldızların büyük kısmının evrimleşmiş olacağı kanısını uyandırmaktadır. Bunu kanıtlamak için orta tayf türündeki anakol yıldızlarının tayf türleri, M_V mutlak parlaklıkları, $(B-V)_0$ renk indeksi ve kütleleri Cox'un (2000) tablolarından alınmış ve her bir tayf türü için anakolda kalma zamanları hesaplanmıştır. M_g mutlak parlaklığının hesaplanmasında Bilir ve diğ.'nin (2005) $M_g = M_V - 0.63359 \times (B - V)_0 - 0.10813$ bağıntısı kullanılmıştır. Anakol yıldızları için literatürden alınan veriler Tablo 5.2'de listelenmiştir. Anakol yıldızlarının anakolda kalma süresi aşağıdaki ifadeyle verilir:

$$t = (1 \times 10^{10})^{\frac{M/M_{\odot}}{L/L_{\odot}}} \text{ yıl} \quad (5.1)$$

(Binney ve Merrifield, 1998) Burada t anakolda kalma süresini, $M/M_{\odot}$ ve $L/L_{\odot}$, sırasıyla, yıldız Güneş birimi cinsinden kütesini ve ışıma gücünü ifade etmektedir.

Tablo 5.2: Orta tayf türündeki anakol yıldızlarının temel astrofizik parametreleri ve anakolda kalma süreleri.

Tayf Türü	M_V (kadir)	$(B-V)_0$ (kadir)	M_g (kadir)	$M/M_\odot$	T (Gyıl)
A5	1.95	0.15	1.94	2.00	1.77
F0	2.70	0.30	2.78	1.60	3.09
F5	3.50	0.44	3.67	1.40	4.31
G0	4.40	0.58	4.66	1.05	8.85
G2	4.70	0.63	4.99	1.00	10.00
G5	5.10	0.68	5.42	0.92	12.32
K0	5.90	0.81	6.31	0.79	18.03

Anakol yıldızları için kütle-ışınma gücü ifadesi $M \propto L^{3.5}$ (Binney ve Merrifield, 1998) kabul edilmektedir. Bu ifadenin (5.1) bağıntısında yerine yazılmasıyla anakolda kalan süresi,

$$t = (1 \times 10^{10}) \left(\frac{M}{M_\odot} \right)^{-2.5} \text{ yıl} \quad (5.2)$$

olarak belirlenebilir. Tablo 5.2'deki her bir tayf türündeki anakol yıldızlarının hesaplanan anakolda kalma süreleri, aynı tablonun son sütununda verilmiştir. Tablo 5.2'de $4 < M_g \leq 5$ mutlak parlaklık aralığındaki yıldızların kabaca F7 ile G2 tayf türünde olduğu, hesaplanan M_g mutlak parlaklıklarından da kolaylıkla görülebilir. G0 ve G2 tayf türündeki anakol yıldızlarının anakolda kalma süreleri, sırasıyla, 8.85 ve 10 Gyıl'dır. G0 tayf türünden daha erken türdeki yıldızların ise 8 Gyıl'dan daha genç olması gerektiği görülmektedir. Galaksimizdeki kalın disk yıldızlarının 10 ile 12 Gyıl yaşında olduğu dikkate alındığında $4 < M_g \leq 5$ mutlak parlaklık aralığındaki kalın disk anakol yıldızlarının büyük kısmının evrimleşmiş olacağı anlaşılmaktadır. Bu da $4 < M_g \leq 5$ mutlak parlaklık aralığında Güneş civarındaki kalın disk yıldız yoğunluğunun diğer mutlak parlaklık aralıklarına göre az olmasını açıklamaktadır. Sonuç olarak, tez çalışmasında Galaksi model parametrelerinin duyarlı belirlenmesinde

- geniş bir uzay hacmi içindeki yıldızların kullanılması,
- mutlak parlaklık aralığının dikkate alınması,
- yoğunluk profillerindeki noktaların düzgün dizilimi
- popülasyonların yaşlarına bağlı olarak evrimleşmiş sınırının

dikkate alınması gerektiği görülmüş ve tartışılmıştır.

Öngörü: Galaksimizin yapısının ortaya çıkartılmasında, incelenen yıldız alanı doğrultusunda gözlenen yıldızların yeterince duyarlı uzaklıklarının ve ışıma gücü sınıflarının belirlenmesi gerekmektedir. 2013 yılında uzaya gönderilen ve geçtiğimiz Nisan ayında yayınladıkları DR2 veri sürümü ile yıldızların konumsal ve astrometrik ölçümelerini literatüre kazandıran Gaia uydusunun hassas trigonometrik ölçümleri, özellikle Güneş civarı ve ötesindeki yapının anlaşılmasında büyük katkı sağlamaktadır.

Artık Gaia DR2 trigonometrik verilerinin doğrudan kullanılarak yıldızların uzaklıkları ve mutlak parlaklıkları hesaplanabilmektedir. Böylece fotometrik sistemler arasında dönüşümler yapmadan yıldız yoğunluk profilleri elde edilebilir. Galaktik yapı araştırmalarının bu doğrultuda ilerlemesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- Adelman-McCarthy, J. K., Agüeros, M. A., Allam, S. S., Anderson, K. S. J., Anderson, S. F., Annis, J., Bahcall, N. A., Bailer-Jones, C. A. L., Baldry, I. K., Barentine, J. C., ve diğ., 2007, The Fifth Data Release of the Sloan Digital Sky Survey, *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 172, 634-644.
- Aihara, H., Allende Prieto, C., An, D., Anderson, S. F., Aubourg, É., Balbinot, E., Beers, T. C., Berlind, A. A., Bickerton, S. J., Bizyaev, D., ve diğ., 2011, The Eighth Data Release of the Sloan Digital Sky Survey: First Data from SDSS-III, *Astrophysical Journal Supplement*, 193, article id. 29, 17.
- Ak, S., Bilir, S., Karaali, S., Buser, R., 2007, Estimation of galactic model parameters with the Sloan Digital Sky Survey and the metallicity distribution in two fields in the anti-centre direction of the Galaxy, *Astronomische Nachrichten*, 328, 169.
- Alam, S., Albareti, F. D., Allende Prieto, C., Anders, F., Anderson, S. F., Anderton, T., Andrews, B. H., Armengaud, E., Aubourg, É., Bailey, S., ve diğ., 2015, The Eleventh and Twelfth Data Releases of the Sloan Digital Sky Survey: Final Data from SDSS-III, *Astrophysical Journal Supplement Series*, 219, article id.12, 27.
- Albareti, F. D., Allende P. C., Almeida, A., Anders, F., Anderson, S., Andrews, B. H., Aragón-Salamanca, A., Argudo-Fernández, M., Armengaud, E., Aubourg, E., ve diğ., 2017, The 13th Data Release of the Sloan Digital Sky Survey: First Spectroscopic Data from the SDSS-IV Survey Mapping Nearby Galaxies at Apache Point Observatory, *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 233, article id. 25, 25.
- Andreuzzi, G., Richer, H. B., Limongi, M., Bolte, M., 2002, The White Dwarf Cooling Sequence in the Old Open Cluster NGC 188, *Astronomy and Astrophysics*, 390, 961-965.
- Athanassoula, E., 2005, Formation and Dynamical Evolution of Galaxies and of their Components, *AIP Conference Proceedings*, 804, 333-340
- Baade, W., 1944, NGC 147 and NGC 185, Two New Members of the Local Group of Galaxies, *Astrophysical Journal*, 100, 147-150.
- Bahcall, J. N., Soneira, R.M., 1980, The Universe at Faint Magnitudes. I - Models for the Galaxy and the Predicted Star Counts, *Astrophysical Journal Supplement Series*, 44, 73-110.

- Bahcall, J. N., Soneira, R.M., 1984, Comparisons of a Standard Galaxy Model with Stellar Observations in Five Fields, *Astrophysical Journal Supplement Series*, 55, 67-99.
- Bahcall, J. N., Ratnatunga, K. U., Buser, R., Fenkart, R. P., Spaenhauer, A., 1985, An Analysis of the Basel Star Catalog, *Astrophysical Journal*, 299, 616-632.
- Battaglia, G., Helmi, A., Morrison, H., Harding, P., Olszewski, E. W., Mateo, Freeman, K. C., Norris, J., Sheckman, S. A., 2005, The Radial Velocity Dispersion Profile of the Galactic Halo: Constraining the Density Profile of the Dark Halo of the Milky Way, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 364, 433-442.
- Becker, W., 1962, Dreifarbenphotometrie und ihre Anwendung auf ein Sternfeld in der Scutum-Wolke. Mit 19 Textabbildungen, *Zeitschrift für Astrophysik*, 54, 155-189.
- Beers, T. C., Rossi, S., Norris, J. E., Ryan, S. G., Shefler, T., 1999, Estimation of Stellar Metal Abundance. II. A Recalibration of the Ca II K Technique, and the Autocorrelation Function Method, *The Astronomical Journal*, 117, 981-1009.
- Bonnet-Bidaud, J. M., Praderie, F., 2004, Star Charts on the Silk Road: Astronomical Star Maps in Ancient China, *In Whitfield_2004*, 81-90.
- Bilir, S., Karaali, S., Tunçel, S., 2005, Absolute Magnitudes for Late-Type Dwarf Stars for Sloan Photometry, *Astronomische Nachrichten*, 326, 321-331.
- Bilir, S., Karaali, S., Gilmore, G., 2006a, Investigation of the ELAIS Field by Vega Photometry: Absolute Magnitude-Dependent Galactic Model Parameters, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 366, 1295-1309.
- Bilir, S., Karaali, S., Ak, S. G., Yaz, E., Hamzaoglu, E., 2006b, Galactic Longitude Dependent Galactic Model Parameters, *New Astronomy*, 12, 234-245.
- Bilir, S., Karaali, S., Güver, T., Karataş, Y., Ak, S. G., 2006c, Galactic Model Parameters for Field Giants Separated from Field Dwarfs by Their 2MASS and V Apparent Magnitudes Galactic Model Parameters for Field Giants Separated from Field Dwarfs by Their 2MASS and V Apparent Magnitudes, *Astronomische Nachrichten*, 327, 72-81.
- Bilir, S., Karaali, S., Ak, S., Yaz, E., Cabrera-Lavers, A., Coşkunoğlu, K. B., 2008a, Luminosity-colour Relations for Thin-disc Main-sequence Stars, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 390, 1569-1576.
- Bilir, S., Cabrera-Lavers, A., Karaali, S., Ak, S., Yaz, E., Lopezcorredoira, M., 2008b, Estimation of Galactic Model Parameters in High Latitudes with SDSS, *Publications of the Astronomical Society of Australia*, 25, 69-84.
- Bilir, S., Ak, S., Karaali, S., Cabrera-Lavers, A., Chonis, T. S., Gaskell, C. M., 2008c, Transformations between 2MASS, SDSS and BVRI Photometric Systems:

- Bridging the Near-Infrared and Optical, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 384, 1178-1188.
- Bilir, S., Karaali, S., Ak, S., Coşkunoğlu, K. B., Yaz, E., Cabrera-Lavers, A., 2009, SDSS Absolute Magnitudes For Thin-Disc Stars Based on Trigonometric Parallaxes, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 396, 1589-1595.
- Binney, J., Merrifield, M., 1998, *Galactic Astronomy*, Princeton University Press, Princeton, NJ, ISBN: 9780691025650, 280.
- Brook, C. B., Gibson, B. K., Martel, H., Kawata, D., 2005, The Emergence of the Thick Disk in a CDM Universe. II. Colors and Abundance Patterns, *The Astrophysical Journal*, 630, 298-308.
- Bullock, J. S., Johnston, K. V., 2005, Tracing Galaxy Formation with Stellar Halos. I. Methods, *The Astrophysical Journal*, 635, 931-949.
- Buser, R., Rong, J., Karaali, S., 1998, The New Basel High-Latitude Field Star Survey of the Galaxy. I. General Introduction, Methodology and First Analysis *Astronomy and Astrophysics*, 331, 934-948.
- Buser, R., Rong, J., Karaali, S., 1999, The New Basel High-Latitude Field Star Survey of the Galaxy. II. The Thick Disk Component: Density Structure, Luminosity Function, and Metallicity Distribution, *Astronomy and Astrophysics*, 348, 98-112.
- Cabrera-Lavers, A., Garzón, F., Hammersley, P. L., 2005, The thick disc component of the Galaxy from near infrared colour-magnitude diagrams, *Astronomy and Astrophysics*, 433, 173-183.
- Cabrera-Lavers, A., Bilir, S., Ak, S., Yaz, E., Lopez-Corredoira, M., 2007, Estimation of Galactic Model Parameters in High Latitudes with 2MASS, *Astronomy and Astrophysics*, 464, 565-571.
- Canterna, R., 1976, Broad-band Photometry of G and K Stars - The C, M, T/1/, T/2/ Photometric System, *Astronomical Journal*, 81, 228-244.
- Carney, B. W., Latham, D. W., Laird, J. B., 1989, A Survey of Proper-Motion Stars. VIII-On the Galaxy's Third Population, *Astronomical Journal*, 97, 423-430.
- Cavin, J. D., 2012, *The Amateur Astronomer's Guide to the Deep-Sky Catalogs*, Springer Science+Business Media, NewYork, 55-83.
- Cayrel de Strobel, G., Soubiran, C., Ralite, N., 2001, Catalogue of [Fe/H] determinations for FGK stars: 2001 edition, *Astronomy and Astrophysics*, 373, 159-163.
- Chambers, K., Pan-STARRS Team, 2016, The Pan-STARRS Surveys, *American Astronomical Society*, AAS Meeting #227, id. 324.07.

- Chang, C.-K., Ko, C.-M., Peng, T.-H., 2011, Information on the Milky Way from the Two Micron All Sky Survey Whole Sky Star Count: The Structure Parameters, *The Astrophysical Journal*, 740, article id. 34, 8.
- Chang, C.-K., Ko, C.-M., Peng, T.-H., 2012, Information on the Milky Way from the 2MASS All Sky Star Count: Bimodal Color Distributions, *The Astrophysical Journal*, 759, article id. 94, 10.
- Chen, B., Stoughton, C., Smith, J. A., Uomoto, A., Pier, J. R., Yanny, B., Ivezić, Z., York, D. G., Anderson, J. E., Annis, J., and SDSS coauthors, 2001, Stellar Population Studies with the SDSS. I. The Vertical Distribution of Stars in the Milky Way, *Astrophysical Journal*, 553, 184-197.
- Chen, B.-Q., Liu, X.-W., Yuan, H.-B., Robin, A. C., Huang, Y., Xiang, M.-S., Wang, C., Ren, J.-J., Tian, Z.-J., Zhang, H.-W., 2017, Constraining the Galactic structure parameters with the XSTPS-GAC and SDSS photometric surveys, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 464, 2545-2556.
- Chiba, M., Beers, T. C., 2000, Kinematics of Metal-poor Stars in the Galaxy. III. Formation of the Stellar Halo and Thick Disk as Revealed from a Large Sample of Nonkinematically Selected Stars, *The Astronomical Journal*, 119, 2843-2865.
- Chiu, L.-T. G., 1980, Luminosity Functions of Disk and Halo Populations in SA 51, SA 57, and SA 68, *Astronomical Journal*, 85, 812-823.
- Chou, F., Anderson, J., Watzke, M., 2015, *NASA's Chandra Detects Record-Breaking Outburst from Milky Way's Black Hole*, NASA, [Ziyaret tarihi: 13 Haziran 2017].
- Churchwell, E., Babler, B., Meade, M., Whitney, B. A., Benjamin, R., Indebetouw, R., Cyganowski, C., Robitaille, T. P., Povich, M., Watson, C., Bracker, S., 2009, The Spitzer/GLIMPSE Surveys: A New View of the Milky Way, *Publications of the Astronomical Society of Pacific*, 121, 213-230.
- Cox, A. N., 2000, *Allen's Astrophysical Quantities*, In: Cox, A. N., AIP Press, New York, ISBN: 0387987460.
- Cutri, R. M., Skrutskie, M. F., van Dyk, S., Beichman, C. A., Carpenter, J. M., Chester, T., Cambresy, L., Evans, T., Fowler, J., Gizis, J., ve diğ., 2003, 2MASS All Sky Catalog of Point Sources, *The IRSA 2MASS All-Sky Point Source Catalog*, *NASA/IPAC Infrared Science Archive*.
- Dawson, K. S., Schlegel, D. J., Ahn, C. P., ve diğ., 2013, The Baryon Oscillation Spectroscopic Survey of SDSS-III, *The Astronomical Journal*, 145, article id. 10, 41.
- De Vaucouleurs, G., 1948, Recherches sur les Nebuleuses Extragalactiques, *Annales d'Astrophysique*, 11, 247-287.

- Del Rio, G., Fenkart, R., 1987, RGU Three-colour Photometric Space Densities in a Field Near the Galactic Centre (PLAUT II), Compared with Different Galaxy Models, *Astronomy and Astrophysics Supplement Series*, 68, 397-417.
- Dohm-Palmer, R. C., Helmi, A., Morrison, H., Mateo, M., Olszewski, E. W., Harding, P., Freeman, K. C., Norris, J., Sheckman, S. A., 2001, Mapping the Galactic Halo. V. Sagittarius Dwarf Spheroidal Tidal Debris 60° from the Main Body, *The Astrophysical Journal*, 555, L37-L40.
- Du, C., Zhou, X., Ma, J., Bing-Chih C. A., Yang, Y., Li, J., Wu, H., Jiang, Z., Chen, J., 2003, Galactic structure studies with BATC star counts, *Astronomy and Astrophysics*, 407, 541-549.
- Du, C., Ma, J., Wu, Z., Zhou, X., 2006, Galactic structure studies from the Beijing-Arizona-Taiwan-Connecticut survey, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 372, 1304-1314.
- Duffau, S., Zinn, R., Vivas, A. K., Carraro, G., Méndez, R. A., Winnick, R., Gallart, C., 2006, Spectroscopy of QUEST RR Lyrae Variables: The New Virgo Stellar Stream, *Astrophysical Journal*, 636, L97-L100.
- Duke, D., 2002, Associations Between the Ancient Star Catalogues, *Archive for History of Exact Sciences*, 56, 435-450.
- Eggen, O.J., Lynden-Bell, D., Sandage, A.R., 1962, Evidence from the Motions of Old Stars that the Galaxy Collapsed, *Astrophysical Journal*, 136, 748-766.
- Elmegreen, B. G., 2009, Bulge Formation by the Coalescence of Giant Clumps in Primordial Disk Galaxies, *ASP Conference Series*, 419, 23.
- Eisenstein, D. J., Weinberg, D. H., Agol, E., Aihara, H., Allende Prieto, C., Anderson, S. F., Arns, J. A., Aubourg, É., Bailey, S., Balbinot, E., et al., 2011, SDSS-III: Massive Spectroscopic Surveys of the Distant Universe, the Milky Way, and Extra-Solar Planetary Systems, *Astronomical Journal*, 142, article id. 72, 24.
- ESA, 1997, The HIPPARCOS and TYCHO Catalogues, *ESA Publications Division*, ESA SP-1200, 1-4.
- Fan, X., 1999, Simulation of Stellar Objects in SDSS Color Space, *Astronomical Journal*, 117, 2528-2551.
- Fenkart, R., Karaali, S., 1987, Model-Compared RGU-Photometric Space Densities in the High-Latitude Field M 101, *Astronomy and Astrophysics Supplement Series*, 69, 33-56.
- Finlator, K., Ivezić, Ž., Fan, X., Strauss, M. A., Knapp, G. R., Lupton, R. H., Gunn, J. E., Rockosi, C. M., Anderson, J. E., SDSS Collaboration, 2000, Optical and

- Infrared Colors of Stars Observed by the Two Micron All Sky Survey and the Sloan Digital Sky Survey, *The Astronomical Journal*, 120, 2615-2626.
- Fiorucci, M., Munari, U., 2003, The Asiago Database on Photometric Systems (ADPS). II. Band and Reddening Parameters, *Astronomy and Astrophysics*, 401, 781-796.
- Flynn, C., Morrison, H. L., 1990, An Automated Technique for Locating Metal-Deficient Red Giants from Objective-Prism Spectra, *Astronomical Journal* (ISSN 0004.6256), 100, 1181-1190.
- Font, A. S., McCarthy, I. G., Crain, R. A., Theuns, T., Schaye, J., Wiersma, R. P. C., Dalla Vecchia, C., 2011, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 416, 2802-2820.
- Frommert, H., Kronberg, C., 2005, *Classification of the Milky Way Galaxy*, http://messier.seds.org/more/mw_type.html, [Ziyaret tarihi: 13 Haziran 2017].
- Fukugita, M., 1996, The Sloan Digital Sky Survey Photometric System, *Astronomical Journal*, 111, 1748-1755.
- Gaia Collaboration; Prusti, T., de Bruijne, J. H. J., Brown, A. G. A., Vallenari, A., Babusiaux, C., Bailer-Jones, C. A. L., Bastian, U., Biermann, M., Evans, D. W., Eyer, L. ve diğ., 2016, The Gaia Mission, *Astronomy & Astrophysics*, 595, 36.
- Geisler, D., Claria, J. J., Minniti, D., 1991, An Improved Metal Abundance Calibration for the Washington System, *Astronomical Journal* (ISSN 0004.6256), 102, 1836-1869.
- Gillessen, S., Plewal, P. M., Eisenhauer, F., Sari, R., Waisberg, I., Habibi, M., Pfuhl, O., George, E., Dexter, J., Fellenberg, S., Ott, T., Genzel, R., 2017, An Update on Monitoring Stellar Orbits in the Galactic Center, *The Astrophysical Journal*, 837, article id. 30, 19.
- Gilmore, G., 1983, The Solar Neighborhood Luminosity Function and the Stellar Distribution in the Galaxy, Schenectady, NY: L. Davis Press, 197.
- Gilmore, G., 1984, New Light on Faint Stars. VI - Structure and Evolution of the Galactic Spheroid, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 207, 223-240.
- Gilmore, G., Reid, N., 1983, New Light On Faint Stars. III - Galactic Structure Towards the South Pole and the Galactic Thick Disc, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 202, 1025-1047.
- Gilmore, G., Reid, N., Hewett, P., 1985, New Light on Faint Stars. VII - Luminosity and Mass Distributions in Two High Galactic Latitude Fields, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 213, 257-278.

- Gilmore, G., Wyse, R.F.G., 1985, The Abundance Distribution in the Inner Spheroid, *Astronomical Journal*, 90, 2015-2026.
- Gilmore, G., Wyse, R.F.G., Kuijken, K., 1989, Kinematics, Chemistry, and Structure of the Galaxy, *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 27, 555-627.
- Governato, F., Mayer, L., Wadsley, J., Gardner, J. P., Willman, B., Hayashi, E., Quinn, T., Stadel, J., Lake, G., 2004, The Formation of a Realistic Disk Galaxy in Λ -dominated Cosmologies, *The Astrophysical Journal*, 607, 688-696.
- Governato, F., Willman, B., Mayer, L., Brooks, A., Stinson, G., Valenzuela, O., Wadsley, J., Quinn, T., 2007, Forming Disc Galaxies in Λ CDM Simulations, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 374, 1479-1494.
- Gunn, J. E., Siegmund, W. A., Mannery, E. J., Owen, R. E., Hull, C. L., Leger, R. F., Carey, L. N., Knapp, G. R., York, D. G., Boroski, W. N., 2006, The 2.5 m Telescope of the Sloan Digital Sky Survey, *The Astronomical Journal*, 131, 2332-2359.
- Hafez, I., 2010, Abdul-Rahman al-Sufi and his Book of the Fixed Stars: A Journey of re-discovery, PhD thesis, James Cook University.
- Harris, W. E., 1996, A Catalog of Parameters for Globular Clusters in the Milky Way, *Astronomical Journal*, 112, 1487-1488.
- Hawley, S. L., West, A. A., Covey, K. R., Raymond, S. N., Walkowicz, L. M., 2002, Magnetic Activity in Low Mass Stars: SDSS Results, *Bulletin of the American Astronomical Society*, 34, 1125.
- Heath, S. T., 1981, *A History of Greek Mathematics Volume II*, Dover Publications Inc., New York, 253.
- Heifetz, M., Tirion, W., 2004, *A Walk Through the Heavens: A Guide to Stars and Constellations and Their Legends*, Cambridge University Press, Cambridge, ISBN 0-521-54415-7, 6.
- Helmi, A., Ivezić, Ž., Prada, F., Pentericci, L., Rockosi, C.M., Schneider, D.P., Grebel, E.K., Harbeck, D., Lupton, R.H., Gunn, J.E. ve diğ., 2003, Selection of Metal-Poor Giant Stars Using the Sloan Digital Sky Survey Photometric System, *The Astrophysical Journal*, 586, 195-200.
- Herschel, W., 1785, On the Construction of the Heavens, *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 75, 213-266.
- Ibata, R. A., Gilmore, G., Irwin, M. J., 1994, A Dwarf Satellite Galaxy in Sagittarius, *Nature*, 370, 194-196.

- Ibata, R. A., Irwin, M. J., Lewis, G. F., Stolte, A., 2001, Galactic Halo Substructure in the Sloan Digital Sky Survey: The Ancient Tidal Stream from the Sagittarius Dwarf Galaxy, *The Astrophysical Journal*, 547, L133-L136.
- Ibata, R. A., Irwin, M. J., Lewis, G. F., Ferguson, A. M. N., Tanvir, N., 2003, One Ring to Encompass Them All: A Giant Stellar Structure That Surrounds the Galaxy, *Monthly Notice of the Royal Astronomical Society*, 340, L21-L27.
- Ivezic, Ž., Lupton, R. H., Schlegel, D., Boroski, B., Adelman-McCarthy, J., Yanny, B., Kent, S., Stoughton, C., Finkbeiner, D., Padmanabhan, N., Rockosi, C. M., Gunn, J. E., Knapp, G. R. ve diğ., , 2004, SDSS Data Management and Photometric Quality Assessment, *Astronomische Nachrichten*, 325, 583-589.
- Ivezić, Ž., Smith, J. A., Miknaitis, G., Lin, H., Tucker, D., Lupton, R. H., Gunn, J. E., Knapp, G. R., Strauss, M. A., Sesar, B., 2007, Sloan Digital Sky Survey Standard Star Catalog for Stripe 82: The Dawn of Industrial 1% Optical Photometry, *The Astronomical Journal*, 134, 973-998.
- Ivezić, Ž., Beers, T. C., Jurić, M., 2012, Galactic Stellar Populations in the Era of the Sloan Digital Sky Survey and Other Large Surveys, *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 50, 251-304.
- Jia, Y., Du, C., Wu, Z., Peng, X., Ma, J., Zhou, X., Fan, X., Fan, Z., Jing, Y., Jiang, Z., 2014, Estimation of Absolute Magnitude-Dependent Galactic Model Parameters in Intermediate Latitude with SDSS and SCUSS, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 441, 503-512.
- Johnston, K. V., Bullock, J. S., Sharma, S., Font, A., Robertson, B. E., Leitner, S. N., 2008, Tracing Galaxy Formation with Stellar Halos. II. Relating Substructure in Phase and Abundance Space to Accretion Histories, *The Astrophysical Journal*, 689, 936-957.
- Jurić, M., Ivezić, Ž., Brooks, A., Lupton, R., Schlegel, D., Finkbeiner, D., Padmanabhan, N., Bond, N., Rockosi, C. M., Knapp, G. R., ve diğ., 2008, The Milky Way Tomography with SDSS. I. Stellar Number Density Distribution, *The Astrophysical Journal*, 673, 864-914.
- Kafle, P. R., Sharma, S., Lewis, G. F., Bland-Hawthorn, J., 2014, On the Shoulders of Giants: Properties of the Stellar Halo and the Milky Way Mass Distribution, *The Astrophysical Journal*, 794, article id. 59, 17.
- Kant, I., 1755, Allgemeine Naturgeschichte und Theorie des Himmel, *Zeitz*, Bei W. Webel, 1798.
- Kapteyn, J. C., van Rhijn, P. J., 1920, On the Distribution of the Stars in Space Especially in the High Galactic Latitudes, *Astrophysical Journal*, 52, 23-38.

- Karaali, S., Bilir, S., Hamzaoglu, E., 2004, A Different Approach for The Estimation of Galactic Model Parameters, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 355, 307-320.
- Karaali, S., Bilir, S., Tunçel, S., 2005, New Colour Transformations for the Sloan Photometry, and Revised Metallicity Calibration and Equations for Photometric Parallax Estimation, *Publications of the Astronomical Society of Australia*, 22, 24-28.
- Karaali, S., Bilir, S., Yaz, E., Hamzaoglu, E., Buser, R., 2007, Volume-Limited Dependent Galactic Model Parameters, *Publications of the Astronomical Society of Australia*, 24(4), 208-219.
- Kepler J., 1609, *Astronomia Nova*, Plurium Annorum Pertinaci Studio Elaborata Prague, Prague, 130-131.
- Knapen, J. H., 2005, Barred Galaxies: Stars and Bars, *Astronomy & Geophysics*, 46, 6.28-6.33.
- Kormendy, J., Kennicutt, R. C., 2004, Secular Evolution and the Formation of Pseudobulges in Disk Galaxies, *Annual Review of Astronomy & Astrophysics*, 42, 603-683.
- Koupelis, T., Kuhn, K. F., 2007, *In Quest of the Universe*, Jones & Bartlett Publishers, Canada, ISBN 0763743879, 492.
- Kron, R. G., 1980, Deep Galaxy Samples /m greater than 22 mag/, *Physica Scripta*, 21, 652-661.
- Kuijken, K., Gilmore, G., 1989, The Mass Distribution in the Galactic Disc-Part Three - the Local Volume Mass Density, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 239, 651-664.
- Landolt, A. U., 1992, UBVRI Photometric Standard Stars in The Magnitude Range 11.5-16.0 Around the Celestial Equator, *Astronomical Journal*, 104, 340-371, 436-492.
- Larsen, J. A., 1996, Galactic Structure from the APS Catalog of POSS I, *Bulletin of the American Astronomical Society*, 28, 1350.
- Larsen, J. A., Humphreys, Roberta M., 2003, Fitting a Galactic Model to an All-Sky Survey, *The Astronomical Journal*, 125, 1958-1979.
- Lasker, B. M., Sturch, C. R., Lopez, C., Mallama, A. D., McLaughlin, S. F., Russell, J. L., Wisniewski, W. Z., Gillespie, B. A., Jenkner, H., Siciliano, E. D., 1996, VizieR Online Data Catalog: Guide Star Photometric Catalog, Updated Version 1 (Lasker+ 1988,1996), *VizieR On-line Data Catalog*, II/143A.

- Levine, E. S., Blitz, L., Heiles, C., 2006, The Spiral Structure of the Outer Milky Way in Hydrogen, *Science*, 312, 1773-1777.
- Lin, C.C., Shu, F.H., 1964, On the Spiral Structure of Disk Galaxies, *Astrophysical Journal*, 140: 646-655.
- Lopez-Corredoira, M., Cabrera-Lavers, A., Garzon, F., Hammersley, P.L., 2002, Old Stellar Galactic Disc in Near-Plane Regions According to 2MASS: Scales, Cut-Off, Flare and Warp, *Astronomy and Astrophysics*, 394, 883-899.
- Majewski, S. R., 1992, A Complete, Multicolor Survey of Absolute Proper Motions to B of about 22.5 - Galactic Structure and Kinematics at the North Galactic pole, *Astrophysical Journal Supplement Series*, 78, 87-152.
- Majewski, S. R., 1993, Galactic Structure Surveys and the Evolution of the Milky Way, *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 31, 575-638.
- Marigo P., Girardi L., Bresson A., Groenewegen M. A. T., Silva L., Granato G. L., 2008, *Evolution of asymptotic giant branch stars. II. Optical to far-infrared isochrones with improved TP-AGB models*, *Astronomy and Astrophysics*, 482, 883-905.
- Momany, Y., Zaggia, S., Gilmore, G., Piotto, G., Carraro, G., Bedin, L.R., De Angeli, F., 2006, Outer Structure of the Galactic Warp and Flare: Explaining the Canis Major Over-Density, *Astronomy and Astrophysics*, 451(2), 515-538.
- Morrison, H. L., Mateo, M., Olszewski, E. W., Harding, P., Dohm-Palmer, R. C., Freeman, K. C., Norris, J. E., Morita, M., 2000, Mapping the Galactic Halo. I. The "Spaghetti" Survey, *The Astronomical Journal*, 119, 2254-2273.
- Neugebauer, G., Leighton, R. B., 1969, Two-Micron Sky Survey; A Preliminary Catalog, NASA SP, Washington: NASA.
- Neugebauer, G., Leighton, R. B., VizieR Online Data Catalog: Two-Micron Sky Survey (TMSS), *VizieR On-line Data Catalog*, II/2B.
- Newton, I., 1687, *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, Joseph Streater for the Royal Society, London.
- Newton, R. R., 1974, The Obliquity of the Ecliptic Two Millenia Ago, *Monthly Notice of the Royal Astronomical Society*, 169: 331-342.
- Noguchi, M., 1999, Early Evolution of Disk Galaxies: Formation of Bulges in Clumpy Young Galactic Disks, *The Astrophysical Journal*, 514, 77-95.
- Norris, J. E., 1986, Population studies. II- Kinematics as a Function of Abundance and Galactocentric Position for (Fe/H) of -0.6 or less, *Astronomy and Astrophysics Supplement Series*, 61, 667-698.

- Norris, J. E., Green, E. M., 1989, Population Studies. VI - The Transition from Halo to Thin Disk, *Astrophysical Journal*, 337, 272-292.
- O'Connell, D. J. K., 1958, Stellar Populations, *Ricerche Astronomiche*, Vol. 5., New York: Interscience.
- Odenkirchen, M., Grebel, E. K., Harbeck, D., Dehnen, W., Rix, H., Newberg, H. J., Yanny, B., Holtzman, J., Brinkmann, J., Chen, B., 2001, New Insights on the Draco Dwarf Spheroidal Galaxy from the Sloan Digital Sky Survey: A Larger Radius and No Tidal Tails, *The Astronomical Journal*, 122, 2538-2553.
- Ojha, D. K., 2001, Galactic Structure Parameters of the Galaxy from the 2MASS Survey, *The New Era of Wide Field Astronomy*, 232, 247.
- Ojha, D. K., Bienayme, O., Robin, A. C., Creze, M., Mohan, V., 1996, Structure and kinematical properties of the Galaxy at intermediate galactic latitudes, *Astronomy and Astrophysics*, 311, 456-469.
- Ojha, D. K., Bienayme, O., Mohan, V., Robin, A. C., 1999, New Surveys of UBV Photometry and Absolute Proper Motions at Intermediate Latitude, *Astronomy and Astrophysics*, 351, 945-953.
- Ojha, D. K., Bienayme, O., Robin, A. C., Creze, M., Mohan, V., 2005, The thick disc component of the Galaxy from near infrared colour-magnitude diagrams, *Astronomy and Astrophysics*, 433, 173-183
- Padmanabhan, N., Schlegel, D. J., Finkbeiner, D. P., Barentine, J. C., Blanton, M. R., Brewington, H. J., Gunn, J. E., Harvanek, M., Hogg, D. W., Ivezić, Ž., ve diğ., 2008, An Improved Photometric Calibration of the Sloan Digital Sky Survey Imaging Data, *Astrophysical Journal*, 674, 1217-1233.
- Paltoglou, G., Bell, R. A., Properties of the Washington Photometric System Derived from Synthetic Spectra, 1994, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 268, 793-815.
- Perryman, M. A. C., Lindegren, L., Kovalevsky, J., Hoeg, E., Bastian, U., Bernacca, P. L., Crézé, M., Donati, F., Grenon, M., Grewing, M., ve diğ., 1997, The HIPPARCOS Catalogue, *Astronomy and Astrophysics*, 323, L49-L52.
- Phleps, S., Meisenheimer, K., Fuchs, B., Wolf, C., 2000, CADIS Deep Star Counts: Galactic Structure and the Stellar Luminosity Function, *Astronomy and Astrophysics*, 356, 108-117.
- Phleps, S., Drepper, S., Meisenheimer, K., Fuchs, B., 2005, Galactic Structure from the Calar Alto Deep Imaging Survey (CADIS), *Astronomy and Astrophysics*, 443(3), 929-943.

- Pier, J. R., Munn, J. A., Hindsley, R. B., Hennessy, G. S., Kent, S. M., Lupton, R. H., Ivezić, Z., 2003, Astrometric Calibration of the Sloan Digital Sky Survey, *The Astronomical Journal*, 125, 1559-1579.
- Ratnatunga, K. U., Freeman, K. C., 1989, Field K Giants in Galactic Halo. II - Improved Abundance and Kinematic Parameters, *Astrophysical Journal*, Part 1 (ISSN 0004.637X), 339, 126-148.
- Reid, M. J., 1993, The Distance to the Center of the Galaxy, *In: Annual review of Astronomy and Astrophysics*, 31, 345-372.
- Reid, N., Majewski, S. R., 1993, Star Counts Redivivus. I - A New Look at the Galaxy at Faint Magnitudes, *The Astrophysical Journal*, 409, 635-662.
- Rieznik, M., 2010, El Bureau des Longitudes y la Fundacion del Observatorio de La Plata en la Argentina (1882-1890), *História, Ciências, Saúde – Manguinhos. Rio de Janeiro*, 17, 679-703.
- Rix, H. W., Bovy, J., 2013, The Milky Way's Stellar Disk, *The Astronomy and Astrophysics Review*, 21, article id. 61, 58.
- Robin, A., Creze, M., 1986, Stellar Populations in the Milky Way - A Synthetic Model, *Astronomy and Astrophysics*, 157, 71-90.
- Robin, A. C., Haywood, M., Creze, M., Ojha, D. K., Bienayme, O., 1996, The Thick Disc of the Galaxy: Sequel of a Merging Event, *Astronomy and Astrophysics*, 305, 125-134.
- Robin, A. C., Reyle, C., Creze, M., 2000, Early Galaxy Evolution from Deep Wide Field Star Counts. I. The Spheroid Density Law and Mass Function, *Astronomy and Astrophysics*, 359, 103-112.
- Sales L. V., Helmi, A., Abadi, M. G., Brook, C. B., Gomez, F. A., Roskar, R., Debattista, V. P., House, E., Steinmetz, M., Villalobos, A., 2009, Orbital Eccentricity as a probe of Thick Disk Formation Scenarios, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society: Letters*, 400, L61-L65.
- Santillana G., Dechend, H., 1977, *Hamlet's Mill*, David R Godine Publisher, Boston, ISBN: 0-87923-215-3, 66.
- Schaefer, B. E., 2005, The Epoch of the Constellations on the Farnese Atlas and Their Origin in Hipparchus' Lost Catalogue, *Journal for the History of Astronomy*, 167-196.
- Schlafly, E. F., Finkbeiner, D. P., 2011, Measuring Reddening with Sloan Digital Sky Survey Stellar Spectra and Recalibrating SFD, *The Astrophysical Journal*, 737, article id. 103, 13.

- Schlegel, D. J., Finkbeiner, D. P., Davis, M., 1998, Maps of Dust Infrared Emission for Use in Estimation of Reddening and Cosmic Microwave Background Radiation Foregrounds, *The Astrophysical Journal*, 500, 525-553.
- Schönrich, R., Binney, J., 2009, Origin and structure of the Galactic disc(s), *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 399, 1145-1156.
- Searle, L., Zinn, R., 1978, Compositions of Halo Clusters and the Formation of the Galactic Halo, *The Astrophysical Journal*, 225, 357-379.
- Sezgin, F., 2010, *Yitik Hazinenin Kâşifi*, Yitik Hazine Yayınları, İzmir, ISBN: 9789944766142.
- Shapley, H., 1919, Studies Based on the Colors and Magnitudes in Stellar Clusters. XII. Remarks on the Arrangement of the Sidereal Universe, *Astrophysical Journal*, 49, 311-336.
- Siegel, M.H., Majewski, S.R., Reid, I.N., Thompson, I.B., 2002, Star Counts Redivivus. IV. Density Laws Through Photometric Parallaxes, *Astrophysical Journal*, 578, 151-175.
- Skrutskie, M. F., Cutri, R. M., Stiening, R., Weinberg, M. D., Schneider, S., Carpenter, J. M., Beichman, C., Capps, R., Chester, T., Elias, J. ve diğ., 2006, The Two Micron All Sky Survey (2MASS), *Astronomical Journal*, 131, 1163-1183.
- Sobeck, J., Majewski, S., Hearty, F., Schiavon, R. P., Holtzman, J. A., Johnson, J., Frinchaboy, P. M., Skrutskie, M. F., Munoz, R., Pinsonneault, M. H., SDSS-IV/APOGEE-2 Collaboration, 2014, 398, 1757-1770.
- Sommer-Larsen, J., Götz, M., Portinari, L., 2003, Galaxy Formation: Cold Dark Matter, Feedback, and the Hubble Sequence, *The Astrophysical Journal*, 596, 47-66.
- Sparke, L. S., Gallagher, J. S., 2007, *Galaxies in the Universe: An Introduction*, Cambridge University Press, Cambridge, ISBN: 978113946238990.
- Steinmetz, M., Navarro, J. F., 2002, The Hierarchical Origin of Galaxy Morphologies, *New Astronomy*, 7, 155-160.
- Stetson, P. B., 2000, Homogeneous Photometry for Star Clusters and Resolved Galaxies. II. Photometric Standard Stars, *The Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 112, 925-931.
- Stobie, R. S.; Ishida, K., 1987, UBV star-count data in the region of the North Galactic Pole, UBV star-count data in the region of the North Galactic Pole, 93, 624-633.
- Stoughton, C., Lupton, R. H., Bernardi, M., Blanton, M. R., Burles, S., Castander, F. J., Connolly, A. J., Eisenstein, D. J., Frieman, J. A., Hennessy, G. S., 2002, Sloan Digital Sky Survey: Early Data Release, *The Astronomical Journal*, 123, 485-548.

- Toomre, A., Toomre J., 1972, Galactic Bridges and Tails, *Astrophysical Journal*, 178, 623-666.
- Tritton, K. P., Morton, D. C., 1984, A Deep Optical Survey of a Small Region in Aquarius. I Stellar Photometry and Galactic Structure, *Royal Astronomical Society, Monthly Notices*, 209, 429-447.
- Tyson, J. A., Jarvis, J. F., 1979, Evolution of Galaxies - Automated Faint Object Counts to 24th Magnitude, *Astrophysical Journal*, Part - 2 Letters to the Editor, 230, L153-L156.
- Van Leeuwen, F., 2007, Validation of the New Hipparcos Reduction, *Astronomy and Astrophysics*, 474, 653-664.
- Von Hippel, T., Bothun, G. D., 1993, A Method for Obtaining the Age and Scale Height of the Thick Disk from Faint Stromgren Photometry, *Astrophysical Journal*, 407, 115-125.
- Yamagata, T., Yoshii, Y., 1992, UBV Starcounts in SA 54 and Global Structure of the Galaxy, *Astronomical Journal*, 103, 117-130.
- Yanny, B., Newberg, H. J., Grebel, E. K., Kent, S., Odenkirchen, M., Rockosi, C. M., Schlegel, D., Subbarao, M., Brinkmann, J., Fukugita, M., ve diğ., 2003, A Low-Latitude Halo Stream around the Milky Way, *Astrophysical Journal*, 588, 824-841.
- Yanny, B., Rockosi, C., Newberg, H. J., Knapp, G. R., Adelman-McCarthy, J. K., Alcorn, B., Allam, S., Allende Prieto, C., An, D., Anderson, K. S. J., 2009, SEGUE: A Spectroscopic Survey of 240,000 Stars with $g = 14.20$, *Astronomical Journal*, 137, 4377-4399.
- Yaz, E., Karaali, S., 2010, Estimation of Galactic Model Parameters and Metallicity Distribution in Intermediate Latitudes with SDSS, *New Astronomy*, 15, 234-246.
- Yaz Gökçe, E., Karaali, S., Duran, Ş., Bilir, S., Yalçinkaya, A., Ak, S., Ak, T., López-Corredoira, M., Cabrera-Lavers, A., 2015, Solar Space Density of the Red Clump Stars and the Scale-Length of the Thin Disc, *Publications of the Astronomical Society of Australia*, 32, id.e012, 9.
- Yoachim, P., Dalcanton, J. J., 2006, Structural Parameters of Thin and Thick Disks in Edge-on Disk Galaxies, *The Astronomical Journal*, 131, 226-249.
- York, D. G., Adelman, J., Anderson, J. E., Jr., Anderson, S. F., Annis, J., Bahcall, N. A., Bakken, J. A., Barkhouser, R., Bastian, S., Berman, E., SDSS Collaboration, 2000, The Sloan Digital Sky Survey: Technical Summary, *Astronomical Journal*, 120, 1579-1587.

- Yoshii, Y., 1982, Density Distribution of Faint Stars in the Direction of the North Galactic Pole, *Astron. Soc. Of Japan. Publications*, 34, 365-379.
- Yoshii, Y., Ishida, K., Stobie, R. S., 1987, Galactic Structure Towards the North Galactic Pole Based on an Analysis of UBV Star-Count Data, *Astronomical Journal*, 93, 323-337.
- van der Kruit, P. C.; Searle, L., 1981, Surface Photometry of Edge-On Spiral Galaxies. I - A Model for the Three-Dimensional Distribution of Light in Galactic Disks, *Astronomy and Astrophysics*, 95, 105-115.
- van der Kruit, P. C.; Searle, L., 1982, Surface Photometry of Edge-On Spiral Galaxies. III - Properties of the three-dimensional distribution of light and mass in disks of spiral galaxies, *Astronomy and Astrophysics*, 110, 61-78.
- Vivas A. K., Zinn R., Andrews P., Baily C., Baltay C., Coppi, P., Ellman, N., Girard, T., Rabinowitz, D., Schaefer, B., et al., 2001, The QUEST RR Lyrae Survey: Confirmation of the Clump at 50 Kiloparsecs and Other Overdensities in the Outer Halo, *Astrophysical Journal*, 554, L33-L36.
- Watkins, L. L., Evans, N. W., Belokurov, V., Smith, M. C., Hewett, P. C., Bramich, D. M., Gilmore, G. F., Irwin, M. J., Vidrih, S., Wyrzykowski, Ł., Zucker, D. B., 2009, Substructure Revealed by RRLyraes in SDSS Stripe 82, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 398, 1757-1770.
- West, A. A., Walkowicz, L. M., Hawley, S. L., 2005, Updated Colors for Cool Stars in the Sloan Digital Sky Survey, *The Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 117, 706-710.
- Willard Turner, A., 1935, Five Great Greek Astronomers (Concluded), *Journal of the Royal Astronomical Society of Canada*, 29, 203-208.
- Williams, C. C., Golimowski, D. A., Uomoto, A., Reid, I. N., Henry, T. J., Dieterich, S., Jue, S. L., Long, G. M., Neilsen, E. H., Spahn, E. Y., 2002, Colors, Magnitudes, and Searches for Nearby Stars using SDSS/USNO Photometry, *Bulletin of the American Astronomical Society*, 34, 1292.
- Willman, B., Dalcanton, J., Ivezić, Ž., Jackson, T., Lupton, R., Brinkmann, J., Hennessy, G., Hindsley, R., 2002, An SDSS Survey For Resolved Milky Way Satellite Galaxies. I. Detection Limits, *The Astronomical Journal*, 123, 848-854.
- Wynn-Williams, G., 2016, *Surveying the Skies How Astronomers Map the Universe*, Springer International Publishing, Switzerland, ISBN: 978-3-319-28508-5, 1-46.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Sezin Özdemir
Doğum Yeri	Kadıköy
Doğum Tarihi	05.10.1987
Uyruğu	■T.C.□ Diğer:
Telefon	5344338020
E-Posta Adresi	sezin.buyukmenekse@gmail.com
Web Adresi	



Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	İstanbul Teknik Üniversitesi
Fakülte	Fen Edebiyat Fakültesi
Bölümü	Fizik Mühendisliği
Mezuniyet Yılı	2010

Yüksek Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Enstitü Adı	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı	Astronomi ve Uzay Bilimleri
Programı	Astronomi ve Uzay Bilimleri
Mezuniyet Tarihi	2018