



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



[Yüksek Lisans Tezi]

**[GÜNEŞ CİVARINDAKİ ANAKOL YILDIZLARININ IŞIMA GÜCÜ
FONKSİYONUNUN GAIA VERİLERİYLE BELİRLENMESİ]**

[Doğu Deniz BULUT]

[Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı]

[Astronomi ve Uzay Bilimleri Programı]

**DANIŞMAN
[Prof. Dr.] [Selçuk BİLİR]**

[Haziran, 2022]

İSTANBUL

Bu çalışma, [17.06.2022] 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.] [Selçuk BİLİR] (Danışman)
İstanbul Üniversitesi
Fakülte

[Prof. Dr.] [Serap AK]
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi

[Doç. Dr.] [Esin SİPAHİ]
Ege Üniversitesi
Fen Fakülte

İntihal Programı Beyanı

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



ÖNSÖZ

Lisansüstü eğitimim süresince gerekli bilimsel bilgi, birikim ve tecrübelerini bana aktaran Sayın Prof. Dr. Selçuk BİLİR'e ve Galaktik yapı çalışma grubuna,

Yüksek lisans dönemim boyunca ortak çalışmalar yaptığımız deneyimlerini içtenlikle sunan ve kısa sürede çok yol almamda katkı sağlayan Sayın Dr. Sabiha TUNÇEL GÜÇTEKİN'e,

Tezimin son haline gelmesinde önerilerini dikkate aldığım Sayın Prof. Dr. Serap AK'a,

Bilimsel üretim aşamalarımızda faydalandığımız Bölümümüz imkânlarını her daim geliştiren ve öğrencilerine sunma gayreti gösteren Bölüm Başkanlığına ve Fen Fakültesi Dekanı Sayın Prof. Dr. Tansel AK'a,

Lisansüstü eğitimim boyunca desteklerini esirgemeyen bölüm arkadaşlarıma,

en içten duygularıyla teşekkürlerimi sunarım.

Haziran 2022

Doğu Deniz BULUT

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ŞEKİL LİSTESİ	vii
TABLO LİSTESİ.....	xi
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ.....	xii
ÖZET	xiv
SUMMARY	xv
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL KISIMLAR.....	6
2.1. SAMANYOLU VE BİLEŞENLERİ.....	6
2.1.1. Şişkin Bölge.....	7
2.1.2. İnce Disk.....	9
2.1.3. Kalın Disk.....	10
2.1.4. Halo	11
2.2. GÜNEŞ CİVARINA GENEL BAKIŞ.....	12
2.3. UZAY TABANLI ASTROMETRİK UYDULAR	18
2.3.1. <i>Hipparcos</i> Uydusu ve Görevi.....	18
2.3.2. <i>Gaia</i> Uydusu ve Görevleri.....	20
2.4. HERTZSPRUNG RUSSELL DİYAGRAMINA BAKIŞ VE YAKIN YILDIZLAR.....	24
2.5. IŞIMA GÜCÜ FONKSİYONU	31
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	36
3.1. <i>GAIA</i> EDR3 VERİ SEÇİMİ.....	36
3.2. YILDIZLARIN RENK ARTIĞI TAYİNİ	38
3.3. TAMLIK SINIRLARININ BELİRLENMESİ	40
3.4. ANAKOL YILDIZLARININ UZAY YOĞUNLUĞU HESABI.....	41
3.5. IŞIMA GÜCÜ FONKSİYONUNUN ELDE EDİLMESİ.....	43
4. BULGULAR.....	44
4.1.YILDIZLARIN SÖNÜKLEŞMEDEN ARINDIRILMASI VE ANAKOL YILDIZLARININ SEÇİMİ.....	44

4.2. YILDIZLARIN KARTEZYEN UZAY DAĞILIMLARI	49
4.3.YILDIZLARIN FARKLI DÜZLEMLERDEKİ TAMLIK SINIRLARININ TAYİNİ	55
4.4.YILDIZLARIN UZAY YOĞUNLUKLARI VE IŞIMA GÜCÜ FONKSİYONLARININ BELİRLENMESİ.....	63
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	74
KAYNAKLAR.....	76
ÖZGEÇMİŞ	84

|



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1: Hubble sınıflamasını gösteren şema (E, eliptik galaksiler; S, spiral galaksiler; SB, çubuklu spiral galaksiler).....	6
Şekil 2.2: Samanyolu bileşenlerinin yandan görünüşü.	7
Şekil 2.3: Galaksi merkezindeki SgrA* kaynağının <i>Chandra</i> X-ışını uydusundan alınmış bir görüntüsü.....	8
Şekil 2.4: Güney Galaktik kutup doğrultusunda F ve G tayf türündeki anakol yıldızlarından hesaplanan gözlemsel yoğunluk profili. Şekildeki düz ve kesikli çizgiler sırasıyla, $H=300$ pc ve $H=1350$ pc'lik ekspanansiyel yoğunluk kanunu modellerini göstermektedir (Gilmore ve Reid, 1983).	11
Şekil 2.5: Güneş civarındaki spiral kollar. Kırmızı daire Güneş'in Orion çıkıntısındaki konumunu göstermektedir.	13
Şekil 2.6: Güneş merkezli 500 pc'lik bölgedeki yapılar. Mavi ve turuncu renkler, sırasıyla, yıldızlararası maddenin zayıf ve yoğun olduğu bölgeleri göstermektedir.	14
Şekil 2.7: Güneş merkezli 500 pc'lik uzay hacmi içinde yer alan Gould Kuşağı. Büyük daireler yıldız oluşumuna katkı veren bölgeleri göstermektedir.	15
Şekil 2.8: <i>Gaia</i> yakın yıldız kataloğundaki yıldız uzaklıklarının literatürde bilinen diğer yakın yıldız kataloglarındaki uzaklıklar ile karşılaştırılması. Yakın yıldız kataloglarındaki uzaklıklar trigonometrik paralaksaların tersleri alınarak hesaplanmıştır (<i>Gaia</i> işbirliği, 2021b).	17
Şekil 2.9: <i>Hipparcos</i> uydusunun uzaya gönderilmeden önce çekilmiş bir fotoğrafı.	19
Şekil 2.10: <i>Hipparcos</i> (H_p) ve <i>Tycho</i> (B_T , V_T) kataloglarında kullanılan filtrelerin duyarlılık fonksiyonları (Bessell, 2005).	20
Şekil 2.11: <i>Gaia</i> uydusunun Samanyolu'yla birlikte oluşturulmuş bir görüntüsü.....	21
Şekil 2.12: <i>Gaia</i> EDR3 veri tabanında kullanılan G (yeşil), G_{BP} (mavi) ve G_{RP} (kırmızı) bandlarının duyarlılık fonksiyonları. Gri renkli eğriler <i>Gaia</i> uydusu uzay gönderilmeden önce tasarlanan bandların (Jordi ve diğ., 2010) duyarlılık fonksiyonlarını göstermektedir.....	23
Şekil 2.13: Güneş civarındaki yakın yıldızların HR diyagramı üzerindeki konumları. Kırmızı eğri anakolu ve diyagram üzerindeki farklı renkler de yıldızların tayf türünü göstermektedir.	25

Şekil 2.14: Güneş'e 5 pc uzaklık içinde yer alan yıldızların üç boyutlu dağılımları. Yıldızlar tayf türlerine uygun renkler ile gösterilmiştir. Şeklin sağ tarafında, yıldızlar Güneş'e uzaklıklarına göre sıralanmış, tayf türleri ve mevcut gezegen sistemleri listelenmiştir.....	27
Şekil 2.15: Güneş'e 5 pc uzaklık içinde yer alan yıldızların HR diyagramı.....	27
Şekil 2.16: <i>Hipparcos</i> uydusuyla gözlenmiş yakın yıldızların HR diyagramı.....	28
Şekil 2.17: Güneş civarı için <i>Gaia</i> DR2 verilerinden oluşturulmuş güncel HR diyagramı (<i>Gaia</i> işbirliği, 2018c).....	29
Şekil 2.18: Güneş civarı için <i>Gaia</i> DR2 verilerinden oluşturulmuş 26,264 beyaz cücenin detaylı HR diyagramı (<i>Gaia</i> işbirliği, 2018c). Renkler yıldızların sayı yoğunluğuna göre ayarlanmış ve şekil üzerindeki harflerden metinde bahsedilmiştir.	30
Şekil 2.19: Yakın bir yıldızın zemindeki yıldızlara göre hesaplanan trigonometrik paralaks açısı.	32
Şekil 2.20: Anakol yıldızlarının M_V (üst) ve M_J (alt) mutlak parlaklıkları için hesaplanan ışıma gücü fonksiyonlarının histogramları. Şekil üzerindeki harfler (K, L ve M) yıldızların tayf türünü göstermektedir.	33
Şekil 2.21: <i>Gaia</i> yakın yıldız kataloğundaki anakol ve evrimleşmiş yıldızlar için hesaplanmış ışıma gücü fonksiyonları. Şekildeki mavi ve gri renkteki daire, sırasıyla, tek ve çift yıldızları, sarı renkteki daire ise evrimleşmiş yıldızları göstermektedir.	34
Şekil 3.1: <i>Gaia</i> EDR3 veri sürümünde Güneş komşuluğunda 1 kpc'lik uzay hacmi içinde rölatif paralaks hatası $\sigma_\varpi/\varpi \leq 0.10$ şartını sağlayan yıldızların renk-parlaklık diyagramı.....	37
Şekil 3.2: Yıldızların Güneş merkezli Kartezyen Galaktik koordinat sistemindeki konumlarının gösterimi.	42
Şekil 3.3: Ardışık uzaklık aralığındaki uzay hacmin hesaplanmasının temsili gösterimi.	42
Şekil 4.1: <i>Gaia</i> EDR3 kataloğuna getirilen sınır şartları sonucu elde edilen 41,848,305 yıldızın (a) Ekvatorial ve (b) Galaktik koordinatlarındaki dağılımı. Yıldızlar logaritmik yıldız yoğunluğuna göre renklendirilmiştir.	44
Şekil 4.2: 41,848,305 yıldızın logaritmik sayı yoğunluğu histogramı.....	45
Şekil 4.3: <i>Gaia</i> EDR3 kataloğundan seçilen yıldızların HR diyagramı. Diyagram logaritmik sayı yoğunluğuna göre renklendirilmiş olup tayf sınıfları diyagramın alt kısmında verilmiştir.....	46
Şekil 4.4: <i>Gaia</i> EDR3 kataloğundan seçilen 41,848,305 yıldızın Galaktik düzlemdeki (a) $E_\infty(B-V)$ ve yıldız uzaklığına indirgenmiş (b) $E_d(B-V)$ renk artığı değerleri.....	48

Şekil 4.5: Tez çalışmasındaki 41,848,305 yıldızın (a) toz haritalarından alınmış ve (b) yıldız uzaklığına indirgenmiş renk artıklarına ait histogramlar.	49
Şekil 4.6: Yıldızların (sol üst) $Y \times X$ ve (sağ üst) $Z \times X$ düzlemlerindeki konumlarının sayılarına ve rölatif paralaks hatasına göre renklendirilmiş (sol alt) $Y \times X$ ve (sağ alt) $Z \times X$ dağılımları.....	50
Şekil 4.7: <i>Gaia</i> EDR3 kataloğundan seçilen 41,848,305 yıldızın renk-parlaklık diyagramı. Yıldız örneği logaritmik sayı yoğunluğuna göre renklendirilmiştir.....	51
Şekil 4.8: Tez çalışmasındaki 41,848,305 yıldızın renk-parlaklık diyagramı. Diyagram üzerine farklı demir bolluklarında ve farklı yaşlarda bulunan PARSEC eş-yaş eğrileri eklenmiştir. Yıldızlar logaritmik sayı yoğunluğuna göre renklendirilmiştir.	53
Şekil 4.9: $M_G \times (G_{BP} - G_{RP})_0$ renk-parlaklık diyagramı üzerinde PARSEC modeli ve çift yıldız etkisinin dikkate alınması sonucunda oluşturulan anakol bandı. Anakol bandı yeşil kesikli çizgiyle gösterilmiştir.	54
Şekil 4.10: Rölatif paralaks hatası $\sigma_\varpi/\varpi \leq 0.01$ olan anakol yıldızlarının $M_G \times d$ düzlemindeki konumları.	56
Şekil 4.11: Rölatif paralaks hatası $\sigma_\varpi/\varpi \leq 0.05$ olan anakol yıldızlarının $M_G \times d$ düzlemindeki konumları.	56
Şekil 4.12: Rölatif paralaks hatası $\sigma_\varpi/\varpi \leq 0.10$ olan anakol yıldızlarının $M_G \times d$ düzlemindeki konumları.	57
Şekil 4.13: Seçilmiş mutlak parlaklık aralıklarında $\sigma_\varpi/\varpi \leq 0.01$ şartını sağlayan anakol yıldız örneğinin $\log N \times G_0$ ve $\log N \times d$ histogramları.	58
Şekil 4.14: Seçilmiş mutlak parlaklık aralıklarında $\sigma_\varpi/\varpi \leq 0.05$ şartını sağlayan anakol yıldız örneğinin $\log N \times G_0$ ve $\log N \times d$ histogramları.	58
Şekil 4.15: Seçilmiş mutlak parlaklık aralıklarında $\sigma_\varpi/\varpi \leq 0.10$ şartını sağlayan anakol yıldız örneğinin $\log N \times G_0$ ve $\log N \times d$ histogramları.	59
Şekil 4.16: Güneş civarındaki anakol yıldızlarının uzay yoğunluğu diyagramı.	65
Şekil 4.17: Uzaklığı $d \leq 100$ pc ve mutlak parlaklığı $2 < M_G \leq 15$ kadir aralığındaki anakol yıldızlarının üç farklı rölatif paralaks hatası ($\sigma_\varpi/\varpi \leq 0.01$, $\sigma_\varpi/\varpi \leq 0.05$, $\sigma_\varpi/\varpi \leq 0.10$) için hesaplanmış ışıma gücü fonksiyonları.	69
Şekil 4.18: Uzaklığı $d \leq 125$ pc ve mutlak parlaklığı $2 < M_G \leq 15$ kadir aralığındaki anakol yıldızlarının üç farklı rölatif paralaks hatası ($\sigma_\varpi/\varpi \leq 0.01$, $\sigma_\varpi/\varpi \leq 0.05$, $\sigma_\varpi/\varpi \leq 0.10$) için hesaplanmış ışıma gücü fonksiyonları.	70
Şekil 4.19: Uzaklığı $d \leq 150$ pc ve mutlak parlaklığı $2 < M_G \leq 15$ kadir aralığındaki anakol yıldızlarının üç farklı rölatif paralaks hatası ($\sigma_\varpi/\varpi \leq 0.01$, $\sigma_\varpi/\varpi \leq 0.05$, $\sigma_\varpi/\varpi \leq 0.10$) için hesaplanmış ışıma gücü fonksiyonları.	70

Şekil 4.20: Uzaklığı $d \leq 175$ pc ve mutlak parlaklığı $2 < M_G \leq 15$ kadir aralığındaki anakol yıldızlarının üç farklı rölatif paralaks hatası ($\sigma_{\varpi}/\varpi \leq 0.01$, $\sigma_{\varpi}/\varpi \leq 0.05$, $\sigma_{\varpi}/\varpi \leq 0.10$) için hesaplanmış ışıma gücü fonksiyonları.	71
Şekil 4.21: Uzaklığı $d \leq 200$ pc ve mutlak parlaklığı $2 < M_G \leq 15$ kadir aralığındaki anakol yıldızlarının üç farklı rölatif paralaks hatası ($\sigma_{\varpi}/\varpi \leq 0.01$, $\sigma_{\varpi}/\varpi \leq 0.05$, $\sigma_{\varpi}/\varpi \leq 0.10$) için hesaplanmış ışıma gücü fonksiyonları.	71
Şekil 4.22: Uzaklığı $d \leq 225$ pc ve mutlak parlaklığı $2 < M_G \leq 15$ kadir aralığındaki anakol yıldızlarının üç farklı rölatif paralaks hatası ($\sigma_{\varpi}/\varpi \leq 0.01$, $\sigma_{\varpi}/\varpi \leq 0.05$, $\sigma_{\varpi}/\varpi \leq 0.10$) için hesaplanmış ışıma gücü fonksiyonları.	72
Şekil 4.23: Uzaklığı $d \leq 250$ pc ve mutlak parlaklığı $2 < M_G \leq 15$ kadir aralığındaki anakol yıldızlarının üç farklı rölatif paralaks hatası ($\sigma_{\varpi}/\varpi \leq 0.01$, $\sigma_{\varpi}/\varpi \leq 0.05$, $\sigma_{\varpi}/\varpi \leq 0.10$) için hesaplanmış ışıma gücü fonksiyonları.	72
Şekil 4.24: Uzaklığı $d \leq 275$ pc ve mutlak parlaklığı $2 < M_G \leq 15$ kadir aralığındaki anakol yıldızlarının üç farklı rölatif paralaks hatası ($\sigma_{\varpi}/\varpi \leq 0.01$, $\sigma_{\varpi}/\varpi \leq 0.05$, $\sigma_{\varpi}/\varpi \leq 0.10$) için hesaplanmış ışıma gücü fonksiyonları.	73
Şekil 4.25: Uzaklığı $d \leq 300$ pc ve mutlak parlaklığı $2 < M_G \leq 15$ kadir aralığındaki anakol yıldızlarının üç farklı rölatif paralaks hatası ($\sigma_{\varpi}/\varpi \leq 0.01$, $\sigma_{\varpi}/\varpi \leq 0.05$, $\sigma_{\varpi}/\varpi \leq 0.10$) için hesaplanmış ışıma gücü fonksiyonları.	73

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1: <i>Gaia</i> uzay teleskobunun bileşenleri ve ağırlıkları.....	22
Tablo 2.2: Optik (M_V) ve kızılötesi (M_I) bölge için elde edilmiş ışıma gücü fonksiyonları.....	33
Tablo 4.1: $\sigma_{\varpi}/\varpi \leq 0.01$ aralığındaki anakol yıldız örneğinin birim mutlak ve görünen parlaklık aralıklarına göre oluşturulmuş tamlık sınırları.....	60
Tablo 4.2: $\sigma_{\varpi}/\varpi \leq 0.05$ aralığındaki anakol yıldız örneğinin birim mutlak ve görünen parlaklık aralıklarına göre oluşturulmuş tamlık sınırları.....	61
Tablo 4.3: $\sigma_{\varpi}/\varpi \leq 0.10$ aralığındaki anakol yıldız örneğinin birim mutlak ve görünen parlaklık aralıklarına göre oluşturulmuş tamlık sınırları.....	62
Tablo 4.4: Güneş'ten itibaren seçilen uzaklık aralıkları (d_1 - d_2), bu uzaklıklara karşılık gelen ağırlık merkezleri (d^*), uzay hacimleri ($\Delta V_{1,2}$), yıldız sayıları (N) ve hesaplanan yıldız sayı yoğunlukları (D).....	64
Tablo 4.5: Mutlak parlaklık aralığı $2 \leq M_G \leq 15$ ve rölatif paralaks hatası $\sigma_{\varpi}/\varpi \leq 0.01$ koşulunu sağlayan anakol yıldız örneği için hesaplanan ışıma gücü fonksiyonu değerleri.....	66
Tablo 4.6: Mutlak parlaklık aralığı $2 \leq M_G \leq 15$ ve rölatif paralaks hatası $\sigma_{\varpi}/\varpi \leq 0.05$ koşulunu sağlayan anakol yıldız örneği için hesaplanan ışıma gücü fonksiyonu değerleri.....	67
Tablo 4.7: Mutlak parlaklık aralığı $2 \leq M_G \leq 15$ ve rölatif paralaks hatası $\sigma_{\varpi}/\varpi \leq 0.10$ koşulunu sağlayan anakol yıldız örneği için hesaplanan ışıma gücü fonksiyonu değerleri.....	68

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
b	: Galaktik boylam
B_T, V_T	: <i>Tycho</i> kataloglarında kullanılan filtreler
g	: Yüzey çekim ivmesi
G, G_{BP} ve G_{RP}	: <i>Gaia</i> filtreleri
Gyıl	: Milyar yıl
J, H, K_s	: 2MASS filtreleri
H_p	: <i>Hipparcos</i> kataloğunda kullanılan filtre
K	: Kelvin
kpc	: Kiloparsek
km	: Kilometre
l	: Galaktik enlem
$L_{\odot}$	: Güneş ışıma gücü
pc	: Parsek
R	: Tayfsal Çözünürlük
$R_{\odot}$	: Güneş yarıçapı
R_0	: Güneş'in Galaksi merkezine uzaklığı
R_{GC}	: Galaksi merkezine olan uzaklık
$M_{\odot}$	: Güneş kütlesi
m	: Metre
mas	: Mili yay saniyesi
Myıl	: Milyon yıl
nm	: Nanometre
sn	: Saniye
T_{eff}	: Etkin sıcaklık
X	: Galaksi merkezi doğrultusundaki konum vektörü
Y	: Galaksi'nin dönme doğrultusundaki konum vektörü
Z	: Galaksi düzlemine dik doğrultudaki konum vektörü
z	: Ağır element bolluğu
$^{\circ}$	: Derece
μm	: Mikrometre

Kısaltmalar	Açıklama
2MASS	: Two Micron All-Sky Survey
AB	: Astronomik Birim
AF	: Astrometric Field
BAM	: Base Angle Monitor
CCD	: Charge Coupled Device
Dex	: Deka Eksponansiyel
DIRBE	: Difuse Infrared Background Experiment
DR	: Data Release
EDR	: Early Data Release
ELS	: Eggen, Lynden-Bell ve Sandage
ESA	: European Space Agency
Gaia	: Global Astrometric Interferometer for Astrophysics
GYK	: Gaia Yakın Yıldızlar Kataloğu
Hipparcos	: HIgh Precision PARallax COllecting Satellite
HR	: Hertzsprung-Russell
M31	: Andromeda Galaksisi
M33	: Triangulum Galaksisi
PARSEC	: Padova And Trieste Stellar Evolution Code
Pop	: Popülasyon
Python	: Python Programlama Dili
RVS	: Radial Velocity Spectrometer
S/N	: Signal / Noise
SDSS	: Sloan Digital Sky Survey
SM	: Sky Mapper
SQL	: Structured Query Language
SZ	: Searl ve Zinn
VLBI	: Very Long Baseline Interferometry
WFS	: Wave Front Sensor

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GÜNEŞ CİVARINDAKİ ANAKOL YILDIZLARININ IŞIMA GÜCÜ FONKSİYONUNUN GAIA VERİLERİYLE BELİRLENMESİ

Doğu Deniz BULUT

İstanbul Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. Selçuk BİLİR

Bu çalışmada, Güneş civarındaki anakol yıldızlarının uzay yoğunluğu ve ışıma gücü fonksiyonunun elde edilmesi hedeflenmiştir. Bu amaç doğrultusunda *Gaia* uydusunun erken üçüncü veri sürümü (*Gaia* EDR3) kataloğundan Güneş'ten uzaklıkları 1 kpc içinde ve rölatif paralaks hataları $\sigma_\varpi/\varpi \leq 0.10$ olan 41,848,305 yıldız seçilmiştir. Yıldızların *Gaia* fotometrik parlaklıklarına ait sönükleşme değerlerinin hesaplanmasında Samanyolu'na ait toz haritaları kullanılmıştır. Anakol yıldızlarının seçiminde $M_G \times (G_{BP} - G_{RP})$ diyagramı üzerine kalibre edilen ince disk popülasyonuna ait PARSEC eş-yaş eğrileri dikkate alınmıştır. Eş-yaş eğrileri çift yıldız etkisini içerecek şekilde genişletilmiştir. $M_G \times (G_{BP} - G_{RP})$ diyagramı üzerinde anakol bandı içinde bulunan 39,131,320 nesne anakol yıldızı olarak seçilmiştir. Mutlak parlaklıkları $0 < M_G \leq 15$ kadir aralığındaki anakol yıldızları A1 ile M6 tayf sınıfı aralığında bulunmaktadır. Güneş'ten uzaklığı $25 \leq d \leq 300$ pc aralığındaki anakol yıldızlarından Güneş civarındaki uzay yoğunluğu 0.072 ± 0.001 yıldız/pc³ olarak hesaplanmıştır. Güneş civarındaki anakol yıldızlarının ışıma gücü fonksiyonlarının elde edilmesinde farklı uzaklık aralıklarında üç farklı rölatif paralaks hata değerleri dikkate alınmıştır. Analizler, rölatif paralaks hatası $\sigma_\varpi/\varpi \leq 0.10$ olan ve 175 pc'e kadar hesaplanan ışıma gücü fonksiyonlarının literatürde 100 pc'lik uzaklık değeri için verilen ışıma gücü değeriyle uyumlu olduğunu göstermiştir.

Haziran 2022, 85 sayfa.

Anahtar kelimeler: Yıldızlar: ışıma gücü fonksiyonu, Hertzsprung-Russell ve Renk-parlaklık diyagramı, Güneş komşuluğu.

SUMMARY

[M.Sc. THESIS]

[DETERMINATION OF LUMINOSITY FUNCTION OF MAIN SEQUENCE STARS IN THE SOLAR NEIGHBORHOOD BY GAIA DATA]

[Doğru Deniz BULUT]

Istanbul University

Institute of Graduate Studies in Sciences

[Department of Astronomy and Space Sciences]

Supervisor : [Prof. Dr.] [Selçuk BİLİR]

[In this study, we are aimed to obtain the space density and luminosity function of the main-sequence stars at the Solar neighborhood. For this purpose, 41,848,305 stars with relative parallax errors and $\sigma_{\varpi}/\varpi \leq 0.10$ distances from the Sun within 1 kpc were selected from the *Gaia* satellite early third data release (*Gaia* EDR3) catalogue. Dust maps of the Milky Way were used to calculate the extinction values of the *Gaia* photometric magnitudes of the stars. PARSEC isochrones of the thin-disc population calibrated on the $M_G \times (G_{BP} - G_{RP})$ diagram was taken into account in the selection of main-sequence stars. The isochrones are extended to include the binary-star effect. On the $M_G \times (G_{BP} - G_{RP})$ diagram, 39,131,320 objects in the main-sequence band were selected as main-sequence stars. Main-sequence stars with absolute magnitudes of $0 < M_G \leq 15$ are in the spectral class A1 to M6. The space density the Solar neighborhood was calculated as 0.072 ± 0.001 star/pc³, from the main-sequence stars at a distance of $25 \leq d \leq 300$ pc from the Sun. Three different relative parallax error values at different distance intervals were taken into account in obtaining the luminosity functions of the main-sequence stars at the Solar neighborhood. The analyses showed that the luminosity functions with the relative parallax error $\sigma_{\varpi}/\varpi \leq 0.10$ and calculated up to 175pc are compatible with the luminosity function given for the distance value of 100 pc in the literature.]

June 2022, [85] pages.

Keywords: [Stars: luminosity function, Hertzsprung-Russell and color-magnitude diagrams, Solar Neighborhood.]

1. GİRİŞ

İnsanlığın varoluşundan itibaren gökyüzüne bakılması ve gökyüzündeki değişimlerin incelenmesi astronomiyi en eski bilimlerden biri yapmaktadır. Astronomi tarihinin erken döneminde antik Yunan filozoflarının, Mezopotamya'nın kadim medeniyetleri olan Asur, Babil ve Sümer uygarlıklarının, Amerika kıtasının yerlileri Mayalar ve Azteklerin, Çin uygarlığının ve Ortadoğu filozoflarının mitolojik öğeleri kullanarak astronominin gelişmesine önemli katkıları olmuştur. Astronomi, gök cisimlerinin hareketlerine bağlı mevsimlerin ve zamanın kavranmasını, insan yaşantısını kolaylaştırmaya yönelik tarımsal faaliyetlerde kullanılmasını, yön bulunması gibi insanlığa faydalı bilgiler sağlamıştır. Gök cisimlerinin uzun dönemli hareketlerinin gözlenmesiyle de çeşitli takvimler oluşturulmuştur.

Gökyüzünün bilinmezliğinden korkan insan onu gözledikçe korkuları kaybolmuştur. Gökyüzünde olan biteni anlamaya çalışan insan, korkularının yerini merak ve araştırmaya bırakmıştır. Bilgi aktarımı, günümüze gelindiğinde geniş kitlelere ulaşmıştır. Geniş kitlelere ulaşan bilgi basmakalıp düşüncelerden sıyrılmıştır. Bundan böyle tarih sahnesinde “neden” ve “nasıl” sorularının cevaplarının aranabildiği bir dönem başlamıştır. Bu dönemin adı Rönesans'tır. Kelime anlamıyla “yeniden doğuş” anlamına gelen Rönesans döneminde astronomik çalışmalarda Galileo Galilei sayesinde önemli atılımlar yapılmıştır. 1610 yılında İtalyan astronom Galileo Galilei teleskobu astronomi gözlemleri için ilk kez kullanarak gökyüzündeki gök cisimlerinin hareketlerini incelemeye başlamıştı. Teleskop ile gök cisimlerini araştırması Avrupa'daki o günkü koşullar için bilimsel bir devrim niteliği taşıyordu. Galileo Galilei yapmış olduğu ilk gözlemlerde Jüpiter gezegeni etrafındaki belli yörünge dönemleriyle hareket eden dört uyduyu (Io, Europa, Ganymede ve Callisto) keşfetmesiyle birlikte Dünya dışında başka bir gezegenin etrafında dolanan uydular olabileceğini göstermişti.

Galileo Galilei'nin kendi adıyla anılan Galileo uydularını keşfetmesi yaşadığımız sistemde sadece Dünya etrafında gök cisimlerinin hareketlerinin olduğu düşüncesini ortadan kaldırmıştır. Bununla birlikte, teleskop ile gerçekleştirdiği gözlemler sonucu Güneş'in lekeleri ve bu lekelerin değişimleri gözlenmiştir. Dolayısıyla köklerini Aristoteles

felsefesinden alan değişmeyen, mükemmellik içeren gökyüzü fikri ürütölmüştür (Dreyer, 1952). Böylece değişmez mükemmellik içeren Evren fikrinin bir yanılığ olduğu anlaşılmış ve yıkılamaz denem dogmatik düşüncelerden uzaklaşılmıştır. Birçok alanda olduğu gibi bilimde de yeni bir dönem başlamıştır.

Kopernik, gezegenlerin ve Güneş'in bilinenin aksine Dünya etrafında değil diğer gezegenler ile beraber Dünya'nın Güneş etrafında döndüğu kuramını ortaya koymuştur. Ardından gelen Johannes Kepler ve Galileo Galilei tarafından da bu kuram savunulmuştur: Ne Dünya ne de Güneş Evren'in merkezinde değildir. Bu durum Evren'i anlama ve kavrama biçimimizi değiştirmiştir. Böylece modern ağ astronomisi başlamıştır.

Evren'de çok geniş hacimler içinde yer alan farklı gök cisimleri vardır. Bu nesneler arasında birbirlerine kütleçekimsel etkiler ile bağlı ve dinamik dengede bulunan galaksi kümeleri dikkat çekicidir. Kütleçekimsel etkiler ile bir arada bulunan az sayıdaki galaksi grupları, grupların bir araya gelmesiyle galaksi kümeleri ve galaksi kümelerinin bir araya gelmesiyle de süper galaksi kümeleri oluşur. Virgo süper kümesinde yer alan Samanyolu 'yerel grup' adı verilen bir grubun Andromeda (M31) ve Triangulum (M33) spiral galaksileriyle beraber en kütleli üç üyesinden biridir. Grubun diğer üyeleri düzensiz ve cüce galaksilerdir. Samanyolu'nun düzensiz uydu galaksilerinden Büyük Macellan Bulutu ve Küçük Macellan Bulutu yerel grupta en parlak görünen galaksilerdir. Yerel grubun diğer yapıları cüce galaksiler; sönük olmaları sebebiyle görece daha geç yıllarda keşfedilmiştir. Samanyolu'na en yakın cüce galaksiler 'Canis Major' ve 'Sagittarius' galaksileridir. Yerel grup mevcut haliyle üç megaparsek büyüklüğindeki bir uzay hacminde çoğu cüce galaksi olarak sınıflanmış 100'den fazla yakın galaksi içerir (McConnachie, 2012).

Genel hatlarıyla Evren'de Samanyolu'nun mevcut durumunun çok özel bir konumunun olmadığı görülür. Samanyolu'nun da birçok galaksi gibi 'sıradan' bir spiral galaksi olduğu anlaşılmıştır. Fakat Samanyolu'nu ayrıcalıklı kılan insanlığın üzerinde yaşadığı ve Güneş Sistemi'nin etrafında dolanan soluk mavi noktadır. Dünya'dan gökyüzüne bakıldığında Samanyolu insanlığın varoluşundan itibaren geçe gökyüzünde etkileyici bir ışık şöleni sunmasının yanında merak duygusunu da harekete geçirmiştir. Merak, ardından soruları getirmiş bulunan cevaplar yeni soruların peşini bırakmamıştır.

Evren'in derinliklerine açılan kapı için ilk adım Samanyolu'nun ne kadar büyük bir yapıda olduğunu anlamaya yönelik araştırmalara bağlıydı. 18. yüzyılın son çeyreğinde Wiliam Herschel gökyüzünü 683 bölgeye ayırıp yıldız sayımları yaparak Güneş'in Samanyolu'ndaki konumunu belirlemeye çalışmıştır. Galaksi boyunca ortalama yıldız yoğunluğunda belirgin bir farklılık görmemiştir. Bu sonuçtan yola çıkarak Herschel, Güneş'in Galaksi merkezinde konumlandığı sonucuna ulaşmıştır.

19. yüzyılın ilk çeyreğinde Jacobus Cornelius Kapteyn yıldız hareketlerini ve parlaklıklarını inceleyerek Herschel'in çalışmalarının doğruluğu konusunda fikirler belirtmiştir. Kapteyn ek olarak, Samanyolu'nun 10 kpc çapında, iki kpc kalınlığında ve Güneş'in de Galaksi merkezine yakın bir konumda olduğunu ifade etmiştir.

1920 yılında Harley Shapley ve Heber Curtis Galaksimizin sınırlarını öğrenmek amacıyla bulutsuların Samanyolu'nun bir parçası olup olmadığını anlamaya yönelik fikir tartışmalarına girmişlerdir. Harley Shapley, bulutsuların Samanyolu'na ait olduğunu Heber Curtis ise bulutsuların Galaksimize ait olmadığını ifade etmişlerdir. 1925 yılında Edwin Hubble bu tartışmalara Andromeda Galaksisi'nde bulunan sefeid değişen yıldızlarının gözlemleri neticesinde, Henrietta Swan Leawitt'in sefeid değişenleri için geliştirdiği periyot-parlaklık ilişkisini kullanarak son vermiştir.

Yıldız kümeleri çalışmalarıyla bilinen Robert Julius Trumpler, 1930 yılında uzak kümelerin beklenilenin aksine daha sönük göründüklerini fark etmiştir. Buradan hareket ile sanılanın aksine uzayın mükemmel bir vakum olmadığını ve uzak yıldızlardan gelen ışığı sönümleyen tozun Galaktik düzlem boyunca 1 kpc'lik uzaklıkta 2.5 kadir gibi bir azalmaya yol açtığını belirlemiştir (Trumpler, 1930). Galaksinin farklı doğrultularındaki yıldız alanlarını inceleyen Walter Baade, Güneş civarındaki yıldız dağılımının Samanyolu'nun dış kısımlarında yer alan küresel kümelerle göre farklılıklar içerdiğini tespit ederek, Güneş komşuluğundaki yıldızları popülasyon I, küresel kümelerde bulunanları da popülasyon II olmak üzere iki gruba ayırmıştır. Galaksi'nin yapısının öğrenilmesine yönelik çalışmalar yavaş yavaş yerini Samanyolu'nun oluşumu ve evrimine yönelik araştırmalara bırakmıştır.

Samanyolu'nun oluşumuna yönelik ilk model, ismini Eggen, Lynden-Bell ve Sandage isimli bilim insanlarının adlarının baş harflerinden alan ELS modelidir (Eggen, Lynden-Bell ve Sandage, 1962). ELS modeli, Galaksimizin çok büyük bir gaz kütesinin içe doğru çökmesiyle oluştuğunu ve çöktükçe metal bakımından zenginleştiğini, bu sürecin 2×10^8 yıllık bir zamanda oluştuğunu kabul eder. Bu model Galaksi'deki ilk yıldızların haloda oluştuğunu, yıldız evrimi sonucunda büyük kütleli yıldızların süpernova patlaması geçirerek çekirdeklerinde üretmiş olduğu ağır elementleri yıldızlararası ortama fırlatarak zaman içerisinde yıldızlararası ortamı metal bakımından zenginleştirdiğini ve açısal momentumun korunumuyla metalce zengin yıldızlararası maddenin Galaktik düzleme yerleşerek ikinci kuşak yıldızların oluştuğunu ifade eder.

Zaman içinde Galaksi halosundaki bazı küresel kümelerin metal bolluğunun daha önce keşfedilen küresel kümelere göre daha farklı metal bolluklarında olduğunun fark edilmesiyle ELS (1962) modeli üzerine tartışmalar başlamıştır. Searle ve Zinn (SZ, 1978) bu problemin üstesinden gelebilmek için farklı metal bolluklarındaki küresel kümelerin kinematik analizlerini yapmış ve daha önce gözlenen kümelere göre ters yönde döndüklerini tespit etmiştir. Farklı metal bolluklarındaki küresel kümelerin hareket yönlerinin daha önce gözlenenlere göre zıt yönde olması, bu kümelerin Samanyolu'nun cüce galaksiler ile etkileşimi sonucu galaksiye sonradan katılması olarak değerlendirilmiş (Galaksi oluşumundan en az 1 Gyıl sonra) ve SZ senaryosu olarak literatürdeki yerini almıştır. Günümüzde bu iki senaryonun hibrit bir sürümü geçerlidir.

Astronomik gözlemlerde büyük teleskopların devreye girmesiyle birlikte daha sönük yıldızlar gözlenebilmiştir. Galaksi'deki yıldızların dağılımını daha iyi anlayabilmek için 1960'lı yılların ortasında sistematik yıldız alanı taramaları başlatılmıştır (Becker, 1965). Elektromanyetik tayfin optik bölgesinde geniş band filtreleriyle yapılan fotometrik gözlemler neticesinde gözlenen yıldız alanlarında limit parlaklığı 20 kadire kadar ki tüm yıldızlar fotoğrafik plaklara kayıt edilmiştir. Fotometrik verilerin indirgenmesi neticesinde yıldız alanlarındaki yıldız sayıları hem görünen parlaklık hem de renk indeksi boyutunda incelenmiştir. Artan gözlemsel veriler sayesinde farklı doğrultularda gözlenmiş yıldız alanlarındaki yıldız sayı yoğunluklarından Galaksi modellerinin oluşturulması söz konusu olmuştur.

Samanyolu'nun disk ve halodan oluşan iki bileşenli ilk modern modeli Bahcall ve Soneira (1980) tarafından yıldız sayımı yöntemi kullanılarak oluşturulmuştur. Standart model olarak bilinen bu model, ince disk bileşenine ait yoğunluk kanununun, Galaksi merkezinden radyal ve Galaksi düzleminden dik doğrultularda çift exponensiyelli, halo bileşenine ait yoğunluk kanununun ise tek exponensiyelli bir fonksiyon ile değiştiğini kabul eder. Gilmore ve Reid (1983) Güney Galaktik kutup doğrultusundaki bir yıldız alanını inceleyerek, yıldız alanındaki yıldız yoğunluk profilinin iki bileşenli bir Galaksi modeliyle uyumlu olmadığını ancak "kalın disk" adını verdikleri yeni bir disk bileşeninin modele katılması durumunda istenen uyumun sağlandığını tespit etmişlerdir. Bu çalışma sonucunda Galaksi'nin üç bileşenli bir yapıda olduğu ve kalın disk bileşeninin yandan görülen diğer spiral galaksilerdeki yapıyla da uyumlu olduğu gösterilmiştir.

Gelişen teknik ve teknolojik imkânlarla astrometri, gök cisimlerinin uygun konumlarının belirlenmesini sağlamıştır. 21. yüzyılda CCD (Charge Coupled Device) tabanlı sayısal geniş ölçekli gökyüzü taramalarıyla yüksek ayırma güçlü ve hassas gözlem olanakları ortaya çıkmıştır. Bunun dışında yer tabanlı gözlemler ile yapılan çalışmalar için atmosferin bozucu etkisini ortadan kaldırmaya yönelik uzay teleskopları kullanılmaya başlanmıştır. Bu uzay teleskoplarından her ne kadar diğer astronomi konularına katkısı olsa da Samanyolu çalışmalarıyla ön plana çıkan iki ESA (European Space Agency) uzay teleskobu bulunmaktadır. High Precision PARallax COLlecting Satellite (*Hipparcos*) ve Global Astrometric Interferometer for Astrophysics (*Gaia*) söz konusu uzay teleskoplarıdır.

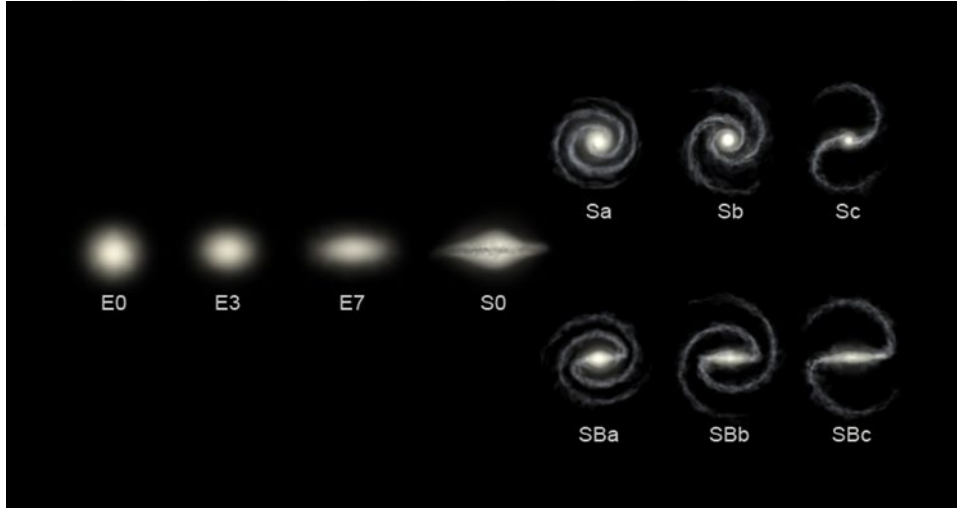
Bu yüksek lisans tez çalışmasında, günümüzün ileri teknik ve teknolojik özelliklerine sahip olarak tasarlanmış *Gaia* uzay teleskobunun yüksek hassasiyete sahip en güncel astrometrik veri sürümü olan *Gaia* EDR3 (Early Data Release 3) verileri kullanılmıştır. Bu mevcut verilerden yola çıkarak Güneş komşuluğunda, geniş bir tayf sınıfındaki anakol yıldızlarının farklı uzaklıkları dikkate alınarak ışımaya gücü fonksiyonları belirlenmeye çalışılmıştır.

Bu tez çalışmasının birinci bölümünde anlatıldığı üzere girişten, ikinci bölümünde genel bilgilerden, üçüncü bölümde kullanılan yöntem ve ayrıntılarından bahsedilmiştir. Tezin dördüncü bölümü elde edilen bulguları içermektedir. Beşinci bölüm tartışma ve sonuçtan oluşmaktadır. |

2. GENEL KISIMLAR

2.1. SAMANYOLU VE BİLEŞENLERİ

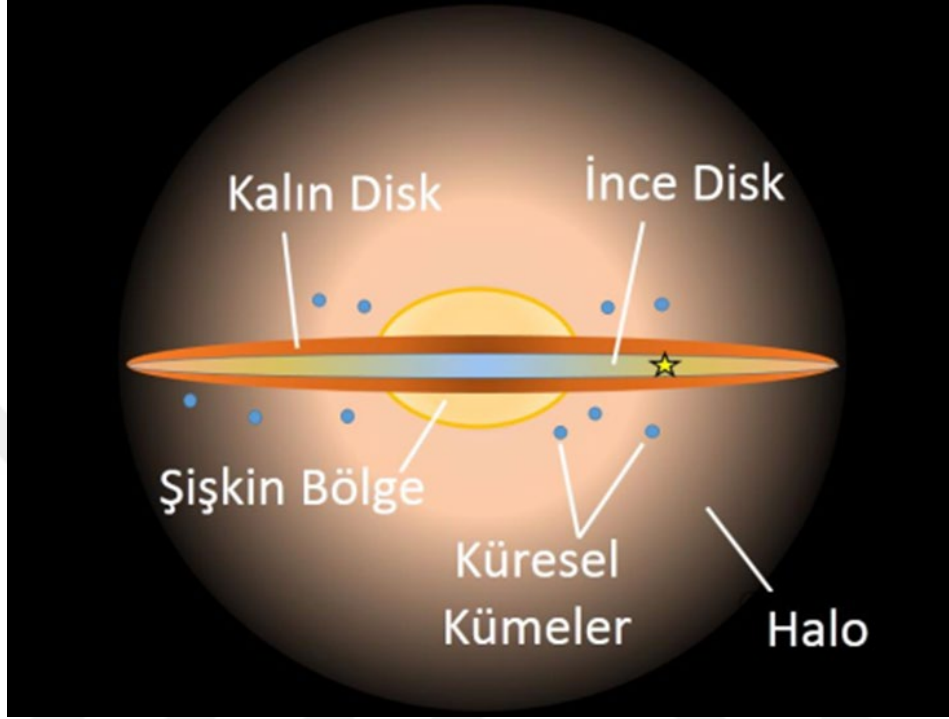
Samanyolu kütle çekim etkisiyle birbirine bağlı milyarlarca yıldızdan, gaz ve toz bulutlarından oluşan bir galaksidir. Hubble galaksi sınıflamasına (Şekil 2.1) göre Samanyolu spiral bir galaksi olarak tanımlanır (Binney ve Merrifield, 1998). Spiral galaksiler, merkezlerinde çubuk yapı barındırıp barındırmamalarına göre iki sınıfta incelenir. Çubuk barındıranlar “SB”, barındırmayanlar “S” simgesiyle gösterilirler. Ayrıca spiral galaksilerin kollarının sarılma derecesi de bir alt sınıflama olarak tanımlanmıştır. Üçüncü alt sınıflamada spiral kolların tam sarılı olması “a”, yarı ve daha az sarılı olması da, sırasıyla, “b” ve “c” sembolüyle gösterilir (Bournaud ve Combes, 2002). Galaksilerin biçimsel olarak sınıflamaları dikkate alındığında Samanyolu SBb türünden çubuklu spiral bir galaksidir (Benjamin ve diğ., 2005).



Şekil 2.1: Hubble sınıflamasını gösteren şema (E, eliptik galaksiler; S, spiral galaksiler; SB, çubuklu spiral galaksiler).

Samanyolu’ndaki nesneler kimyasal bolluk, yaş, kinematik ve dinamik yörünge parametrelerine göre üç ana grupta toplanır. Galaksi diski içinde yer alan Güneş ile benzer özellik gösteren nesneler Galaksimizin *popülasyon I* (Pop I) grubunu; Galaksimizin halosunda yaşlı ($t > 10$ Gyl), metalce fakir ($[Fe/H] < -1$ dex) ve eliptik yörüngelerde dolanan nesneler *popülasyon II* (Pop II) grubunu ve halo ile disk popülasyonlarının parametrelerine göre ara değerlerdeki nesneler de Galaksimizin *ara popülasyon II* (Ara Pop II) grubunu oluşturmaktadır (Gilmore ve Reid, 1983). Bu sınıflamaya göre Güneş’imiz Pop I, 47 Tuc küresel kümesi Ara

Pop II ve Galaksimizin halosunda bulunan RR Lyrae türü değişenler de Pop II sınıfına üyedir. Samanyolu ince disk, kalın disk, halo ve şişkin bölgeyi içeren dört bileşenden oluşmaktadır (Şekil 2.2).



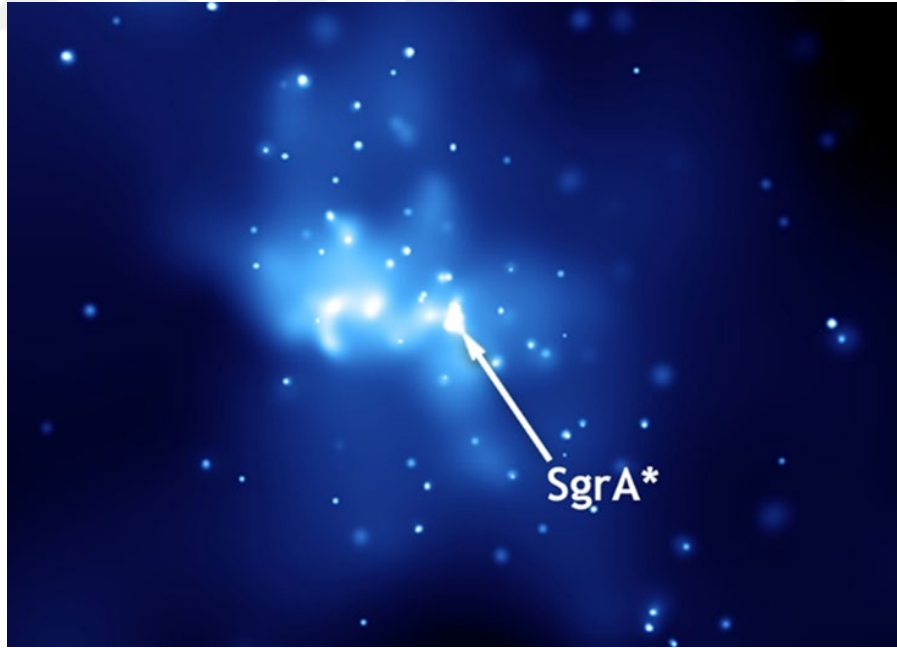
Şekil 2.2: Samanyolu bileşenlerinin yandan görünüşü.

2.1.1. Şişkin Bölge

Galaksimizin merkezi Sagittarius takımyıldızı doğrultusundadır. Merkezi kaynak SgrA olarak isimlendirilir. Bu kaynak; SgrA Batı, SgrA Doğu ve SgrA* (Şekil 2.3) olmak üzere üç yapıdan oluşmaktadır. Samanyolu'nun merkezinde parlak bir radyo kaynağı olarak bilinen SgrA* ise en az 4.0 ± 0.7 milyon Güneş kütesinden oluşan bir karadeliktir (Ghez ve diğ., 2008).

Samanyolu'nun merkezinde çok sayıda süpernova kalıntısı, sıcak yıldızlar tarafından ısıtılan iyonize gaz emisyonu gözlenir. Galaksi merkezine yaklaştıkça yapılar karmaşıklaşır ve bunları ayırt etmek zorlaşır. Ayrıca Galaksi merkezi yıldızlararası sönükleşmeden dolayı toz bulutlarıyla engellendiğinden optik dalgaboylarında gözlemek zordur. Şişkin bölgeye doğru çok fazla kızarma vardır, öyle ki Galaksi'nin merkez doğrultusunda optik bölgedeki sönükleşme değeri $A_V \approx 30$ kadire ulaşmaktadır (Schlegel ve diğ., 1998).

Galaksi'nin merkezi bölgesindeki soğuk kırmızı dev yıldızları kızılötesi dalgalıboylarında incelemek Samanyolu'nun kalbini araştırmak için önemlidir. Kırmızı evrimleşmiş yıldızlar etkin ışımalarını kızılötesi dalgalıboylarında gerçekleştirdikleri için yıldızlardan gelen radyasyon yıldızlararası ortamın neden olduğu sönükleşme etkisinden daha az etkilenir. Ancak Samanyolu'nun bu bileşeninde sönükleşmenin çok düşük olduğu bazı bölgeler de keşfedilmiştir. Bunlardan en iyi bilineni merkezi Galaktik koordinatları $(l, b) = (1^\circ.02, -3^\circ.92)$ olan ve “Baade Penceresi” olarak isimlendirilen yıldız alanı bölgesidir (Baade, 1946). Günümüzde şişkin bölgenin bir çubuk benzeri yapısının olduğu bilinmektedir. Bu ubuğun ana ekseninin bakış doğrultumuzla arasındaki açısı $25^\circ - 30^\circ$ arasındadır (Shen ve Zheng, 2020). Bazı alışmalarda Galaksi merkezinin yakın kızılötesi gözlemlerinde bir şişkin bölgeye sahip olduğu görülmüştür (Dwek ve diğ., 1995). Bu şişkin bölgenin yükseklik ölçeği yaklaşık 1.5 kpc olmakla beraber iç şişkin bölgede 600 pc'lik küçük bir şişkin bölge olduğu belirtilmiştir (Alard, 2001; Nishiyama ve diğ., 2005). Bölge iç kısmından dışına doğru incelendiğinde küresel kümeler kadar yaşlı, demir bolluğu açısından $-1.5 < [\text{Fe}/\text{H}] < -0.5$ dex aralığında ve göreceli olarak yüksek Galaktik enlemli ($|b| > 4^\circ$) yıldız alanlarından -0.6 dex/kpc'lik bir metal bolluğu gradyentine sahip olduğu görülr (Rich, 2015).



şekil 2.3: Galaksi merkezindeki SgrA* kaynağının *Chandra* X-ışını uydusundan alınmış bir görüntüsü¹.

¹ <https://chandra.harvard.edu/photo/2007/gc1e/>

Şişkin bölge kinematik açıdan Samanyolu diskinden daha sıcakken halosuna göre daha soğuktur (Kuijken ve Rich, 2002). Şişkin bölge Galaktik yıldız popülasyonu bakımından Pop I ve Pop II yıldızlarını içerir. Söz konusu bölgede 12 Gyıl'a varan farklı yaşlara sahip yıldızlar bulunmakla birlikte (Zoccali, 2010), bölgenin ortalama yaşı yaklaşık 10 Gyıl'dır (Rich, 2015).

Galaksimizdeki yıldızların oluşum zamanı ve kimyasal evrimi hakkındaki önemli bilgiler şişkin bölgedeki Tip II ve Tip Ia süpernova kalıntılarının incelenmesiyle ortaya konabilir. Tip II süpernovaları alfa ($[\alpha/\text{Fe}]$) ve demir bolluğu ($[\text{Fe}/\text{H}]$) açısından yıldızlararası ortamın kimyasal kompozisyonunu değiştirirken, Tip Ia süpernovaları ise demir grubu elementlerince yıldızlararası ortamı zenginleştirirler. Şişkin bölgenin α -element bolluğunun Güneş'in α -element bolluğundan zengin olduğunu gösteren çalışmalar vardır (McWilliam ve Rich, 1994). İlerleyen yıllarda M tayf türündeki dev yıldızların yakın kızılötesi bölgede ($1.5\text{-}1.8\ \mu\text{m}$) alınan yüksek çözünürlüklü ($R=25,000$) tayflarından şişkin bölgenin ortalama metal bolluğunun -0.19 ± 0.02 dex olduğu tespit edilmiş ve analiz edilen yıldızların α -bolluklarının Güneş civarındaki yıldızlara göre 0.3 dex daha zengin olduğu gösterilmiştir (Rich ve Origlia, 2005). Erken fotometrik ve tayfsal çalışmalar Samanyolu'ndaki şişkin bölge yıldızların genellikle yaşlı ve α -element bolluğu açısından zengin yıldız popülasyonundan oluştuğunu göstermiştir (Zoccali ve diğ., 2003; Cunha ve Smith, 2006).

2.1.2. İnce Disk

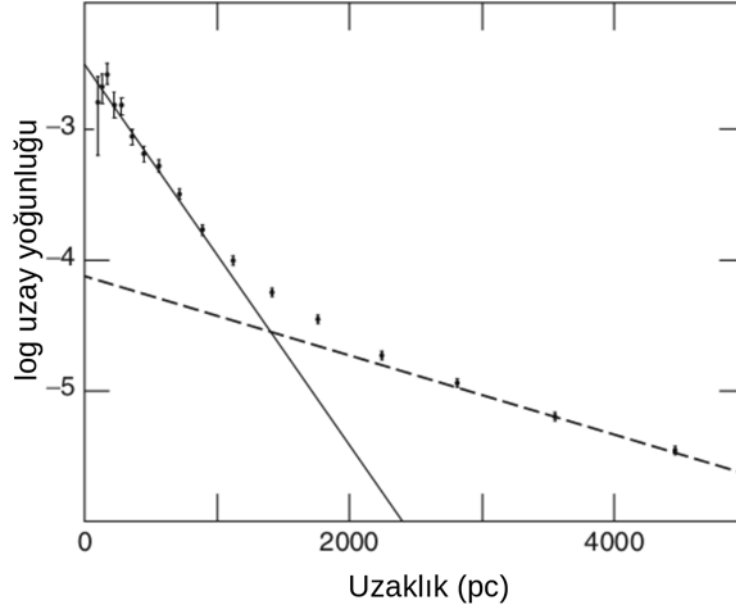
Spiral galaksilerdeki en belirgin bileşen olan ince disk, genç yıldızlardan ve yıldızlararası ortamdaki oluşmaktadır. 30 kpc genişliğe ve 2 kpc kalınlığa sahip ince disk bileşeni, Güneş ve Güneş civarındaki yıldızları barındırmaktadır. Bu bileşende yıldızlar, açık yıldız kümeleri, molekül bulutları, gezegenimsi bulutsular, süpernova kalıntıları ve spiral kollar bulunmaktadır. İnce disk bileşeni hakkındaki bilgiler Güneş civarındaki nesnelerin gözlemlerinden geldiğinden yakın çevremizle sınırlıdır. Güneş civarında ince diskin metal bolluğu dağılımı çok uzun zamandır bilinmektedir. Yıldızlararası ortam (gaz ve toz) en fazla galaksi diskinde bulunduğu için Galaksimizin dört sarmal kolunda (Cygnus, Sagittarius, Centaurus ve Perseus) bulunan ortam maddesinin yoğunluk dalgalarıyla sıkıştırılması, metalce zengin yeni yıldızların oluşmasını sağlar. İnce diskte bulunan yıldızlar baskın olarak orta tayf türünde anakol yıldızlarıdır. Metal bolluğu bakımından Samanyolu'nun diğer bileşenlerine göre daha zengin olan ince diskte ($-0.5<[\text{Fe}/\text{H}]<+0.5$ dex) genç ve orta yaşlı pop I yıldızları bir dağılım

göstermektedir (Bensby ve diğ., 2003). İnce disk yıldızlarının α -element bollukları Güneş'inkine benzerdir (Fuhrmann, 1998; Haywood ve diğ., 2013). Galaksinin disk yapısı sadece Galaktik düzlemiyle sınırlı kalmamakta bu düzleme dik doğrultuda uzanan bir yükseklik ölçeğine de sahiptir. Gilmore ve Reid (1983), iki bileşenli disk modeli için ince disk yükseklik ve uzunluk ölçeklerini, sırasıyla, $H=300$ pc ve $h=4$ kpc verirken güncel çalışmalar ince disk bileşenine ait yükseklik ve uzunluk ölçeklerini, sırasıyla, $250 < H < 400$ pc ve $1.5 < h < 2.3$ kpc aralığında vermektedir (Bilir ve diğ., 2006a). İnce diskteki yıldızlar Galaksi merkezi etrafında çembere yakın yörüngelerde hareket etmektedirler. Bu popülasyondaki yıldızların hız dispersiyonları yıldızların yaşlarına bağlı olarak eksponansiyel bir şekilde artmaktadır. Yıldız sayımları ince diskin genç ve yaşlı olarak incelenmesi gerektiğini söylemektedir (Gilmore ve Wyse, 1984). Güneş civarındaki ince disk yıldızlarını kinematik ve kimyasal bakımdan inceleyen Bensby ve diğ. (2003) Galaksi merkezine göre hesaplanan hız dispersiyonlarını (35, 20, 16) km/sn ve ortalama metal bolluğunu da $[Fe/H] = -0.17 \pm 0.03$ dex olarak vermektedir.

2.1.3. Kalın Disk

Güney Galaktik kutup doğrultusundaki bir yıldız alanını inceleyen Gilmore ve Reid (1983) F ve G tayf türündeki anakol yıldızlarından itibaren oluşturdıkları radyal yoğunluk profillerini iki bileşenli galaksi modeliyle fit ederek galaksi model parametrelerini belirlemek istemiştir. Modellerinin özellikle 1 ile 2 kpc uzaklık aralığındaki gözlemlerle uyumsuz olması yeni bir bileşenin gözlemsel yoğunluk profillerine eklenmesini gerektirmiştir (Şekil 2.4). Yeni modele ilave edilen popülasyonun yükseklik ve uzunluk ölçekleri sırasıyla, 1.45 kpc ve 4.5 kpc ve uzay yoğunluğu ise ince disk bileşeninin %2'sini içermekteydi. Literatüre yeni kazandırılan bu bileşen Galaksimizin kalın disk bileşeni olarak isimlendirildi. Yeni keşfedilen bu bileşen yandan görülen diğer spiral galaksilerde de belirgin bir şekilde gözlenmiştir (Tsikoudi, 1980).

Güneş civarında yapılan kinematik analizlerle kalın disk popülasyonunun uzay hızı dispersiyonlarının (67, 38, 35) km/sn olduğu ve ince disk için verilen değerlerden oldukça farklı olduğu belirlenmiştir (Bensby ve diğ., 2005). Kalın disk popülasyonlarındaki anakol yıldızlarını inceleyen Robin ve diğ. (2014) yıldız kütlelerinin 0.5 ile 0.9 $M/M_{\odot}$ ve yaşlarının da 9 ile 12 Gyl aralıklarında değiştiğini tespit etmiştir. Güneş'ten birkaç kpc uzaklık içerisinde yer alan kalın disk yıldızlarının tayfsal analizleri ortalama metal bolluklarının -0.6 dex ve α -element bolluklarının da $[\alpha/Fe] > 0.2$ dex olduğunu göstermektedir (Wyse, 2000).



Şekil 2.4: Güney Galaktik kutup doğrultusunda F ve G tayf türündeki anakol yıldızlarından hesaplanan gözlemsel yoğunluk profili. Şekildeki düz ve kesikli çizgiler sırasıyla, $H=300$ pc ve $H=1350$ pc'lik eksponansiyel yoğunluk kanunu modellerini göstermektedir (Gilmore ve Reid, 1983).

Ayrıca literatür çalışmalarında kimyasal ve geometrik olarak tanımlanmış kalın disklerin farklı özellikler gösterdiği görülmüştür. Kimyasal olarak tanımlanmış kalın disk, geometrik kalın diskten daha kısa bir uzunluk ölçeğine sahiptir (Ruphy ve diğ., 1996; Juric ve diğ., 2008; Bovy ve diğ., 2012). Küçük de olsa uzunluk ölçekleri ile ilgili belirsizlikler bulunmaktadır. Kimyasal kalın diskteki yıldızlar genellikle yaşlıdır oysa ki dış diskte geometrik kalın disk yıldızlarının ortalama 5 Gyl daha genç olduğu belirlenmiştir (Martig ve diğ., 2016).

2.1.4. Halo

Halo, Samanyolu'nun dış bölgesinde yer alan yaşlı ($t > 10$ Gyl) ve metalce fakir ($\langle [Fe/H] \rangle = -1.6$ dex) yıldızların bulunduğu bölge olarak bilinir. Dinamik açıdan incelendiğinde Galaksinin düşük açısal momentumlu bileşenidir. Yıldız halosunda bulunan yıldızların metal bollukları $-3.5 < [Fe/H] < -1$ dex aralığında bulunmakta olup halo bileşenindeki ortalama metal bolluğu yaklaşık $[Fe/H] = -1.6$ dex'tir (Ryan ve diğ., 1996). Bu bileşendeki yıldızların tayfsal analizleri yapıldığında $[\alpha/Fe]$ bolluklarının $+0.3$ dex'ten daha zengin olduğu görülmüştür. Bu bulgu ilk oluşan büyük kütleli yıldızların azami 0.5 Gyl bir süre içinde Tip II süpernova patlamaları geçirerek yıldızlararası maddeyi α -elementlerince zenginleştirdiğini göstermektedir (Gilmore ve Wyse, 1989). Günümüzde sürdürülen tayfsal gökyüzü programları

sayesinde haloda bir metal bolluğu gradyenti belirlenememiştir (Karaali ve diğ., 2003; Ak ve diğ., 2007; Yaz ve Karaali, 2010; Tunçel Güçtekin ve diğ., 2019).

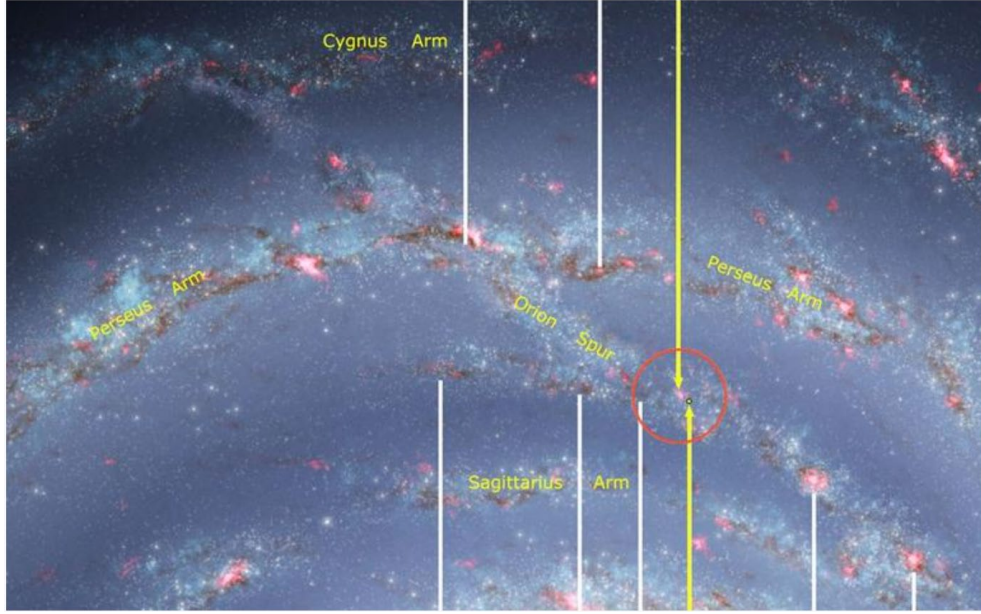
Halo popülasyonunu iyi temsil eden ve 50 kpc uzaklığa kadar görülebilen RR Lyrae yıldızları dikkate alındığında yıldız yoğunluklarının Galaksi merkezine göre $\rho(R) \propto R^{-3.1}$ kuvvet kanunuyla değiştiği tespit edilmiştir (Vivas ve Zinn, 2006). Samanyolu halosunda uzun ömürlü F ve G tayf türündeki yıldızlar üzerine yapılan araştırmalar sayesinde halonun basık bir yapısının olduğu ve c/a değerinin yaklaşık 0.5 olduğu tespit edilmiştir (Wyse ve Gilmore, 1989; Bilir ve diğ., 2006b; 2008). Halo üzerine yapılan kinematik araştırmalar yıldız halosunun $2 \times 10^9 M_{\odot}$ kütlesine sahip olduğunu göstermektedir (Carney, ve diğ., 1990). Ayrıca Güneş civarındaki metalce fakir halo yıldızlarını inceleyen Bensby ve diğ. (2005) halo popülasyonunun uzay hızı dispersiyonlarının $(\sigma_U, \sigma_V, \sigma_W) = (160, 90, 90)$ km/sn olduğunu belirlemiştir. SDSS'in fotometrik verilerini analiz eden araştırmacılar Galaksi halosunun üç eksenli bir yapısının bulunduğunu ve eksenel yöneliminde farklı olduğunu tespit etmişlerdir (Newberg ve diğ., 2007).

Halo yapısının genel itibarıyla galaksilerden taşıdıkları dinamik ve kimyasal izlerinden dolayı galaksinin oluşum kökeni ve etrafındaki uydu galaksilerinin kimyasal geçmişi araştırmalarında bilgi verebileceği düşünülmektedir. Samanyolu için gerçekleştirilen fotometrik ve tayfsal gökyüzü taramalarının yapılması halo araştırmalarını geliştirmiştir. Bu konuyla ilgili olarak Carollo ve diğ. (2007; 2010) ve Beers ve diğ. (2012) yıldızların kinematik ve dinamik hesaplamaları sonucunda halonun, iç ($R_{GC} < 10$ kpc) ve dış ($R_{GC} > 10$ kpc) olarak iki bileşenden meydana geldiğini ve bu alt bileşenlerin metal bolluklarının da, sırasıyla, $[Fe/H]_{iç} \sim -1.6$ dex ve $[Fe/H]_{dış} \sim -2.2$ dex olduğunu hesaplamışlardır. Ayrıca bu çalışmalarda iç halonun Galaksideki diğer yıldızlar ile aynı yönde fakat küçük hızlarda döndüğü ($V_{\phi} = 7 \pm 4$ km/sn) buna karşın dış halodaki yıldızların ise Galaksideki diğer yıldızlara göre ters yönde ($V_{\phi} = -80 \pm 13$ km/sn) hareket ettikleri rapor edilmiştir.

2.2. GÜNEŞ CİVARINA GENEL BAKIŞ

Galaksi merkezine 8 kpc uzaklıkta yer alan Güneş'in Galaktik çevresi çoğunlukla küçük kütleli kırmızı yıldızlar ile çevrilidir. Gökyüzü tarama programlarıyla gerçekleştirilen yıldız sayımlarında Güneş civarında 20 ile 30 pc uzaklık aralığında soğuk cüce yıldızlar yer alırken,

en yakın açık kümeler ve yıldız oluşum bölgeleri 40 pc'in ötesinde bulunmaktadır. Büyük ölçekte Güneş civarındaki yapı incelendiğinde Güneş'in Orion çıkıntısının (Orion Spur) kenarında bulunduğu görülmektedir. Orion çıkıntısı da Samanyolu'nun dış bölgesinde Güneş'ten 2 kpc uzaklıkta bulunan Perseus koluyla Galaksi merkezi doğrultusunda Güneş'ten yaklaşık 1 kpc uzaklıktaki Sagittarius kolu arasında bulunmaktadır (Şekil 2.5). Yıldızların oluştuğu bölgelerin büyük kısmı Galaksi'nin spiral kolları üzerinde yer alır ve bunlar içinde en iyi bilineni Güneş'ten yaklaşık 400 pc uzaklıktaki Orion bulutu ve Orion OB1 oymağıdır (Großschedl ve diğ., 2018). Güneş merkezli 500 pc uzaklık içinde yer alan Galaktik nesnelerin şematik çizimi Şekil 2.6'da gösterilmiştir. Şekilden de görüleceği gibi Orion bulutsusunun dışında Lupus, Chamealeon ve Taurus molekül bulutlarıyla birlikte genç açık kümeler ($t < 10$ Myıl) bu yıldız oluşum bölgelerinin yakınlarında bulunmaktadır.



Şekil 2.5: Güneş civarındaki spiral kollar². Kırmızı daire Güneş'in Orion çıkıntısındaki konumunu göstermektedir.

² <https://www.dglobe.com/opinion/4324992-astrobob-its-september-time-my-orion-fix>



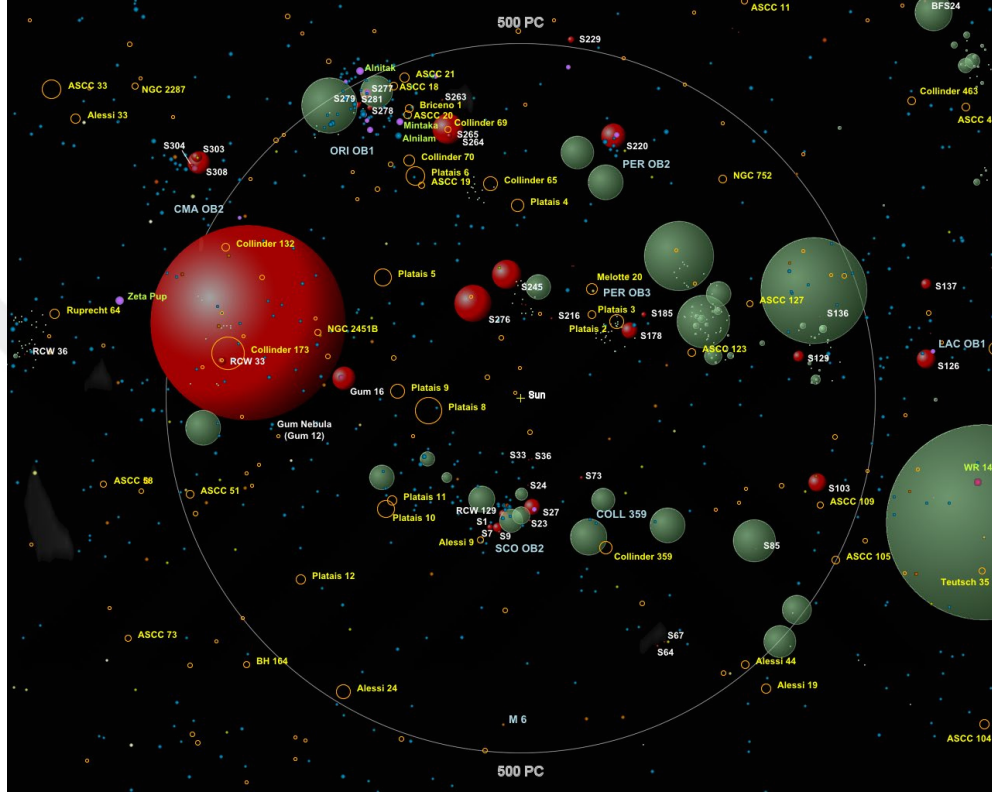
Şekil 2.6: Güneş merkezli 500 pc'lik bölgedeki yapılar. Mavi ve turuncu renkler, sırasıyla, yıldızlararası maddenin zayıf ve yoğun olduğu bölgeleri göstermektedir³.

Orion bulutsusunun ötesine uzanan, özellikle Scorpius-Centaurus, Upper Sco, Perseus ve Orion OB1 oymakları bir arada incelendiğinde geçmişte meydana gelen yıldız oluşumları hakkında önemli ipuçları elde edilebilir. Güneş civarında yıldız oluşum bölgeleriyle ilgili büyük yapılardan biri de Gould Kuşağı'dır (Şekil 2.7). Erken B ve A tayf türünden yıldızlardan oluşan Gould kuşağı (Gould, 1874) yaklaşık 600 pc çapında ve 60 pc kalınlığında disk benzeri bir yapı olup Galaktik düzlem ile 17 - 22 derece arasında bir açı yapar (Guillout ve diğ., 1998). Kuşak üzerinde bulunan erken tayf türündeki yıldızların günümüzden 35 ile 40 Myıl önce oluştuğu belirlenmiştir. Bu yıldızların nasıl oluştuğu halen belirsiz olmakla birlikte, literatürde yaklaşık 500 pc çapında ve birkaç $10^5 M_{\odot}$ kütleli yüksek-hızlı HI bulutlarının birbiriyle çarpışması veya bir seri süpernova patlamasıyla oluştuğuna yönelik senaryolar bulunmaktadır (Grenier, 2004).

Günümüzde yapılan kinematik analizler Güneş'in Gould Kuşağı içinde hareket ettiğini göstermektedir. Güneş, yoğunluğu ~ 0.001 atom/cm³ olan ve yerel kabarcık olarak bilinen bir uzay hacmi içinde yer almaktadır. Geçen 5 Gyl süresince yıldızımız Galaktik yolculuğunu

³ https://www.sslmit.unibo.it/zat/images/cartography/M-Way_2.htm

yerel kabarcık içinde sürdürmekte olup bir yıldız oluşum bölgesi olarak bilinen Aquila Rift'e doğru hareket etmektedir. Yerel kabarcığın günümüzde 10 Myıl önce bir süpernovayla veya Güneş'ten 130 pc uzaklıkta bulunan Scorpius-Centaurus yıldız oluşum bölgesindeki büyük kütleli yıldızların rüzgârlarıyla oluştuğu düşünülmektedir (Grenier, 2004).



Şekil 2.7: Güneş merkezli 500 pc'lik uzay hacmi içinde yer alan Gould Kuşağı. Büyük daireler yıldız oluşumuna katkı veren bölgeleri göstermektedir⁴.

Gaia uydu verilerinin erken üçüncü veri sürümünün literatüre kazandırılmasıyla (Gaia işbirliği, 2021a) yerel kabarcık içinde bilinen en büyük iki yapı Hyades (Melotte 25) ve Coma Berenices (Melotte 111) açık kümeleridir. Hyades, Güneş'ten yaklaşık 47 pc uzaklıkta 800 Myıl yaşında, metalce zengin bir açık kümedir (Gaia işbirliği, 2021b). *Gaia* uydusunun hassas astrometrik verileriyle incelenen kümenin 920'ye yakın farklı ışımaya gücünde bulunan yıldızları belirlenmiştir. Hyades kümesinin Güneş'e yakın olması ve yıldızlararası ortamın sönmüşleşme etkisine maruz kalmaması, kuramsal hesaplamalardan elde edilen yıldız evrim yollarının sınanması açısından son derece önemlidir. Güneş'e uzaklığı yaklaşık 86 pc olan en yakın ikinci açık küme, yaklaşık 800 Myıl yaşındaki Coma Berenices'tir. *Gaia* astrometrik verilerini analiz eden araştırmacılar kümeye üye 146 yıldız belirlemişlerdir. Coma Berenices'in en dikkat çekici

⁴ http://galaxymap.org/detail_maps/gould.html

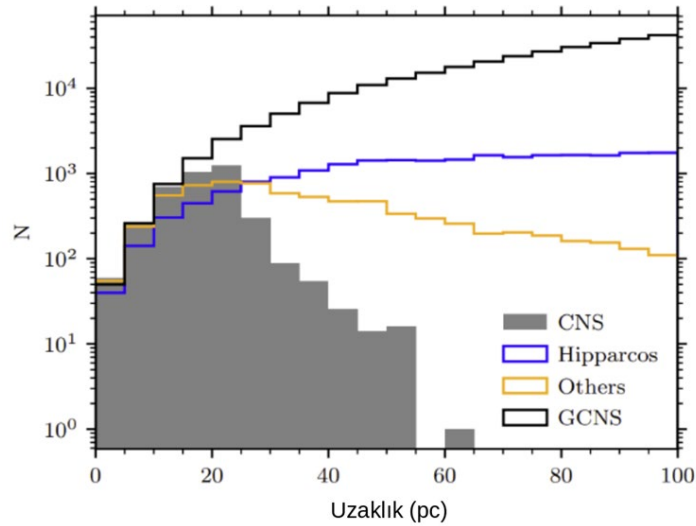
yanı kümenin yörüngesi boyunca Galaktik düzleme doğru uzanması ve büyük bir çekimsel kuyruğunun bulunmasıdır (Tang ve diğ., 2018).

Yerel kabarcık içinde karşılaşılan en şaşırtıcı durumlardan biri de yaşları 10 ile 50 Myıl aralığında değişen 100'e yakın erken tayf türünden yıldızın keşfedilmiş olmasıdır. İlginç olan bu genç yıldızların Güneş'e 130 pc uzaklıkta bulunan en yakın yıldız oluşum bölgesinden (Centaurus-Crux Oymağı) daha yakın uzaklıklarda (yaklaşık 60 pc içinde) yer almalarıdır. Güneş komşuluğunda bulunan bazı genç yıldızların, TW Hydrae (~8 Myıl), η Chamaeleon (8 Myıl), Cha-Near grup (10 Myıl), β Pictoris (12 Myıl), Tucana/Horologium (30 Myıl) ve AB Doradus (50 Myıl) gibi birbirine zayıf çekimsel kuvvetler ile bağlı yıldız gruplarının dağılmasıyla yıldızlararası ortama saçılmış olduğu düşünülmektedir (Song ve diğ., 2003). Bu genç yıldız gruplarının kökeni tam olarak bilinmese de, şüpheler esas olarak Scorpius-Centaurus yıldız oluşum bölgesine dayanmaktadır.

Güneş civarındaki yıldızların uzay dağılımlarına yönelik incelemeler gökbilimcilerin yıldız paralaksalarını duyarlı olarak ölçmeye başladığı 20. yüzyılın başından beri önemli ölçüde artmıştır. Gliese'in (1957) 20 pc içinde 915 yıldızın trigonometrik verilerini literatüre kazandırmasıyla yıldızların Güneş civarındaki dağılımlarına yönelik ilk büyük çalışma başlatılmıştır. Zaman içerisinde yakın yıldızlar kataloğu Gliese ve Jahreiss (1991) tarafından 25 pc uzaklığa genişletilmiş ve yıldız sayısı 3,803'e çıkartılarak revize edilmiştir. *Hipparcos* uydusunun 1989 yılında Dünya atmosferinin dışına fırlatılmasıyla, yakın yıldızların gözlemleri uzaydan yapılabilir hale gelmiştir. Uydunun görevini tamamlaması ve verilerin *Hipparcos* konsorsiyumu tarafından analiz edilerek literatüre kazandırılması sonucu 25 pc'lik uzay hacmi içinde yıldız sayısı 5,835'e ulaşmıştır (ESA, 1997). 1990'lı yılların sonunda elektromanyetik tayfin yakın kızılötesinde tasarlanan İki Mikron Tüm Gökyüzü Taraması'nın (2MASS; Skrutskie ve diğ., 2006) devreye girmesiyle ve gök cisimlerinin *JHK_s* fotometrik verilerinin literatüre kazandırılmasıyla (Cutri ve diğ., 2003) sönük, küçük kütleli, soğuk anakol yıldızları keşfedilmiştir. 2MASS programıyla keşfedilen yakın yıldızlar Stauffer ve diğ. (2010) tarafından derlenerek yakın yıldızlar kataloğu son kez güncellenmiştir.

Yakın yıldızlar kataloğu farklı araştırmacılar tarafından ele alınarak temel astrofizik problemlerinin çözümünde kullanılmıştır. Lowrance ve diğ. (2002) ve Poveda ve diğ. (1994) ayrık çift sistemleri, Friel ve diğ. (1993) Güneş ikizlerini, Biller ve diğ. (2007), Johnson ve diğ.

(2007) ve Pravdo ve diğ. (2006) öte-gezegenli barınak yıldızları, Reid ve diğ. (2002), Gizis ve Reid (1999), Martini ve Osmer (1998) ve Wielen ve diğ. (1983) yerel ışınma gücü fonksiyonunu, Henry ve diğ. (1999) kütle-ışınma gücü ilişkisini ve Bienayme ve Sechaud (1997) ve Wielen (1974) yerel kinematik değerlerini yakın yıldızlar kataloğunu kullanarak elde etmişlerdir. Yakın yıldızlar kataloğunun etkisi farklı mutlak parlaklıkta bulunan yıldızların tamlıkları ve hassas trigonometrik paralaks verileriyle sınırlı kalmıştır. *Gaia* uydusunun 19 Aralık 2013 tarihinde uzaya gönderilmesiyle birlikte Güneş civarındaki yıldızların $G = 20.7$ limit parlaklığına kadar duyarlı astrometrik gözlemlerinin yapılabilmesi söz konusu olmuştur. *Gaia* uydu verilerinin erken üçüncü veri sürümünün (*Gaia* işbirliği, 2021a) literatüre kazandırılmasıyla mevcut yıldız kataloğu, *Gaia* yakın yıldızlar kataloğu (GYK) ismini almıştır. *Gaia* konsorsiyumundaki araştırmacıların oluşturduğu GYK, 100 pc içinde M8 tayf türüne kadar tüm yıldızları içerecek şekilde derlenmiştir (*Gaia* işbirliği, 2021b). Oluşturulan bu güncel katalogta farklı ışınma gücü sınıfından 331,312 yıldız yer almaktadır. 1950’li yıllardan günümüze kadar geçen süre içinde farklı araştırmacılar tarafından derlenmiş yakın yıldız kataloglarındaki yıldız sayılarının Güneş’e olan uzaklıklarıyla değişimi Şekil 2.8’de gösterilmiştir. Şekilde 15 pc’lik uzaklık içinde yıldız kaybı söz konusu değilken, bu uzaklığın ötesinde *Gaia* uydu verilerinden sağlanan yıldız uzaklıklarında ciddi bir katkının bulunduğu görülmektedir.



Şekil 2.8: *Gaia* yakın yıldız kataloğundaki yıldız uzaklıklarının literatürde bilinen diğer yakın yıldız kataloglarındaki uzaklıklar ile karşılaştırılması. Yakın yıldız kataloglarındaki uzaklıklar trigonometrik paralaksların tersleri alınarak hesaplanmıştır (*Gaia* işbirliği, 2021b).

2.3. UZAY TABANLI ASTROMETRİK UYDULAR

Uzaydan astrometrik gözlemler yapmak fikri 1966 yılında Pierre Lacroute tarafından ortaya atılmasından uzun yıllar sonra gerçekleştirilmiştir. 1989 yılında *Hipparcos* ve 1990 yılında *Hubble Uzay Teleskobu*'nun uzaya fırlatılması astrometri alanında büyük devrim yaratmıştır. Bu girişimler o zamana kadar özel olarak kullanılan yer tabanlı tekniklerde çok fazla ilerlemenin kaydedilmediği anlamına gelmemektedir. 1960'lı ve 1980'li yıllar arasında otomatik plak ölçüm makineleri ve küçük alan diferansiyel astrometri için CCD dedektörlerinin kullanımı dahil olmak üzere yeni veya oldukça gelişmiş araçların astronomik gözlemlerde kullanılmaya başlandığı görülmüştür (Monet, 1988). Radyo alanında, çok uzun temel girişim (VLBI) astrometrisinde, yaklaşık 1 miliyay saniye (mas) hassasiyetinde gözlemlerin yapılabilmesi söz konusu olmuştur (Ma ve diğ., 1990). Gözlemlerin Dünya atmosferinin dışına taşınması astrometrik gözlemlerin duyarlılığını 1 mas'ın altına indirmiştir. Bu da Güneş civarındaki yıldızların uzaysal dağılımlarının ortaya çıkartılması, kinematik ve dinamik yörünge analizlerinin daha duyarlı yapılabilmesine fırsat vermiştir. Geniş ölçekte uzaydan yapılan astrometrik gözlemlerde ESA'nın ürettiği iki uydu ön plana çıkmaktadır.

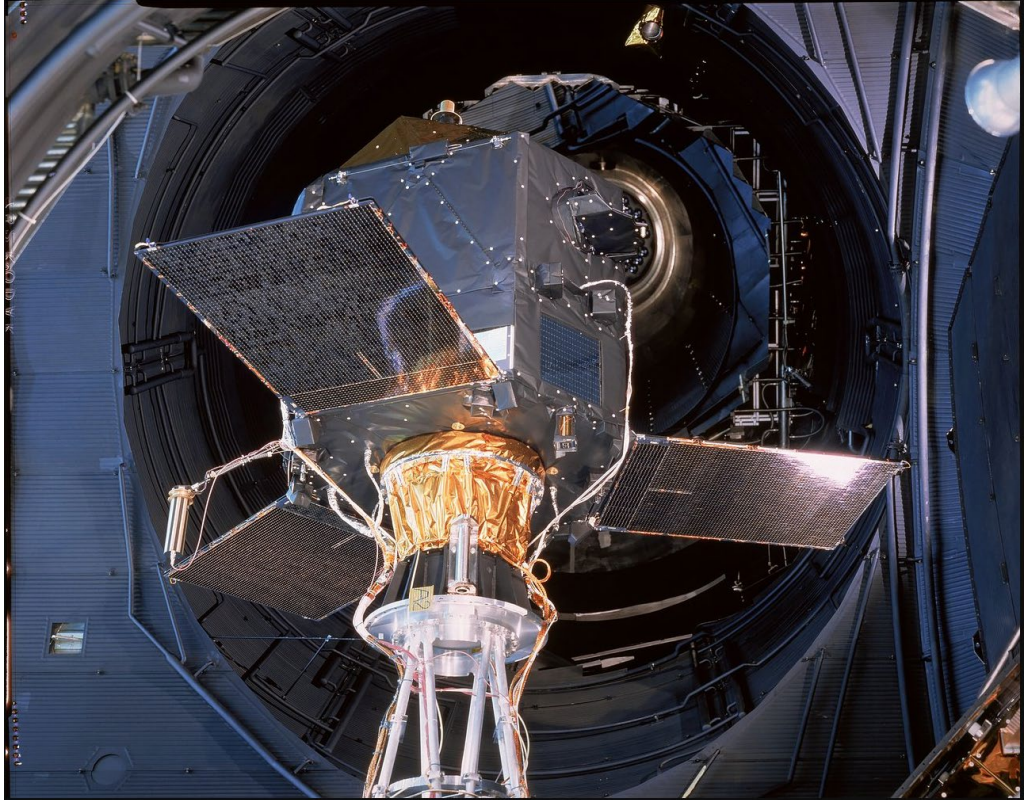
2.3.1. *Hipparcos* Uydusu ve Görevi

Ariane-4 roketinin 21 numaralı uçuşuyla Fransız Guyanası'ndan fırlatılan *Hipparcos* (*High Precision Parallax Collecting Satellite*), ESA'nın 8 Ağustos 1989 tarihinde başlayan ve 15 Ağustos 1993 tarihinde son bulan ilk uzay tabanlı astrometrik görev üstlenen bir uzay teleskobudur.

Uydunun bilimsel hedefi Güneş civarındaki yıldızların uzaklıklarını belirlemek suretiyle yıldızların fiziksel özelliklerinin tayin edilmesi, yıldızların uzay dağılımlarının ortaya çıkartılması, farklı ışıma gücündeki yıldızların tayf türlerine göre sayımı yapılarak ışıma gücü fonksiyonlarının elde edilmesi ve Güneş komşuluğundaki yıldızların kinematik ve dinamik yörünge parametrelerinin hesaplanabilmesi için astrometrik verilerin literatüre kazandırılmasıydı. Uzay teleskobu, adını Helenistik dönemde yaşamış ve gökyüzündeki parlaklıkları bir ile altı arasındaki sayılar ile sınıflayan Hipparchus'dan almıştır. *Hipparcos* uydusu 1.4 m odak uzunluğuna ve 0.29 m çapında yansıtıcı aynaya sahip Schmidt türü bir teleskoba sahiptir. Bulunduğu konumdan tüm gök küreyi gözleyebilecek biçimde tasarlanmış *Hipparcos* uydusunun görüş alanı 0.9×0.9 derece karedir (Şekil 2.9). *Hipparcos* uydusu Dünya

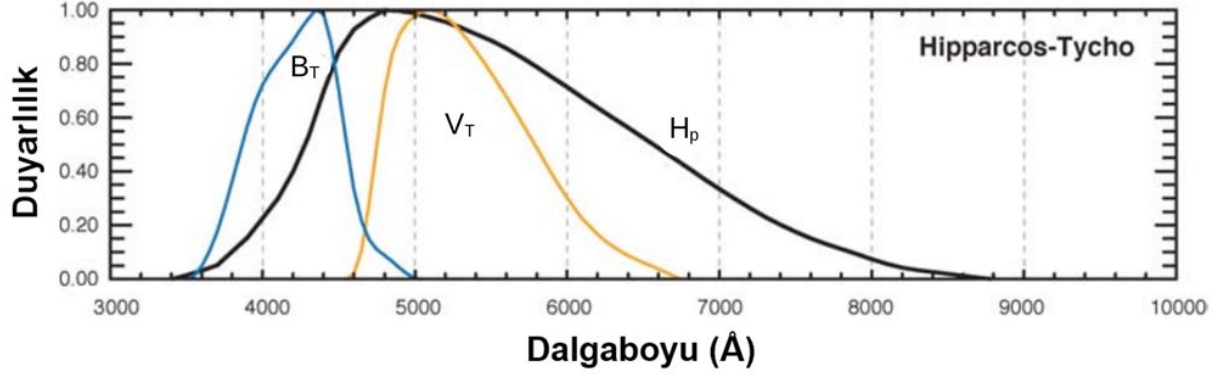
ile sürekli temas halinde kalabilmek için tam bir turunu yaklaşık iki saatte tamamlayacak biçimde tasarlanmıştır. Bu şekliyle uydu tüm gökyüzünü en az 130 kez tarayabilmiştir.

Yüksek hassasiyet ile yapılan gözlemler ve indirgemeler sonucunda 1997 yılında *Hipparcos* ve *Tycho-1* katalogları oluşturulmuştur (Perryman ve diğ., 1997). *Hipparcos* kataloğunda, 118,218 yıldızın astrometrik (ekvatorial koordinatlar, öz hareket bileşenleri ve trigonometrik paralaks) ve H_p bandındaki (Şekil 2.10) fotometrik verileriyle birlikte, Güneş sisteminde bulunan 48 asteroid ve iki büyük gezegenin üç uydusuna ait veriler bulunmaktadır (ESA, 1997). *Tycho* kataloğunda ise *Hipparcos* kataloğuna göre daha sönük 2,539,913 yıldızın ekvatorial koordinatlarıyla birlikte öz hareket bileşenleri ve B_T ve V_T bandlarındaki (Şekil 2.10) parlaklıkları bulunmaktadır (Hog ve diğ., 2000). Ayrıca *Hipparcos* kataloğunda çift veya çok bileşenli yıldızların bileşen çözümleri, parlaklık değişimi gösteren yıldızlar, Güneş sistemine ait nesnelerin astrometrik ve fotometrik verileri de yer almaktadır.



Şekil 2.9: *Hipparcos* uydusunun uzaya gönderilmeden önce çekilmiş bir fotoğrafı⁵.

⁵ <https://supernova.eso.org/exhibition/images/hipparcos-pinpointingstars-CC/>



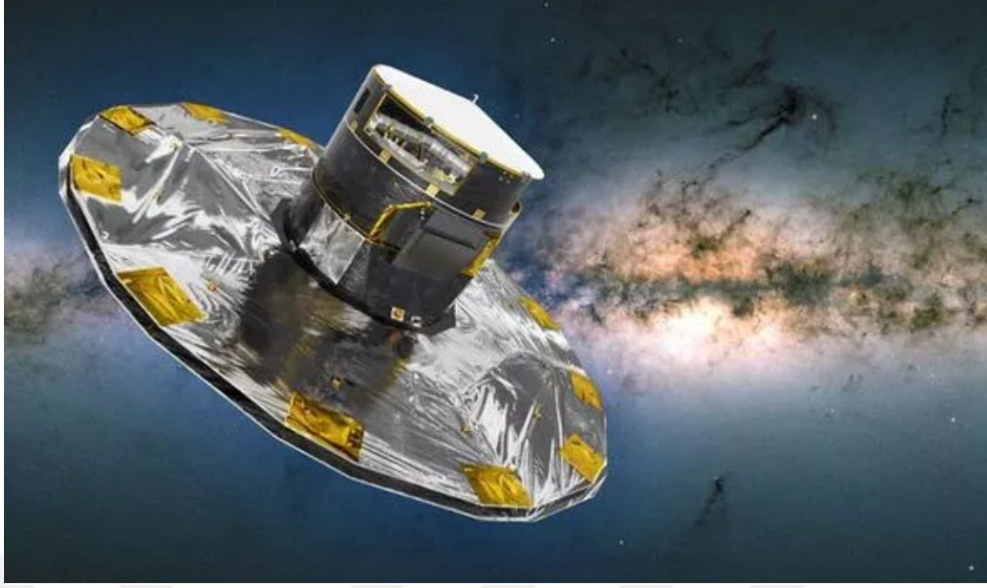
Şekil 2.10: *Hipparcos* (H_p) ve *Tycho* (B_T , V_T) kataloglarında kullanılan filtrelerin duyarlılık fonksiyonları (Bessell, 2005).

Hipparcos kataloğunun ilk sürümünden sonra katalogtaki bazı yıldızların verilerinde hataların ortaya çıkmasıyla van Leeuwen (2007) *Hipparcos* verilerini yeniden indirgeyerek 117,955 yıldızdan oluşan ikinci bir kataloğu literatüre kazandırmıştır. Yeniden indirgenen *Hipparcos* kataloğundaki astrometrik veriler orijinal sürümündeki verilere göre dört kat daha hassas elde edilmiştir.

2.3.2. *Gaia* Uydusu ve Görevleri

Avrupa Uzay Ajansı'nın (ESA) astrometrik gökyüzü tarama programını gerçekleştirmek üzere tasarlanan ve 13 Ekim 2000 tarihinde ESA'nın Bilim Programları Komitesinin altıncı projesi olarak kabul edilen *Gaia* (Astrometric Interferometer for Astrophysics), 19 Aralık 2013 tarihinde Fransız Guyanası'ndan Soyuz Fregat roketiyle fırlatılmış, Dünya'dan yaklaşık 1,5 milyon km uzaklıkta, Güneş-Dünya-Ay sisteminin ikinci Lagrange noktasına yerleştirilmiştir. Uydunun Güneş etrafında dolanan bir yörüngeye yerleştirilmesiyle Dünya etrafındaki bir yörüngede bulunan bir uyduya göre çok daha kaliteli bir gözlem yapabilme olanağına kavuşulmuştur.

Adını Yunan mitolojisinde tüm canlıların annesi olarak bilinen Dünya Tanrıçası Gaia'dan alan uydusu bugüne kadar uzay astrometrisi görevleri arasındaki en iddialı projelerden biridir (Şekil 2.11). *Gaia* Uzay Teleskobu; yük modülü, mekanik servis modülü ve elektrik servis modülü olarak adlandırılan üç işlevsel bölümden oluşur. Üç işlev, iki ortak teleskop ve paylaşılan bir odak düzlemi kullanır. Her işlevsel bölüm, 0.5 m × 1.0 m CCD (Charge-Coupled Device) dedektör dizisi üzerinde özel bir alana sahiptir.



Şekil 2.11: *Gaia* uydusunun Samanyolu'yla birlikte oluşturulmuş bir görüntüsü⁶.

Yük modülü astrometrik, fotometrik ve tayfsal gözlemleri yerine getiren bütünleşik bir cihaz için yapısal destek sağlayan toroid şekilli bir optik tezgâh (yaklaşık 3 m çapında) etrafında inşa edilmiştir. Uzay aracındaki yük modülünde bulunan cihazların teknik özellikleri Tablo 2.1'de verilmiştir. Yük modülü ek olarak cihazın çalışmasını sağlayan ve ham verileri işlemek için gerekli bütün elektronik sistemleri, servis modülü ise uzay aracının elektroniklerini destekleyen mekanik, yapısal ve termal cihazları içerir. Ayrıca uydu üzerindeki merkezi veri yönetimi sistemi de *Gaia*'nın Dünya ile iletişiminde kullanılmaktadır.

ESA'nın öncül *Hipparcos* uzay görevinden sonra hayata geçirilen *Gaia* projesinin amacı görevi boyunca gökyüzündeki her bir hedef kaynağı ortalama 70 kez tarayarak limit görünen parlaklığı $G \approx 20.7$ kadirine erişen tüm nesneleri gözlemektir. *Gaia* uydusu, yıldızların üç-boyutlu uzay ve hız dağılımlarını belirlemek ve etkin sıcaklık, yüzey çekim ivmesi gibi temel astrofizik özelliklerini hesaplayarak Samanyolu'nun yapı, oluşum ve evriminin anlaşılmasına ışık tutmak için tasarlanmıştır. Uydunun odak düzleminde her biri 4500×1966 piksele sahip 106 CCD alıcıdan oluşan şimdiye kadar bir uzay görevi için üretilen en geniş CCD mozaiği bulunmaktadır. Bu CCD mozaiği beş ana fonksiyona hizmet eder:

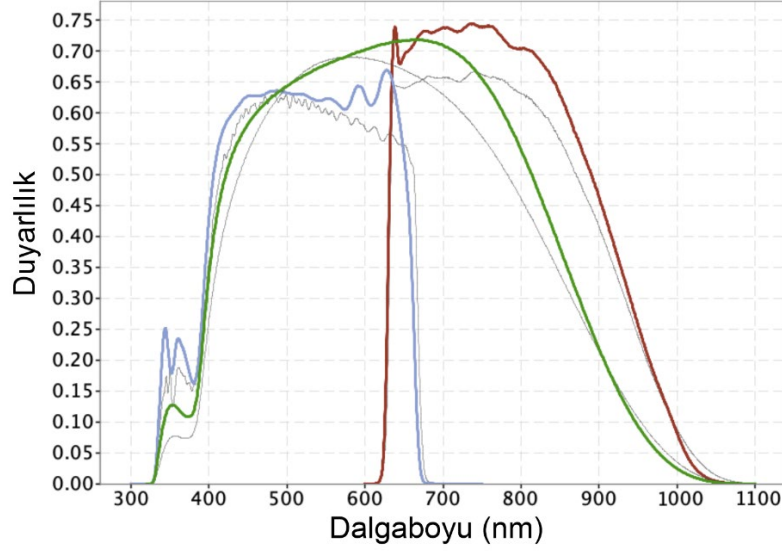
⁶ <https://www.express.co.uk/news/science/1367627/uk-astronomers-origin-milky-way-galaxy-gaia-satellite-data-space-news-evg>

Tablo 2.1: *Gaia* uzay teleskobunun bileşenleri ve ağırlıkları.

Bileşen	Ağırlık (kg)
Yük Modülü	524
Servis Modülü	868
Uzay Aracının Kuru Kütlesi	1392
Mikro İtici Güç	59
Güç	237
Başlangıç Kütlesi	1934
Araç Adaptörü	95
Toplam Başlangıç Kütlesi	2029

- (i) Dalga-cephesi alıcısı (WFS) ve temel-açı monitörü (BAM),
- (ii) Görüm alanına giren nesneleri otonom olarak algılayıp ardışık CCD'ler arasındaki yıldız geçişlerinin detaylarını aktaran Sky Mapper (SM),
- (iii) Görüm alanı gökyüzünde 40×40 yay dakikası olan 62 CCD'den oluşan ve astrometrik ölçümler ile G -bandında (330-1050 nm) fotometri yapan ana Astrometrik Alan (AF),
- (iv) Düşük çözünürlüklü, yarıksız spektrofotometri yapılmasını sağlayan ve sırasıyla 330-680 nm ve 630-1050 nm dalgaboyu aralıklarında nesnelerin integre edilmiş G_{BP} ve G_{RP} parlaklıklarını ölçen filtreler (Şekil 2.12),
- (v) CaII üçlüsü civarında $R = 11,500$ çözünürlüklü ve $G = 16$ kadirde daha parlak kaynakların yarıksız spektrometrisini yapan Radyal-Hız Tayfçekeri (RVS; *Gaia* işbirliği, 2018a).

Gaia uydusunun ilk veri sürümü (DR1; *Gaia* işbirliği, 2016) uydu fırlatıldıktan 1,000 gün sonra yayımlanmıştır. *Gaia* DR1'de 1,142,679,769 kaynağa ait ölçülen G -bandı parlaklıkları ve 2.5 milyon yıldızın *Hipparcos* ve *Tycho-2* verilerini içeren bir alt veri seti (TGAS; Tycho-GAIA Astrometric Solution - Michalik ve diğ., 2015) bulunmaktadır. TGAS'ta parlak yıldızların ekvatorial koordinatları, öz hareket bileşenleri ve trigonometrik paralaksları yer alır. *Hipparcos* verilerinden sonra yaklaşık 21 kat daha büyük olan TGAS verilerinin astronomlar tarafından kullanılması, Güneş civarındaki yapının anlaşılmasında önemli rol oynamıştır.



Şekil 2.12: *Gaia* EDR3 veri tabanında kullanılan G (yeşil), G_{BP} (mavi) ve G_{RP} (kırmızı) bandlarının duyarlılık fonksiyonları. Gri renkli eğriler *Gaia* uydusu uzay gönderilmeden önce tasarlanan bandların (Jordi ve diğ., 2010) duyarlılık fonksiyonlarını göstermektedir⁷.

25 Nisan 2018 tarihinde araştırmacıların kullanımına açılan *Gaia*'nın ikinci veri sürümü (*Gaia* Data Release 2, *Gaia* DR2; *Gaia* işbirliği, 2018b) Temmuz 2014'te başlayan resmi görevin ilk 22 ayı boyunca toplanan verileri içermektedir. *Gaia* DR2'nin ilk sürümüne göre üstünlüğü, bir milyardan fazla kaynağın duyarlı trigonometrik paralaks ve öz hareket ölçümlerine ek olarak, duyarlı ve homojen çok-bant tüm gökyüzü fotometri verilerinin ve görünen parlaklıkları $G = 13$ kadirden parlaklık yedi milyon yıldızın radyal hız ölçümlerinin bulunmasıdır. Bu özellikleri *Gaia* DR2 veri tabanının Samanyolu'ndaki yıldızların şimdiye kadarki en duyarlı temel astrofizik verileri ile Galaksimizin detaylı haritalandırma çalışmalarının yapılabilmesine işaret etmektedir. Bu katalogda, 1,692,919,135 kaynağın astrometri, geniş-bant fotometrisi, radyal hız, değişen yıldız sınıflandırmasıyla ışık eğrisi biçimi ve yıldızların temel astrofizik parametrelerine ait ölçümler yer almaktadır. Veri tabanında G bandı parlaklığı ölçülmüş; 1,331,909,727 nesnenin ekvatorial koordinatları (α , δ), öz hareket bileşenleri ($\mu_{\alpha}\cos\delta$, μ_{δ}) ve trigonometrik paralaksları (ϖ); 1,381,964,755 nesnenin G_{BP} ve 1,383,551,713 nesnenin de G_{RP} bantlarındaki görünen parlaklıkları ölçülmüştür. Fotometrik ölçümü yapılan nesnelerin trigonometrik paralakslarına ait hatalar G görünen parlaklığına göre ifade edilmiştir. Buna göre $G < 15$ kadir için $\sigma_{\varpi}/\varpi = 0.04$ mas, $G = 17$ kadir civarında için $\sigma_{\varpi}/\varpi = 0.10$ mas ve $G = 20$

⁷ <https://www.cosmos.esa.int/web/gaia/edr3-passbands>

kadir için $\sigma_{\varpi}/\varpi = 0.70$ mas'tır, Gökyüzü taraması görünen parlakları $4 < G < 12$ kadir aralığındaki nesneler için tam olup radyal hız hassasiyeti $G = 11.75$ kadir için $T_{\text{eff}} = 5500$ K'de 1.4 km/sn ve $T_{\text{eff}} = 5500$ K'de 3.6 km/sn'dir (Gaia işbirliği, 2018a).

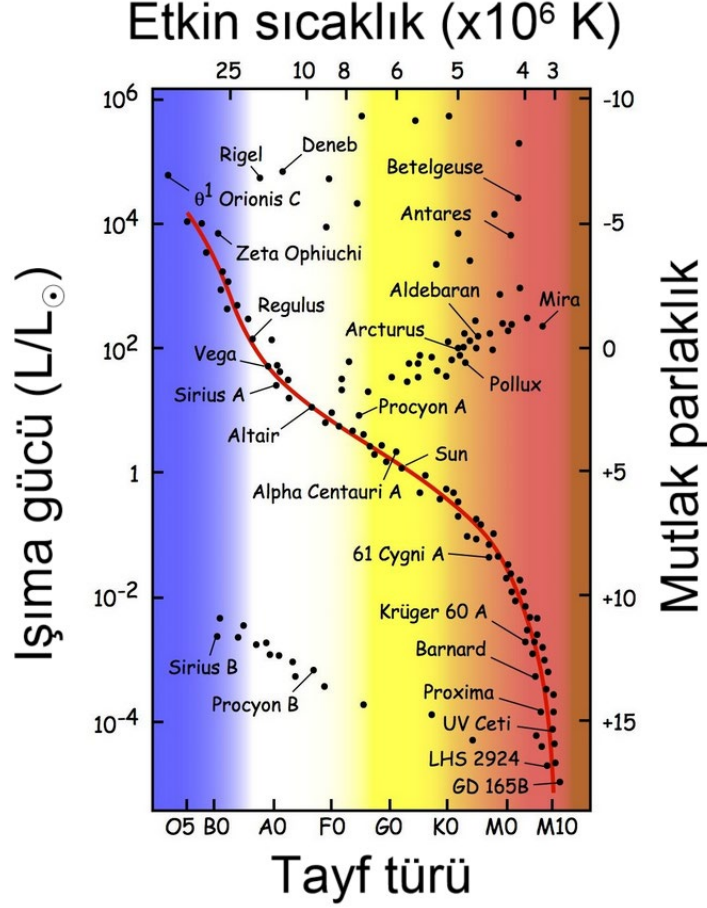
3 Aralık 2020 tarihinde 34 aylık çalışmaların sonucunda gerçekleşen üçüncü erken veri sürümünün (*Gaia* Data Release 3, *Gaia* EDR3; Gaia işbirliği, 2021b) önemi diğer veri sürümlerine göre daha hassas duyarlılıkta değerler içermesidir. *Gaia* EDR3 veri tabanında G görünen parlaklıkları ölçülmüş 1.806 milyar nesne, G_{BP} ve G_{RP} bandlarında gözlemleri yapılmış, sırasıyla, 1.542 ve 1.555 milyar nesneye ilaveten G görünen parlaklığı $3 < G < 21$ kadir aralığındaki 1.468 milyar nesnenin beş boyutlu astrometrik verileri (α , δ , $\mu_{\alpha}\cos\delta$, μ_{δ} , ϖ) bulunmaktadır. Bu veri sürümünde $G = 13$ kadirden daha sönük yıldızların radyal hızlarına ait yeni bir veri sunulmamıştır.

2.4. HERTZSPRUNG RUSSELL DİYAGRAMINA BAKIŞ VE YAKIN YILDIZLAR

Yirminci yüzyılın başlarında Ejnar Hertzsprung ve Henry Norris Russell yıldızların mutlak parlaklıklarıyla tayf türleri arasındaki ilişkileri araştırmışlardır. Yıldızların bu parametreleriyle oluşturulan diyagram, Hertzsprung–Russell diyagramı veya basitçe HR diyagramı olarak bilinmektedir (Şekil 2.13). Ayrıca HR diyagramı yıldızların etkin sıcakları ve ışıma güçleri parametreleriyle de çizilebilmektedir. Bu diyagram günümüzde farklı kütlelerdeki yıldızların evrimlerinin anlaşılmasında kullanılmaktadır.

Yıldız yarıçaplarının, parlaklıklarının ve etkin sıcaklıklarının büyük ölçüde değiştiği gerçeği göz önüne alındığında, yıldızların HR diyagramında düzgün dağılmış olması beklenebilirdi. Ancak, HR diyagramındaki çoğu cüce yıldızın *anakol* adı verilen kabaca diyagonal bir eğri boyunca yer aldığı ve yıldızımız Güneş'in de anakol bandının ortasında bulunduğu tespit edilmiştir. Yıldızımız Güneş'in HR diyagramı üzerindeki konumu için kullanılan temel astrofizik parametreler şu şekildedir: G2V tayf türünde, etkin sıcaklığı $T_{\text{eff}} = 5,777$ K, ışıma gücü $L_{\odot} = 3.845 \times 10^{33}$ erg/sn, renk indeksi $B-V = 0.65$ kadir ve mutlak parlaklığı da $M_V = 4.85$ kadirdir (Cox, 2000). Ayrıca HR diyagramı üzerinde G–K–M tayf türlerindeki sarı renkli cüce anakol yıldızları ile kırmızı renkli evrimleşmiş dev yıldızlar arasında yer almaktadır. Dev yıldızlar diyagram üzerinde farklı bölgelerde yoğunlaşırlar. *Yatay kol* yıldızları HR diyagramında orta tayf türünde, mutlak parlaklıkları $M_V = 0$ kadir bölgesinde bulunurken, *kırmızı dev kolundaki* yıldızlar ise K ve M tayf türünde diyagrama dik doğrultuda

toplanmışlardır. Evrimleşmiş yıldızların bir kısmı da yatay kol ile kırmızı dev kolunun parlak kısmında yer alan *asimtotik dev kolunda* bulunmaktadır.



Şekil 2.13: Güneş civarındaki yakın yıldızların HR diyagramı üzerindeki konumları⁸. Kırmızı eğri anakolu ve diyagram üzerindeki farklı renkler de yıldızların tayf türünü göstermektedir.

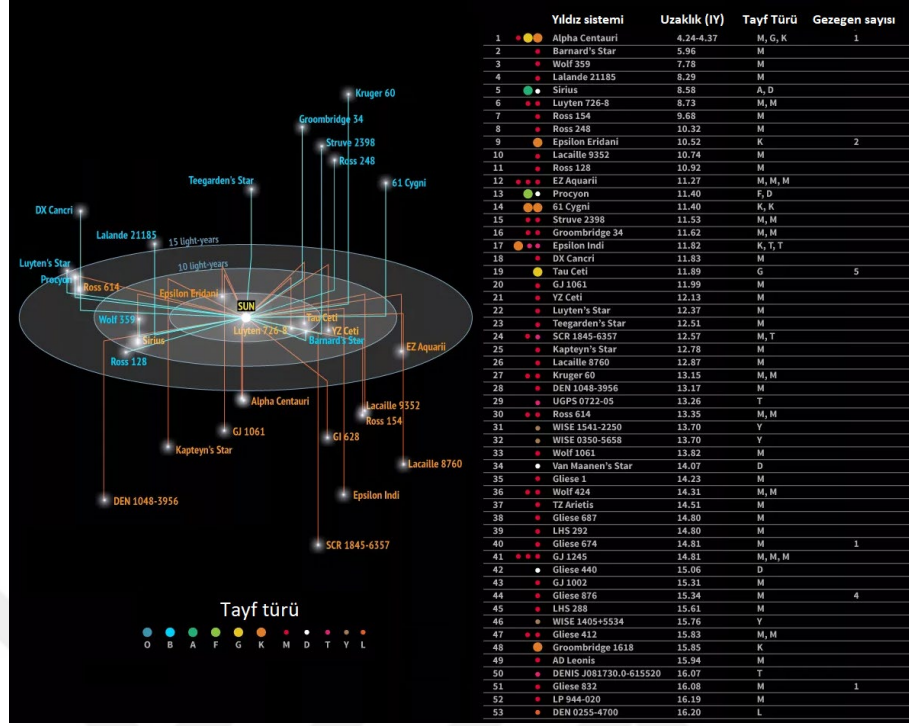
Tipik yatay kol yıldızları Güneş'in ışıma gücünden yaklaşık 100 kat fazla bir ışıma yapar. Aynı tayf türündeki cüce ve dev yıldızların etkin sıcaklıkları aynı iken ışıma güçleri dikkate alındığında dev yıldızların cüce yıldızlardan daha fazla ışıma yaptığı görülür. Bu durum iki grup yıldızın yarıçaplarının farklı olmasından kaynaklanır. HR diyagramında anakol bandı üzerindeki yıldızlara doğru çıkıldıkça yıldız yarıçapları büyür, bu da yıldızların daha fazla ışıma yapmasına neden olur. En parlak kırmızı devler süperdev yıldızlar olarak bilinir ve mutlak parlaklıkları $M_V = -7$ kadirdir. Süperdev yıldızlara en iyi örnek, Orion takımyıldızında bulunan $400 R_\odot$ yarıçapında Güneş'ten yaklaşık 20,000 kat daha çok ışıma yapan Betelgeuse'dur.

⁸ <https://www.pinterest.co.uk/pin/344103227750557858/>

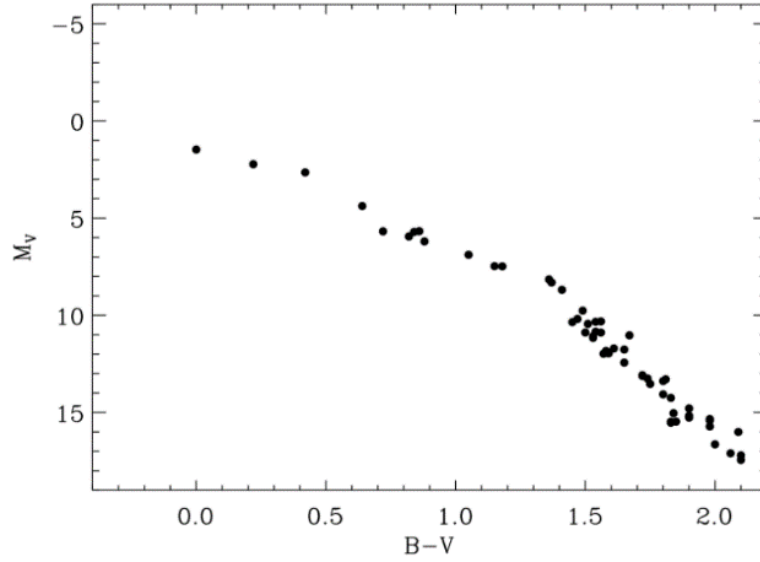
Anakol bandıyla evrimleşmiş yıldızların arasında az sayıda kırmızı yıldızlar bulunmaktadır. Bu yıldızlar çekirdeklerinde hidrojeni tüketen ve anakol bandından ayrılmakta olan *alt devlerdir*. Benzer durum anakol bandı altında da görülmektedir. Anakol yıldızlarına göre daha düşük ısıma gücüne sahip metalce fakir yıldızlardan oluşan topluluk *alt cücelerdir*. HR diyagramı üzerinde yıldızların toplandığı bir başka bölge de anakol bandının 5 ile 10 kadir altında görülen *beyaz cücelerin* bulunduğu yerdir. Orta veya küçük kütleli yıldız çekirdek kalıntısı olarak bilinen beyaz cücelere en iyi örnek Sirius yıldızın sönük bileşeni olan Sirius B'dir.

Güneş'e uzaklıkları 5 pc (~16.3 ışık yılı) mesafe içerisindeki 53 yıldızın üç boyutlu uzay dağılımları tayf türlerine uygun renklendirmeyle Şekil 2.14'de gösterilmiştir. Yerel kabarcık içinde yer alan bu yıldızların çoğunun küçük kütleli geri tayf türünden yıldızlardan oluştuğu görülmektedir. Güneş yakınında bulunan 53 yıldızdan 13'ün çift veya çoklu sistemlerden oluştuğu ve bu sistemlerde 19 yıldızın bulunduğu bilinmektedir. Güneş merkezli 5 pc'lik uzay hacmi içinde toplam 72 yıldız ve bu yıldızların çevresinde keşfedilmiş toplam 14 gezegen bulunmaktadır. Yakın yıldızlar için oluşturulan HR diyagramında yıldızların tümünün anakol üzerinde bulunduğu görülmektedir (Şekil 2.15).

Yakın yıldızların uzay tabanlı astrometrik ve fotometrik verilerinden oluşturulan ilk kataloğu *Hipparcos* uydusundan sağlanmıştır (ESA, 1997). *Hipparcos* uydusuyla trigonometrik paralaks ve fotometrik verilerin hassas ölçümü ($\sigma_{\pi}/\pi \leq 0.2$) yapılmış yaklaşık 22,000 yıldızın mutlak parlaklık (M_V) ve renk indeks ($B-V$) verileri bir arada değerlendirilerek Güneş civarındaki yıldızların detaylı bir HR diyagramı yapılabilmiştir (Şekil 2.16). Güneş'ten uzaklaştıkça farklı ısıma gücündeki yıldızların diyagram üzerinde yoğunlaştığı görülmektedir. Yıldız sayı yoğunluğunun en fazla bulunduğu anakol bölgesinden sonra evrimleşmiş yıldızlar ve beyaz cüceler diyagramda baskın hale gelmektedir. Genel olarak *Hipparcos* uydusunun incelediği yıldızlar 100 pc'lik bir uzay hacmi içinde yer aldığı için yıldızlararası ortamın etkileri HR diyagramı üzerinde belirgin değildir.



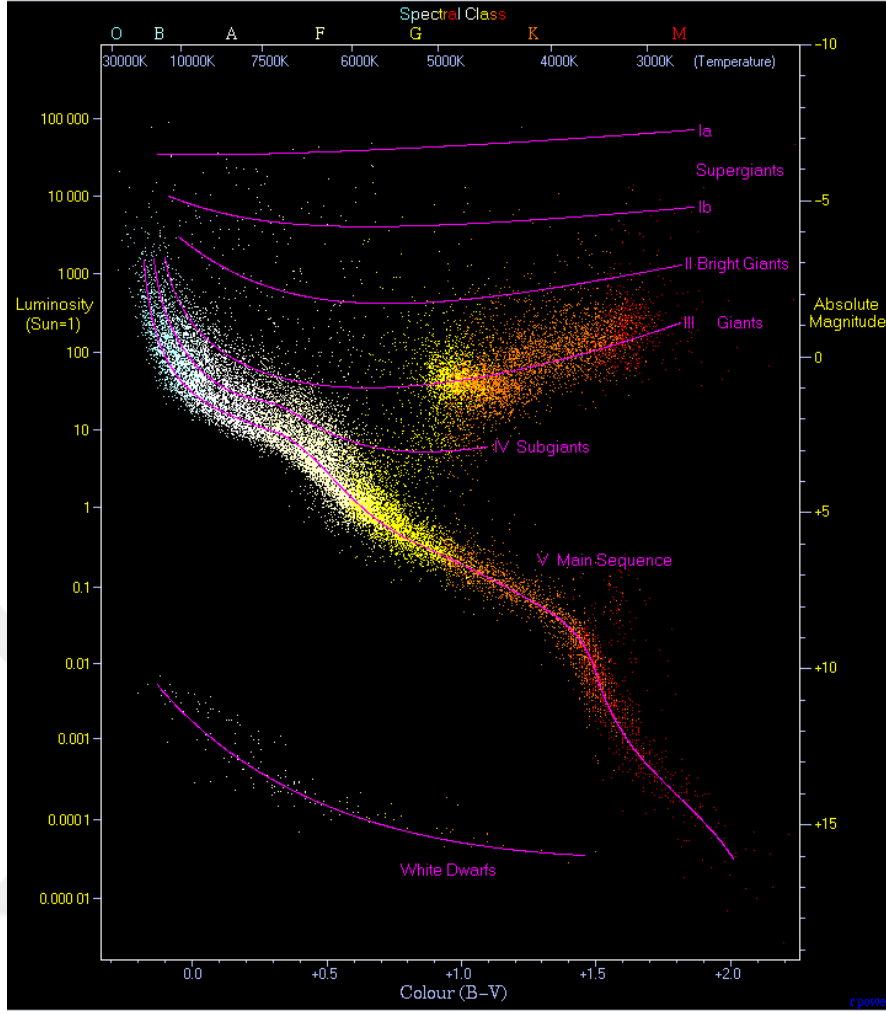
Şekil 2.14: Güneş'e 5 pc uzaklık içinde yer alan yıldızların üç boyutlu dağılımları. Yıldızlar tayf türlerine uygun renklerle gösterilmiştir. Şeklin sağ tarafında, yıldızlar Güneş'e uzaklıklarına göre sıralanmış, tayf türleri ve mevcut gezegen sistemleri listelenmiştir⁹.



Şekil 2.15: Güneş'e 5 pc uzaklık içinde yer alan yıldızların HR diyagramı¹⁰.

⁹ <https://www.space.com/18964-the-nearest-stars-to-earth-infographic.html>

¹⁰ https://seti.berkeley.edu/listen/BL_Target_Stars_All_Sky_3Jan2016.pdf

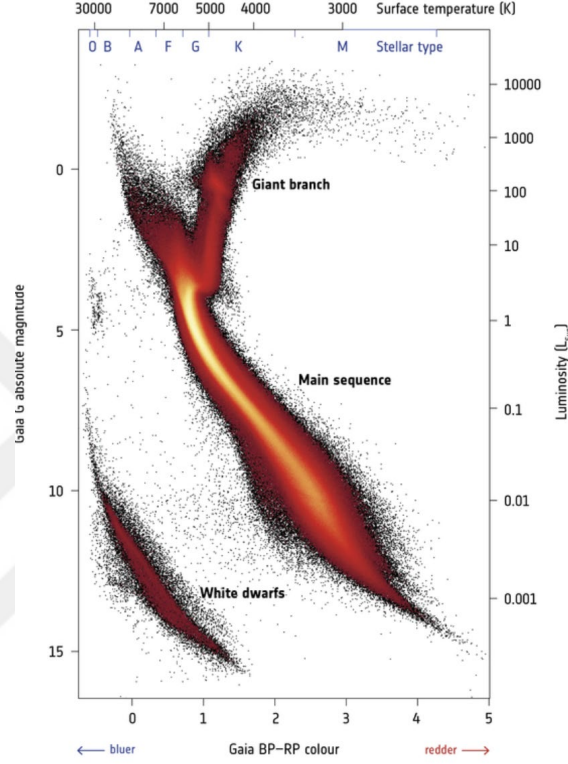


Şekil 2.16: *Hipparcos* uydusuyla gözlenmiş yakın yıldızların HR diyagramı¹¹.

Gaia uydusunun uzaya gönderilmesiyle Güneş civarındaki yıldızların dağılımı daha geniş bir uzay hacmi için incelenebilir bir duruma gelmiştir. *Gaia* uydusunun ikinci veri salımı (*Gaia* DR2; *Gaia* işbirliği, 2018b) sonucunda *Gaia* konsorsiyumu Güneş komşuluğundaki yakın yıldızların üç boyutlu bir dağılımını oluşturmak üzere detaylı bir çalışma gerçekleştirmiştir (*Gaia* işbirliği, 2018c). Bu amaç doğrultusunda göreceli paralaks hataları $\sigma_{\varpi}/\varpi \leq 0.2$ değerinde ve fotometrik hataları $\sigma_G=0.022$, $\sigma_{GB}=0.054$ ve $\sigma_{GR}=0.054$ kadirden daha duyarlı olan 65,921,112 yıldızdan oluşan bir örneklem oluşturulmuş ve bu örneklem içindeki yıldızların mutlak parlaklıkları $M_G = G_0 - 5 \times \log(1000/\varpi) + 5$ bağıntısıyla hesaplanmıştır. *Gaia* verilerinden oluşturulacak HR diyagramı büyük bir uzay hacmi içindeki yıldızları içereceği için Güneş ile yıldızlar arasındaki sönmüşleşme değerlerinin hesaplanmasında Andrae ve diğ.’nin

¹¹ https://tr.wikipedia.org/wiki/Hertzsprung-Russell_diyagram%C4%B1

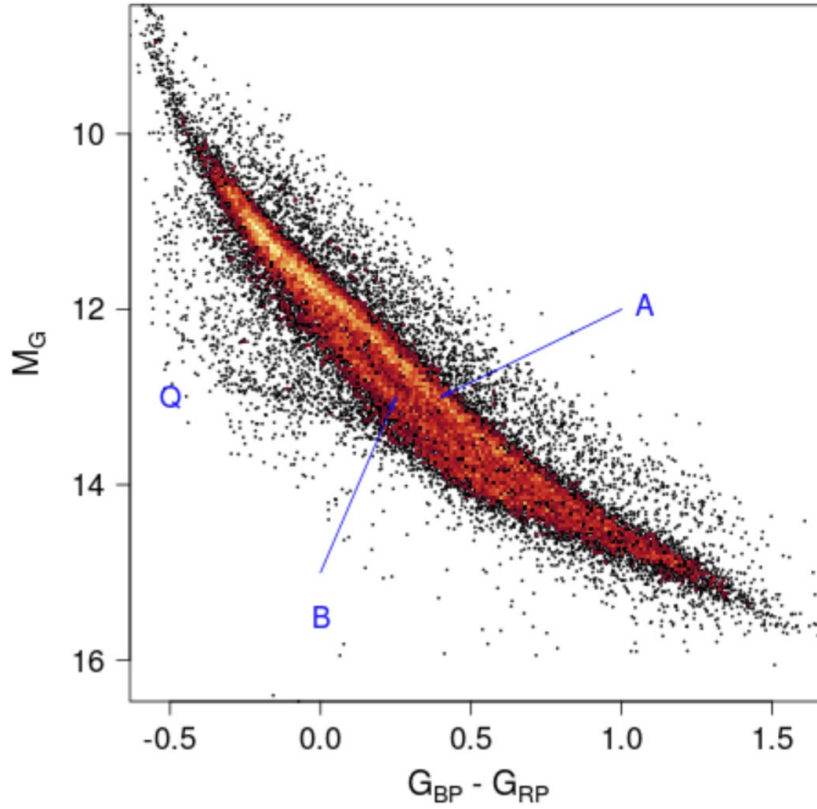
(2018) A_G sönükleşme değerleri kullanılmıştır. Güneş civarındaki yıldız evriminin daha duyarlı araştırılabilmesi için Gaia işbirliği (2018c) yıldızlararası sönükleşme değeri $E(B-V) < 0.015$ kadir olan 4,276,690 yıldız seçerek Şekil 2.17’de gösterilen güncel HR diyagramını elde etmişlerdir. Bu diyagram *Hipparcos* uydusundan belirlenen HR diyagramından (Şekil 2.16) yaklaşık 200 kat daha çok yıldız içermektedir.



Şekil 2.17: Güneş civarı için *Gaia* DR2 verilerinden oluşturulmuş güncel HR diyagramı (Gaia işbirliği, 2018c).

Gaia DR2 (Gaia işbirliği, 2018b) verilerinden oluşturulan HR diyagramındaki anakol yıldızlarının mutlak parlaklıkları $-2 < M_G < 15$ kadir aralığında olup *Hipparcos* verilerine (ESA, 1997) göre çok geniş bir aralıkta tanımlanabilmiştir. HR diyagramı üzerinde yıldızların erken O yıldızlarından geç M tayf türüne kadar uzandığı görülmektedir. Anakol yıldızlarının geniş bir band oluşturduğu ve band içindeki yıldızların farklı yaş ve metal bolluklarında bulunduğu tespit edilmiştir. Ayrıca anakol yıldızları birbirinden ayırt edilemeyen çift yıldızları da içerdiği için anakol bandının kalınlaşmasına doğrudan katkı yapmaktadır. HR diyagramında kırmızı dev kolundaki yıldız sayılarının fazla oluşu evrim hızının yüksek olduğu bu bölgeyi daha belirgin hale getirmiştir. Etkin sıcaklığı $T_{\text{eff}} = 5,000$ K ve ortalama mutlak parlaklığı $M_G = 1$ kadir olan bölgede görülen yıldız topluluğu Güneş civarındaki kırmızı yığın yıldızlarından

oluşmaktadır. Diyagram üzerinde dikkat çeken bir başka yoğun bölge de beyaz cüce topluluğudur. *Gaia* konsorsiyumu Güneş civarındaki beyaz cüceleri daha detaylı inceleyebilmek için *Gaia* DR2 verilerinden oluşturduğu yakın yıldızlar örneklemini rölatif paralaks hataları $\sigma_{\pi}/\pi \leq 0.05$ olacak şekilde yeniden sorgulamış ve 26,264 beyaz cüceye ulaşmıştır. Şekil 2.18’de astrometrik ve fotometrik verileri duyarlı seçilmiş 26,264 beyaz cücenin HR diyagramı gösterilmiştir. Beyaz cücelerin teorik evrim modelleri kullanarak Şekil 2.18’de A ve B harfleriyle gösterilen toplulukların, sırasıyla, $0.6 M_{\odot}$ kütleli saf H ve saf He beyaz cücelerden oluştuğu keşfedilmiştir. Şekil üzerinde beyaz cüce kolunda mutlak parlaklığı yaklaşık $M_G = 13$ kadir civarında zayıf görülen bir diğer kolun da (Q) farklı kütlelerde olduğu düşünülen beyaz cücelerden oluştuğu ifade edilmektedir.



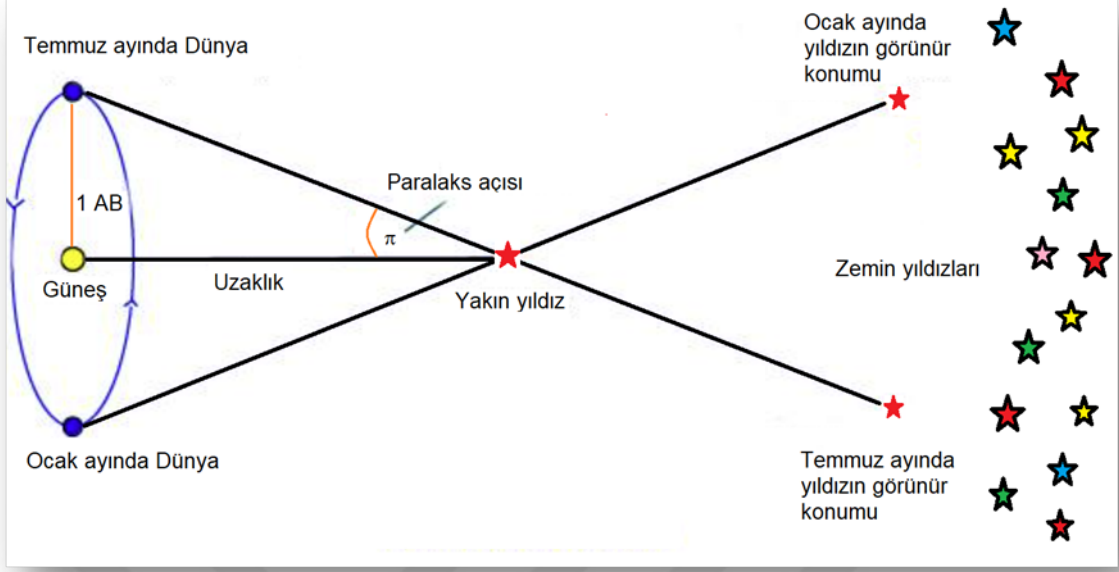
Şekil 2.18: Güneş civarı için *Gaia* DR2 verilerinden oluşturulmuş 26,264 beyaz cücenin detaylı HR diyagramı (*Gaia* işbirliği, 2018c). Renkler yıldızların sayı yoğunluğuna göre ayarlanmış ve şekil üzerindeki harflerden metinde bahsedilmiştir.

2.5. IŞIMA GÜCÜ FONKSİYONU

Yıldızların ışıma gücü fonksiyonu ($\Phi(M)$), yıldız oluşumunu anlamak ve Samanyolu'nun yapısını araştırmak için gerekli olan temel niceliklerden biridir. Birim mutlak parlaklık aralığındaki yıldız sayısının birim uzay hacmine oranı olarak bilinen ışıma gücü fonksiyonu Güneş civarındaki farklı tayf türü ve farklı ışıma gücü sınıfındaki yıldızlar için verilmektedir (Cox, 2000). Günümüzde ışıma gücü fonksiyonunun geliştirilmesine yönelik çalışmalar elektromanyetik tayfin yakın kızılötesi bölgesinden gelmektedir. Küçük kütleli yıldızlar ile kahverengi cücelerin etkin sıcaklıkları düşük olduğundan optik bölge dışında yakın kızılötesi bölgede keşfedilme olasılığı yüksektir. Geçen yüzyıl başlatılan 2MASS gökyüzü taraması sayesinde Güneş civarında çok sayıda küçük kütleli anakol yıldızı keşfedilmiş ve ışıma gücü fonksiyonunun sönük ucundaki belirsizlikler azalmıştır (Cruz ve diğ., 2003).

İşıma gücü fonksiyonunun belirlenmesinde Güneş civarındaki yıldız sayılarının bilinmesi gerektiğinden yıldız uzaklıklarının yeterli duyarlıkta tayin edilmesi önemlidir. Bunun için yer ve uzay tabanlı teleskoplar ile seçilmiş bir uzay hacmindeki yıldızların gözlemlerinin yapılması gerekmektedir. Yıldız uzaklıklarının tayininde en duyarlı yöntem trigonometrik paralaksıdır. Dünya'nın Güneş etrafındaki yörüngesinde dolaşırken altı aylık dönem ile seçilen bir yıldızın gözlemleri yapıldığında gökyüzündeki zemin yıldızlarına göre yer değiştirdiği görülür. Yıldızın zemindeki kaynaklara göre ölçülen açısının yarısı Dünya ile Güneş arasındaki bir astronomik birim (1 AB) uzaklığı görmektedir (Şekil 2.19). Yakın bir yıldızın trigonometrik paralaks açısı bir yay saniye (1") olarak ölçülürse Güneş ile yıldız arasındaki uzaklık 206,265 AB, bir başka deyişle 1 pc'e eşittir.

Gökyüzü tarama programları kapsamında gerçekleştirilen yıldız sayımları ve bu yıldızların astrometrik verilerinden hesaplanan uzaklıkları dikkate alınarak Güneş civarındaki yıldızlar için ışıma gücü fonksiyonları elde edilmiştir. Güneş civarındaki parlak ($M_V < 8$ kadir ve $d \leq 25$ pc; Reid ve diğ., 2002) ve sönük anakol yıldızlarının ($M_V \geq 8$ kadir ve $d \leq 8$ pc; Reid ve diğ., 1995) optik ve yakın kızılötesinde yapılan gözlemlerinden belirlenen ışıma gücü fonksiyonları Tablo 2.2'de listelenmiş ve ışıma gücü fonksiyonlarının histogramları da Şekil 2.20'de gösterilmiştir.



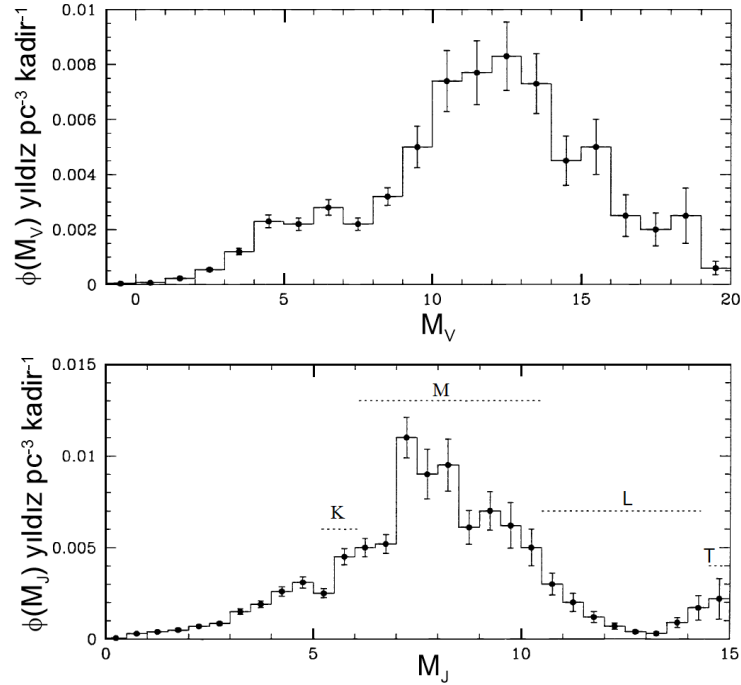
Şekil 2.19: Yakın bir yıldızın zemindeki yıldızlara göre hesaplanan trigonometrik paralaks açısı.

Sınırlı bir uzay hacminden elde edilmiş yıldız sayıları dikkate alındığında parlak mutlak kadirdeki yıldız sayılarının sönük mutlak parlaklıktakilere göre yaklaşık 100 kat daha az olduğu görülmektedir. Bunun nedeni yerel yıldız oluşum bölgelerinin yerel kabarcığın sınırlarında olmasından kaynaklanmaktadır. Optik dalgaboylarında yapılan yıldız sayımlarından elde edilen ışımaya gücü fonksiyonu incelendiğinde mutlak parlaklığı $M_V = 8$ kadirde daha sönük parlaklıklardaki yıldız sayılarında büyük bir artışın olduğu görülmektedir. Bu da Güneş civarındaki yıldızların çoğunun kırmızı anakol yıldızlarından oluştuğunu göstermektedir.

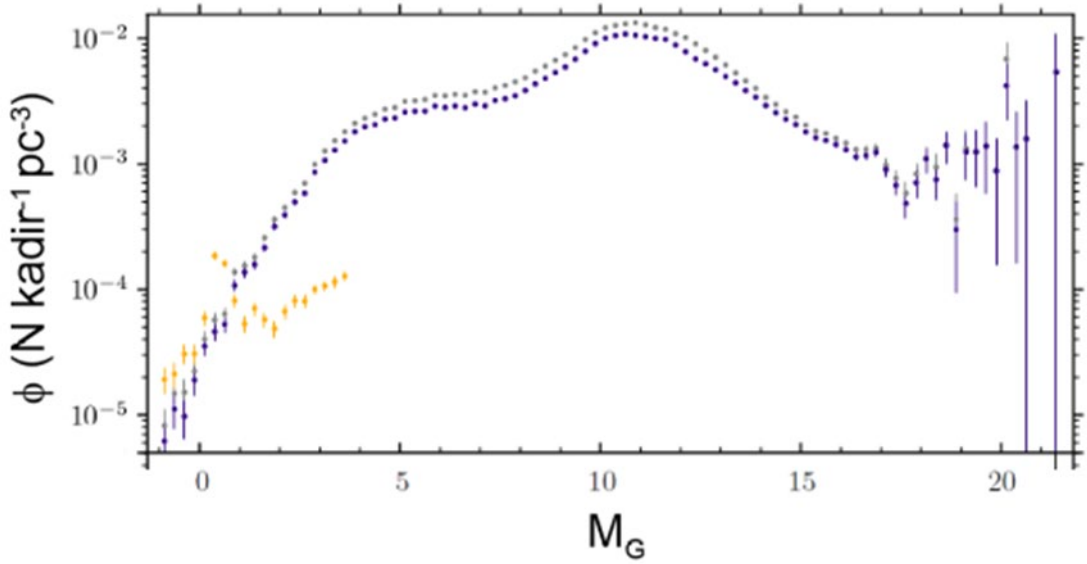
Gaia EDR3 verilerinin (*Gaia* işbirliği, 2021a) literatüre kazandırılmasıyla *Gaia* konsorsiyumu güncel verileri kullanarak Güneş civarındaki yapıyı araştırmıştır. Güneş civarının detaylı incelenmesine yönelik çalışmada (*Gaia* işbirliği, 2021b), Güneş merkezli 100 pc'lik uzay hacmi içinde yer alan yıldızların listesinin oluşturulması, farklı ışımaya gücündeki yıldızların ışımaya gücü fonksiyonlarının belirlenmesi, yakın yıldızların kinematik özelliklerinin belirlenmesi, yakın açık kümelerin üye yıldızlarının astrometrik yöntemler ile ortaya konması ve kümelerin astrofizik parametrelerin tayin edilmesi söz konusu olmuştur.

Tablo 2.2: Optik (M_V) ve kızılötesi (M_J) bölge için elde edilmiş ışıma gücü fonksiyonları.

Optik Bölge					
M_V	Φ (yıldız $M_V^{-1} \text{ pc}^{-3}$)	M_V	Φ (yıldız $M_V^{-1} \text{ pc}^{-3}$)	M_V	Φ (yıldız $M_V^{-1} \text{ pc}^{-3}$)
-0.5	4.6×10^{-5}	6.5	2.8×10^{-3}	13.5	7.3×10^{-3}
0.5	7.6×10^{-5}	7.5	2.2×10^{-3}	14.5	4.5×10^{-3}
1.5	2.3×10^{-4}	8.5	3.2×10^{-3}	15.5	5.0×10^{-3}
2.5	5.5×10^{-4}	9.5	5.0×10^{-3}	16.5	2.5×10^{-3}
3.5	1.2×10^{-3}	10.5	7.4×10^{-3}	17.5	2.0×10^{-3}
4.5	2.3×10^{-3}	11.5	7.7×10^{-3}	18.5	2.5×10^{-3}
5.5	2.2×10^{-3}	12.5	8.2×10^{-3}	19.5	6.0×10^{-4}
Kızılötesi Bölge					
M_J	Φ (yıldız $0.5M_J^{-1} \text{ pc}^{-3}$)	M_J	Φ (yıldız $0.5M_J^{-1} \text{ pc}^{-3}$)	M_J	Φ (yıldız $0.5M_J^{-1} \text{ pc}^{-3}$)
0.25	6.2×10^{-5}	5.25	2.5×10^{-3}	10.25	5.0×10^{-3}
0.75	3.0×10^{-4}	5.75	4.5×10^{-3}	10.75	3.0×10^{-3}
1.25	4.0×10^{-4}	6.25	5.0×10^{-3}	11.25	2.0×10^{-3}
1.75	5.0×10^{-4}	6.75	5.2×10^{-3}	11.75	1.2×10^{-3}
2.25	7.0×10^{-4}	7.25	1.1×10^{-2}	12.25	7.0×10^{-4}
2.75	8.5×10^{-4}	7.75	9.0×10^{-3}	12.75	4.0×10^{-4}
3.25	1.5×10^{-3}	8.25	9.5×10^{-3}	13.25	3.0×10^{-4}
3.75	1.9×10^{-3}	8.75	6.1×10^{-3}	13.75	9.0×10^{-4}
4.25	2.6×10^{-3}	9.25	7.0×10^{-3}	14.25	1.7×10^{-3}
4.75	3.1×10^{-3}	9.75	6.2×10^{-3}	14.75	2.2×10^{-3}

**Şekil 2.20:** Anakol yıldızlarının M_V (üst) ve M_J (alt) mutlak parlaklıkları için hesaplanan ışıma gücü fonksiyonlarının histogramları. Şekil üzerindeki harfler (K, L ve M) yıldızların tayf türünü göstermektedir.

Gaia konsorsiyumunun yakın yıldızlar için hazırladığı kataloğunda 100 pc’lik uzay hacmin içinde farklı ışıma gücü sınıfında 331,312 yıldızın bulunduğu tespit edilmiştir (Gaia işbirliği, 2021b). Oluşturulan HR diyagramından itibaren anakol yıldızlarını belirleyen araştırma grubu her bir yıldızın mutlak parlaklığını, *Gaia* EDR3 kataloğunda verilen trigonometrik paralaks ve görünen parlaklık verilerini dikkate alarak hesaplamıştır. Ardından yıldızlar mutlak parlaklıklarına göre 0.25 kadir aralıklara ayrılarak her bir aralıktaki yıldız sayıları belirlenmiştir. 2021 yılının başına kadar 25 pc’lik uzay hacmi içindeki 5,423 yıldızdan belirlenmiş ışıma gücü fonksiyonu, *Gaia* EDR3 verilerinin literatüre kazandırılmasıyla 100 pc’lik uzay hacmindeki 331,312 yıldızdan yeniden tayin edilebilmiştir. Son gözlemlerden belirlenen bu ışıma gücü fonksiyonu Şekil 2.21’de gösterilmiştir.



Şekil 2.21: *Gaia* yakın yıldız kataloğundaki anakol ve evrimleşmiş yıldızlar için hesaplanmış ışıma gücü fonksiyonları. Şekildeki mavi ve gri renkteki daire, sırasıyla, tek ve çift yıldızları, sarı renkteki daire ise evrimleşmiş yıldızları göstermektedir.

Gaia uydu verilerinden belirlenen ışıma gücü fonksiyonu literatürde sunulan diğer ışıma gücü fonksiyonlara göre çok hassas tayin edilmiştir. Poisson belirsizliklerini yansıtan güven aralıkları dikkate alındığında tayf türü L3 – L4 olan yıldızlara karşılık gelen $M_G = 18$ kadirine kadar oldukça duyarlı tespit edildiği ifade edilmektedir. Ayrıca *Gaia* konsorsiyumunun oluşturduğu *Gaia* yakın yıldızlar kataloğundaki (GYK) yıldızların uzay yoğunlukları da 0.081 ± 0.003 yıldız/pc³ olarak verilmiştir (Gaia işbirliği, 2021b). Daha önceki çalışmalarda elde edilmiş ve Şekil 2.20’in üst panelinde verilen ışıma gücü fonksiyonundaki iki modlu dağılım

($M_V = 12.5$ ve $M_V = 15.5$ kadir) güncel ışıma gücü fonksiyonunda mutlak parlaklığı $M_G = 10.5$ kadirinde tek modlu olarak görünmektedir. nceki çalışmalarda ışıma gücü fonksiyonunda görülen modun güncel çalışmada görülmemesinin nedeni olarak yıldız uzaklıklarındaki belirsizlik değerlerinin yüksek kabul edildiği vurgulanmaktadır. |



3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. GAIA EDR3 VERİ SEÇİMİ

Gaia konsorsiyumunun 34 aylık gözlem sonuçlarını içeren güncel verileri *Gaia*'nın Erken 3. Veri Sürümü (*Gaia* EDR3) olarak 3 Aralık 2020 tarihinde araştırmacıların kullanımına sunulmuştur. Çalışmanın detaylı sonuçları da yayımlanan makalede (*Gaia* işbirliği, 2021b) verilmiştir. Uydunun son veri sürümünde, $G = 19$ kadire kadar gökyüzü kapsama alanında genel bir iyileştirme yapılmakla birlikte nesnelerin astrometrik ve fotometrik ölçümlerinin duyarlılığında da büyük bir gelişme sağlamıştır. *Gaia* konsorsiyumu 1.8 milyar nesnenin ölçümünü içeren son veri sürümünde araştırmacıların verilere daha kolay ulaşabilmeleri için farklı kategorilerde (veri tabanı tabloları) sınıflama yapmışlardır. Yapılandırılmış sorgu dili olarak (Structured Query Language; SQL) bilinen bir yazılım dili kullanılarak *Gaia* EDR3 verileri araştırmacılar tarafından kolaylıkla sorgulanabilmektedir. *Gaia* EDR3 verileri literatürdeki farklı kataloglarla da eşleştirilerek 42 veri tabanı tek bir tabloda bir araya getirilmiş ve *Gaia* konsorsiyumunun web sitesinde veri başlığı altında sunulmuştur¹². Oluşturulan veri tabanı araştırmacıların daha kolay kullanımı için farklı alt kategorilere ayrılmış olup bunların içinde en kapsamlı olanı 1,811,709,824 satır ve 100 sütun içeren *gaiaedr3.gaia_source* olarak bilinendir. Bu veri tabanı tablosunda genellikle kaynakların astrometrik ve fotometrik ölçümleri, ölçümlerin hataları ve yıldızların temel ölçümlerden hesaplanmış astrofizik parametreleri bulunmaktadır.

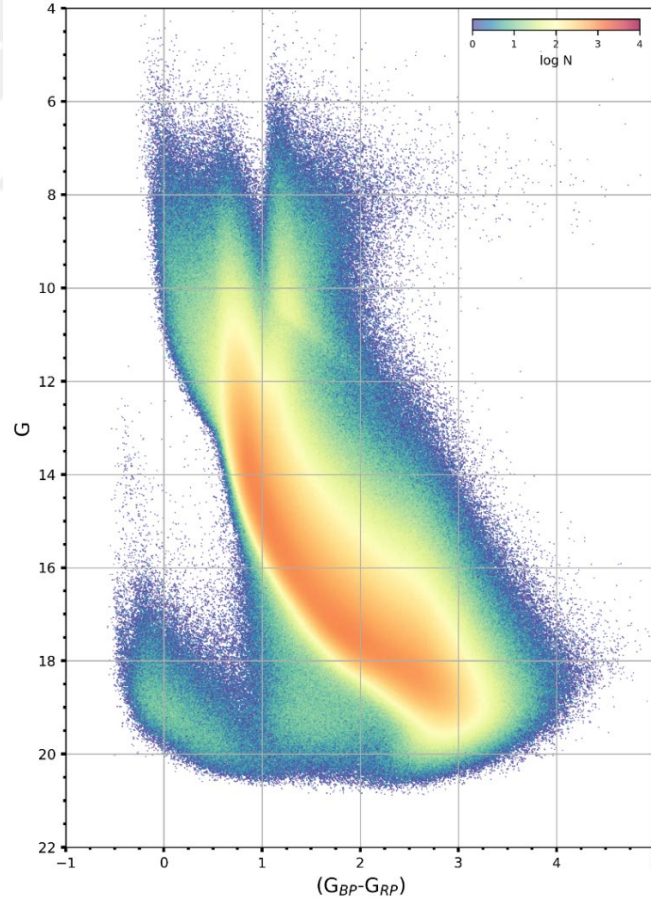
Tez çalışmasında Güneş komşuluğundaki yakın yıldızların incelenmesi hedeflendiğinden *gaiaedr3.gaia_source* veri tabanı tablosundaki astrometrik ve fotometrik veriler kullanılmıştır. Astrometrik veriler yıldızların kartezyen sistemdeki konumlarının belirlenmesinde, fotometrik veriler de yıldızlararası ortamın neden olduğu renk artışı ve mutlak parlaklık hesaplamalarında kullanılmıştır. Güneş civarı kavramı yapılan araştırmaya göre değişkenlik gösterdiğinden tez çalışmasında bu kavramın daha iyi irdelenmesi için Güneş'ten en fazla 1 kpc uzaklık içinde bulunan nesneler hedef kaynaklar olarak seçilmiştir. Ayrıca kaynakların trigonometrik paralaks verilerindeki belirsizliklerin de önemli olduğu düşüncesiyle dikkate alınan rölatif paralaks hatasına %10'luk bir sınırlama getirilmiştir. Bu genel sınırlamalar dikkate alınarak *Gaia*

¹² <https://gaia.aip.de/query/>

konsorsiyumunun veri sayfasındaki SQL bölümüne aşağıdaki kod yazılarak *gaiaedr3.gaia_source* veri tabanı tablosu sorgulanmıştır:

```
Select*
From gaiaedr3.gaia_source as gaia
Where gaia.parallax_over_error >=10
And gaia.parallax>=1
```

Sql sorgusu sonucunda *Gaia* EDR3 (*Gaia* işbirliği, 2021b) tablosu içerisinde Güneş merkezli 1 kpc’lik uzay hacmi içinde rölatif paralaks hatası $\sigma_{\varpi}/\varpi \leq 0.10$ şartına uyan 41,848,305 yıldıza ulaşılmıştır. Veri tabanı tablosundan seçilen yakın yıldızları daha iyi inceleyebilmek için G parlaklık ve $G_{BP} - G_{RP}$ renk indekslerini içeren HR diyagramı yıldız sayı yoğunluğunun bir fonksiyonu olarak oluşturulmuştur (Şekil 3.1). Öncül bir analiz olarak oluşturulan HR diyagramının görünen parlaklığı $4 < G < 20.5$ kadir aralığında, geniş bir tayf türü ve farklı ışıma gücündeki çok sayıda yıldızdan oluştuğu tespit edilmiştir.



Şekil 3.1: *Gaia* EDR3 veri sürümünde Güneş komşuluğunda 1 kpc’lik uzay hacmi içinde rölatif paralaks hatası $\sigma_{\varpi}/\varpi \leq 0.10$ şartını sağlayan yıldızların renk-parlaklık diyagramı.

3.2. YILDIZLARIN RENK ARTIĞI TAYİNİ

Yıldızların Güneş'ten uzaklıkları arttıkça fotometrik verileri yıldızlararası ortamın neden olduğu sönükleşme etkisine maruz kalır. Güneş civarındaki yakın yıldızlar ($d < 100$ pc) yerel kabarcık içinde yer aldığından fotometrik verileri yıldızlararası ortamdan fazla etkilenmezken, Güneş merkezli $r = 1$ kpc uzaklık içindeki 41,848,305 yıldızın inceleneceği tez çalışmasında *Gaia* EDR3 veri tabanındaki G , G_{BP} ve G_{RP} parlaklıkları yıldızlararası sönükleşmeye maruz kalır. Bu da yıldızların mutlak parlaklıklarının doğru ve duyarlı tayin edilmesine fırsat vermez. Schlegel ve diğ. (1998) COBE uydusu üzerindeki DIRBE (Diffuse Infrared Background Experiment) alıcısıyla 1 ile 240 μm dalgaboyu aralığında 10 geniş bandta yapılan gözlemleri kullanarak Galaksimiz için toz haritalarını oluşturmuşlardır. Schlegel ve diğ. (1998), toz sıcaklığını ölçmek için 100 μm ve 240 μm 'lik uzak-kızılötesi yoğunluk oranını kullanmış ve uzaysal çözünürlüğü yaklaşık birkaç yay dakika olan 100 μm 'deki toz sütun yoğunluğunu belirlemişlerdir. Araştırmacılar hesaplanan toz yoğunluğunun elektromanyetik tayfin optik/kızılötesinde yıldız ışığının büyük kısmını engellendiğini varsaymaktadırlar. Galaksi'nin farklı bir doğrultusundaki toz sütun yoğunluğu, eliptik galaksilerin gözlemsel $B-V$ renk indeksiyle Mg2 çizgi şiddeti arasında kurulan bir kalibrasyon sayesinde $E(B-V)$ renk artı değerine dönüştürülmüştür. Elde edilen renk artığının farklı fotometrik sistemlere uyarlanması ise standart sönükleşme katsayısı $R_V = 3.1$ değeri kabul edilmiştir. Fotometrik sönükleşmelerin belirlenmesinde standart sönükleşme katsayısının kullanılması bazı Galaktik doğrultularda daha büyük renk artıklarının hesaplanmasına yol açacağı belirtilmiştir (Arce ve Goodman, 1999). Bu etkinin ortadan kaldırılmasına yönelik bazı analitik çözümler üretilmesine karşın konuyu yeniden ele alan ve çalışmadaki yanlışlıkları en aza indirmeyi hedefleyen Schlafly ve Finkbeiner (2011), Schlegel ve diğ.'nin (1998) toz haritasını yeni yöntemler kullanarak güncellemiştir. Schlafly ve Finkbeiner'in (2011) güncellediği Galaktik toz haritaları halen literatürde yaygın bir şekilde kullanılmakta olup tez çalışmasında da tercih edilmiştir. Yıldızların doğrultusunda (l, b) Galaksi sınırına kadar geçerli olan V bandındaki sönükleşme ($A_\infty(V)$) değerleri Jo Bovy tarafından hazırlanan *mw dust.py* isimli Python kodu yardımıyla belirlenmiştir¹³. Tez çalışmasındaki yıldızlar Galaksi sınırında bulunmadığı için toz haritalarından elde edilen sönükleşme değerinin Güneş ile yıldızlar arasındaki mesafe için

¹³ <https://github.com/jobovy/mwdust>

hesaplanması gerekmektedir. Güneş ile yıldızlar arasındaki indirgenmiş sönükleşmelerin belirlenebilmesi için Bahcall ve Soneira'nın (1980) bağıntısı kullanılmıştır.

$$A_d(b) = A_\infty(b) \left(1 - e^{\frac{-|d \times \sin(b)|}{H}}\right) \quad (3.1)$$

Burada b yıldızın Galaktik enlemi, d yıldızın Güneş'e uzaklığı, H tozun yükseklik ölçeği ($H=125$ pc; Marshall ve diğ., 2006), $A_\infty(b)$ yıldız doğrultusunda Galaksi sınırına kadar ölçülen sönükleşme değeri (Schlafly ve Finkbeiner, 2011) ve $A_d(b)$ de Güneş ile yıldız arasındaki uzaklık için hesaplanmış sönükleşmeyi göstermektedir. Yıldızların indirgenmiş sönükleşme değerlerinin, indirgenmiş renk artığına $E_d(B-V)$ çevrilmesinde Bağıntı (3.2) kullanılmıştır (Cardelli, 1989).

$$E_d(B - V) = A_d(b)/3.1 \quad (3.2)$$

Tez çalışmasında *Gaia* EDR3 veri tabanındaki fotometrik veriler kullanılacağı için indirgenmiş $E_d(B-V)$ renk artığı değerini dikkate alarak G , G_{BP} ve G_{RP} bandlarına ait sönükleşme değerlerinin belirlenmesi gerekmektedir. *Gaia* fotometrik verilerinin sönükleşmeden arındırılmasına yönelik güncel bir çalışma Weiler (2018) tarafından literatüre kazandırılmıştır. Weiler'in (2018) *Gaia* fotometrik bandları ve renk artığı için belirlediği bağıntı ve bağıntılarda kullandığı katsayılar aşağıda verilmiştir.

$$G_0 = G - 0.85926 \times E_d(B - V) \quad (3.3)$$

$$(G_{BP} - G_{RP})_0 = (G_{BP} - G_{RP}) - 0.41595 \times E_d(B - V) \quad (3.4)$$

Yıldızların M_G mutlak parlaklıklarının hesaplanmasında literatürde iyi bilinen uzaklık bağıntısı kullanılmıştır.

$$M_G = G_0 - 5 \times \log\left(\frac{1000}{\varpi}\right) + 5 \quad (3.5)$$

Burada ϖ yıldızın *Gaia* EDR3 kataloğundan alınan mili yay saniyesindeki (mas) trigonometrik paralaks değerini göstermektedir.

3.3. TAMLIK SINIRLARININ BELİRLENMESİ

Bir popülasyona ait tipik parametrelerinin ortaya konulmasında kullanılan veri setindeki nesnelerin sayıları önemlidir. Astronomik gözlemlerde nesne sayıları çoğunlukla görünen parlaklığın bir fonksiyonu olarak değerlendirilir. Gözlemlerde kullanılan teleskop ve odak düzlemi aletlerinin belli bir poz süresi içinde değerlendirilmesi gözlenen nesnelerin parlak ve sönük limit kadirlerde görülmelerine sebep olur. Yıldız alanlarının fotometrik gözlemlerinde tamlık sınırları oluşturulan parlaklık histogramlarıyla kolaylıkla belirlenebilmektedir. Galaksinin belirli bir doğrultusunda gözlenen yıldız alanındaki nesneler verilen poz süresine göre CCD görüntüsü üzerinde oluşur. Gözlenen nesnelerin tamlığı söz konusu olduğunda görünen parlaklığa göre oluşturulan histogramlarda yıldız sayılarının parlak kadirlerden sönük kadirlerle doğru artması beklenir. Sönük parlaklıklarda nesne sayısının sabit veya azalmaya başlaması sönük limit parlaklığın belirlenmesine olanak sağlar. Parlaklık sınırlarının kontrol edilmesinde, farklı gökyüzü tarama programlarındaki nesnelerin fotometrik verileri kullanılabileceği gibi Galaksi modellerinden de faydalanılabilir.

Yıldız alanlarındaki nesnelerin uzaklık tamlıkları söz konusu olduğunda yıldızların mutlak parlaklıkları önem kazanır. Araştırmacılar öncelikle yıldız alanındaki görünen parlaklık ve sönük limit kadirleri belirledikten sonra örnekteki yıldızları ardışık birim mutlak parlaklık aralıklarına ayırırlar. Söz gelimi bir yıldız alanında görünen parlak ve sönük limit parlaklıklar, sırasıyla, m_1 ve m_2 olsun. Bu görünen parlaklık aralığında ardışık M_1 ve M_2 mutlak parlaklık aralığı seçildiğinde yakın ve uzak tamlık sınırları aşağıdaki bağıntılar ile hesaplanır.

$$d_{\text{yakın}} = 10^{[(m_1 - M_2 + 5 - A_\lambda)/5]} \quad (3.6)$$

$$d_{\text{uzak}} = 10^{[(m_2 - M_1 + 5 - A_\lambda)/5]} \quad (3.7)$$

Burada $d_{\text{yakın}}$ ve d_{uzak} , sırasıyla seçilen görünen ve mutlak parlaklık aralığındaki yakın ve uzak tamlık sınırları ve A_λ çalışmanın gerçekleştirildiği filtre sistemdeki sönükleşme değerini göstermektedir.

Tez çalışmasında geniş bir tayf türündeki anakol yıldızlarının üzerine araştırma gerçekleştirilecektir. Analizlerde yıldızların trigonometrik paralaks verilerinden uzaklıklar tayin edileceğinden mutlak parlaklıkları oldukça hassas belirlenecektir. Oluşturulacak yakın

yıldızlar kataloğunda her bir yıldızın trigonometrik paralaks verileri ve bu verilere ait belirsizlikler bilindiğinden tamlık sınırlarının hesaplanmasında üç farklı aralıkta rölatif paralaks hataları dikkate alınacaktır.

3.4. ANAKOL YILDIZLARININ UZAY YOĞUNLUĞU HESABI

Tez çalışmasında yakın yıldızların uzay dağılımlarını incelemek üzere her bir yıldızın Güneş merkezli Galaktik koordinat sistemdeki uzaklık bileşenleri hesaplanacaktır.

$$X = d \times \cos b \times \cos l \quad (3.8)$$

$$Y = d \times \cos b \times \sin l \quad (3.9)$$

$$Z = d \times \sin b \quad (3.10)$$

Burada X , Y ve Z , sırasıyla, Galaksi merkezi, Galaksi dönme doğrultusu ve Galaktik düzleme dik doğrultudaki uzaklık bileşenlerini göstermektedir (Şekil 3.2). Her bir bağıntıdaki d yıldızın Güneş'e uzaklığını, l ve b değerleri de yıldızın Galaktik koordinatlarını ifade etmektedir. Yıldızın Galaksi merkezine uzaklığı (R_{GC}) bağıntı (3.11)'de verilmiştir.

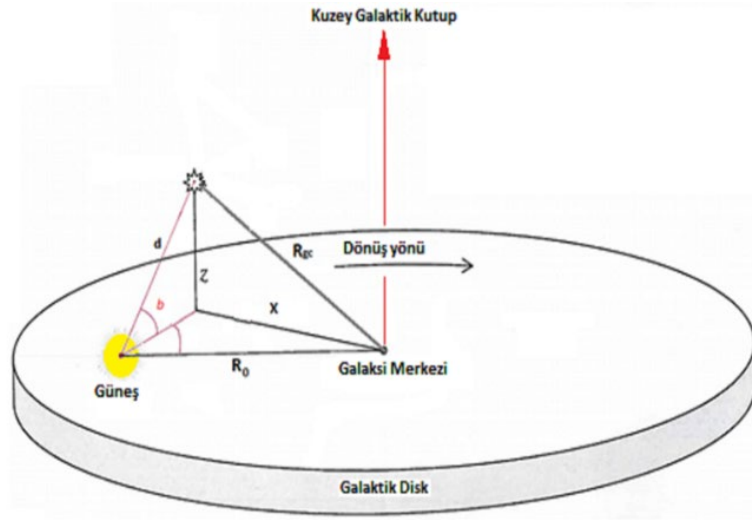
$$R_{GC} = \sqrt{X_{GC}^2 + Z_{GC}^2} \quad (3.11)$$

Burada X_{GC} ve Z_{GC} , sırasıyla yıldızın Galaksi düzlemindeki iz-düşüm ve Galaktik düzlemde dik uzaklıkları ifade etmektedir. Yıldızın Galaktik düzlemdeki iz-düşüm uzaklığı da kosinüs teoremi kullanılarak Bağıntı (3.12)'de verilmiştir (bkz Şekil 3.2).

$$X_{GC} = \sqrt{R_0^2 + (d \times \cos b)^2 - 2 \times R_0 \times d \times \cos l \times \cos b} \quad (3.12)$$

Burada R_0 Güneş'in Galaksi merkezine uzaklığı olup çalışmada 8 kpc kabul edilmiştir (Reid, 1993).

Tez çalışmasında ardışık mutlak parlaklık aralıklarındaki yıldızların yoğunlukları farklı uzaklıklara göre hesaplanmıştır. Yıldızlar Güneş'ten uzaklaştıkça oluşturdukları küresel hacim büyümektedir (Şekil 3.3). Ardışık uzaklık aralıkları için uzay hacim ve uzay yoğunluk hesaplamaları, sırasıyla, Bağıntı (3.13) ve Bağıntı (3.14)'te verilmiştir.

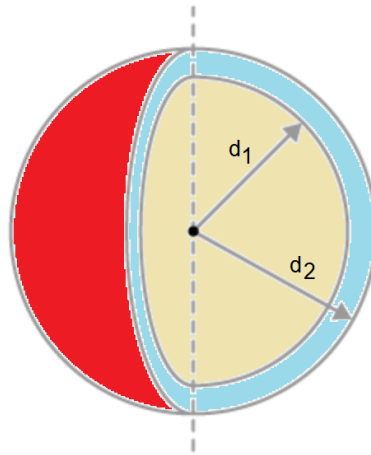


Şekil 3.2: Yıldızların Güneş merkezli Kartezyen Galaktik koordinat sistemindeki konumlarının gösterimi.

$$\Delta V_{1,2} = \frac{4}{3}\pi [(d_2)^3 - (d_1)^3] \quad (3.13)$$

$$D = \frac{N}{\Delta V} \quad (3.14)$$

Burada d_1 ve d_2 ardışık iki uzaklığı $\Delta V_{1,2}$, ardışık uzaklıklara karşılık gelen küresel uzay hacmi, N uzay hacminde bulunan yıldız sayısını ve D uzay yoğunluğunu ifade etmektedir.



Şekil 3.3: Ardışık uzaklık aralığındaki uzay hacmin hesaplanmasının temsili gösterimi.

3.5. IŞIMA GÜCÜ FONKSİYONUNUN ELDE EDİLMESİ

Birim mutlak parlaklık aralığındaki yıldız sayısının birim uzay hacmine oranıyla tanımlanan ışıma gücü fonksiyonu Güneş civarında farklı tayf türündeki yıldızlar için değişkenlik gösterir. Tez çalışmasında Güneş civarındaki anakol yıldızlarının duyarlı ışıma gücü fonksiyonunun elde edilmesi için *Gaia* EDR3 veri tabanından sağlanan fotometrik ve trigonometrik paralaks verileri kullanılacaktır. Bunun için öncelikle anakol yıldızlarının mutlak parlaklıkları tayin edilecektir. Uzaklık açısından tamlik sınırları içinde bulunan anakol yıldızları dikkate alınarak birim mutlak parlaklık aralıklarındaki yıldız sayıları belirlenecek ve yıldız sayıları bulundukları küresel hacme oranlanarak uzay yoğunluğu (Φ) belirlenecektir (Bağıntı 3.15).

$$\Phi = \frac{N}{\Delta V} \quad (3.15)$$

Burada N birim mutlak parlaklık aralığındaki yıldız sayısını ve ΔV yıldızların bulundukları uzay hacmini göstermektedir. Hesaplanan uzaysal yoğunluk çok küçük bir değerde olduğundan daha anlamlı bir şekilde ifade edilebilmesi için literatürde yoğunluğun logaritmasının alınması ve 10 sayısı ile toplanması (Bağıntı 3.16) tercih edilmektedir (Fenkart ve Karaali, 1990).

$$\Phi^* = \log(\Phi) + 10 \quad (3.16)$$

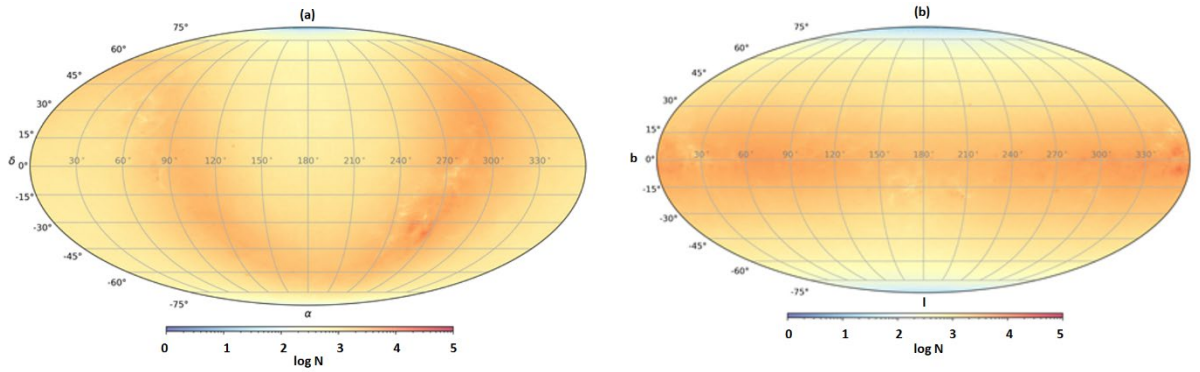
Tez çalışmasında geniş bir tayf türü aralığındaki anakol yıldızlarının ışıma gücü fonksiyonu yukarıda belirtilen yöntem ile hesaplanacaktır. Literatürdeki diğer çalışmalardan farklı olarak ışıma gücü fonksiyonu farklı uzaklık aralıklarında ($100 \leq d \leq 300$ pc aralığında 25 pc'lik aralıklar ile) ve üç farklı görelî paralaks hatası oranındaki ($\sigma_{\varpi}/\varpi \leq 0.01$, $\sigma_{\varpi}/\varpi \leq 0.05$ ve $\sigma_{\varpi}/\varpi \leq 0.10$) yıldız grupları dikkate alınarak oluşturulacaktır. |

4. BULGULAR

Güneş civarında farklı mutlak parlaklıklardaki anakol yıldızlarının ışıma gücü fonksiyonunun hesabı için *Gaia* EDR3 kataloğundan Güneş'e uzaklıkları $d = 1$ kpc'e uzanan ve rölatif paralaks hataları $\sigma_{\varpi}/\varpi \leq 0.10$ olan yıldızlar seçilmiştir. Yıldız örneğinin oluşturulmasıyla Bölüm 3'te verilen yöntemlerin uygulanması hazır hale getirilmiştir.

4.1.YILDIZLARIN SÖNÜKLEŞMEDEN ARINDIRILMASI VE ANAKOL YILDIZLARININ SEÇİMİ

Gaia EDR3 kataloğundan Güneş'e uzaklıkları 1 kpc'den küçük ve rölatif paralaks hataları $\sigma_{\varpi}/\varpi \leq 0.10$ şartlarına uyan 41,848,305 yıldızın seçimi gerçekleştirilmiştir. Bu yıldızların ekvatorial koordinatları *astropy.coordinates*¹⁴ modülü kullanılarak Galaktik koordinatlara çevrilmiştir. Oluşturulan yıldız örneğinin uzaysal dağılımını inceleyebilmek için yıldızlar ekvatorial ve Galaktik koordinat sistemindeki konumlarına göre işaretlenmiştir (Şekil 4.1). İki koordinat sistemindeki yıldızların dağılımlarını daha iyi yorumlayabilmek için yıldızlar logaritmik yıldız yoğunlukları dikkate alınarak renklendirilmiştir.

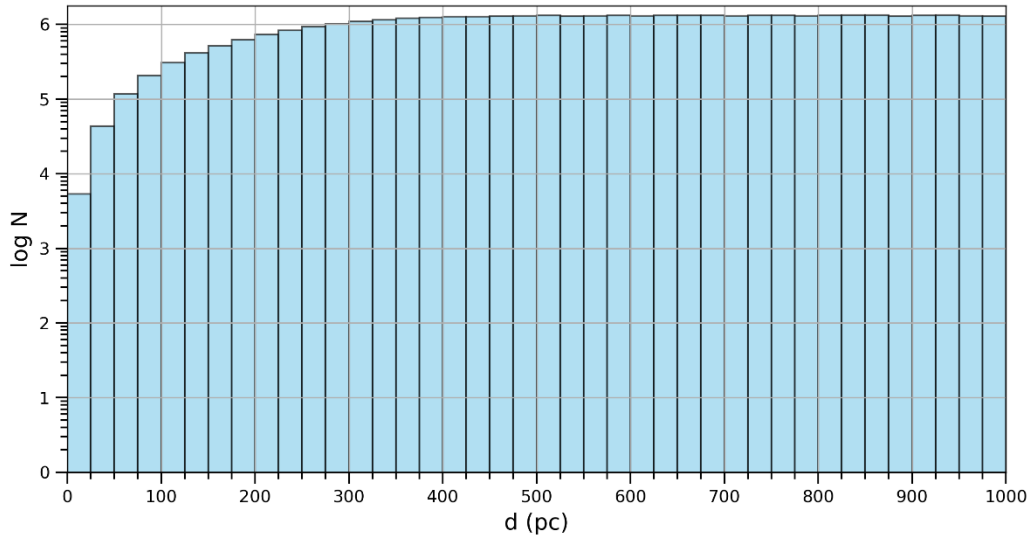


Şekil 4.1: *Gaia* EDR3 kataloğuna getirilen sınır şartları sonucu elde edilen 41,848,305 yıldızın (a) Ekvatorial ve (b) Galaktik koordinatlarındaki dağılımı. Yıldızlar logaritmik yıldız yoğunluğuna göre renklendirilmiştir.

¹⁴ <https://docs.astropy.org/en/stable/coordinates/>

Ekvatorial koordinat sistemindeki (Şekil 4.1a) yıldız yoğunluklarının Galaktik düzlemdeki (Şekil 4.1b) yoğunluklara göre farklı bölgelerde yoğunlaştığı görülmektedir. Bu durum iki koordinat sistemi arasındaki 63° 'lik farktan kaynaklanmaktadır. Galaktik koordinat sistemindeki yıldız yoğunluklarının Galaktik enlemi $|b| < 15^\circ$, Galaktik boylamı $l < 30^\circ$ ve $l > 330^\circ$ bölgelerinde daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Bu durum yıldızların Galaktik düzlem ve Galaksi merkezi doğrultusundaki yıldız sayısının fazlalığından kaynaklanmaktadır.

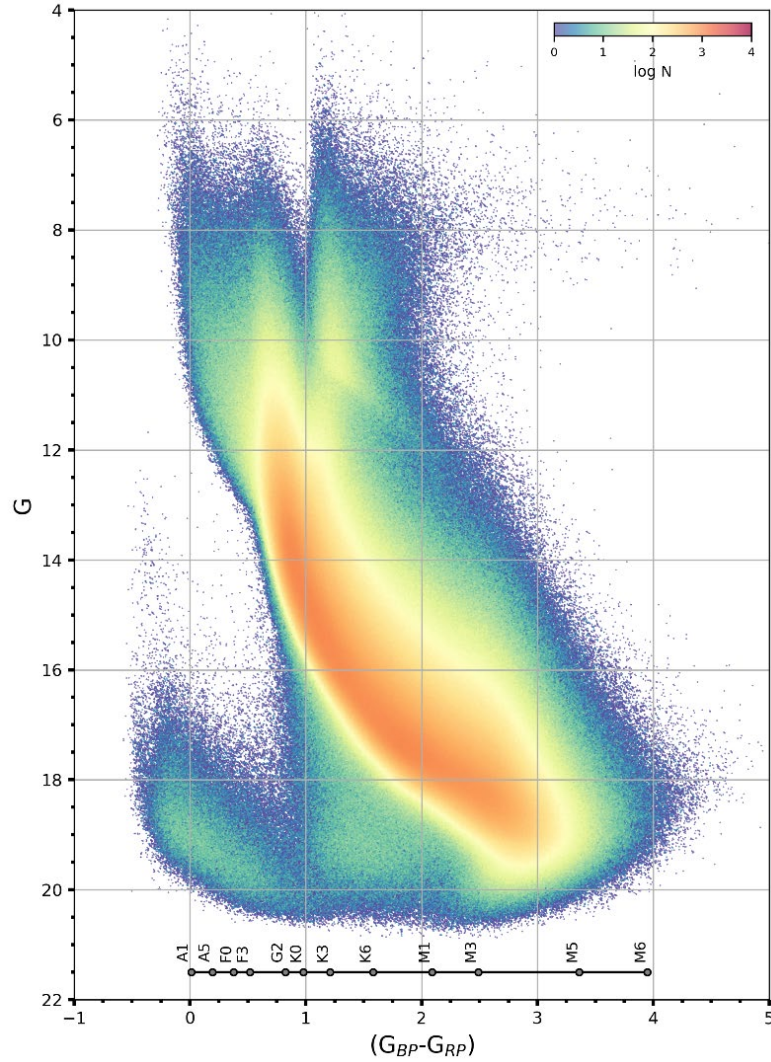
Yıldızların trigonometrik paralaksarı $d \text{ (pc)} = 1000/\varpi \text{ (mas)}$ bağıntısında kullanılarak Güneş'e uzaklıkları hesaplanmıştır. Yıldızların uzaklık dağılımını incelemek için uzaklık histogramı oluşturulmuştur (Şekil 4.2). Şekilden de görüleceği gibi Güneş'e uzaklığı 300 pc'e kadar olan yıldızların sayısında hızlı bir artış görülürken, bu uzaklığın ötesinde yıldız sayısı daha yavaş artmaktadır.



Şekil 4.2: 41,848,305 yıldızın logaritmik sayı yoğunluğu histogramı.

Oluşturulan örnekteki yıldızların tayf türleri ve ışıma gücü sınıflarını görebilmek için yıldızlar $G \times (G_{BP} - G_{RP})$ renk-parlaklık diyagramı üzerine işaretlenmiştir (Şekil 4.3). Yıldızlar logaritmik yıldız sayısına göre renklendirilmiş ve diyagram üzerinde en yoğun toplandıkları bölgeler tespit edilmiştir. Yıldızların geniş görünen parlaklık ($4 < G < 20.5$ kadir) ve renk indeksi aralığında ($-0.5 < G_{BP} - G_{RP} < 5$ kadir) bulunduğu görülmüştür. Yıldızların renk

indekslerine göre dağılımlarını daha iyi yorumlayabilmek için Eric Mamajek’in farklı fotometrik sistemlerde anakol yıldızlarının tayf türlerini veren tablosu¹⁵ kullanılmıştır. Tablodan anakol yıldızlarının *Gaia* renk indekslerine karşılık gelen tayf türleri alınarak Şekil 4.3’ün alt kısmında A1 tayf türünden M6 tayf türüne uzanan bir ölçekte gösterilmiştir. Yıldız sayı yoğunluklarına göre oluşturulan renk-parlaklık diyagramı incelendiğinde çalışmada kullanılacak yıldızların *G* ve daha geç tayf türündeki anakol yıldızlarından oluştuğu tespit edilmiştir. HR diyagramı üzerindeki anakol yıldızları geniş bir band içinde yer almaktadır.



Şekil 4.3: *Gaia* EDR3 kataloğundan seçilen yıldızların HR diyagramı. Diyagram logaritmik sayı yoğunluğuna göre renklendirilmiş olup tayf sınıfları diyagramın alt kısmında verilmiştir.

¹⁵ http://www.pas.rochester.edu/~emamajek/EEM_dwarf_UBVIJHK_colors_Teff.txt

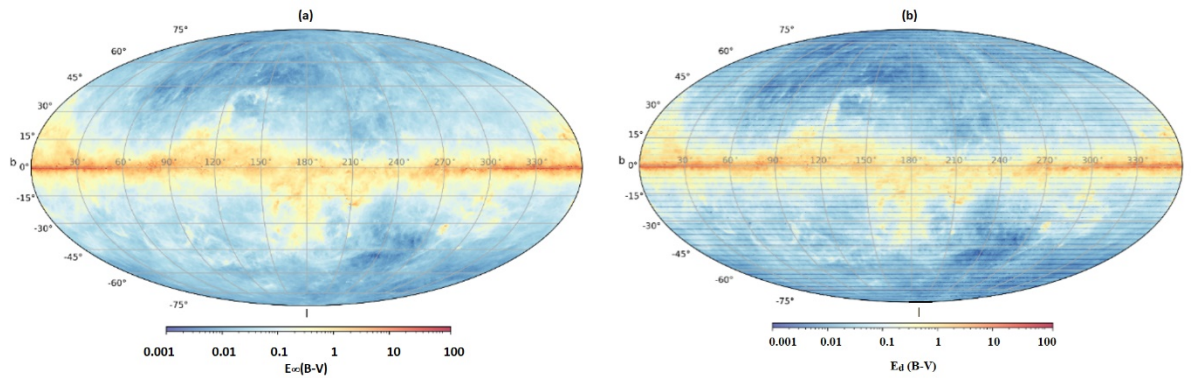
Büyük bir uzay hacmi içinde yer alan bu yıldızlar farklı yaşlarda ve farklı metal bolluklarında bulunmaktadır. Ayrıca bu yıldızlar içinde astrometrik açıdan birbirinden ayırt edilemeyen çift yıldız sistemleri de bulunmaktadır. Erken tayf türündeki yıldızlar, anakolda kalma zamanı kısa olduğundan hızlı evrimleşirler ve anakolun kalın görünmesine neden olurlar. Bu da anakol ile evrimleşmiş yıldız ayrımının yapılmasını zorlaştırır. Ayrıca Güneş civarındaki metalce fakir yıldızlar geri tayf türünde etkin oldukları için özellikle anakolun alt kısımlarının genişlemesine sebep olurlar. Çift yıldız etkisi tüm tayf türlerinde görülmekte olup en büyük etkiyi sistemdeki bileşen yıldızların eşit kütlede olduğu durumda gerçekleşir. Ayırt edilemeyen bir çift sistemde kütle oranının $q = 1$ olması durumunda sistem tek bir yıldızla göre aynı renk indeksinde 0.75 kadir daha parlak görülecektir. Ayrıca büyük bir uzay hacmi içinde bulunan yıldızlardan oluşturulan HR diyagramında yıldızlararası ortamın sönükleşme ve renk artışı etkisiyle de karşılaşılmaktadır. Yukarıda bahsedilen bu durumlar anakolun geniş görülmesine neden olmaktadır.

Şekil 4.3'te gösterilen HR diyagramında görünen parlaklığı $4 < G < 11$ kadir ve renk indeksi $1 < G_{BP} - G_{RP} < 2.5$ kadir aralığındaki yıldızların evrimleşmiş yıldızlar olduğu görülmektedir. Bu bölgede bulunan ve görünen parlaklığı $G = 10$ kadirden daha sönük olan evrimleşmiş yıldızların, yıldızlararası ortamın neden olduğu kızarma etkisine maruz kaldıkları görülmektedir. Ayrıca aynı diyagram üzerinde görünen parlaklığı $16 < G < 21$ kadir ve renk indeksi $-0.5 < G_{BP} - G_{RP} < 0.75$ kadir aralığındaki yıldızlar beyaz cüce bölgesinde yer almaktadır. HR diyagramındaki yıldızların tayf türleri ve ışıma gücü sınıflarının daha iyi belirlenebilmesi için yıldızların *Gaia* fotometrik parlaklıklarının yıldızlararası sönükleşme etkisinden arındırılması gerekmektedir.

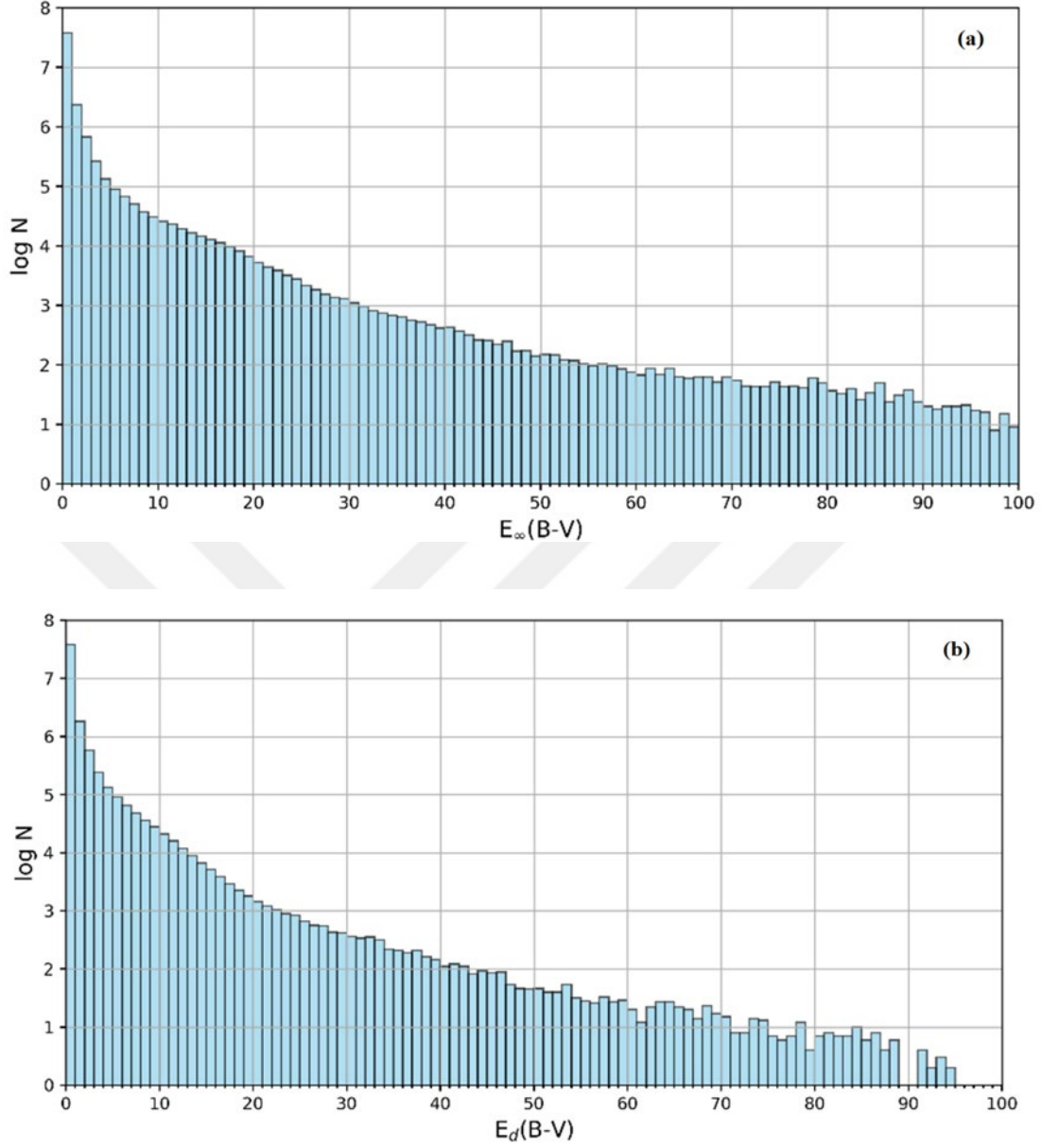
Tez çalışmasında *Gaia* parlaklıklarının yıldızlararası ortamın neden olduğu sönükleşme etkisinden arındırılmasında Schlafly ve Finkbeiner'in (2011) toz haritası kullanılmıştır. Toz haritasından sağlanan sönükleşme değerleri Galaksi sınırına kadar verildiğinden bu sönükleşme değerlerinin Güneş ile yıldız arasındaki mesafe için revize edilmesi gerekmektedir. Bunun için Bağıntı 3.1'de verilen Bahcall ve Soneira'nın (1980) ifadesi kullanılmıştır. Bağıntıdaki yıldız uzaklıkları için *Gaia* EDR3'deki trigonometrik paralaks verileri dikkat alınmıştır. Bu yöntem ile 41,848,305 yıldızın toz haritalarından alınan $A_{\infty}(d)$ sönükleşme değerleri yıldız uzaklıklarına göre $A_d(d)$ değerlerine indirgenmiştir. Yıldızların $E_d(B-V)$ renk artıklarının hesaplanmasında Bağıntı (3.2)'de verilen ifade kullanılmıştır. Tez çalışmasındaki yıldızların Galaktik

konumlarına göre toz haritalarından alınan renk artışı değerleriyle yıldız uzaklıklarına indirgenmiş renk artıklarının Galaktik koordinatlardaki görünümü renk artığının bir fonksiyonu olarak Şekil 4.4'te gösterilmiştir. Şekilden de görüleceği gibi yıldızlararası ortamın en yoğun bulunduğu kısım Galaktik düzlem civarındadır. Bu düzlemde toz haritalarından belirlenen renk artışı değerleri $E_{\infty}(B-V) = 100$ kadir civarına ulaşabilmektedir. Galaktik düzlemde dik doğrultuda uzaklaştıkça sönükleşme değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir. Yıldızların uzaklıklarına göre indirgenen renk artıklarının gösterildiği Şekil 4.4b incelendiğinde, renk artışı değerlerinin orijinal verilere göre azaldığı tespit edilmiştir.

Çalışmada kullanılan 41,848,305 yıldızın orijinal ve indirgenmiş renk artıklarının değerlerini daha iyi analiz edebilmek için iki kategoride yer alan yıldızların renk artışı histogramları oluşturulmuştur (Şekil 4.5). Şeklin (a) panelinde toz haritaları üzerinde yıldızların bulunduğu Galaktik konumlara göre hesaplanmış renk artıklarının histogramı verilmişken, (b) panelinde yıldızların *Gaia* trigonometrik paralakslarından hesaplanan uzaklıklarına göre indirgenmiş renk artıklarına ait dağılım gösterilmiştir. Çalışmada yıldızların toz haritalarından alınan renk artıklarının 100 kadire kadar olduğu, yıldız uzaklıklarına indirgenen renk artışı değerlerinin ise nispeten küçüldüğü en büyük renk artışı değerlerinin 95 kadire kadar azaldığı tespit edilmiştir. Toz haritalarından alınan renk artıklarının yıldız uzaklığına indirgenmesiyle renk artıklarındaki büyük değerleri belli bir mertebe azalmış olması yıldızların renk artıklarının duyarlı bir şekilde yapıldığını göstermektedir.



Şekil 4.4: *Gaia* EDR3 kataloğundan seçilen 41,848,305 yıldızın Galaktik düzlemdeki (a) $E_{\infty}(B-V)$ ve yıldız uzaklığına indirgenmiş (b) $E_d(B-V)$ renk artışı değerleri.

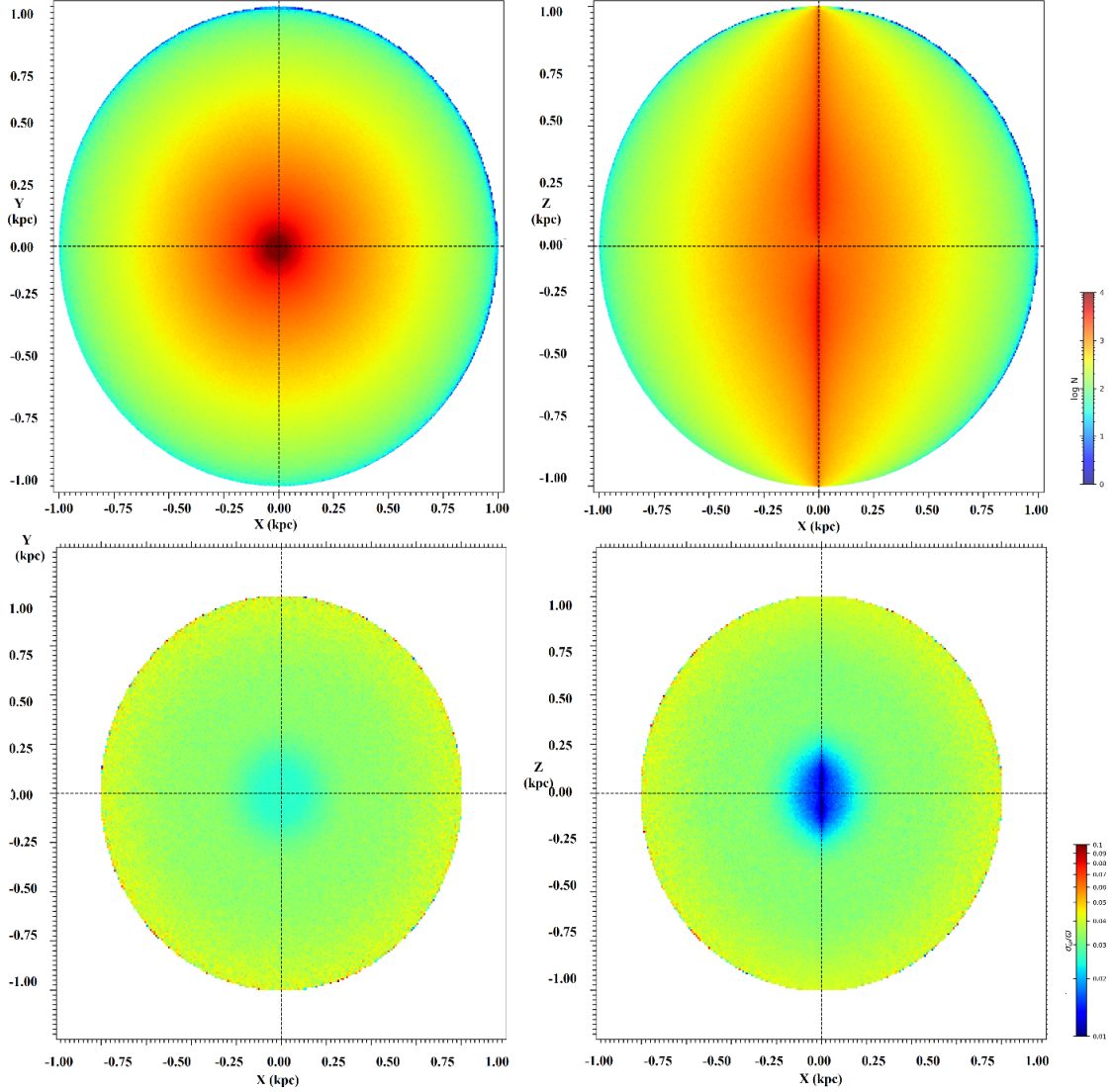


Şekil 4.5: Tez çalışmasındaki 41,848,305 yıldızın (a) toz haritalarından alınmış ve (b) yıldız uzaklığına indirgenmiş renk artıklarına ait histogramlar.

4.2. YILDIZLARIN KARTEZYEN UZAY DAĞILIMLARI

Yıldızların Güneş merkezli uzay dağılımlarını inceleyebilmek için *Gaia* EDR3 kataloğundan alınan trigonometrik paralaks verileri $d(\text{pc})=1000/\varpi$ (mas) bağıntısıyla uzaklığa çevrilmiş ve bağıntılar (3.8-3.10)'da verilen ifadeler ile Güneş merkezli kartezyen koordinat sisteminde X , Y ve Z uzaklık bileşenleri hesaplanmıştır.

Bu bağıntılarda d yıldızın uzaklığını, l ve b sırasıyla yıldızın Galaktik enlem ve boylamını göstermektedir. X Galaksi merkezi doğrultusunu, Y Galaksi'nin dönme doğrultusunu ve Z de Galaktik düzlemden Kuzey Galaktik kutba dik doğrultuyu gösterir. Tez çalışmasındaki 41,848,305 yıldızın Y - X ve Z - X düzlemlerindeki konumları Şekil 4.6a ve Şekil 4.6b gösterilmiştir.

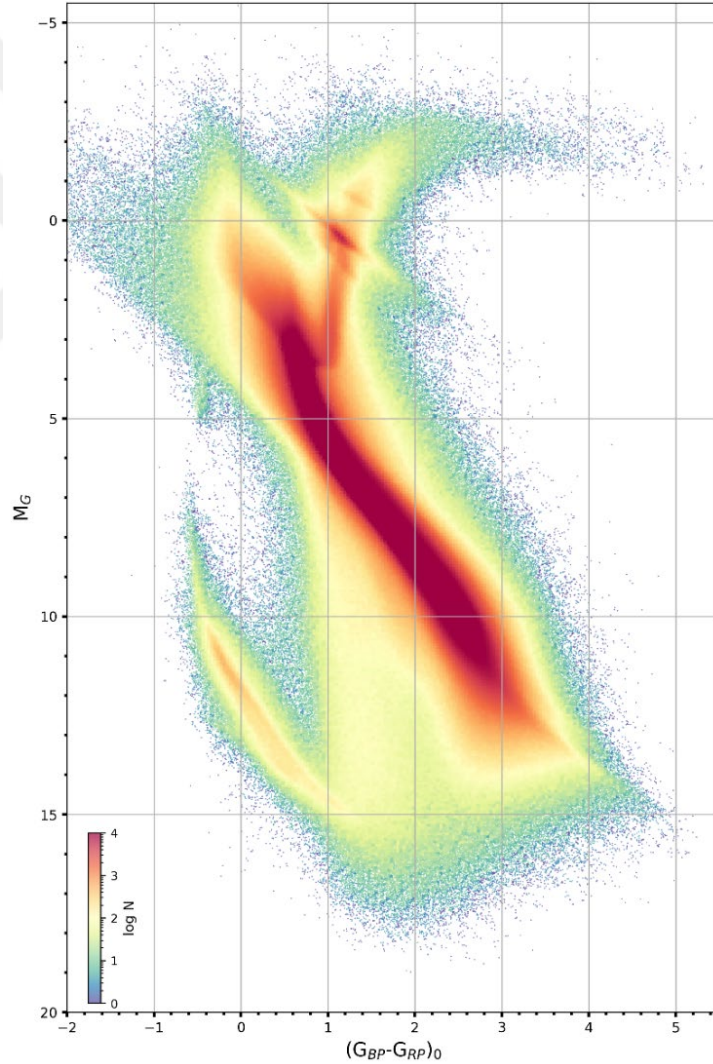


Şekil 4.6: Yıldızların (sol üst) $Y \times X$ ve (sağ üst) $Z \times X$ düzlemlerindeki konumlarının sayılarına ve rölatif paralaks hatasına göre renklendirilmiş (sol alt) $Y \times X$ ve (sağ alt) $Z \times X$ dağılımları.

Burada şeklin genel itibariyle simetrik bir yapıda bulunduğu görülmektedir. X , Y ve Z uzaklık bileşenlerinin medyan değeri, sırasıyla, 0.01, 0.02 ve 0.2 pc olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlar Güneş civarında incelenen 1 kpc uzaklık içindeki yıldızların uzay dağılımlarına göre simetrik

bir yapıda olduğunu göstermektedir. Söz konusu 41,848,305 yıldız için $Y-X$ ve $Z-X$ düzlemlerindeki konumları yıldızların rölatif paralaks hatasına göre renklendirilerek Şekil 4.6c ve Şekil 4.6d gösterilmiştir. Rölatif paralaks hataları dikkate alındığında Güneş'ten uzaklaştıkça yıldız uzaklık ölçümlerindeki hataların da beklenildiği gibi arttığı görülmektedir. Analizler 200 pc'e kadar rölatif paralaks hatalarının %3'ü geçmediğini göstermektedir.

Tez çalışmasında fotometrik veriler yıldızlararası ortamın sönükleşme etkisinden arındırıldıktan sonra yıldızlar tayf türleriyle ışıma gücü sınıflarının daha iyi incelenebilmesi için $M_G \times (G_{BP} - G_{RP})_0$ diyagramı üzerine işaretlenmiştir (Şekil 4.7).



Şekil 4.7: *Gaia* EDR3 kataloğundan seçilen 41,848,305 yıldızın renk-parlaklık diyagramı. Yıldız örneği logaritmik sayı yoğunluğuna göre renklendirilmiştir.

Yıldızların büyük kısmı beklenildiği gibi anakol bandı üzerinde toplanırken, evrimleşmiş yıldızlar ile beyaz cücelerin de HR diyagramı üzerinde bulunması gereken bölgelerde yoğunlaştığı görülmektedir. Oluşturulan $M_G \times (G_{BP} - G_{RP})_0$ diyagramı üzerine anakol yıldızlarını seçebilmek için bir yıldız evrim model programına ait sonuçlardan faydalanılmıştır. Literatürde çoğunlukla Padova grubu tarafından oluşturulmuş yıldız evrim modelleri kullanılmaktadır (Bressan ve diğ., 1993; Fagotto ve diğ., 1994; Bertelli ve diğ., 1994). Bu grubun bilinen en güncel yaş eğrileri Bressan ve diğ. (2012) tarafından sunulan PARSEC eş-yaş eğrileridir. Bu modeller sürekli güncellenmekte olup, son yıllarda daha fakir metal bolluklarını ($0.0001 \leq Z \leq 0.06$, $-2.2 \leq [M/H] \leq +0.5$ dex) ve daha geniş kütle aralığındaki yıldızları ($0.1 \leq M/M_\odot < 350$) içerecek şekilde geliştirilmiştir (Chen ve diğ., 2015; Tang ve diğ., 2014). Padova grubu Güneş'in ağır element bolluğunu $Z_\odot = 0.0152$ kabul etmektedir. PARSEC modelleri çok sayıda fotometrik sistem için oluşturulmakla birlikte, kırmızı dev yıldızların iç yapılarındaki karmaşık konvektif hareketler ile çevrelerindeki toz yapıları hesaba katan fotometrik sonuçları da içerecek şekilde üretilmiştir. Bu da PARSEC eş-yaş eğrilerini literatürdeki diğer yıldız evrim modellerinden üstün kılmaktadır.

Tez çalışmasında *Gaia* uydu verilerinden sağlanan yıldızların büyük kısmı ince disk yıldızlarını içerdüğinden PARSEC modelinde (Bressan ve diğ., 2012) kullanılacak eş-yaş eğrileri için ince disk popülasyonunu temsil eden ağır element bollukları ve yaş aralıklarının dikkate alınması gerekmektedir. İnce disk popülasyonunda bulunan yıldızların demir bolluğu $-0.5 \leq [Fe/H] \leq 0.5$ dex ve yaşı $0 < t \leq 10$ Gyıl aralığındadır (Cox, 2000). Demir bolluklarının ağır element bolluklarına çevrilmesinde Bovy'nin¹⁶ PARSEC eş-yaş eğrileri için analitik yolla elde ettiği bağıntılar dikkate alınmıştır.

$$Z_X = 10^{[Fe/H] + \log\left(\frac{Z_\odot}{1 - 0.2485 - 2.78 \times Z_\odot}\right)} \quad (4.1)$$

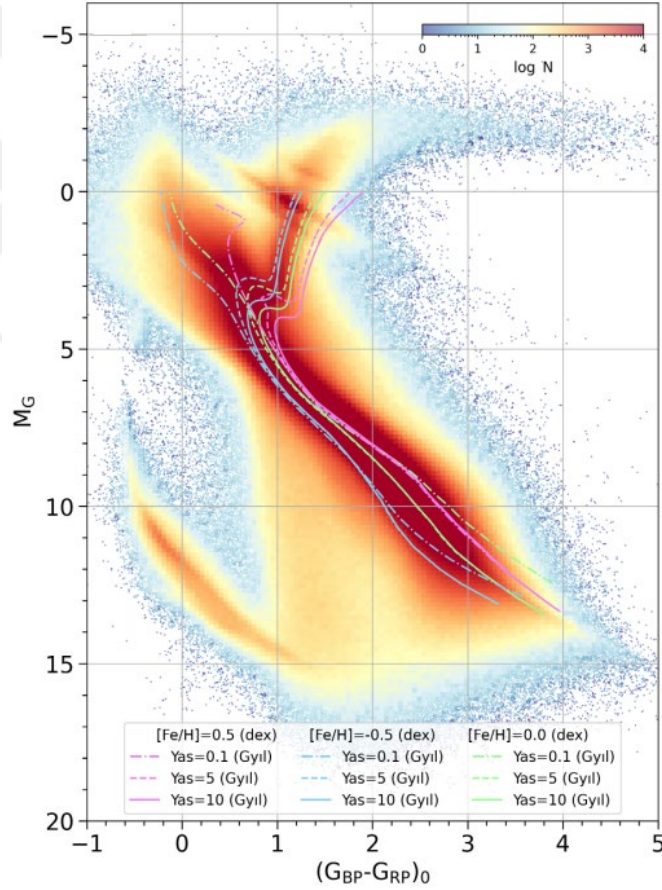
$$Z = \frac{(Z_X - 0.2485 \times Z_X)}{(2.78 \times Z_X + 1)} \quad (4.2)$$

Burada Bağıntı (4.1) bir ara işlem fonksiyonu olup $[Fe/H]$ demir bolluğunu ve $Z_\odot$ de Güneş'in ağır element bolluğunu göstermektedir. Bağıntı (4.1), Bağıntı (4.2)'nin bir fonksiyonu olup

¹⁶ <https://github.com/jobovy/isodist/blob/master/isodist/Isochrone.py>

demir bolluğu bilinen bir yıldızın ağır element bolluğunun belirlenmesinde kullanılmaktadır. İnce disk için verilen demir bolluğu aralığı ($-0.5 \leq [\text{Fe}/\text{H}] \leq 0.5$ dex) Bağıntılar (4.1) ve (4.2)'nin kullanılmasıyla ağır element bolluğuna ($0.0050 < Z < 0.0429$) çevrilmiştir.

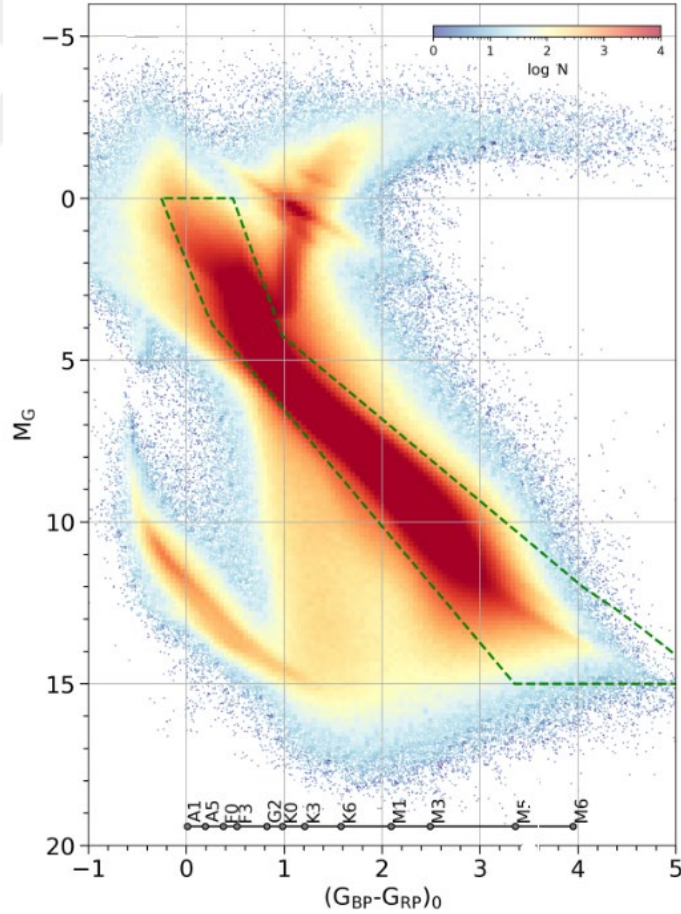
$M_G \times (G_{BP} - G_{RP})_0$ diyagramı üzerine anakol yıldızlarını belirleyebilmek için ince diski temsil eden demir bolluğu ve yaş aralığında üç farklı değer seçilmiştir. Demir bolluğu için -0.5, 0 ve +0.5 dex ile yaş için 0.1, 5 ve 10 Gyl eş-yaş eğrilerinin PARSEC modelinden belirlenmesine karar verilmiştir. Demir bolluğu ve yaş verileri için PARSEC¹⁷ web sayfasından *Gaia* fotometrisindeki eş-yaş eğrilerine ulaşılmıştır. Bilgisayar ortamına indirilen eş-yaş eğrileri $M_G \times (G_{BP} - G_{RP})_0$ diyagramı üzerine anakol yıldızlarıyla birlikte işaretlenmiştir (Şekil 4.8).



Şekil 4.8: Tez çalışmasındaki 41,848,305 yıldızın renk-parlaklık diyagramı. Diyagram üzerine farklı demir bolluklarında ve farklı yaşlarda bulunan PARSEC eş-yaş eğrileri eklenmiştir. Yıldızlar logaritmik sayı yoğunluğuna göre renklendirilmiştir.

¹⁷ <http://stev.oapd.inaf.it/cgi-bin/cmd>

Teorik yıldız evrim modellerinin $M_G \times (G_{BP} - G_{RP})_0$ diyagramı üzerine çizdirilmesiyle farklı demir bolluklarında ve farklı yaşlardaki ince disk yıldızlarının anakol bandı üzerindeki konumları belirlenmiştir. Diyagramda anakol bandındaki yıldız sayı yoğunluğuyla eş-yaş eğrilerinin uyumu incelendiğinde genel olarak model eğrilerinin gözlemsel verileri desteklediği fakat anakol bandının teorik sınırlardan daha geniş olduğu görülmüştür. Bunun nedeni çift yıldız etkisinin dikkate alınmamış olmasıdır. Bilindiği gibi çift yıldız etkisi bir yıldızın parlaklığında en fazla 0.75 kadirlik bir artışa sebep olur. Diyagram üzerinde yaş ve metal bolluğu etkisi dışında teorik eğrilere 0.75 kadirlik fark ilave edilerek anakol bandı çift yıldız etkisini içerecek şekilde oluşturulmuştur. $M_G \times (G_{BP} - G_{RP})_0$ renk-parlaklık diyagramı üzerindeki anakol bandı kesikli yeşil çizgiler ile Şekil 4.9'da gösterilmiştir. Anakol bandı içindeki yıldızların tayf türü A1 ile M6 ve mutlak parlaklıkları $0 < M_G < 15$ kadir aralığında olup yıldız sayısı 39,131,320'dir.



Şekil 4.9: $M_G \times (G_{BP} - G_{RP})_0$ renk-parlaklık diyagramı üzerinde PARSEC modeli ve çift yıldız etkisinin dikkate alınması sonucunda oluşturulan anakol bandı. Anakol bandı yeşil kesikli çizgiyle gösterilmiştir.

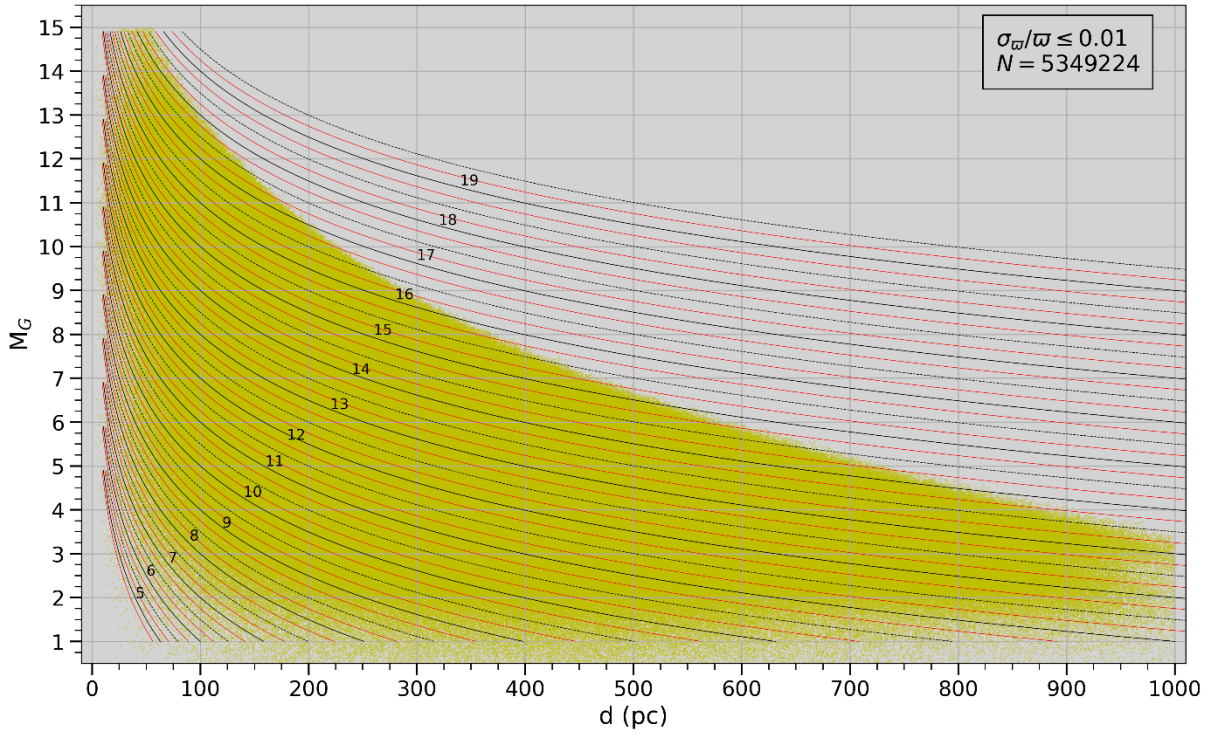
4.3.YILDIZLARIN FARKLI DÜZLEMLERDEKİ TAMLIK SINIRLARININ TAYİNİ

Bir popülasyona ait tipik parametrelerinin ortaya konmasında kullanılan veri setindeki nesnelerin sayıları önemlidir. Astronomik gözlemlerde nesne sayıları çoğunlukla görünen parlaklığının bir fonksiyonu olarak değerlendirilir. Tez çalışmasında *Gaia* veri tabanından alınan yıldızların astrometrik ve fotometrik verileri kullanıldığı için hem görünen parlaklık hem de yıldızların uzaklıklarının belli bir uzay hacmi içinde tam olmalıdır. Bu amaç doğrultusunda öncelikle incelenen yıldızların görünen parlak ve sönük limit kadirlerin belirlenmesi ve ardından örnekteki yıldızların ardışık birim mutlak parlaklık aralıklarına ayrılması gerekir. *Gaia* konsorsiyumu son veri sürümünde *Gaia* nesnelerinin tamlık sınırını $3 < G < 21$ kadir vermektedir (Gaia işbirliği, 2021b). Birim mutlak parlaklık içindeki bir yıldız örneğinin uzaklık tamlığı da aşağıdaki şekilde verilir.

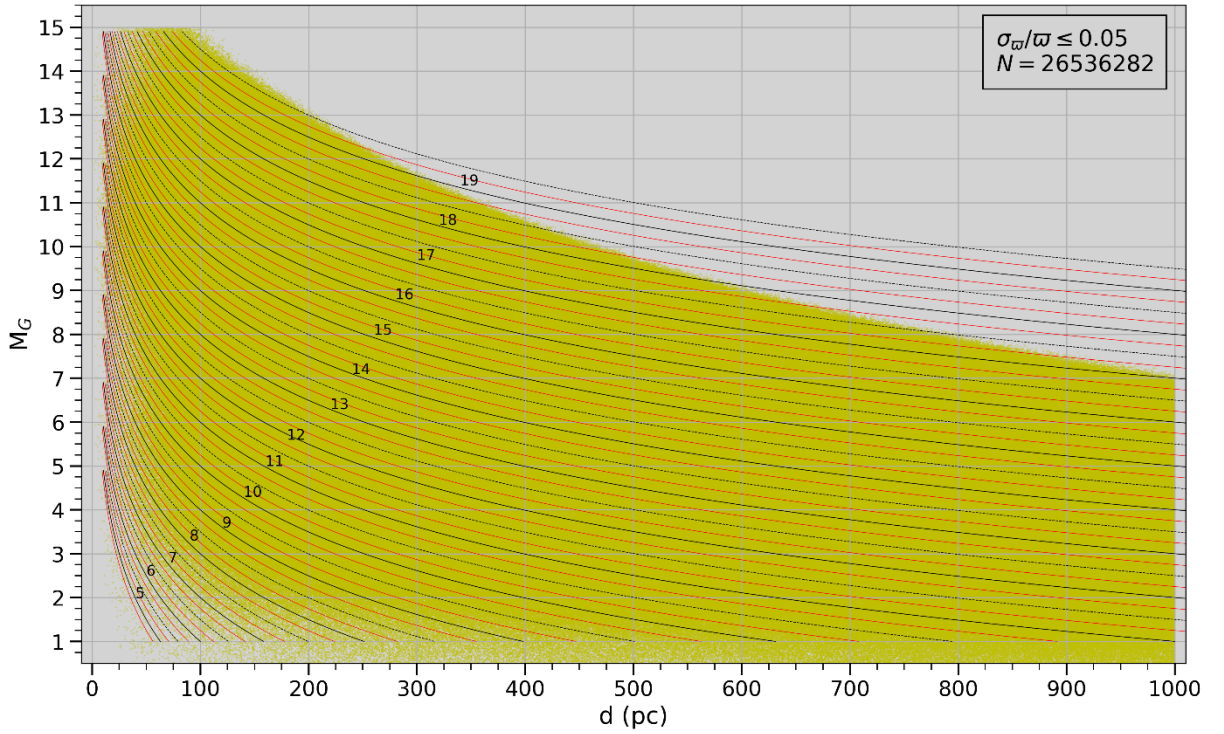
$$d_{\text{yakın}} = 10^{[(G_{\text{parlak}} - M_{\text{parlak}} + 5 - A_G)/5]} \quad (4.3)$$

$$d_{\text{uzak}} = 10^{[(G_{\text{sönük}} - M_{\text{sönük}} + 5 - A_G)/5]} \quad (4.4)$$

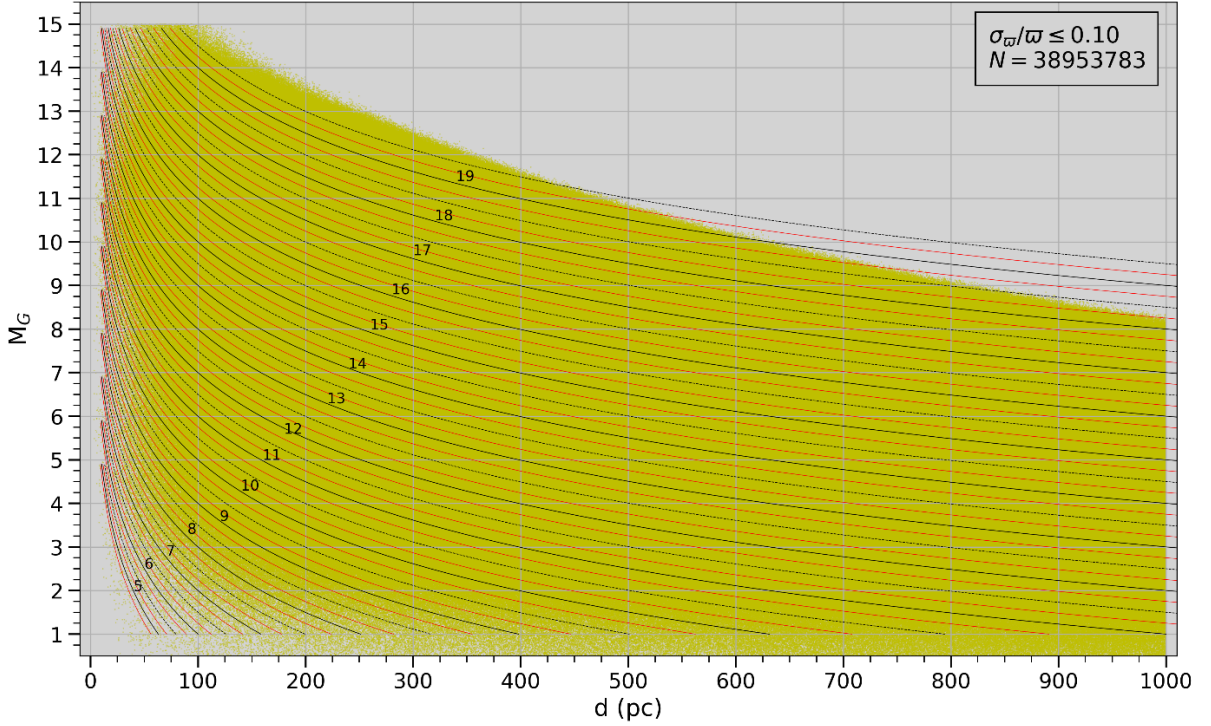
Burada $d_{\text{yakın}}$ ve d_{uzak} , sırasıyla, seçilen birim görünen (G_{parlak} ve $G_{\text{sönük}}$) ve birim mutlak parlaklık (M_{parlak} ve $M_{\text{sönük}}$) aralıkları için yakın ve uzak tamlık sınırlarını ve A_G , G bandında ölçülen yıldızlararası sönükleşme değerini ifade etmektedir. Tez çalışmasındaki 39,131,320 anakol yıldızının mutlak parlaklıkları $0 < M_G < 15$ kadir aralığında bulunmaktadır. Geniş bir mutlak parlaklık aralığındaki anakol yıldızlarının duyarlı tamlık sınırlarını belirlemek için görünen ve mutlak parlaklıklardaki birim değeri 0.25 kadir seçilmiştir. *Gaia* veri tabanında seçilen bu anakol yıldız örneğinin uzaklıklarına ait tamlıklarının belirlenmesi için $\sigma_{\varpi}/\varpi \leq 0.01$, $\sigma_{\varpi}/\varpi \leq 0.05$ ve $\sigma_{\varpi}/\varpi \leq 0.10$ olacak şekilde üç farklı rölatif paralaks hatasına göre, sırasıyla, Şekil 4.10, Şekil 4.11 ve Şekil 4.12 oluşturulmuştur.



Şekil 4.10: Rölatif paralaks hatası $\sigma_\pi/\pi \leq 0.01$ olan anakol yıldızlarının $M_G \times d$ düzlemindeki konumları.



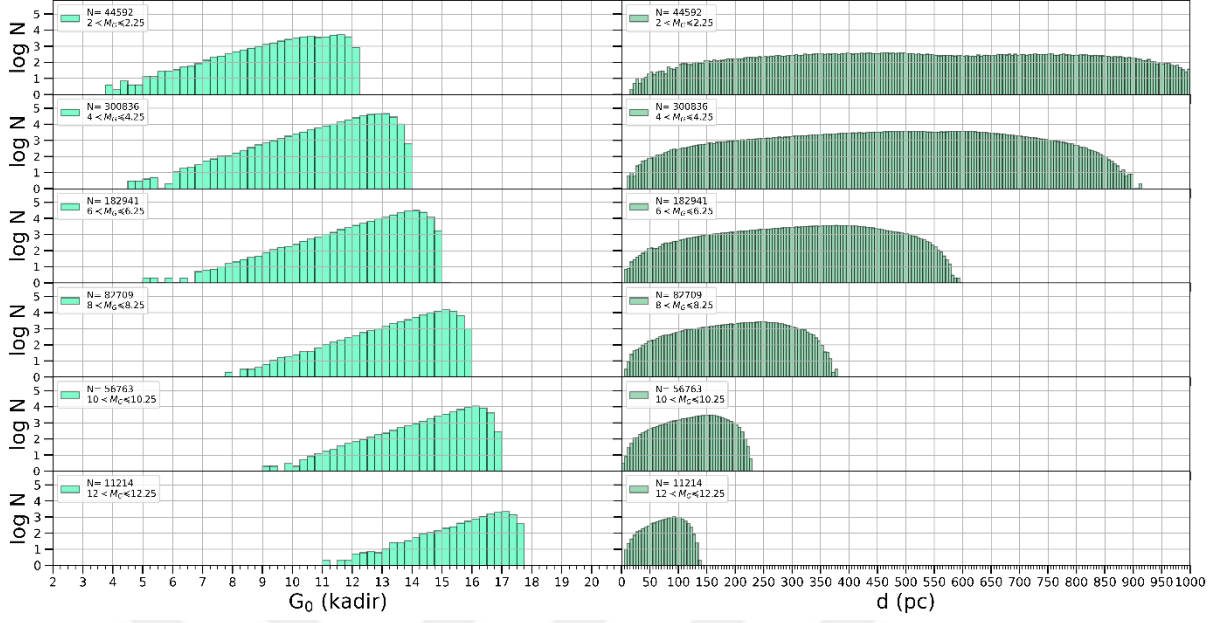
Şekil 4.11: Rölatif paralaks hatası $\sigma_\pi/\pi \leq 0.05$ olan anakol yıldızlarının $M_G \times d$ düzlemindeki konumları.



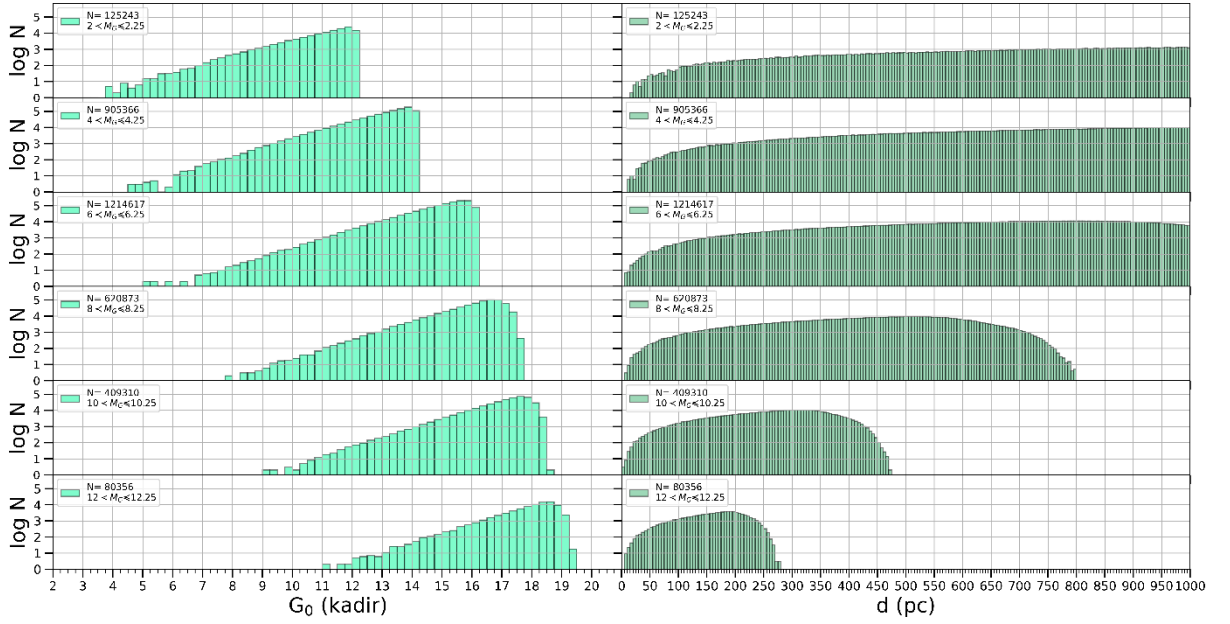
Şekil 4.12: Rölatif paralaks hatası $\sigma_{\pi}/\pi \leq 0.10$ olan anakol yıldızlarının $M_G \times d$ düzlemindeki konumları.

Bu tez çalışmasında oluşturulan grafiklerin yatay ekseninde yıldızların 1 kpc'ye kadar uzanan uzaklıkları, dikey ekseninde de yıldızların geniş bir aralıktaki mutlak parlaklıkları bulunmaktadır. Her bir grafikte $2 < M_G \leq 15$ aralığı için elde edilen yıldız sayıları verilmiştir. Diyagramlar yıldızların G_0 görünen parlaklıklarına göre kalibre edilmiştir. Oluşturulan örnekteki anakol yıldızlarının yıldızlararası sönmüşmeden arındırılmış görünen G_0 parlaklıkları $5 < G_0 < 19.5$ kadir aralığında bulunmaktadır. Mutlak parlaklıkları $10 < M_G < 15$ kadir aralığındaki geç tayf türündeki anakol yıldızlarının Güneş'ten 250 ile 600 pc uzaklığa kadar etkin oldukları görülmektedir. Orta ve daha erken tayf türündeki anakol yıldızlarının ($M_G < 8$ kadir) ise 1 kpc'lik uzaklığa erişebildikleri tespit edilmiştir.

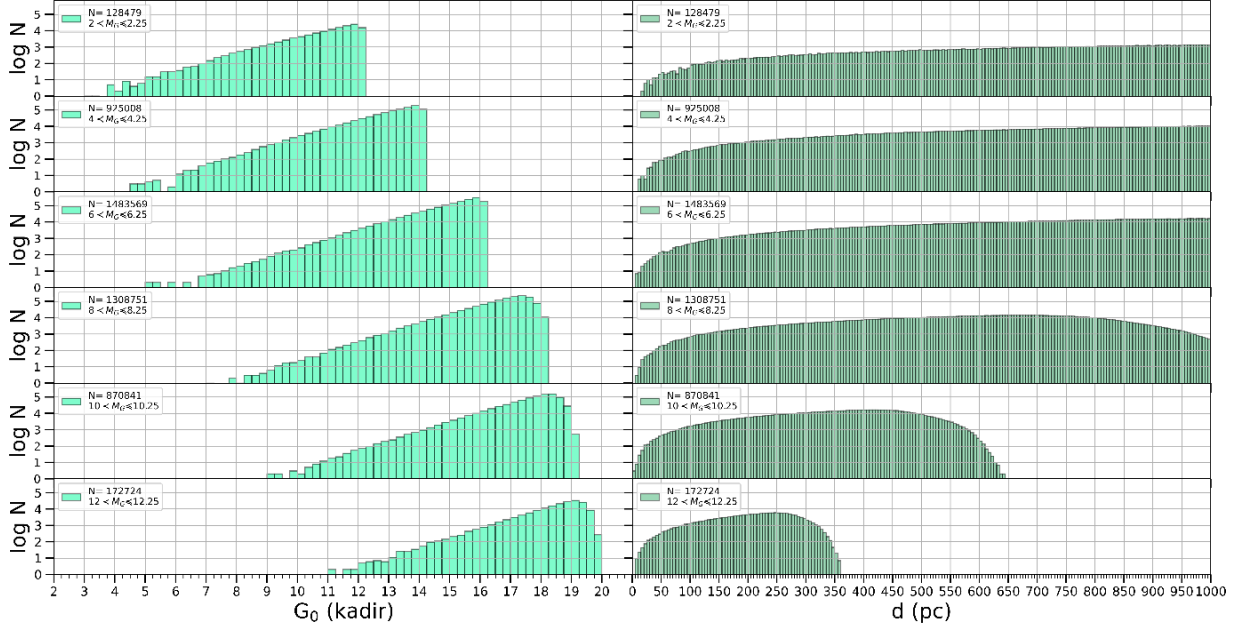
Birim mutlak parlaklık aralıklarına ayrılan yıldızların tamlık sınırlarının belirlenmesinde Şekil 4.13, Şekil 4.14 ve Şekil 4.15'teki görünen parlaklık ve uzaklık histogramlarından faydalanılmıştır. Farklı rölatif paralaks hatalarındaki yıldızların daha duyarlı seçilebilmesi için oluşturulan bu diyagramlarda görünen parlaklık histogramı parlak yıldızların seçiminde, uzaklık histogramı ise tamlık sınırının belirlenmesinde tercih edilmiştir.



Şekil 4.13: Seçilmiş mutlak parlaklık aralıklarında $\sigma_w/\omega \leq 0.01$ şartını sağlayan anakol yıldız örneğinin $\log N \times G_0$ ve $\log N \times d$ histogramları.



Şekil 4.14: Seçilmiş mutlak parlaklık aralıklarında $\sigma_w/\omega \leq 0.05$ şartını sağlayan anakol yıldız örneğinin $\log N \times G_0$ ve $\log N \times d$ histogramları.



Şekil 4.15: Seçilmiş mutlak parlaklık aralıklarında $\sigma_{\omega}/\omega \leq 0.10$ şartını sağlayan anakol yıldız örneğinin $\log N \times G_0$ ve $\log N \times d$ histogramları.

Sonuç olarak, geniş bir mutlak parlaklık aralığındaki anakol yıldızlarının tamlık sınırları, birim mutlak parlaklık, görünen parlaklık ve yıldız sayılarının bir fonksiyonu olarak ele alınmış ve ilgili uzay hacmine ait tamlığın uzaklıkları elde edilerek Tablo 4.1, Tablo 4.2 ve Tablo 4.3'te listelenmiştir. Tamlık sınırları içindeki yıldızların belirlenmesinde Tablo 4.1-4.3'te verilen sınır uzaklık değerleri dikkate alınmıştır. Bunun için incelenen yıldızın hesaplanmış uzaklığının tablolarda verilen limit uzaklık değerleri arasında seçilmesine önem verilmiştir.

Tablo 4.1: $\sigma_{\text{a}}/\omega \leq 0.01$ aralığındaki anakol yıldız örneğinin birim mutlak ve görünen parlaklık aralıklarına göre oluşturulmuş tamlık sınırları.

G ₀ (kadir) →	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
M _G	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d
(kadir)	(pc)	(pc)	(pc)	(pc)	(pc)	(pc)	(pc)	(pc)	(pc)	(pc)	(pc)	(pc)	(pc)	(pc)	(pc)
[2.00-2.25)	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	425	450
[2.25-2.50)	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	425	450
[2.50-2.75)	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	425	450
[2.75-3.00)	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	425	450
[3.00-3.25)	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	425	450
[3.25-3.50)	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	425	450
[3.50-3.75)	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	425	450
[3.75-4.00)	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	425	450
[4.00-4.25)	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	425	450
[4.25-4.50)	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	425	450
[4.50-4.75)	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	425	450
[4.75-5.00)	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	425	450
[5.00-5.25)	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	425	450
[5.25-5.00)	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	425	450
[5.50-5.75)	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	425	425
[5.75-6.00)	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	400	400
[6.00-6.25)	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	375	375	375
[6.25-6.50)	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	350	350	350	350
[6.50-6.75)	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	325	325	325	325	325
[6.75-7.00)	100	125	150	175	200	225	250	275	300	300	300	300	300	300	300
[7.00-7.25)	100	125	150	175	200	225	250	275	285	285	285	285	285	285	285
[7.25-7.50)	100	125	150	175	200	225	250	275	275	275	275	275	275	275	285
[7.50-7.75)	100	125	150	175	200	225	250	260	260	260	260	260	260	260	260
[7.75-8.00)	100	125	150	175	200	225	250	250	250	250	250	250	250	250	250
[8.00-8.25)	100	125	150	175	200	225	240	240	240	240	240	240	240	240	240
[8.25-8.50)	100	125	150	175	200	225	230	230	230	230	230	230	230	230	230
[8.50-8.75)	100	125	150	175	200	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225
[8.75-9.00)	100	125	150	175	200	210	210	210	210	210	210	210	210	210	210
[9.00-9.25)	100	125	150	175	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
[9.25-9.50)	100	125	150	175	175	175	175	175	175	175	175	175	175	175	175
[9.50-9.75)	100	125	150	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165
[9.75-10.00)	100	125	150	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160
[10.00-10.25)	100	125	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
[10.25-10.50)	100	125	145	145	145	145	145	145	145	145	145	145	145	145	145
[10.50-10.75)	100	125	135	135	135	135	135	135	135	135	135	135	135	135	135
[10.75-11.00)	100	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125
[11.00-11.25)	100	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115
[11.25-11.50)	100	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110
[11.50-11.75)	100	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105
[11.75-12.00)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
[12.00-12.25)	99	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90
[12.25-12.50)	99	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85
[12.50-12.75)	99	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
[12.75-13.00)	99	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75
[13.00-13.25)	99	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75
[13.25-13.50)	99	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75
[13.50-13.75)	99	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75
[13.75-14.00)	99	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75
[14.00-14.25)	99	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75
[14.25-14.05)	94	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75
[14.50-14.75)	79	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75
[14.75-15.00)	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75

Tablo 4.2: $\sigma_{\omega}/\omega \leq 0.05$ aralığındaki anakol yıldız örneğinin birim mutlak ve görünen parlaklık aralıklarına göre oluşturulmuş tamlık sınırları.

G_0 (kadir) $\rightarrow$	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
M_G	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d
(kadir)	(pc)	(pc)	(pc)	(pc)	(pc)	(pc)	(pc)	(pc)	(pc)	(pc)	(pc)	(pc)	(pc)	(pc)	(pc)
[2.00-2.25)	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	425	450
[2.25-2.50)	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	425	450
[2.50-2.75)	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	425	450
[2.75-3.00)	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	425	450
[3.00-3.25)	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	425	450
[3.25-3.50)	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	425	450
[3.50-3.75)	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	425	450
[3.75-4.00)	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	425	450
[4.00-4.25)	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	425	450
[4.25-4.50)	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	425	450
[4.50-4.75)	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	425	450
[4.75-5.00)	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	425	450
[5.00-5.25)	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	425	450
[5.25-5.50)	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	425	450
[5.50-5.75)	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	425	450
[5.75-6.00)	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	425	450
[6.00-6.25)	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	425	450
[6.25-6.50)	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	425	450
[6.50-6.75)	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	425	450
[6.75-7.00)	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	425	450
[7.00-7.25)	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	425	450
[7.25-7.50)	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	425	450
[7.50-7.75)	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	425	450
[7.75-8.00)	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	425	450
[8.00-8.25)	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	425	450
[8.25-8.50)	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	425	450
[8.50-8.75)	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	425	449
[8.75-9.00)	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	424	449
[9.00-9.25)	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	399	424	449
[9.25-9.50)	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	374	399	424	449
[9.50-9.75)	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	349	374	399	424	449
[9.75-10.00)	100	125	150	175	200	225	250	275	300	324	349	374	399	424	449
[10.00-10.25)	100	125	150	175	200	225	250	275	300	324	349	374	399	424	425
[10.25-10.50)	100	125	150	175	200	225	250	275	299	324	349	374	399	424	400
[10.50-10.75)	100	125	150	175	200	224	249	275	299	324	349	365	375	400	385
[10.75-11.00)	100	125	150	175	200	224	249	274	299	324	349	350	350	375	375
[11.00-11.25)	100	125	150	175	200	224	248	274	299	324	335	335	335	350	350
[11.25-11.50)	100	125	150	175	200	224	248	274	299	300	325	325	325	325	325
[11.50-11.75)	100	125	150	175	200	223	248	274	285	285	300	300	300	300	300
[11.75-12.00)	100	125	150	175	200	223	248	274	275	275	285	285	285	285	285
[12.00-12.25)	100	125	150	175	199	223	248	265	260	260	275	275	275	275	275
[12.25-12.50)	100	125	149	174	199	223	225	250	250	250	260	260	260	260	260
[12.50-12.75)	100	125	149	174	199	215	215	225	240	240	250	250	250	250	250
[12.75-13.00)	100	125	149	170	185	200	200	215	230	230	240	240	240	240	240
[13.00-13.25)	100	115	145	165	175	185	185	200	225	225	230	230	230	230	230
[13.25-13.50)	100	110	135	150	170	175	175	185	210	210	225	225	225	225	225
[13.50-13.75)	100	105	125	145	165	170	170	175	200	200	210	210	210	210	210
[13.75-14.00)	99	100	115	135	150	165	165	170	175	175	200	200	200	200	200
[14.00-14.25)	99	90	110	125	145	150	150	165	165	165	175	175	175	175	175
[14.25-14.05)	94	85	105	115	135	145	145	150	160	160	165	165	165	165	165
[14.50-14.75)	79	80	100	110	125	135	135	145	150	150	160	160	160	160	160
[14.75-15.00)	75	75	90	105	115	125	125	135	145	145	150	150	150	150	150

Tablo 4.3: $\sigma_{\odot}/\varpi \leq 0.10$ aralığındaki anakol yıldız örneğinin birim mutlak ve görünen parlaklık aralıklarına göre oluşturulmuş tamlik sınırları.

G_0 (kadir) $\rightarrow$	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
M_G	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d
(kadir)	(pc)	(pc)	(pc)	(pc)	(pc)	(pc)	(pc)	(pc)	(pc)	(pc)	(pc)	(pc)	(pc)	(pc)	(pc)
[2.00-2.25)	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	425	450
[2.25-2.50)	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	425	450
[2.50-2.75)	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	425	450
[2.75-3.00)	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	425	450
[3.00-3.25)	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	425	450
[3.25-3.50)	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	425	450
[3.50-3.75)	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	425	450
[3.75-4.00)	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	425	450
[4.00-4.25)	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	425	450
[4.25-4.50)	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	425	450
[4.50-4.75)	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	425	450
[4.75-5.00)	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	425	450
[5.00-5.25)	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	425	450
[5.25-5.50)	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	425	450
[5.50-5.75)	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	425	450
[5.75-6.00)	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	425	450
[6.00-6.25)	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	425	450
[6.25-6.50)	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	425	450
[6.50-6.75)	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	425	450
[6.75-7.00)	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	425	450
[7.00-7.25)	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	425	450
[7.25-7.50)	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	425	450
[7.50-7.75)	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	425	450
[7.75-8.00)	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	425	450
[8.00-8.25)	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	425	450
[8.25-8.50)	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	425	450
[8.50-8.75)	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	425	450
[8.75-9.00)	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	425	450
[9.00-9.25)	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	425	450
[9.25-9.50)	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	425	450
[9.50-9.75)	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	425	450
[9.75-10.00)	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	425	450
[10.00-10.25)	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	399	424	449
[10.25-10.50)	100	125	150	175	200	225	250	275	299	324	349	374	399	424	449
[10.50-10.75)	100	125	150	175	200	225	249	274	299	324	349	374	399	424	449
[10.75-11.00)	100	125	150	175	200	225	249	274	299	324	349	374	399	424	449
[11.00-11.25)	100	125	150	175	200	224	249	274	299	324	349	374	399	424	449
[11.25-11.50)	100	125	150	175	200	224	249	274	299	324	349	374	399	400	425
[11.50-11.75)	100	125	150	175	200	224	249	274	299	324	349	365	385	385	400
[11.75-12.00)	100	125	150	175	200	224	249	274	298	324	349	350	375	375	385
[12.00-12.25)	100	125	150	175	200	224	249	273	298	324	335	335	365	365	375
[12.25-12.50)	100	125	150	175	200	224	248	273	285	300	325	325	350	350	365
[12.50-12.75)	100	125	150	175	199	224	248	265	275	275	300	300	325	325	350
[12.75-13.00)	100	125	150	175	199	223	225	250	260	265	275	285	300	300	325
[13.00-13.25)	100	125	149	174	185	215	215	225	250	250	265	275	285	285	300
[13.25-13.50)	100	115	145	170	175	200	200	215	240	225	250	260	275	275	285
[13.50-13.75)	100	110	135	165	170	185	185	200	230	215	225	250	260	260	275
[13.75-14.00)	99	105	125	150	165	175	175	185	225	200	215	240	250	250	260
[14.00-14.25)	99	100	115	145	150	170	170	175	210	185	200	230	240	240	250
[14.25-14.05)	94	90	110	135	145	165	165	170	200	175	185	225	230	230	240
[14.50-14.75)	79	85	105	125	135	150	150	165	175	170	175	210	225	225	230
[14.75-15.00)	75	80	100	115	125	145	145	150	165	165	170	200	210	210	225

4.4.YILDIZLARIN UZAY YOĞUNLUKLARI VE IŞIMA GÜCÜ FONKSİYONLARININ BELİRLENMESİ

Bu tez çalışmada, *Gaia* EDR3 kataloğundan seçilen ve Güneş civarını temsil eden anakol yıldızının ışım gücü fonksiyonları, geniş bir mutlak parlaklık ve üç farklı rölatif paralaks hatasına sahip yıldızlar için farklı uzaklıklarda elde edilmiştir.

Seçilen bir yıldız alanı doğrultusunda gözlemsel yıldız yoğunluklarının hesaplanmasında bağıntı (4.5) kullanılır:

$$D = \frac{N}{\Delta V} \quad (4.5)$$

Verilen bağıntıda D yıldız sayı yoğunluğunu göstermektedir. Yıldız sayı yoğunluğu birim mutlak parlaklık aralığı için ardışık uzaklık aralıklarındaki yıldız sayısının (N), bulunduğu uzay hacmine (ΔV) bölünmesiyle elde edilir. Yıldız alanı doğrultusunda 100 pc uzaklıktan başlayan ve 25'er pc adımlar ile 300 pc uzaklığa kadar giden iç içe küre gibi düşünülen uzay hacmi

$$\Delta V_{1,2} = \frac{4}{3}\pi[(d_2)^3 - (d_1)^3] \quad (4.6)$$

bağıntısıyla hesaplanmıştır. Burada d_1 ve d_2 seçilen ardışık uzaklık aralığını ΔV de uzaklık aralıklarına karşılık gelen hacmi ifade etmektedir. İlgili hacim elemanın ağırlık merkezinin hesaplanmasında (d^*) bağıntı (4.7) kullanılmıştır:

$$d^* = \sqrt[3]{\frac{d_1^3 + d_2^3}{2}} \quad (4.7)$$

Derin uzaya doğru gidildikçe uzaysal hacim büyüdüğü için, hesaplanan yıldız sayı yoğunluğunun değeri çok küçülür. Bu durumda yıldız sayı yoğunluk değerinin daha kolay ifade edilebilmesi için logaritmasının alınarak 10 sayısı ile toplanması tercih edilir:

$$\Phi^* = \log(\Phi) + 10 \quad (4.8)$$

Burada Φ^* logaritmik yıldız sayı yoğunluğunu göstermektedir (Fenkart ve Karaali, 1990).

Tez çalışmasının ilk aşamasında Güneş'ten itibaren seçilen farklı uzaklık aralıklarındaki yıldız sayı yoğunluğunun değişimi incelenmiştir. Bunun için Güneş'ten 300 pc'lik mesafeye kadar

ardışık 25 pc'lik uzaklıklardaki yıldız sayıları ve ilgili uzaklık aralığındaki uzaysal hacim hesaplanmıştır. Ardından Bağıntı (4.5) kullanılarak uzaklık aralığındaki yıldız sayı yoğunluğu elde edilmiş ve bulgular hatalarıyla birlikte Tablo 4.4'te listelenmiştir. 12 farklı uzaklık aralığı için elde edilen uzay yoğunlukların uzaklık ile değişimi Şekil 4.16'da gösterilmiştir.

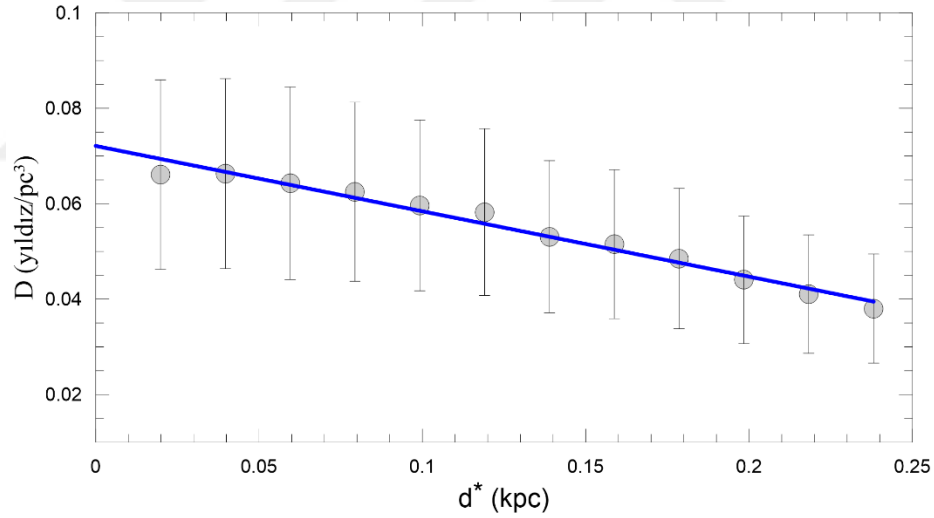
Tablo 4.4: Güneş'ten itibaren seçilen uzaklık aralıkları (d_1-d_2), bu uzaklıklara karşılık gelen ağırlık merkezleri (d^*), uzay hacimleri ($\Delta V_{1,2}$), yıldız sayıları (N) ve hesaplanan yıldız sayı yoğunlukları (D).

d_1-d_2	d^*	$\Delta V_{1,2}$	N	D
(pc)	(pc)	(pc ³ /10 ⁶)		(yıldız/pc ³)
0-25	20	0.07	4,324	0.066±0.019
0-50	40	0.52	34,695	0.066±0.019
0-75	60	1.77	113,556	0.064±0.019
0-100	79	4.19	261,657	0.062±0.018
0-125	99	8.18	487,680	0.059±0.017
0-150	119	14.14	822,825	0.058±0.017
0-175	139	22.45	1,191,018	0.053±0.015
0-200	159	33.51	1,725,224	0.051±0.015
0-225	179	47.71	2,313,461	0.048±0.014
0-250	198	65.45	2,881,190	0.044±0.013
0-275	218	87.11	3,574,324	0.041±0.012
0-300	238	113.1	4,299,000	0.038±0.011

Güneş civarındaki 300 pc'lik bir uzay hacmi için hesaplanan uzay yoğunlukları 0.066 ± 0.019 değerinden 0.038 ± 0.011 yıldız/pc³ değerine bir azalma göstermektedir. Fakat yıldız sayı yoğunluklarının 100 pc'lik uzaklığa kadar hemen hemen sabit bir değerde bulunduğu yoğunluktaki azalmanın özellikle 100 pc'ten sonra gerçekleştiği görülmektedir. Güneş civarındaki yıldız sayı yoğunluğunun uzaklık ile değişiminin doğrusal bir fit ile modellenilebileceği görülmüş ve en küçük kareler yöntemi kullanılarak $D = (-0.1362 \pm 0.0001) \times d^* + (0.072 \pm 0.001)$ bağıntısı elde edilmiştir. Bağıntının korelasyon katsayısı ve standart sapması, sırasıyla, $R^2 = 0.977$ ve $\sigma = 0.001$ olarak elde edilmiştir. Bağıntının $D^* = 0$ noktasına karşılık gelen 0.072 yıldız/pc³ değeri Güneş civarındaki anakol yıldızlarının yıldız sayı yoğunluğunu, -0.1362 değeri de kpc başına yıldız sayı yoğunluğundaki azalmayı göstermektedir.

Tez çalışmasının ikinci aşamasında Güneş civarındaki anakol yıldızlarının ışıma gücü fonksiyonlarının elde edilmesi hedeflenmiştir. Bu amaç için mutlak parlaklıkları $2 < M_G \leq 15$ kadir aralığındaki anakol yıldızı örneği $\sigma_{\odot}/\varpi \leq 0.01$, $\sigma_{\odot}/\varpi \leq 0.05$ ve $\sigma_{\odot}/\varpi \leq 0.10$ olmak üzere üç farklı rölatif paralaks hata grubunda toplanmıştır. Ardından her bir gruptaki anakol yıldızları $100 \leq d \leq 300$ pc aralığında 25 pc'lik ardışık uzaklık aralıklarına ayrılmıştır. Son aşamada

seçilen uzaklık aralıklarındaki yıldızlar, birim mutlak parlaklık aralıklarına ($\Delta M_g = 0.25$ kadar) ayrılarak her bir mutlak parlaklık aralığı için uzaysal yoğunluklar yani ışıma gücü fonksiyonu değerleri elde edilmiştir. Işıma gücü fonksiyonuna ait değerlerin hesaplanmasında bağıntılar (4.5, 4.6 ve 4.8) kullanılmıştır. Üç farklı rölatif paralaks hatası ($\sigma_\pi/\varpi \leq 0.01$, $\sigma_\pi/\varpi \leq 0.05$ ve $\sigma_\pi/\varpi \leq 0.10$) ve dokuz farklı uzaklık aralıkları ($100 \leq d \leq 300$ pc) için hesaplanan ışıma gücü değerleri, sırasıyla, Tablo 4.5, Tablo 4.6 ve Tablo 4.7’de listelenmiştir. Hesaplamalarda yıldızların parlak ve sönük tamlık sınırları dikkate alınmıştır. Elde edilen ışıma gücü fonksiyonları dokuz uzaklık aralığı için Şekil (4.17 – 4.25)’te gösterilmiştir. Literatürde uzaklığı 100 pc için verilen ışıma gücü fonksiyonu, ilgili grafiklerde siyah düz çizgiyle verilmiştir. Üç farklı rölatif paralaks hata oranını ($\sigma_\pi/\varpi \leq 0.01$, $\sigma_\pi/\varpi \leq 0.05$ ve $\sigma_\pi/\varpi \leq 0.10$) ifade eden gösterim sırasıyla yeşil, kırmızı ve mavi noktalar ile renklendirilmiştir. Ayrıca oluşturulan her bir diyagramda *Gaia* grubunun (*Gaia* işbirliği, 2021b) 100 pc için verdiği ışıma gücü değerleri siyah kalın çizgiyle gösterilmiştir.



Şekil 4.16: Güneş civarındaki anakol yıldızlarının uzay yoğunluğu diyagramı.

Rölatif paralaks hatası $\sigma_\pi/\varpi \leq 0.01$ olan duyarlı örnekteki yıldız sayılarının $\sigma_\pi/\varpi \leq 0.05$ ve $\sigma_\pi/\varpi \leq 0.10$ olan gruptakine göre daha az olması nedeniyle yıldızların uzaklık tamlıkları daha yakın hesaplanmıştır. Bu da duyarlı örnekteki yıldızların daha sınırlı bir mutlak parlaklık aralığı için ışıma gücü fonksiyonlarının elde edilmesine neden olmuştur. Genel olarak rölatif paralaks hatası $\sigma_\pi/\varpi \leq 0.05$ ve $\sigma_\pi/\varpi \leq 0.10$ aralığındaki yıldız sayıları birbirine yakın olduğundan hemen hemen benzer tayf türündeki yıldızlar için ışıma gücü fonksiyonları elde edilmiştir.

Tablo 4.5: Mutlak parlaklık aralığı $2 \leq M_G \leq 15$ ve rölatif paralaks hatası $\sigma_\pi/\varpi \leq 0.01$ koşulunu sağlayan anakol yıldız örneği için hesaplanan ışıma gücü fonksiyonu değerleri.

d(pc)	100	125	150	175	200	225	250	275	300
M _G (kadir)	Φ*	Φ*	Φ*	Φ*	Φ*	Φ*	Φ*	Φ*	Φ*
[2.00-2.25)	6.633	6.646	6.630	6.603	6.577	6.549	6.521	6.497	6.469
[2.25-2.50)	6.756	6.748	6.728	6.706	6.688	6.666	6.645	6.624	6.605
[2.50-2.75)	6.846	6.841	6.835	6.819	6.803	6.783	6.757	6.735	6.712
[2.75-3.00)	6.990	6.978	6.962	6.940	6.918	6.902	6.882	6.862	6.840
[3.00-3.25)	7.062	7.058	7.042	7.025	7.008	6.985	6.970	6.949	6.934
[3.25-3.50)	7.176	7.159	7.150	7.137	7.118	7.100	7.079	7.060	7.043
[3.50-3.75)	7.267	7.265	7.253	7.239	7.217	7.196	7.176	7.158	7.141
[3.75-4.00)	7.322	7.303	7.298	7.282	7.267	7.254	7.239	7.221	7.204
[4.00-4.25)	7.361	7.347	7.337	7.325	7.307	7.292	7.275	7.256	7.238
[4.25-4.50)	7.396	7.390	7.383	7.365	7.349	7.330	7.314	7.298	7.283
[4.50-4.75)	7.423	7.414	7.402	7.393	7.375	7.360	7.343	7.329	7.318
[4.75-5.00)	7.459	7.452	7.440	7.422	7.409	7.392	7.377	7.363	7.352
[5.00-5.25)	7.488	7.477	7.459	7.445	7.427	7.411	7.401	7.388	7.376
[5.25-5.50)	7.505	7.502	7.487	7.471	7.453	7.441	7.429	7.414	7.400
[5.50-5.75)	7.527	7.514	7.497	7.482	7.466	7.454	7.440	7.428	7.413
[5.75-6.00)	7.539	7.523	7.507	7.494	7.482	7.466	7.451	7.436	7.421
[6.00-6.25)	7.529	7.519	7.511	7.500	7.485	7.470	7.457	7.443	7.428
[6.25-6.50)	7.555	7.538	7.526	7.513	7.495	7.480	7.464	7.450	7.436
[6.50-6.75)	7.539	7.526	7.516	7.505	7.489	7.476	7.465	7.452	7.437
[6.75-7.00)	7.564	7.552	7.536	7.521	7.505	7.490	7.477	7.462	7.447
[7.00-7.25)	7.572	7.565	7.552	7.536	7.522	7.504	7.489	7.473	---
[7.25-7.50)	7.597	7.578	7.560	7.547	7.531	7.518	7.503	7.490	---
[7.50-7.75)	7.612	7.603	7.592	7.579	7.564	7.547	7.531	---	---
[7.75-8.00)	7.651	7.640	7.629	7.613	7.599	7.583	7.565	---	---
[8.00-8.25)	7.681	7.677	7.662	7.648	7.633	7.618	---	---	---
[8.25-8.50)	7.726	7.712	7.704	7.688	7.675	7.657	---	---	---
[8.50-8.75)	7.778	7.763	7.751	7.736	7.719	7.697	---	---	---
[8.75-9.00)	7.820	7.808	7.799	7.783	7.766	---	---	---	---
[9.00-9.25)	7.870	7.858	7.850	7.833	7.810	---	---	---	---
[9.25-9.50)	7.927	7.918	7.910	7.891	---	---	---	---	---
[9.50-9.75)	7.994	7.977	7.964	---	---	---	---	---	---
[9.75-10.00)	8.047	8.034	8.022	---	---	---	---	---	---
[10.00-10.25)	8.076	8.062	8.048	---	---	---	---	---	---
[10.25-10.50)	8.106	8.094	---	---	---	---	---	---	---
[10.50-10.75)	8.110	8.099	---	---	---	---	---	---	---
[10.75-11.00)	8.120	8.099	---	---	---	---	---	---	---
[11.00-11.25)	8.097	---	---	---	---	---	---	---	---
[11.25-11.50)	8.079	---	---	---	---	---	---	---	---
[11.50-11.75)	8.056	---	---	---	---	---	---	---	---
[11.75-12.00)	8.024	---	---	---	---	---	---	---	---
[12.00-12.25)	---	---	---	---	---	---	---	---	---
[12.25-12.50)	---	---	---	---	---	---	---	---	---
[12.50-12.75)	---	---	---	---	---	---	---	---	---
[12.75-13.00)	---	---	---	---	---	---	---	---	---
[13.00-13.25)	---	---	---	---	---	---	---	---	---
[13.25-13.50)	---	---	---	---	---	---	---	---	---
[13.50-13.75)	---	---	---	---	---	---	---	---	---
[13.75-14.00)	---	---	---	---	---	---	---	---	---
[14.00-14.25)	---	---	---	---	---	---	---	---	---
[14.25-14.50)	---	---	---	---	---	---	---	---	---
[14.50-14.75)	---	---	---	---	---	---	---	---	---
[14.75-15.00)	---	---	---	---	---	---	---	---	---

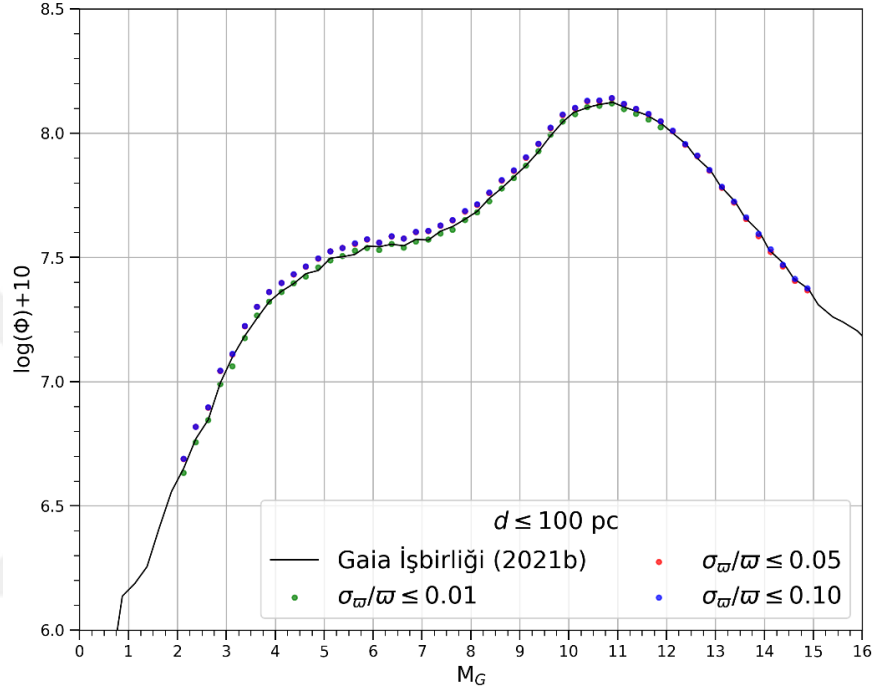
Tablo 4.6: Mutlak parlaklık aralığı $2 \leq M_G \leq 15$ ve rölatif paralaks hatası $\sigma_\pi/\varpi \leq 0.05$ koşulunu sağlayan anakol yıldız örneği için hesaplanan ışıma gücü fonksiyonu değerleri.

d(pc)	100	125	150	175	200	225	250	275	300
M _G (kadir)	Φ*	Φ*	Φ*	Φ*	Φ*	Φ*	Φ*	Φ*	Φ*
[2.00-2.25)	6.688	6.700	6.694	6.669	6.646	6.622	6.594	6.572	6.548
[2.25-2.50)	6.818	6.806	6.789	6.770	6.752	6.731	6.711	6.693	6.676
[2.50-2.75)	6.895	6.896	6.893	6.881	6.869	6.849	6.826	6.805	6.783
[2.75-3.00)	7.043	7.032	7.018	6.998	6.978	6.962	6.943	6.924	6.905
[3.00-3.25)	7.110	7.109	7.093	7.078	7.063	7.043	7.028	7.009	6.995
[3.25-3.50)	7.223	7.207	7.197	7.184	7.168	7.153	7.132	7.115	7.100
[3.50-3.75)	7.301	7.302	7.292	7.282	7.262	7.243	7.226	7.210	7.194
[3.75-4.00)	7.361	7.345	7.340	7.326	7.314	7.301	7.286	7.271	7.258
[4.00-4.25)	7.397	7.385	7.378	7.369	7.353	7.340	7.324	7.310	7.294
[4.25-4.50)	7.431	7.427	7.421	7.407	7.394	7.377	7.364	7.350	7.335
[4.50-4.75)	7.463	7.455	7.444	7.435	7.419	7.405	7.390	7.377	7.368
[4.75-5.00)	7.495	7.488	7.479	7.464	7.454	7.439	7.425	7.411	7.402
[5.00-5.25)	7.525	7.514	7.498	7.488	7.472	7.457	7.447	7.435	7.424
[5.25-5.50)	7.538	7.537	7.526	7.513	7.497	7.487	7.475	7.461	7.448
[5.50-5.75)	7.555	7.547	7.535	7.522	7.508	7.498	7.485	7.473	7.460
[5.75-6.00)	7.572	7.560	7.547	7.534	7.524	7.510	7.496	7.483	7.469
[6.00-6.25)	7.559	7.554	7.549	7.541	7.528	7.514	7.503	7.489	7.476
[6.25-6.50)	7.585	7.573	7.563	7.552	7.536	7.521	7.507	7.496	7.484
[6.50-6.75)	7.576	7.566	7.558	7.548	7.533	7.521	7.511	7.499	7.488
[6.75-7.00)	7.602	7.592	7.578	7.563	7.548	7.534	7.523	7.511	7.499
[7.00-7.25)	7.606	7.600	7.589	7.576	7.564	7.549	7.536	7.523	7.513
[7.25-7.50)	7.628	7.615	7.601	7.589	7.576	7.564	7.553	7.543	7.532
[7.50-7.75)	7.649	7.641	7.632	7.620	7.608	7.594	7.581	7.568	7.558
[7.75-8.00)	7.685	7.677	7.669	7.654	7.644	7.630	7.617	7.604	7.592
[8.00-8.25)	7.712	7.712	7.701	7.689	7.677	7.665	7.653	7.640	7.628
[8.25-8.50)	7.759	7.748	7.743	7.728	7.718	7.706	7.692	7.679	7.669
[8.50-8.75)	7.809	7.796	7.787	7.775	7.762	7.748	7.735	7.723	7.712
[8.75-9.00)	7.848	7.841	7.834	7.821	7.809	7.798	7.784	7.772	7.760
[9.00-9.25)	7.901	7.890	7.885	7.871	7.858	7.844	7.833	7.821	7.810
[9.25-9.50)	7.956	7.948	7.943	7.930	7.916	7.902	7.891	7.879	7.868
[9.50-9.75)	8.020	8.005	7.996	7.984	7.970	7.958	7.946	7.934	7.922
[9.75-10.00)	8.073	8.063	8.054	8.038	8.025	8.011	7.998	7.986	7.973
[10.00-10.25)	8.100	8.089	8.080	8.069	8.056	8.042	8.030	8.016	8.002
[10.25-10.50)	8.128	8.119	8.111	8.100	8.087	8.073	8.059	8.045	---
[10.50-10.75)	8.130	8.122	8.110	8.098	8.086	8.073	8.060	8.042	---
[10.75-11.00)	8.140	8.124	8.117	8.102	8.088	8.073	8.057	---	---
[11.00-11.25)	8.117	8.106	8.096	8.082	8.066	8.051	---	---	---
[11.25-11.50)	8.096	8.091	8.078	8.061	8.045	8.027	---	---	---
[11.50-11.75)	8.076	8.067	8.055	8.038	8.020	---	---	---	---
[11.75-12.00)	8.046	8.031	8.015	8.001	7.986	---	---	---	---
[12.00-12.25)	8.008	7.991	7.978	7.963	---	---	---	---	---
[12.25-12.50)	7.954	7.945	7.936	---	---	---	---	---	---
[12.50-12.75)	7.908	7.893	7.880	---	---	---	---	---	---
[12.75-13.00)	7.849	7.837	7.825	---	---	---	---	---	---
[13.00-13.25)	7.780	7.774	---	---	---	---	---	---	---
[13.25-13.50)	7.721	7.718	---	---	---	---	---	---	---
[13.50-13.75)	7.654	7.646	---	---	---	---	---	---	---
[13.75-14.00)	7.585	7.585	---	---	---	---	---	---	---
[14.00-14.25)	7.516	7.522	---	---	---	---	---	---	---
[14.25-14.50)	7.452	7.464	---	---	---	---	---	---	---
[14.50-14.75)	7.400	---	---	---	---	---	---	---	---
[14.75-15.00)	7.359	---	---	---	---	---	---	---	---

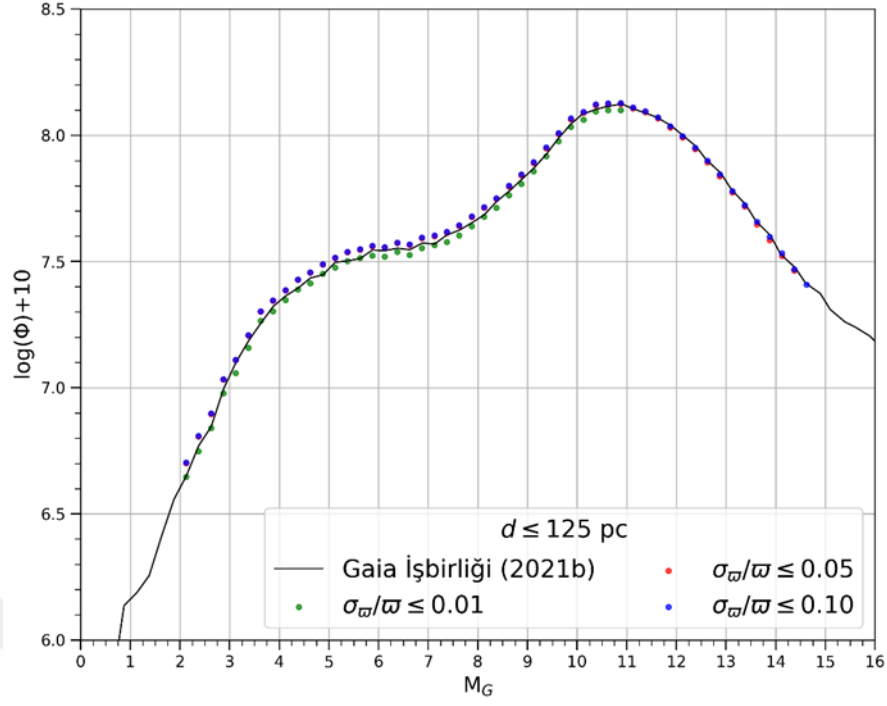
Tablo 4.7: Mutlak parlaklık aralığı $2 \leq M_G \leq 15$ ve rölatif paralaks hatası $\sigma_\varpi/\varpi \leq 0.10$ koşulunu sağlayan anakol yıldız örneği için hesaplanan ışıma gücü fonksiyonu değerleri.

d(pc)	100	125	150	175	200	225	250	275	300
M _G (kadir)	Φ*	Φ*	Φ*	Φ*	Φ*	Φ*	Φ*	Φ*	Φ*
[2.00-2.25)	6.690	6.703	6.698	6.675	6.651	6.628	6.600	6.578	6.555
[2.25-2.50)	6.819	6.810	6.791	6.773	6.756	6.736	6.716	6.698	6.682
[2.50-2.75)	6.897	6.899	6.896	6.884	6.873	6.854	6.831	6.810	6.788
[2.75-3.00)	7.045	7.034	7.021	7.002	6.982	6.967	6.948	6.929	6.910
[3.00-3.25)	7.111	7.111	7.095	7.081	7.067	7.047	7.032	7.014	7.000
[3.25-3.50)	7.224	7.208	7.199	7.187	7.172	7.157	7.136	7.119	7.104
[3.50-3.75)	7.302	7.303	7.294	7.285	7.265	7.247	7.230	7.215	7.200
[3.75-4.00)	7.361	7.346	7.341	7.328	7.316	7.304	7.290	7.275	7.262
[4.00-4.25)	7.397	7.387	7.380	7.371	7.357	7.344	7.329	7.315	7.300
[4.25-4.50)	7.433	7.429	7.424	7.410	7.397	7.381	7.369	7.355	7.341
[4.50-4.75)	7.464	7.457	7.447	7.439	7.423	7.410	7.395	7.383	7.374
[4.75-5.00)	7.496	7.489	7.481	7.468	7.458	7.444	7.430	7.417	7.408
[5.00-5.25)	7.525	7.515	7.501	7.491	7.476	7.462	7.453	7.442	7.431
[5.25-5.00)	7.539	7.539	7.529	7.517	7.502	7.492	7.481	7.467	7.455
[5.50-5.75)	7.557	7.549	7.539	7.526	7.513	7.504	7.491	7.480	7.467
[5.75-6.00)	7.573	7.562	7.550	7.539	7.529	7.516	7.503	7.490	7.476
[6.00-6.25)	7.560	7.557	7.552	7.545	7.533	7.521	7.509	7.496	7.484
[6.25-6.50)	7.586	7.575	7.566	7.556	7.541	7.526	7.513	7.502	7.491
[6.50-6.75)	7.576	7.568	7.561	7.553	7.539	7.527	7.517	7.506	7.495
[6.75-7.00)	7.603	7.595	7.582	7.569	7.554	7.540	7.529	7.518	7.507
[7.00-7.25)	7.607	7.603	7.593	7.581	7.569	7.555	7.543	7.531	7.521
[7.25-7.50)	7.629	7.618	7.605	7.594	7.581	7.570	7.560	7.551	7.540
[7.50-7.75)	7.651	7.643	7.637	7.626	7.615	7.601	7.589	7.577	7.567
[7.75-8.00)	7.687	7.680	7.673	7.659	7.649	7.637	7.625	7.613	7.601
[8.00-8.25)	7.714	7.716	7.706	7.695	7.684	7.672	7.661	7.649	7.638
[8.25-8.50)	7.761	7.751	7.748	7.734	7.725	7.714	7.701	7.688	7.679
[8.50-8.75)	7.812	7.800	7.793	7.782	7.769	7.756	7.744	7.732	7.722
[8.75-9.00)	7.850	7.845	7.840	7.828	7.817	7.807	7.793	7.782	7.771
[9.00-9.25)	7.903	7.894	7.891	7.879	7.866	7.853	7.842	7.832	7.821
[9.25-9.50)	7.958	7.952	7.949	7.937	7.924	7.910	7.900	7.889	7.879
[9.50-9.75)	8.022	8.009	8.002	7.991	7.978	7.966	7.956	7.944	7.933
[9.75-10.00)	8.075	8.067	8.059	8.045	8.033	8.020	8.008	7.996	7.984
[10.00-10.25)	8.102	8.093	8.086	8.076	8.064	8.051	8.039	8.027	8.015
[10.25-10.50)	8.130	8.123	8.117	8.107	8.095	8.082	8.069	8.056	8.044
[10.50-10.75)	8.133	8.127	8.116	8.105	8.095	8.082	8.071	8.058	8.045
[10.75-11.00)	8.141	8.128	8.122	8.110	8.096	8.082	8.069	8.057	8.044
[11.00-11.25)	8.119	8.111	8.103	8.090	8.075	8.062	8.050	8.037	8.024
[11.25-11.50)	8.099	8.095	8.084	8.069	8.054	8.040	8.028	8.015	8.000
[11.50-11.75)	8.078	8.072	8.062	8.047	8.032	8.019	8.006	7.992	7.970
[11.75-12.00)	8.049	8.037	8.023	8.012	8.001	7.990	7.977	7.959	---
[12.00-12.25)	8.011	7.997	7.987	7.975	7.966	7.953	7.937	---	---
[12.25-12.50)	7.956	7.950	7.944	7.929	7.919	7.906	---	---	---
[12.50-12.75)	7.911	7.900	7.890	7.880	7.868	7.846	---	---	---
[12.75-13.00)	7.853	7.846	7.839	7.829	7.811	---	---	---	---
[13.00-13.25)	7.784	7.779	7.777	---	---	---	---	---	---
[13.25-13.50)	7.725	7.724	7.714	---	---	---	---	---	---
[13.50-13.75)	7.661	7.657	7.647	---	---	---	---	---	---
[13.75-14.00)	7.595	7.597	7.584	---	---	---	---	---	---
[14.00-14.25)	7.533	7.533	7.516	---	---	---	---	---	---
[14.25-14.05)	7.471	7.469	---	---	---	---	---	---	---
[14.50-14.75)	7.414	7.409	---	---	---	---	---	---	---
[14.75-15.00)	7.375	---	---	---	---	---	---	---	---

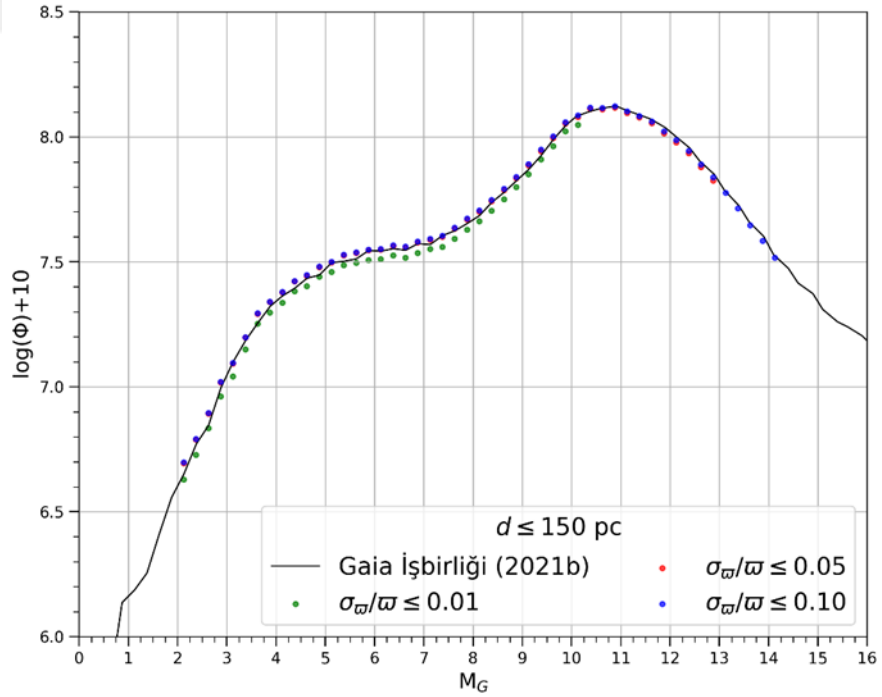
Dokuz farklı uzaklık aralığı için elde edilen ışıma gücü fonksiyonları incelendiğinde *Gaia* grubunun (*Gaia* işbirliği, 2021b) 100 pc için belirlediği ışıma gücü fonksiyonunun tez çalışmasında $d \leq 175$ pc'e kadar uyumlu olduğu, bu uzaklığın ötesindeki anakol yıldızlarından hesaplanan ışıma gücü fonksiyonlarının ise sistematik olarak daha küçük değerlerde bulunduğu tespit edilmiştir.



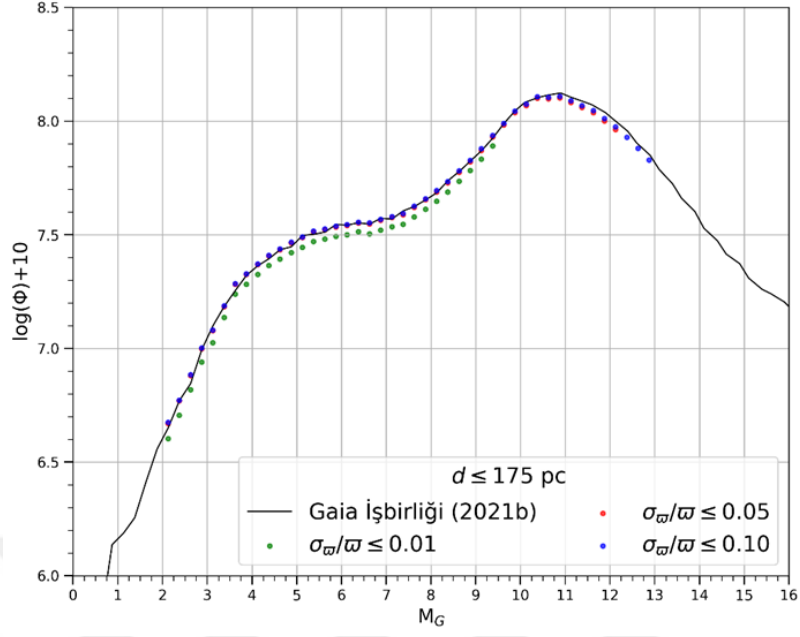
Şekil 4.17: Uzaklığı $d \leq 100$ pc ve mutlak parlaklığı $2 < M_G \leq 15$ kadir aralığındaki anakol yıldızlarının üç farklı rölatif paralaks hatası ($\sigma_\pi/\pi \leq 0.01$, $\sigma_\pi/\pi \leq 0.05$, $\sigma_\pi/\pi \leq 0.10$) için hesaplanmış ışıma gücü fonksiyonları.



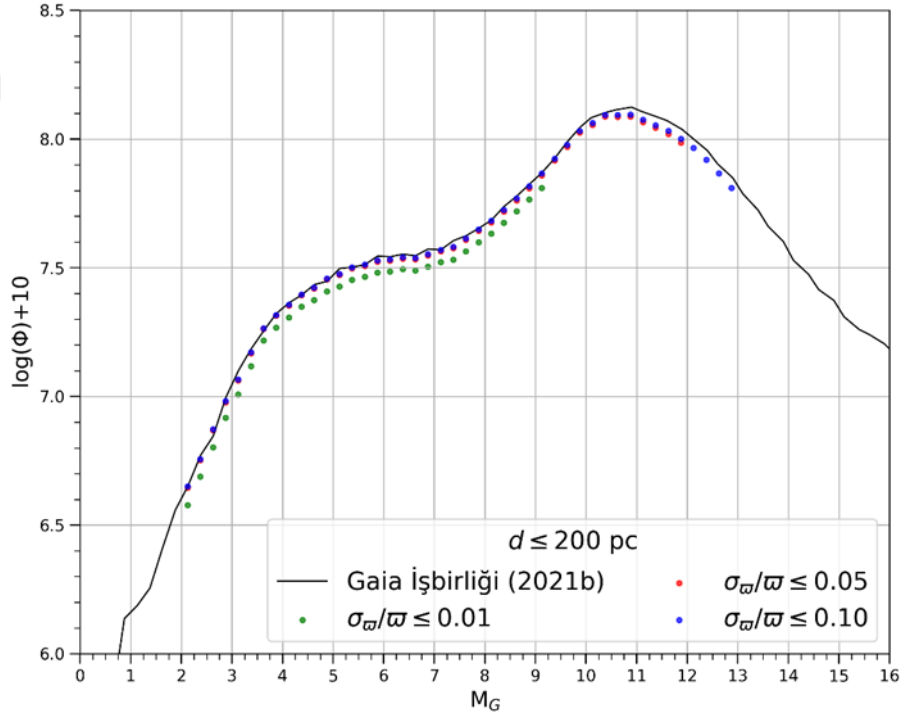
Şekil 4.18: Uzaklığı $d \leq 125 \text{ pc}$ ve mutlak parlaklığı $2 < M_G \leq 15$ kadir aralığındaki anakol yıldızlarının üç farklı rölatif paralaks hatası ($\sigma_{\pi}/\pi \leq 0.01$, $\sigma_{\pi}/\pi \leq 0.05$, $\sigma_{\pi}/\pi \leq 0.10$) için hesaplanmış ışıma gücü fonksiyonları.



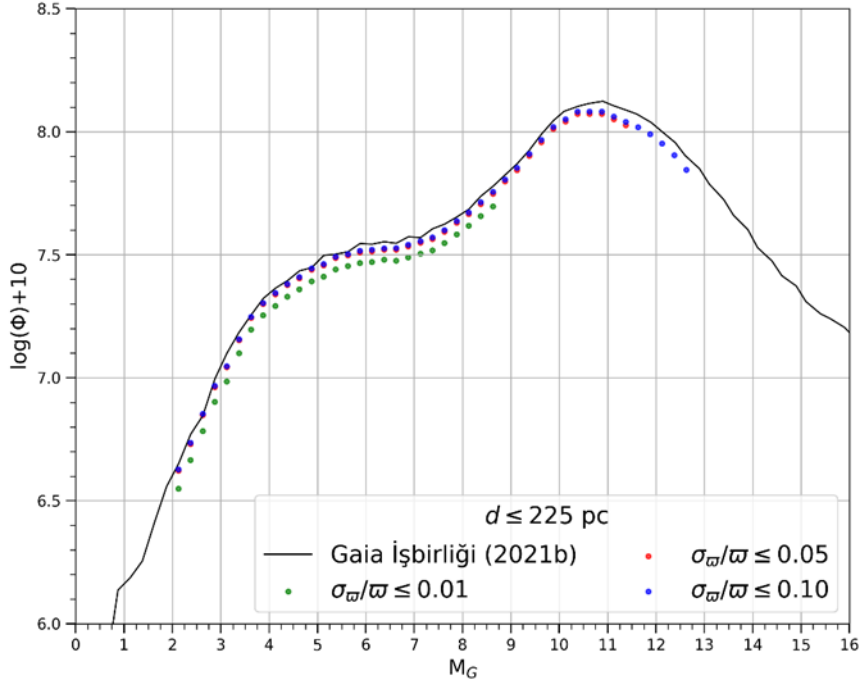
Şekil 4.19: Uzaklığı $d \leq 150 \text{ pc}$ ve mutlak parlaklığı $2 < M_G \leq 15$ kadir aralığındaki anakol yıldızlarının üç farklı rölatif paralaks hatası ($\sigma_{\pi}/\pi \leq 0.01$, $\sigma_{\pi}/\pi \leq 0.05$, $\sigma_{\pi}/\pi \leq 0.10$) için hesaplanmış ışıma gücü fonksiyonları.



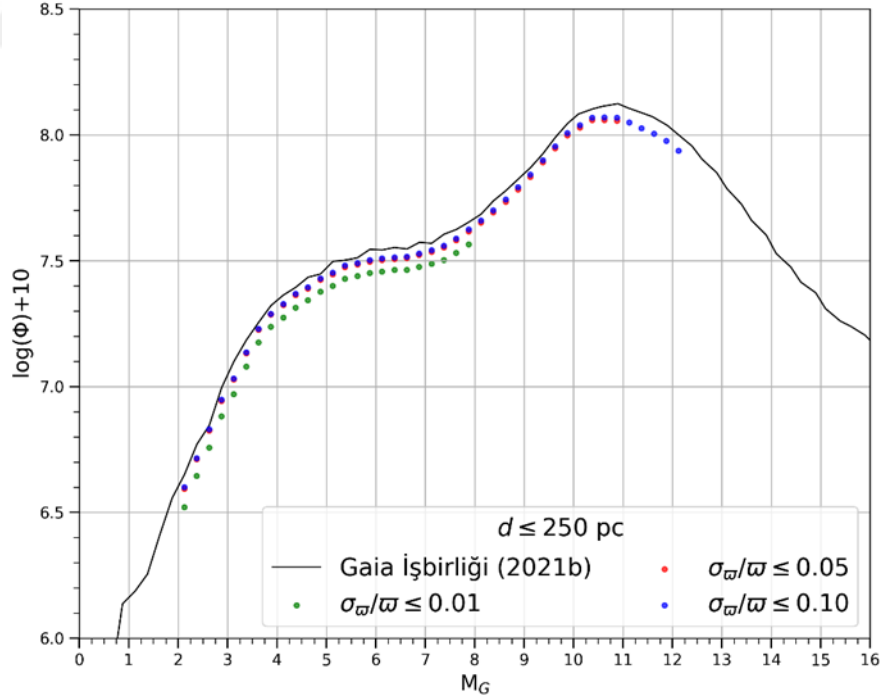
Şekil 4.20: Uzaklığı $d \leq 175$ pc ve mutlak parlaklığı $2 < M_G \leq 15$ kadir aralığındaki anakol yıldızlarının üç farklı rölatif paralaks hatası ($\sigma_{\varpi}/\varpi \leq 0.01$, $\sigma_{\varpi}/\varpi \leq 0.05$, $\sigma_{\varpi}/\varpi \leq 0.10$) için hesaplanmış ışıma gücü fonksiyonları.



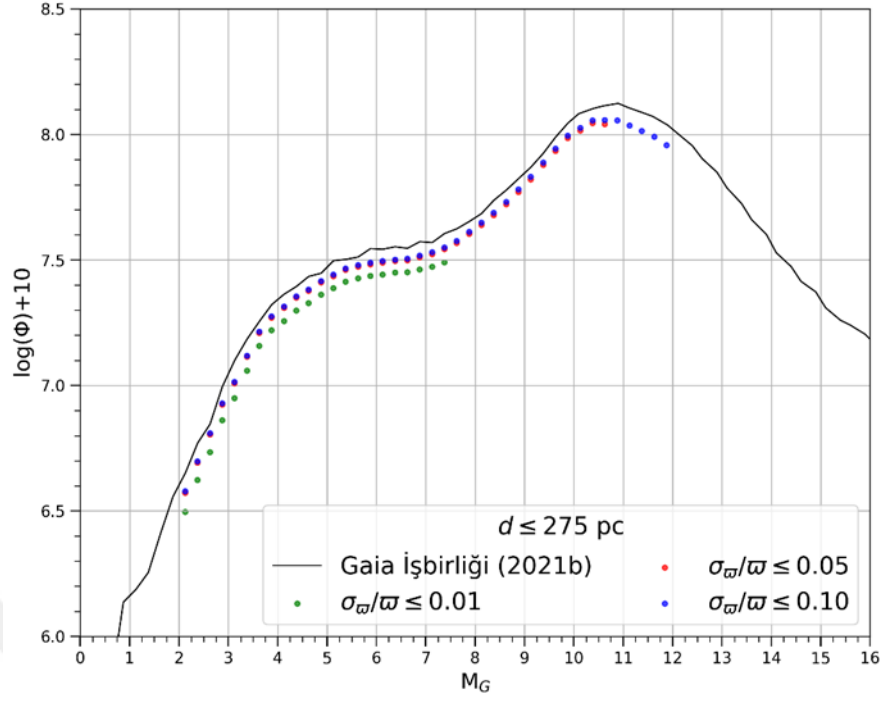
Şekil 4.21: Uzaklığı $d \leq 200$ pc ve mutlak parlaklığı $2 < M_G \leq 15$ kadir aralığındaki anakol yıldızlarının üç farklı rölatif paralaks hatası ($\sigma_{\varpi}/\varpi \leq 0.01$, $\sigma_{\varpi}/\varpi \leq 0.05$, $\sigma_{\varpi}/\varpi \leq 0.10$) için hesaplanmış ışıma gücü fonksiyonları.



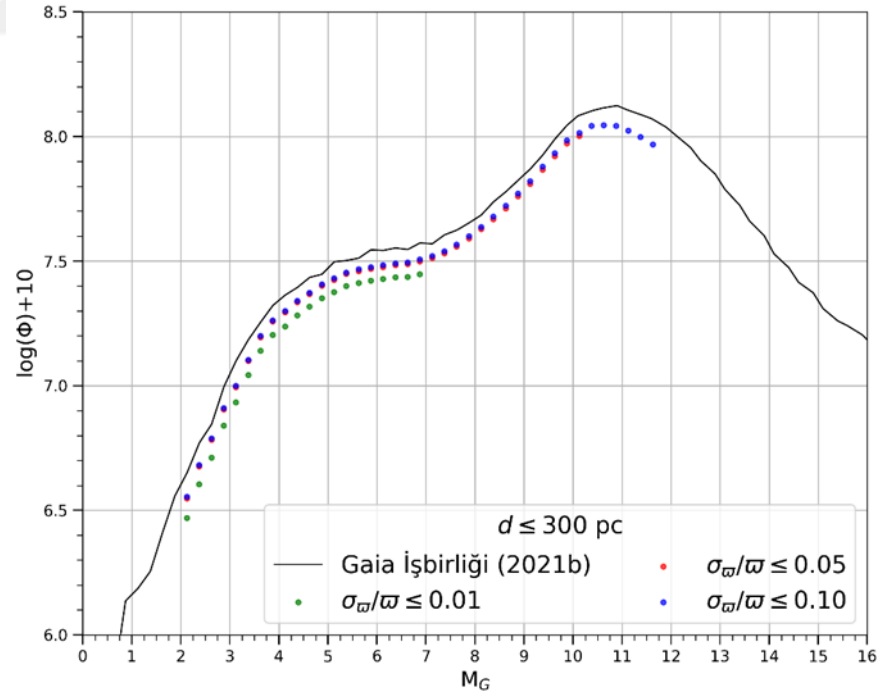
Şekil 4.22: Uzaklığı $d \leq 225$ pc ve mutlak parlaklığı $2 < M_G \leq 15$ kadir aralığındaki anakol yıldızlarının üç farklı rölatif paralaks hatası ($\sigma_\pi/\pi \leq 0.01$, $\sigma_\pi/\pi \leq 0.05$, $\sigma_\pi/\pi \leq 0.10$) için hesaplanmış ışıma gücü fonksiyonları.



Şekil 4.23: Uzaklığı $d \leq 250$ pc ve mutlak parlaklığı $2 < M_G \leq 15$ kadir aralığındaki anakol yıldızlarının üç farklı rölatif paralaks hatası ($\sigma_\pi/\pi \leq 0.01$, $\sigma_\pi/\pi \leq 0.05$, $\sigma_\pi/\pi \leq 0.10$) için hesaplanmış ışıma gücü fonksiyonları.



Şekil 4.24: Uzaklığı $d \leq 275$ pc ve mutlak parlaklığı $2 < M_G \leq 15$ kadir aralığındaki anakol yıldızlarının üç farklı rölatif paralaks hatası ($\sigma_\pi/\pi \leq 0.01$, $\sigma_\pi/\pi \leq 0.05$, $\sigma_\pi/\pi \leq 0.10$) için hesaplanmış ışıma gücü fonksiyonları.



Şekil 4.25: Uzaklığı $d \leq 300$ pc ve mutlak parlaklığı $2 < M_G \leq 15$ kadir aralığındaki anakol yıldızlarının üç farklı rölatif paralaks hatası ($\sigma_\pi/\pi \leq 0.01$, $\sigma_\pi/\pi \leq 0.05$, $\sigma_\pi/\pi \leq 0.10$) için hesaplanmış ışıma gücü fonksiyonları.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu tez çalışmasında, farklı uzaklık ve farklı rölatif paralaks hatasına sahip anakol yıldızlarından Güneş civarı için yıldız sayı yoğunluğu ve ışıma gücü fonksiyonları elde edilmiştir. Bu amaç doğrultusunda, öncelikle Güneş merkezli 1 kpc'lik uzaklık içinde rölatif paralaks hatası $\sigma_{\varpi}/\varpi \leq 0.10$ olan yıldızların fotometrik ve astrometrik verileri *Gaia* EDR3 (*Gaia* işbirliği, 2021a) kataloğundan seçilmiştir. Bu sınırlamalar çerçevesinde farklı ışıma gücü sınıfında bulunan 41,848,305 yıldıza ulaşılmıştır. Fotometrik veriler toz haritaları yardımıyla yıldızlararası ortamın neden olduğu sönükleşme etkilerinden arındırılmıştır. Galaksi sınırına kadar ölçülen sönükleşme değerleri, yıldızların Galaktik koordinatları ve trigonometrik paralaks verilerinden hesaplanan uzaklıkları dikkate alınarak Bahcall ve Soneira'nın (1980) bağıntısı yardımıyla yıldız uzaklığına indirgenmiştir. Yıldızların *Gaia* görünen parlaklıkları (G), renk artıkları ($E(G_{BP}-G_{RP})$) ve trigonometrik paralaks (ϖ) verileri uzaklık bağıntısında kullanılarak G bandındaki mutlak parlaklıkları (M_G) tayin edilmiştir. Farklı ışıma gücü sınıfındaki yıldızların seçimi için $M_G \times (G_{BP}-G_{RP})$ renk-parlaklık diyagramı oluşturulmuştur. İnce disk popülasyonunu temsil eden PARSEC eş-yaş eğrileri (Bressan ve diğ., 2012) oluşturulan renk-parlaklık diyagramına eklenmiş ve eş-yaş eğrileri çift yıldız etkisini içerecek şekilde kaydırılarak anakol bandı belirlenmiştir. Anakol bandı içinde bulunan 38,953,784 nesne, çalışmada analiz edilmek üzere *anakol yıldızı* olarak seçilmiştir. Mutlak parlaklıkları $2 < M_G \leq 15$ kadir aralığında toplanan anakol yıldızlarının A1 ile M9 tayf türü aralığında bulunduğu tespit edilmiştir.

Güneş civarındaki anakol yıldızlarının sayı yoğunluğu ve ışıma gücü fonksiyonlarının elde edilmesinde farklı uzaklık aralıkları ve rölatif paralaks hataları dikkate alınmıştır. Yıldızlar 100 ile 300 pc aralığında 25 pc'lik dokuz uzaklık aralığında ve rölatif paralaks hatası $\sigma_{\varpi}/\varpi \leq 0.01$, $\sigma_{\varpi}/\varpi \leq 0.05$ ve $\sigma_{\varpi}/\varpi \leq 0.10$ olan üç farklı aralık için incelenmiştir. Söz konusu rölatif paralaks hatalarına karşılık gelen yıldız sayıları, sırasıyla, 5,349,224, 26,536,282 ve 38,953,783 olarak belirlenmiştir. Uzaklık ve rölatif paralaks hatalarına ayrılan örneğin uzaklık tamlıklarının belirlenmesinde $M_G \times d$ düzlemi üzerinde sönükleşmeden arındırılmış G_0 parlaklıkları dikkate alınmıştır. $M_G \times d$ düzlemi üzerindeki yıldızlar parlak ve sönük G_0 limit parlaklık eğrileri birim mutlak parlaklık aralıklarıyla kesiştirilerek uzaklık limitleri yani tamlık uzaklıkları tayin edilmiştir.

Verilerin analizlere hazır hale getirilmesinden sonra rölatif paralaks hatası $\sigma_{\pi}/\pi \leq 0.10$ olan büyük örnek için farklı uzaklık aralıklarına karşılık gelen uzay yoğunlukları elde edilmiştir. Güneş'ten 150 pc uzaklığa kadar ki yıldızlar dikkate alındığında yıldız sayı yoğunluğunun yaklaşık 0.063 yıldız/pc³ civarında hemen hemen sabit bir değerde bulunduğu tespit edilmiştir. Daha büyük uzaklıklara gidildikçe uzaysal yoğunlukta doğrusal bir azalma bulunduğu görülmüştür. Güneş'ten 300 pc'lik uzaklığa kadar yapılan analizlerde uzay yoğunluğunun doğrusal bir fit ile ifade edilebileceği belirlenmiştir. Doğrusal fitin sabit değeri Güneş civarındaki yıldız sayı yoğunluğu göstermekte olup tez çalışmasında 0.072 ± 0.001 yıldız/pc³ olarak elde edilmiştir. Bu değer *Gaia* konsorsiyumun *Gaia* EDR3 (*Gaia* işbirliği, 2021b) verileriyle Güneş civarı için 100 pc'e kadar yapılan analizlerden elde ettikleri 0.081 ± 0.003 yıldız/pc³ değerden bir miktar küçüktür. Bu farklılığın temel nedeni *Gaia* konsorsiyumunun incelediği yıldızların rölatif paralaks hatalarına bir sınırlama getirmediği ve HR diyagramı üzerinde anakol yıldızlarının seçiminde daha kaba kriterler kullanmalarından kaynaklanmaktadır.

Tez çalışmasında anakol yıldızların ışıma gücü fonksiyonlarının elde edilmesinde, literatürden farklı olarak, yıldız uzaklıkları ve rölatif paralaks hataları dikkate alınmıştır. Bu amaç için, yıldızların uzay yoğunluk hesaplamalarında kullanıldığı gibi, yıldızlar 100 ile 300 pc aralığında 25 pc'lik dokuz uzaklık aralığında ve rölatif paralaks hatası $\sigma_{\pi}/\pi \leq 0.01$, $\sigma_{\pi}/\pi \leq 0.05$ ve $\sigma_{\pi}/\pi \leq 0.10$ olan üç farklı aralık için incelenmiştir. Her bir uzaklık ve rölatif paralaks hata aralığındaki yıldızların tamlık sınırları belirlendikten sonra birim mutlak parlaklık aralığındaki yıldız sayısı belirlenerek bağlı bulundukları uzay hacmine oranlanarak uzay yoğunlukları tayin edilmiştir. Uzaklık ve rölatif paralaks hatalarına göre oluşturulan ışıma gücü fonksiyonları *Gaia* konsorsiyumunun (*Gaia* işbirliği, 2021b) 100 pc için hesapladığı ışıma gücü fonksiyonuyla karşılaştırılarak tez çalışmasında rölatif paralaks hatası $\sigma_{\pi}/\pi \leq 0.10$, $d \leq 175$ pc ve mutlak parlaklığı $2 \leq M_G \leq 13$ kadir aralığındaki (tayf türü A1 – M6) örnek ile temsil edilebileceği gösterilmiştir.

Bu çalışma sayesinde anakol yıldızlarının uzay yoğunlukları ve ışıma gücü fonksiyonları 300 pc'e kadar analiz edilmiştir. *Gaia* uydusuyla yapılacak yeni gözlemlerde artan veriyle birlikte daha duyarlı fotometrik ve astrometrik sonuçların elde edilmesi söz konusudur. Bu da Güneş civarında anakol yıldızları dışında farklı ışıma gücünde bulunan yıldız grupları için daha duyarlı uzay yoğunluklarının ve ışıma gücü fonksiyonlarının belirlenmesine fırsat verecektir. |

KAYNAKLAR

- [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.
- Alard, C., 2001, Another Bar in the Bulge, *Astronomy and Astrophysics*, 379, L44-L47.
- Andrae, R., Morgan, F., Orlagh, C., ve diğ., 2018, Gaia Data Release 2. First Stellar Parameters from Apsis, *Astronomy and Astrophysics*, 616, id. A8, 29.
- Arce, H. G., Goodman, A. A., 1999, An Extinction Study of the Taurus Dark Cloud Complex, *The Astrophysical Journal*, 517, 264-281.
- Baade, W., 1946, A Search for the Nucleus of Our Galaxy, *Publications of the ASP*, 58, 249-252.
- 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.
- Becker, W., 1965, Versuch einer empirischen Bestimmung der Sterndichte im Galaktischen Halo mit Hilfe der Dreifarben-Photometrie. Mit 20 Textabbildungen-Zeitschrift für Astrophysik, 62, 54.
- Beers, T. C., Carollo, D., Ivezic, Z., ve diğ., 2012, The Case for the Dual Halo of the Milky Way, *The Astrophysical Journal*, 746, article id. 34, 23.
- Benjamin, R. A., Churchwell, E., Babler, B. L., ve diğ., 2005, First GLIMPSE Results on the Stellar Structure of the Galaxy, *The Astrophysical Journal*, 630, 149-152.
- Bensby, T., Feltzing, S., Lundström, I., 2003, Elemental Abundance Trends in the Galactic Thin and Thick Disks As Traced by Nearby F and G Dwarf Stars, *Astronomy and Astrophysics*, 410, 527-551.
- Bensby, T., Feltzing, S., Lundström, I., Ilyin, I., 2005, α -, r-, and s-process Element Trends in the Galactic Thin and Thick Disks, *Astronomy and Astrophysics*, 433, 185-203.
- Bertelli, G., Bressan, A., Chiosi, C., Fagotto, F., Nasi, E., 1994, Theoretical Isochrones from Models with New Radiative Opacities, *Astronomy and Astrophysics Supplement Series*, 106, 275-302.
- Bessell, M. S., 2005, Standard Photometric Systems, *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 43, 293-336.
- Bressan, A., Fagotto, F., Bertelli, G., Chiosi, C., 1993, Evolutionary Sequences of Stellar Models with New Radiative Opacities. II. $Z = 0.02$, *Astronomy and Astrophysics Supplement Series*, 100, 647-664.

- Bressan, A., Marigo, P., Girardi, L., Salasnich, B., Dal Cero, C., Rubele, S., Nanni, A., 2012, PARSEC: Stellar Tracks and Isochrones with the PAdova and TRieste Stellar Evolution Code, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 427, 127-145.
- Bienayme, O., Sechaud, N., 1997, Stellar Kinematics in the Solar Neighbourhood and the Disc Scale Lengths of the Galaxy, *Astronomy and Astrophysics*, 323, 781-788.
- Bilir, S., Karaali, S., Ak, S., Yaz, E., Hamzaoglu, E., 2006a, Galactic Longitude Dependent Galactic Model Parameters, *New Astronomy*, 12, 3, 234-245.
- Bilir, S., Karaali, S., Gilmore, G., 2006b, 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., Cabrera-Lavers, A., Karaali, S., Ak, S., Yaz, E., López-Corredoira, M., 2008, Estimation of Galactic Model Parameters in High Latitudes with SDSS, *Publications of the Astronomical Society of Australia*, 25, 69-84.
- Biller, B. A., Close, L. M., Masciadri, E., ve diğ., 2007, An Imaging Survey for Extrasolar Planets around 45 Close, Young Stars with the Simultaneous Differential Imager at the Very Large Telescope and MMT, *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 173, 143-165.
- Binney, J., Merrifield M., 1998, *Galactic Astronomy*, Galactic Astronomy / James Binney and Michael Merrifield. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Bournaud, F., Combes, F., 2002, Gas Accretion on Spiral Galaxies: Bar Formation and Renewal, *Astronomy and Astrophysics*, 392, 83-102.
- Bovy J., Rix H.-W., Liu C., Hogg D. W., Beers T. C., Lee Y. S., 2012, The Spatial Structure of Mono-abundance Sub-populations of the Milky Way Disk, *The Astrophysical Journal*, 753, 148.
- Cardelli, J. A., Clayton, G.C., Mathis, J. S., 1989, The Relationship between Infrared, Optical and Ultraviolet Extinction, *Astrophysical Journal*, 345, 245-256.
- Carney, B. W., Latham, D. W., Laird, J. B., 1990, A Survey of Proper-Motion Stars. X - The Early Evolution of the Galaxy's Halo, 99, 572-589.
- Carollo, D., Beers, T. C., Lee, Y. S., ve diğ., 2007, Two Stellar Components in the Halo of the Milky Way, *Nature*, 450, 7172, 1020-1025.
- Carollo, D., Beers, T. C., Chiba, M., ve diğ., 2010, Structure and Kinematics of the Stellar Halos and Thick Disks of the Milky Way Based on Calibration Stars from Sloan Digital Sky Survey DR7, *The Astrophysical Journal*, 712, 692-727.
- Chen, Y., Bressan, A., Girardi, L., ve diğ., 2015, PARSEC Evolutionary Tracks of Massive Stars up to $350 M_{\odot}$ at Metallicities $0.0001 \leq Z \leq 0.04$, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 452, 1068.

- Cox, A. N., 2000, *Allen's Astrophysical Quantities*, Allen's Astrophysical Quantities, 4th ed. Publisher: New York: AIP Press, Springer, Edit by Arthur N. Cox. ISBN: 0387987460.
- Cruz, K.L., Reid, I. N., Liebert, J., Kirkpatrick, J. D., Lowrance, P. J., 2003, Meeting the Cool Neighbors. V. A 2MASS-Selected Sample of Ultracool Dwarfs, *The Astronomical Journal*, 126, 2421-2448.
- Cunha, K., Smith, V., V., 2006, Chemical Evolution of the Galactic Bulge as Derived from High-Resolution Infrared Spectroscopy of K and M Red Giants, *The Astrophysical Journal*, 651, 491-501.
- Cutri, R. M., Skrutskie, M. F., van Dyk, S., ve diğ., 2003, 2MASS All Sky Catalog of Point Sources, The IRSA 2MASS All-Sky Point Source Catalog, NASA/IPAC Infrared Science Archive.
- Dreyer, J. E. L., 1952, *History of Planetary System from Thales to Kepler*, Cambridge University Press, 112.
- Dwek, E., Arendt, R. G., Hauser, M. G., ve diğ., 1995, Morphology, Near-infrared Luminosity, and Mass of the Galactic Bulge from COBE DIRBE Observations, *Astrophysical Journal*, 445, 716.
- 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.
- ESA, 1997, *The HIPPARCOS and TYCHO Catalogues*. Astrometric and Photometric Star Catalogues Derived from the ESA HIPPARCOS Space Astrometry Mission, Publisher: Noordwijk, Netherlands: ESA Publications Division, Series: ESA SP Series, 1200, ISBN: 9290923997.
- Fagotto, F., Bressan, A., Bertelli, G., Chiosi, C., 1994, Evolutionary Sequences of Stellar Models with Very High Metallicity. V. $Z=0.1$, *Astronomy and Astrophysics Supplement Series*, 105, 39-45.
- Fenkart, R., Karaali, S., 1990, Model-Compared RGU-Photometric Space-Densities in the Direction to M5 ($l=4$, $b=47$), *Astronomy and Astrophysics, Supplement Series*, 83, 481.
- Friel, E., Cayrel de Strobel, G., Chmielewski, Y., Spite, M., Lebre, A., Bentolila, C., 1993, In Search of Real Solar Twins. III., *Astronomy and Astrophysics*, 274, 825-837.
- Fuhrmann, K., 1998, Nearby Stars of the Galactic Disk and Halo, *Astronomy and Astrophysics*, 338, 161-183.
- Gaia işbirliği, Brown, A. G. A., Vallenari, A., ve diğ., 2016, Gaia Data Release 1. Summary of the Astrometric, Photometric, and Survey Properties, *Astronomy and Astrophysics*, 595, id. A2, 23.
- Gaia işbirliği, Brown, A. G. A., Vallenari, A., ve diğ., 2018a, Gaia Data Release 2. Summary of the Contents and Survey Properties, *Astronomy and Astrophysics*, 616, id. A1, 22.

- Gaia işbirliği, 2018b, VizieR Online Data Catalog: Gaia DR2, VizieR On-line Data Catalog: I/345. Originally published in: 2018A&A...616A...1G;doi:10.5270/esa-yys.
- Gaia işbirliği, Babusiaux, C., van Leeuwen, F., ve diğ., 2018c, Gaia Data Release 2. Observational Hertzsprung-Russell Diagrams, *Astronomy and Astrophysics*, 616, id. A10, 29.
- Gaia işbirliği, Brown, A. G. A., Vallenari, A., ve diğ., 2021a, Gaia Early Data Release 3. Summary of the Contents and Survey Properties, *Astronomy and Astrophysics*, 649, id. A1, 20.
- Gaia işbirliği, Smart, R. L., Sarro, L. M., ve diğ., 2021b, Gaia Early Data Release 3. The Gaia Catalogue of Nearby Stars, *Astronomy and Astrophysics*, 649, id. A6, 44.
- Ghez, A. M., Salim, S., Weinberg, N. N., ve diğ., 2008, Measuring Distance and Properties of the Milky Way's Central Supermassive Black Hole with Stellar Orbits, *The Astrophysical Journal*, 689, 1044-1062.
- 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., Wyse, R. F. G., 1984, Metallicity of the Galactic Spheroid, *Bulletin of the American Astronomical Society*, 16, 407.
- Gilmore, G., Wyse, R. F. G., 1989, Structure and Evolution of the Milky way Galaxy, *The Use of Pulsating Stars in Fundamental Problems of Astronomy*, *Proceedings of IAU Colloq. 111*, held in Lincoln, NE, 15-17 August 1988. Edited by E.G. Schmidt. Cambridge Univ. Press, 1989, 83.
- Gizis, J. E., Reid I. N., 1999, M Subdwarfs: The Population II Luminosity Function, *The Astronomical Journal*, 117, 508-520.
- Gliese, W., 1957, *Astronomisches Rechen-Institut Heidelberg Mitteilungen Serie A*, 8, 1.
- Gliese, W., Jahreiß, H., 1991, Preliminary Version of the Third Catalogue of Nearby Stars, On: *The Astronomical Data Center CD-ROM: Selected Astronomical Catalogs*.
- Gould, B. A., 1874, On the Number and Distribution of the Bright Fixed Stars, *The American Journal of Science and Arts (Third Series)*, 8, 325-334.
- Grenier, I. A., 2004, The Gould Belt, Star Formation, and the Local Interstellar Medium, eprint arXiv:astro-ph/0409096.
- Großschedl, J. E., Alves, J., Meingast, S., Hasenberger, B., 2018, 3D Shape of Orion A with Gaia DR2 An Informed View on Star Formation Rates and Efficiencies, *Origins: From the Protosun to the First Steps of Life. Proceedings of the International Astronomical Union*, 345, 27-33.

- Guillout, P., Sterzik, M. F., Schmitt, J. H. M. M., Motch, C., Neuhaeuser, R., 1998, Discovery of a Late-type Stellar Population Associated with the Gould Belt, *Astronomy and Astrophysics*, 337, 113-124.
- Haywood, M., Di Matteo, P., Lehnert, M. D., Katz, D., Gómez, A., 2013, The Age Structure of Stellar Populations in the Solar Vicinity. Clues of a Two-Phase Formation History of the Milky Way Disk, *Astronomy and Astrophysics*, 560, id.A 109, 18.
- Henry, T. J., Franz, O. G., Wasserman, L. H., ve diğ., 1999, The Optical Mass-Luminosity Relation at the End of the Main Sequence (0.08-0.20 Msolar), *The Astrophysical Journal*, 512, 864-873.
- Hog, E., Fabricius, C., Makarov, V. V., ve diğ., 2000, The Tycho-2 Catalogue of the 2.5 Million Brightest Stars, *Astronomy and Astrophysics*, 355, 27-30.
- Johnson, J. A., Butler, R. P., Marcy, G. W., ve diğ., 2007, *The Astrophysical Journal*, 670, 833.
- Jordi, C., Gebran, M., Carrasco, J. M., ve diğ., 2010, Gaia Broad Band Photometry, *Astronomy and Astrophysics*, 523, 48.
- Jurić, M., Ivezić, Ž., Brooks, A., ve diğ., 2008, The Milky Way Tomography with SDSS. I. Stellar Number Density Distribution, *The Astrophysical Journal*, 673, 864-914.
- Karaali, S., Karataş, Y., Bilir, S., Ak, S. G., Hamzaoğlu, E., 2003, A New Procedure for the Photometric Parallax Estimation, *Publications of the Astronomical Society of Australia*, 20, 270-278.
- Kuijken, K., Rich, R. M., 2002, Hubble Space Telescope WFPC2 Proper Motions in Two Bulge Fields: Kinematics and Stellar Population of the Galactic Bulge, *The Astronomical Journal*, 124, 2054-2066.
- Lowrance, P. J., Kirkpatrick, J. D., Beichman, C. A., 2002, A Distant Stellar Companion in the ν Andromedae System, *The Astrophysical Journal*, 572, L79-L81.
- Ma, C., Shaffer, D. B., de Vegt, C., Johnston, K. J., Russell, J. L., 1990, A Radio Optical Reference Frame. I. Precise Radio Source Positions Determined by Mark III VLBI Observations from 1979 to 1988 and a Tie to the FK5, *Astronomical Journal*, 99, 1284.
- Marshall, D. J., Robin, A. C., Reylé, C., Schultheis, M., Picaud, S., 2006, Modelling the Galactic Interstellar Extinction Distribution in Three Dimensions, *Astronomy and Astrophysics*, 453, 635-651.
- Martig, M., Minchev, I., Ness, M., Fouesneau, M., Rix, H.-W., 2016, A Radial Age Gradient in the Geometrically Thick Disk of the Milky Way, *The Astrophysical Journal*, 831, 139.
- Martini, P., Osmer, P. S., 1998, A Deep Multicolor Survey. V. The M Dwarf Luminosity Function, *The Astronomical Journal*, 116, 2513-2519.
- McConnachie, Alan W., 2012, The Observed Properties of Dwarf Galaxies in and Around The Local Group, *The Astronomical Journal*, 144, 1.

- McWilliam, A., Rich, R. M., 1994, The First Detailed Abundance Analysis of Galactic Bulge K Giants in Baade's Window, *Astrophysical Journal Supplement*, 91, 749.
- Michalik, D., Lindegren, L., Hobbs, D., 2015, The Tycho-Gaia Astrometric Solution. How to get 2.5 Million Parallaxes with Less than One Year of Gaia Data, *Astronomy and Astrophysics*, 574, A115.
- Monet, David G., 1988 , Recent Advances in Optical Astrometry, *Annual Review Astronomy Astrophysics.*, 26, 413-440.
- Newberg, H. J., Yanny, B., Cole, N., Beers, T. C., Re F. P., Schneider, D. P., Wilhelm, R., 2007, The Overdensity in Virgo, Sagittarius Debris, and the Asymmetric Spheroid, *The Astrophysical Journal*, 668, 221-235.
- Nishiyama, S., Nagata, T., Baba, D., ve diğ., 2005, A Distinct Structure inside the Galactic Bar, *The Astrophysical Journal*, 621, 105-108.
- Perryman, M.A.C., Lindegren, L., Kovalevsky, J., ve diğ., 1997, The Hipparcos Catalogue. *Astronomy and Astrophysics*, 323, L49, 500-504.
- Poveda, A., Herrera, M. A., Allen, C., Cordero, G., Lavalley, C., 1994, Statistical Studies of Visual Double and Multiple Stars. II. A Catalogue of Nearby Wide Binary and Multiple Systems, *Revista Mexicana de Astronomia y Astrofisica*, 28, 43-89.
- Pravdo, S. H., Shaklan, S. B., Wiktorowicz, S. J., Kulkarni, S., Lloyd, J. P., Martinache, F., Tuthill, P. G., Ireland, M. J., 2006, Masses of Astrometrically Discovered and Imaged Binaries: G78-28AB and GJ 231.1BC, *The Astrophysical Journal*, 649, 389-398.
- Reid, M. J., 1993, The Distance to the Center of the Galaxy, *Annual Rev. Astronomy and Astrophysics*, 31, 345-372.
- Reid, I. N., Hawley, S., L., Gizis, J. E., 1995, The Palomar/MSU Nearby-Star Spectroscopic Survey. I. The Northern M Dwarfs -Bandstrengths and Kinematics, *Astronomical Journal*, 110, 1838.
- Reid, I. N., Kilkenney, D., Cruz, K. L., 2002, Meeting the Cool Neighbors. II. Photometry of Southern NLTT Stars *The Astronomical Journal*, 123, 2822-2827.
- Rich, R. M., Origlia, L., 2005, The First Detailed Abundances for M Giants in Baade's Window from Infrared Spectroscopy, *The Astrophysical Journal*, 634, 1293-1299.
- Rich, R. M., 2015, Wide Field Imaging from Space: Galaxy Formation from Nearby Stellar Populations, *New Astronomy Reviews*, 49, 465-473.
- Robin, A. C., Reyl  , C., Fliri, J., Czekaj, M., Robert, C. P., Martins, A. M. M., 2014, Constraining the Thick Disc Formation Scenario of the Milky Way, *Astronomy and Astrophysics*, 569, id.A13, 26.

- Ruphy, S., Robin, A. C., Epchtein, N., ve diğ., 1996, New Determination of the Disc Scale Length and the Radial cutoff in the Anticenter with DENIS Data, *Astronomy and Astrophysics*, 313, L21-L24.
- Ryan, S. G., Norris, J. E., Beers, T. C., 1996, Extremely Metal-Poor Stars. II. Elemental Abundances and the Early Chemical Enrichment of the Galaxy, *Astrophysical Journal*, 471, 254.
- Schlafly, E. F., Finkbeiner, D. P., 2011, Measuring Reddening with Sloan Digital Sky Survey Stellar Spectra and Recalibrating SFD, *The Astrophysical Journal*, 737, 2, 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.
- Searle, L., Zinn, R., 1978, Compositions of Halo Clusters and the Formation of the Galactic Halo, *Astrophysical Journal*, 225, 357-379.
- Shen, J., Zheng, W., 2020, The Bar and Spiral Arms in the Milky Way: Structure and Kinematics, *Research in Astronomy and Astrophysics*, 20, 159.
- Skrutskie, M. F., Cutri, R. M., Stiening, R., ve diğ., 2006, The Two Micron All Sky Survey (2MASS), *Astronomical Journal*, 131, 1163-1183.
- Song, I., Zuckerman, B., Bessell, M. S., 2003, New Members of the TW Hydrae Association, β Pictoris Moving Group, and Tucana/Horologium Association, *The Astrophysical Journal*, 599, 342-350.
- Stauffer, J., Tanner, A., M., Bryden, G., ve diğ., 2010, Accurate Coordinates and 2MASS Cross Identifications for (Almost) All Gliese Catalog Star, *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 122, 885.
- Tang, J., Bressan, A., Rosenfield, P., Slemmer, A., Marigo, P., Girardi, L., Bianchi, L., 2014, New PARSEC Evolutionary Tracks of Massive Stars at Low Metallicity: Testing Canonical Stellar Evolution in Nearby Star-forming Dwarf Galaxies, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 445, 4287-4305.
- Tang, B., Fernández-Trincado, J. G., Geisler, D., ve diğ., 2018, The Metal-Poor Non-Sagittarius Globular Cluster NGC 5053: Orbit and Mg, Al, and Si Abundances, *The Astrophysical Journal*, 855, article id. 38, 14.
- Trumpler, R. J., 1930, Preliminary Results on the Distances, Dimensions and Space Distribution of Open Star Clusters, *Lick Observatory Bulletins*, Berkeley University of California Press, 420, 154-188.
- Tsikoudi, V., 1980, Photometry and Structure of Lenticular Galaxies. II-NGC 4111 and NGC 4762, *Astrophysical Journal Supplement Series*, 43, 365-377.

- Tunçel Güçtekin, S., Bilir, S., Karaali, S., Plevne, O., Ak, S., 2019, Vertical and Radial Metallicity Gradients in High Latitude Galactic Fields with SDSS, *Advances in Space Research*, 63, 1360-1373.
- van Leeuwen, F., 2007, Validation of the New Hipparcos Reduction, *Astronomy and Astrophysics*, 474, 653-664.
- Vivas, A. K., Zinn, R., 2006, The QUEST RR Lyrae Survey. II. The Halo Overdensities in the First Catalog, *The Astronomical Journal*, 132, 714-728.
- Weiler, M., 2018, Revised Gaia Data Release 2 Passbands, *Astronomy and Astrophysics*, 617, id. A138.
- Wielen, R., 1974, Highlights of Astronomy, The Kinematics and Ages of Stars in Gliese's Catalogue, 3, 395-407.
- Wielen, R., Jahreiß, H., Krüger, R., 1983, in IAU Colloq. 76: Nearby Stars and the Stellar Luminosity Function, ed. A. G. D. Philip and A. R. Upgren, 163-170.
- Wyse, R.F.G., 2000, Formation Scenarios, The Galactic Halo : From Globular Cluster to Field Stars, *Proceedings of the 35th Liege International Astrophysics Colloquium*, held 5-8 July, 1999. Edited By A. Noels, P. Magain, D. Caro, E. Jehin, G. Parmentier, and A. A. Thoul. Liege, Belgium: Institut d'Astrophysique et de Geophysique, 305.
- Wyse, R.F.G., Gilmore, G., 1989, Is the Galaxy Round, *Comments on Astrophysics*, 13, 135.
- Yaz, E., Karaali, S., 2010, Estimation of Galactic Model Parameters and Metalicity Distribution in Intermediate Latitudes with SDSS, *New Astronomy*, 15, 234-236.
- Zoccali, M., Renzini, A., Ortolani, S., ve diğ., 2003, Age and Metallicity Distribution of the Galactic Bulge from Extensive Optical and Near-IR Stellar Photometry, *Astronomy and Astrophysics*, 399, 931-956.
- Zoccali, M., The Stellar Population of the Galactic Bulge, 2010, Chemical Abundances in the Universe: Connecting First Stars to Planets, *Proceedings of the International Astronomical Union, IAU Symposium*, 265, 271-278.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Doğu Deniz Bulut
Doğum Yeri	
Doğum Tarihi	Tarih girmek için tıklayın veya dokununuz.
Uyruğu	☒ T.C. ☐ Diğer:
E-Posta Adresi	
Web Adresi	

Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Fakülte	Fen Fakültesi
Bölümü	Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü
Mezuniyet Yılı	27.05.2016

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

Makale ve Bildiriler
Ulusal Yayınlar 1) Bulut, D. D., Tunçel Güçtekin, S., 2022, <i>Güneş Civarındaki Anakol Yıldızlarının Işıma Gücü Fonksiyonunun Gaia Verileriyle Belirlenmesi</i>, 2022, TJAA, 3, 3, 68-71. Katıldığı Ulusal ve Uluslararası Toplantılar 1) “Galactic Astronomy Workshop”, 12-13 Eylül 2019, İstanbul Üniversitesi Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, İstanbul (Dinleyici). 2) “Yıldız Kümeleri Üzerine Güncel Çalışmalar” çalıştay, 27 Temmuz 2020, Ege Üniversitesi Gözlemevi Uygulama ve Araştırma Merkezi (Dinleyici-Çevrimiçi).

- 3) “Güneş, Güneş Enerjisi ve Yer İklimi” çalıştayı, 21 Ağustos 2020, Ege Üniversitesi Gözlemevi Uygulama ve Araştırma Merkezi (Dinleyici-Çevrimiçi).
- 4) “Tek ve Çift Yıldızlarda Tayfbilim” çalıştayı, 25 Eylül 2020, Ege Üniversitesi Gözlemevi Uygulama ve Araştırma Merkezi (Dinleyici-Çevrimiçi).
- 5) “Astrofizikte Güncel Lisansüstü Çalışmalar-2” çalıştayı, 26 Kasım 2021, Ege Üniversitesi Gözlemevi Uygulama ve Araştırma Merkezi (Katılımcı-Çevrimiçi).

Proje Çalışmaları

“Güneş Civarının Kinematik İncelenmesi ve Haritalanması”, 1001 TÜBİTAK Projesi, 118F350, Yüksek Lisans Bursiyeri, 2020-2022.