



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



**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**KIRMIZI DEV YILDIZLARDA YAŞ-METAL BOLLUĞU İLİŞKİSİ**

**Sibel DÖNER**

**Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı**

**Astronomi ve Uzay Bilimleri Programı**

**DANIŞMAN  
Prof. Dr. Serap AK**

**Aralık, 2019**

**İSTANBUL**

Bu alışma, 30.12.2019 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. Serap AK (Danışman)  
İstanbul Üniversitesi  
Fen Fakültesi

Prof. Dr. Selçuk BİLİRİ  
İstanbul Üniversitesi  
Fen Fakültesi

Doç. Dr. Esin SİPAHİ  
Ege Üniversitesi  
Fen Fakültesi



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 abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü’nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

Bu tez, İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yürütücü Sekreterliğinin FBA-2017-23607 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

Bu tez, 116F398 numaralı TÜBİTAK projesi ile desteklenmiştir.

## ÖNSÖZ

Lisansüstü eğitimim boyunca ve özellikle tez çalışmam süresince bilgi birikimi ve tecrübesiyle bana yol gösteren danışmanım sayın Prof. Dr. Serap AK'a,

Tez çalışmam boyunca adeta ikinci danışmanım gibi sürekli danıştığım, büyük bir sabırla ve çözüm odaklı yaklaşımlarıyla tezimin her aşamasında desteğini esirgemeyen sayın Prof. Dr. Selçuk BİLİR'e,

Lisansüstü eğitimimin tez aşamasındaki özverili katkılarından dolayı sayın Prof. Dr. Tansel AK'a

Tez çalışmamdaki yazılım dilini kullanırken danıştığım lisansüstü arkadaşlarım Oğuz Han ATAŞ ve Araş. Gör. Olcay PLEVNE'ye,

Tez çalışmamla ilgili destekleri ve yardımları için Araş. Gör. Dr. Özgecan ÖNAL TAŞ'a, Dr. Neslihan ALAN'a ve tüm lisansüstü arkadaşlarıma,

Yüksek lisansım süresince desteklerinden dolayı İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne (BAP) ve Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'na (TÜBİTAK),

İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümünün sağlamış olduğu bilimsel ortam için Bölüm Başkanlığına,

Hayatım boyunca bana güç ve umut veren canım aileme,

Sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Aralık 2019

Sibel DÖNER

# İÇİNDEKİLER

Sayfa No

|                                                             |      |
|-------------------------------------------------------------|------|
| ÖNSÖZ.....                                                  | iv   |
| İÇİNDEKİLER .....                                           | v    |
| ŞEKİL LİSTESİ.....                                          | vii  |
| TABLO LİSTESİ.....                                          | ix   |
| SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ .....                             | x    |
| ÖZET.....                                                   | xiii |
| SUMMARY.....                                                | xiv  |
| 1. GİRİŞ.....                                               | 1    |
| 2. GENEL KISIMLAR .....                                     | 4    |
| 2.1 SAMANYOLU’NUN BİLEŞENLERİ VE YILDIZ POPÜLASYONLARI..... | 4    |
| 2.1.1 İnce Disk .....                                       | 4    |
| 2.1.2 Kalın Disk .....                                      | 5    |
| 2.1.3 Şişkin Bölge .....                                    | 6    |
| 2.1.4 Halo .....                                            | 6    |
| 2.2 SAMANYOLU’NUN OLUŞUM SENARYOLARI.....                   | 8    |
| 2.3 SAMANYOLU’NUN KİMYASAL EVRİMİ .....                     | 9    |
| 2.3.1 Yaş-Metal Bolluğu İlişkisi.....                       | 11   |
| 2.3.2 Gaz Akıntıları.....                                   | 11   |
| 2.3.3 Radyal Göç.....                                       | 12   |
| 2.4 KIRMIZI DEV YILDIZLAR.....                              | 12   |
| 2.5 SDSS IV GÖKYÜZÜ TARAMA PROGRAMI (2014-2020).....        | 14   |
| 2.5.1 APOGEE-2 .....                                        | 14   |
| 2.5.2 eBOSS .....                                           | 15   |
| 2.5.3 MaNGA .....                                           | 15   |
| 2.6 GAIA UYDUSU .....                                       | 16   |
| 3. MALZEME VE YÖNTEM.....                                   | 18   |
| 3.1 SDSS DR14 APOGEE-2.....                                 | 18   |
| 3.2 GAIA DR2 .....                                          | 19   |
| 3.3 KIRMIZI DEV YILDIZLARIN SEÇİMİ.....                     | 19   |
| 3.4 KIRMIZI DEV YILDIZLARIN UZAKLIK TAYİNİ.....             | 20   |

|                                                                                              |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.5 KIRMIZI DEV YILDIZLARIN UZAY HIZLARININ HESAPLANMASI .....                               | 20        |
| 3.6 KIRMIZI DEV YILDIZLARIN GALAKTİK POPÜLASYONLARI.....                                     | 23        |
| 3.7 KIRMIZI DEV YILDIZLARIN KİNEMATİK YAŞ TAYİNİ .....                                       | 25        |
| <b>4. BULGULAR.....</b>                                                                      | <b>27</b> |
| 4.1 KIRMIZI DEV YILDIZ ÖRNEĞİNİN TAYFSAL YÖNTEMLER İLE SEÇİMİ .....                          | 27        |
| 4.2 KIRMIZI DEV YILDIZ ÖRNEĞİNİN ASTROMETRİSİ .....                                          | 32        |
| 4.2.1 Uzaklıklar.....                                                                        | 32        |
| 4.2.2 Öz Hareket Bileşenleri.....                                                            | 36        |
| 4.3 KIRMIZI DEV YILDIZLARIN UZAY HIZLARI .....                                               | 37        |
| 4.4 KIRMIZI DEV YILDIZLARIN YAŞ-METAL BOLLUĞU İLİŞKİSİ.....                                  | 41        |
| 4.4.1 Kırmızı Dev Yıldızların Galaktik Popülasyonları.....                                   | 41        |
| 4.4.2 Düşük - $[\alpha/\text{Fe}]$ Bolluklu Örneğin Kinematik Yaşları ve Metal Bollukları... | 43        |
| 4.4.3 Yüksek - $[\alpha/\text{Fe}]$ Bolluklu Örneğin Kinematik Yaşları ve Metal Bollukları.  | 44        |
| 4.4.4 Kırmızı Dev Yıldızların Yaş-Metal Bolluğu İlişkisi .....                               | 46        |
| <b>5. TARTIŞMA VE SONUÇ .....</b>                                                            | <b>48</b> |
| <b>KAYNAKLAR .....</b>                                                                       | <b>58</b> |
| <b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>                                                                        | <b>66</b> |

## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa No

|                                                                                                                                                                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 2.1: Samanyolu Galaksisi'nin bileşenlerinin kıızılöte görüntüsü.....                                                                                                                                            | 4  |
| Şekil 2.2: Galaksimizin bileşenlerinin şematik bir gösterimi. ....                                                                                                                                                    | 7  |
| Şekil 2.3: HR diyagramında kırmızı dev yıldızlar. ....                                                                                                                                                                | 13 |
| Şekil 2.4: APOGEE-2 gökyüzü tarama programındaki yıldız alanları. ....                                                                                                                                                | 15 |
| Şekil 2.5: <i>Gaia</i> uydusunun temsili görünüşü. ....                                                                                                                                                               | 16 |
| Şekil 2.6: <i>Gaia</i> fotometrik bantları ve duyarlılık fonksiyonları ile radyal hız ölçümlerinin yapıldığı dalgaboyu aralıklıkları. ....                                                                            | 17 |
| Şekil 3.1: SDSS DR 14'teki tayf gözlemlerinin yapıldığı yıldız alanlarının Galaktik koordinatlardaki konumları. Renk ölçeği alanlardaki yıldız sayı yoğunluğunu göstermektedir. ....                                  | 18 |
| Şekil 3.2: Bir yıldızın Galaksi merkezi etrafındaki yörünge hareketinin $U$ , $V$ , $W$ uzay hız bileşenlerinin gösterimi. Şekil üzerindeki semboller metin içinde açıklanmıştır. ....                                | 21 |
| Şekil 4.1: APOGEE-2 kataloğundaki kırmızı dev yıldızların (a) sayı yoğunluğu ( $N$ ) ve (b) metal bolluğu ( $[Fe/H]$ ) değerlerine göre çizilmiş $T_{eff} \times \log g$ diyagramları.....                            | 28 |
| Şekil 4.2: 143,874 kırmızı dev yıldızın $S/N$ histogramı (alt panel) ve birikimli dağılımları (üst-panel). ....                                                                                                       | 29 |
| Şekil 4.3: Kırmızı dev yıldız örneğinin $S/N \times$ radyal hız dağılımı. ....                                                                                                                                        | 30 |
| Şekil 4.4: APOGEE-2 veri tabanından seçilen kırmızı dev yıldız örneğinin ekvatorial (üst panel) ve Galaktik koordinat sistemindeki konumları (alt panel). ....                                                        | 31 |
| Şekil 4.5: APOGEE-2 veri tabanından seçilen kırmızı dev yıldız örneğinin <i>Gaia</i> DR2'den hesaplanan uzaklıklarının rölatif paralaks hatalarına göre oluşturulmuş histogramları. ....                              | 33 |
| Şekil 4.6: 66,240 kırmızı dev yıldızın (a) ( $X$ , $Y$ ) ve (b) ( $X$ , $Z$ ) düzlemlerindeki uzay dağılımları. Kesikli çizgilerin kesişim noktasında Güneş bulunmaktadır.....                                        | 35 |
| Şekil 4.7: 66,240 kırmızı dev yıldızın <i>Gaia</i> DR2 kataloğundan alınan öz hareket bileşenleri. Şekil üzerindeki kırmızı semboller, öz hareket bileşenlerinde en büyük hataya sahip yıldızları göstermektedir..... | 36 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil 4.8:</b> 66,240 kırmızı dev yıldızın öz hareket bileşenlerinin bileşke vektörüne ait hatalarının dağılımı. ....                                                                                                                                                                                                  | 37 |
| <b>Şekil 4.9:</b> Kırmızı dev yıldız örneğinin toplam uzay hızı hatalarının ( $S_{hata}$ ) frekans dağılımı (alt panel) ve bu dağılımın birikimli toplamı (üst panel). Mavi renkli çizgi dağılımın $1\sigma$ standart sapma değerini, yeşil renkli çizgi dağılımın $2\sigma$ standart sapma değerini göstermektedir. .... | 39 |
| <b>Şekil 4.10:</b> Kırmızı dev yıldız örneğine toplam uzay hızı hatasına sınırlama getirmeden (mavi renk) ve $S_{hata} \leq 9.8$ km/sn’lik bir sınırlama getirildikten sonra (kırmızı renk) uzay hızı bileşenlerinin frekans dağılımları. ....                                                                            | 39 |
| <b>Şekil 4.11:</b> Kırmızı dev yıldızların uzay hızı bileşenlerinin $U-V$ (a) ve $W-V$ (b) düzlemlerindeki dağılımları. Şekil üzerindeki renklendirme toplam uzay hızı hatasını göstermektedir. ....                                                                                                                      | 40 |
| <b>Şekil 4.12:</b> Kırmızı dev yıldızların sayı yoğunluklarına göre renklendirilmiş $[\alpha/Fe] \times [Fe/H]$ diyagramı. Gauss karışım modeliyle belirlenen yıldızların popülasyon ayırım sınırı siyah kesikli çizgiyle gösterilmiştir. ....                                                                            | 42 |
| <b>Şekil 4.13:</b> Düşük $[\alpha/Fe]$ bolluklu farklı 10 uzaklık aralığında ( $Z_1-Z_2$ ) bulunan kırmızı dev yıldızların metal bolluğu histogramları. Histogramlardaki sürekli çizgi dağılımlara fit edilen Gauss eğrilerini göstermektedir. ....                                                                       | 44 |
| <b>Şekil 4.14:</b> Yüksek $[\alpha/Fe]$ bolluklu farklı 10 uzaklık aralığında ( $Z_1-Z_2$ ) bulunan kırmızı dev yıldızların metal bolluğu histogramları. Histogramlardaki sürekli çizgi dağılımlara fit edilen Gauss eğrilerini göstermektedir. ....                                                                      | 45 |
| <b>Şekil 4.15:</b> (a) Düşük ve (b) yüksek $[\alpha/Fe]$ bolluklu kırmızı dev yıldızların 10 farklı uzaklık aralığı için hesaplanmış ortalama kinematik yaş ve metal bolluklarına ait dağılımlar. Kırmızı sürekli çizgi verilere yapılan doğrusal fitleri göstermektedir. ....                                            | 47 |

## TABLO LİSTESİ

Sayfa No

**Tablo 2.1:** Yıldız halosunun göstergesi olan nesnelerin ortalama uzay hız bileşenleri, hız bileşenlerinin dispersiyonları ve ortalama teğet hızları. ....7

**Tablo 4.1:** Uzaklık aralıklarına göre ayrımı yapılan düşük  $[\alpha/\text{Fe}]$  bolluklu kırmızı dev yıldızların uzay hız bileşenleri ( $U_{LSR}$ ,  $V_{LSR}$ ,  $W_{LSR}$ ), bu bileşenlere ait hız dispersiyonları ( $\sigma_U$ ,  $\sigma_V$ ,  $\sigma_W$ ), toplam hız dispersiyonu ( $\sigma_{Top}$ ), hesaplanan kinematik yaş ( $\tau$ ) ve metal bolluğu ( $[\text{Fe}/\text{H}]$ ).....43

**Tablo 4.2:** Uzaklık aralıklarına göre ayrımı yapılan yüksek  $[\alpha/\text{Fe}]$  bolluklu kırmızı dev yıldızların uzay hız bileşenleri ( $U_{LSR}$ ,  $V_{LSR}$ ,  $W_{LSR}$ ), bu bileşenlere ait hız dispersiyonları ( $\sigma_U$ ,  $\sigma_V$ ,  $\sigma_W$ ), toplam hız dispersiyonu ( $\sigma_{Top}$ ), hesaplanan kinematik yaş ( $\tau$ ) ve metal bolluğu ( $[\text{Fe}/\text{H}]$ ).....46

## SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

| Simgeler                   | Açıklama                                    |
|----------------------------|---------------------------------------------|
| $^{\circ}$                 | : Derece                                    |
| $A$                        | : Koordinat matrisi                         |
| $Al$                       | : Alüminyum                                 |
| $\alpha$                   | : Rektasansyon (sağ açıklık)                |
| $\alpha_{KGK}$             | : Kuzey Galaktik kutbun rektasansyonu       |
| $[ \alpha / Fe ]$          | : Alfa element bolluğu                      |
| $b$                        | : Galaktik enlem                            |
| $B$                        | : Koordinat ve dönüşüm matrislerinn çarpımı |
| $Ca$                       | : Kalsiyum                                  |
| $Cl$                       | : Klor                                      |
| $Co$                       | : Kobalt                                    |
| $CO$                       | : Karbonmonoksit                            |
| $Cr$                       | : Krom                                      |
| $d$                        | : Yıldızların Güneş'e uzaklığı              |
| $\delta$                   | : Deklinasyon (dik açıklık)                 |
| $\delta_{KGK}$             | : Kuzey Galaktik kutbun deklinasyonu        |
| $f$                        | : Olasılık sembolü                          |
| $[ Fe / H ]$               | : Demir bolluğu                             |
| $Fe$                       | : Demir                                     |
| $g$                        | : Yüzey çekim ivmesi                        |
| $h$                        | : Uzunluk ölçeği                            |
| $H$                        | : Yükseklik ölçeği                          |
| $\gamma$                   | : Radyal hız                                |
| $K$                        | : Potasyum                                  |
| $l$                        | : Galaktik boylam                           |
| $Li$                       | : Lityum                                    |
| $M_{\odot}$                | : Güneş'in kütlesi                          |
| $Mg$                       | : Magnezyum                                 |
| $Mn$                       | : Mangan                                    |
| $\mu_{\alpha} \cos \delta$ | : Rektasansyondaki öz hareket bileşeni      |

|                                |                                                          |
|--------------------------------|----------------------------------------------------------|
| $\mu_\delta$                   | : Deklinasyondaki öz hareket bileşeni                    |
| $\pi$                          | : Trigonometrik paralaks                                 |
| $N$                            | : Yıldız sayısı                                          |
| $N$                            | : Azot                                                   |
| $Na$                           | : Sodyum                                                 |
| $Ne$                           | : Neon                                                   |
| $Ni$                           | : Nikel                                                  |
| $O$                            | : Oksijen                                                |
| $P$                            | : Fosfor                                                 |
| $R$                            | : Tayfsal çözünürlük                                     |
| $R_{gc}$                       | : Galaksi merkezine olan uzaklık                         |
| $R_0$                          | : Güneş'in Galaksi merkezine uzaklığı                    |
| $\sigma_{Top}$                 | : Toplam uzay hızı dispersiyonu                          |
| $\sigma_U, \sigma_V, \sigma_W$ | : $U, V, W$ uzay hızı bileşenlerinin hız dispersiyonları |
| $\sigma_\pi$                   | : Trigonometrik paralaks hatası                          |
| $\sigma_\pi/\pi$               | : Rölatif paralaks hatası                                |
| $S$                            | : Kükürt                                                 |
| $Si$                           | : Silisyum                                               |
| $S$                            | : Toplam uzay hızı                                       |
| $SBb$                          | : Çubuklu spiral galaksi                                 |
| $S_{hata}$                     | : Toplam uzay hızı hatası                                |
| $T$                            | : Dönüşüm matrisi                                        |
| $T_{eff}$                      | : Etkin sıcaklık                                         |
| $Ti$                           | : Titanyum                                               |
| $TiII$                         | : İyonize titanyum                                       |
| $\tau$                         | : Kinematik yaş                                          |
| $\theta_0$                     | : Durum açısı                                            |
| $U, V, W$                      | : Uzay hızı bileşenleri                                  |
| $U_{hata}, V_{hata}, W_{hata}$ | : $U, V, W$ hızı bileşenlerinin hataları                 |
| $X$                            | : Galaksi merkezi doğrultusundaki konum vektörü          |
| $Y$                            | : Galaksinin dönme doğrultusundaki konum vektörü         |
| $Z$                            | : Galaksi düzlemine dik doğrultudaki konum vektörü       |
| $Z$                            | : Ağır element bolluğu                                   |

| <b>Kısaltmalar</b> | <b>Açıklama</b>                                             |
|--------------------|-------------------------------------------------------------|
| <b>APOGEE</b>      | : Apache Point Observatory Galaxy Evolution Experiment      |
| <b>ASPCAP</b>      | : APOGEE Stellar Parameters and Chemical Abundance Pipeline |
| <b>BeSPP</b>       | : Bellaterra Stellar Properties Pipeline                    |
| <b>CCD</b>         | : Charge Coupled Device                                     |
| <b>CNO</b>         | : karbon-azot-oksijen döngüsel reaksiyonu                   |
| <b>DR</b>          | : Data Release                                              |
| <b>dex</b>         | : Dekada Eksponansiyel                                      |
| <b>eBOSS</b>       | : The Extended Baryon Oscillation Spectroscopic Survey      |
| <b>ELS</b>         | : Eggen, Lynden-Bell ve Sandage                             |
| <b>ESA</b>         | : European Space Agency                                     |
| <b>FEROS</b>       | : The Fiber-fed Extended Range Optical Spectrograph         |
| <b>GAIA</b>        | : Global Astrometric Interferometer for Astrophysics        |
| <b>GARSTEC</b>     | : The Garching Stellar Evolution Code                       |
| <b>Gyl</b>         | : Milyar yıl                                                |
| <b>HR</b>          | : Hertzsprung-Russell                                       |
| <b>kpc</b>         | : Kiloparsek                                                |
| <b>LSR</b>         | : Local Standard of Rest                                    |
| <b>MaNGA</b>       | : Mapping Nearby Galaxies at APO                            |
| <b>mas</b>         | : Miliyay saniyesi                                          |
| <b>Myıl</b>        | : Milyon yıl                                                |
| <b>M31</b>         | : Andromeda Galaksisi                                       |
| <b>pc</b>          | : Parsek                                                    |
| <b>Pop</b>         | : Popülasyon                                                |
| <b>RVS</b>         | : Radyal Hız Spektrometresi                                 |
| <b>SDSS</b>        | : Sloan Digital Sky Survey                                  |
| <b>S/N</b>         | : Sinyal-gürültü oranı                                      |
| <b>SZ</b>          | : Searl ve Zinn                                             |
| <b>TGAS</b>        | : Tycho-Gaia Astrometric Solution                           |
| <b>UVES</b>        | : Ultraviolet and Visual Echelle Spectrograph               |

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

#### KIRMIZI DEV YILDIZLARDA YAŞ-METAL BOLLUĞU İLİŞKİSİ

Sibel DÖNER

İstanbul Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. Serap AK

Tez çalışmasında kırmızı dev yıldızların tayfsal ve astrometrik verileri kullanılarak Güneş civarındaki evrimleşmiş yıldızlar için yaş-metal bolluğu ilişkisi araştırılmıştır. Tayfsal ve astrometrik veriler, sırasıyla, APOGEE-2 ve *Gaia* DR2 kataloglarından alınmıştır. Kırmızı dev yıldızlar, etkin sıcaklıkları ( $T_{eff}$ ) ve yüzey çekim ivmelerinin ( $\log g$ ), sırasıyla,  $3,550 \leq T_{eff}$  (K)  $\leq 5,600$  ve  $0.5 \leq \log g$  (cm/sn)  $\leq 3.5$  aralıkları dikkate alınarak seçilmiştir. Rölatif paralaks ve toplam uzay hızı hatalarına, sırasıyla,  $\sigma_{\pi}/\pi \leq 0.1$  ve  $S_{hata} \leq 9.8$  km/sn sınırlamaları getirilerek 62,928 yıldız incelenmiştir. Yaş-metal bolluğu ilişkisinin araştırılmasında kırmızı dev yıldızların Galaksi merkezine ( $R_{gc}$ ) ve Galaktik düzleme ( $Z$ ) uzaklıkları,  $[\alpha/Fe]$  ve  $[Fe/H]$  bollukları dikkate alınmıştır. İnce ve kalın disk/halo bileşenlerine ait kırmızı dev yıldızlar için yaş-metal bolluğu ilişkisinde belirgin bir değişimin olduğu görülmüştür.

Aralık 2019, 80 sayfa.

**Anahtar kelimeler:** Galaksi: bolluklar – Galaksi: evrim – Galaksi: disk

## SUMMARY

### M.Sc. THESIS

#### THE AGE-METALLICITY RELATION IN THE RED GIANT STARS

Sibel DÖNER

İstanbul University

Institute of Graduate Studies in Sciences

Department of Astronomy and Space Sciences

Supervisor : Prof. Dr. Serap AK

In this thesis, the age-metallicity relation for evolved stars in the Solar vicinity was investigated using spectroscopic and astrometric data of red giant stars. Spectroscopic and astrometric data were provided from APOGEE-2 and *Gaia* DR2 catalogues, respectively. Red giant stars were selected by taking into account their effective temperature and surface gravity with the ranges  $3550 \leq T_{eff} \text{ (K)} \leq 5600$  and  $0.5 \leq \log g \text{ (cm/s)} \leq 3.5$ , respectively. 62,928 stars analyzed by applying the constraints on the relative parallax and total space velocity errors. In the investigation of the age-metallicity relation, the distances to the Galaxy centre and the Galactic plane, alpha and iron abundances of the red giant stars were taken into consideration. A significant change in the age-metal abundance relation was determined for the red giant stars of thin and thick disc/halo.

December 2019., 80 pages.

**Keywords:** Galaxy: abundances – Galaxy: evolution – Galaxy: disc

## 1. GİRİŞ

Derin gökyüzü taramalarıyla elde edilen, uzak galaksiler ve yaşlı Galaktik yıldızlara ait veri setleriyle, başta Samanyolu Galaksisi olmak üzere, galaksi oluşumu ve evriminin anlaşılması hedeflenmektedir. Elektromanyetik tayfin farklı bölgelerinde yapılan gökyüzü tarama programları sayesinde Samanyolu'nun ayrıntılı yapısı ve kimyasal özellikleri elde edilmektedir. Aynı zamanda benzer spiral galaksilerin bir bütün olarak incelenmesi de içinde yaşadığımız Galaksinin oluşumu ve evriminin anlaşılmasına katkı vermektedir. Samanyolu'nun oluşumu, evrimi ve yapısının anlaşılmasında Galaktik popülasyonların özelliklerinin belirlenmesi önemlidir. Galaktik yıldız popülasyonları uzay dağılımları, kinematikleri, metal bollukları ve yaşları bakımından farklılık gösterdiklerinden Galaksinin morfolojik yapısının anlaşılmasına çeşitli katkılar vermektedir.

Galaksilerde farklı yıldız popülasyonları olduğu fikri, Walter Baade tarafından 1944 yılında ortaya atılmıştır. Baade, ilk defa, Güneş civarındaki yıldızlar ile küresel kümelerin yapısında farklılık görmüş ve Güneş civarındaki yıldızlar için popülasyon I (Pop I), küresel kümeler için de popülasyon II (Pop II) terimini kullanmıştır. Fotografik plaklar ile Andromeda (M31) Galaksisi'nde gözlediği nesnelerden elde edilmiş bulgular ile bu galakside de iki farklı yıldız grubunun bulunduğunu göstermiştir. Böylece bu durum, sadece Galaksimize ait olmayan evrensel bir bilgiye dönüşmüştür. Halo ve şişkin bölgede bulunan Pop II yıldızları yaşlı, metal bakımdan fakir ve basık yörüngelerde hareket ederken, disk ve spiral kollarda bulunan Pop I yıldızları ise genç, metalce zengin ve çember yörüngelerde dolanırlar.

Galaksimizin yapısını ortaya koymak amacıyla çeşitli galaksi modelleri oluşturulmuştur. Bu modellerde zaman içinde büyük gelişmeler olmuştur. Samanyolu Galaksisi için yapılan ilk model Bahcall ve Soneira'nın (1980) iki bileşenli (disk ve halo) *standart model*dir. Gilmore ve Reid (1983) Güney Galaktik Kutup doğrultusunda yaptıkları yıldız sayımı çalışmalarında, standart modelin gözlemler ile uyuşmadığını, ancak bu modele *kalın disk* adı verilen yeni bir bileşenin katılımıyla bunun sağlanabileceğini göstermişlerdir. Bu bileşeni temsil eden yıldızlara da literatürde Ara Pop II yıldızları denmiştir. Ara Pop II yıldızlarının yaş, metal bolluğu ve yörünge basıklıkları diğer iki popülasyonun değerleri arasında yer almaktadır.

Günümüzde artan tayfsal ve astrometrik çalışmalar neticesinde farklı popülasyonlara ait metal bolluğu gradyentlerinin duyarlı belirlenmesi söz konusu olmuştur. Galaksilerin oluşumunda zaman içerisinde kimyasal bakımdan zenginleşme öneren modellerin sınanmasında gözlemsel metal bolluğu gradyentleri önemli hale gelmiştir. Galaktik düzlemden dik ve Galaksi merkezine göre radyal doğrultularda gerçekleştirilen tayfsal ve astrometrik gözlemlerden elde edilen metal bolluğu gradyentleri, Galaksimizin Eggen, Lynden-Bell ve Sandage (ELS, 1962) tarafından önerilen ilkel bir bulutun kısa bir zaman ölçeğinde ( $2 \times 10^8$  yıl) çökmesiyle değil, farklı mekanizmalar ile en az iki çökme sonucu oluştuğunu göstermektedir (Chiappini ve diğ., 1997). Her iki doğrultuda metal bolluğu gradyentlerinin bulunması Galaksimizin oluşumu ve evrimi boyunca kimyasal bakımından zenginleştiğini ifade etmektedir.

Yıldız yaşlarının ve metal bolluklarının bir arada değerlendirilmesi de kimyasal zenginleşmenin zamana bağlı incelenmesine fırsat vermektedir. Bir yıldızın yaşını, kütlesi belirlerken, metal bolluğunu da yıldızı oluşturan molekül bulutunun kimyasal kompozisyonu tayin eder. Günümüzde yıldızların atmosferlerine ait kimyasal bolluklar büyük teleskoplara bağlı gelişmiş odak düzlemi aletleriyle yüksek çözünürlüklü ve yüksek sinyal/gürültü değerlerindeki tayfların gelişmiş analizleri sayesinde büyük bir duyarlılık ile belirlenebilmektedir. Çoklu fiber tayfçekkerlerinin gelişmesine paralel olarak aynı anda binlerce nesnenin tayfsal gözlemlerinin duyarlı yapılabilmesi tayfsal analizlerin yapay zekâyla incelenmesini gündeme getirmiştir. Araştırmacılar yüzbinlerce yıldız tayfının analizi için model atmosfer yöntemini tercih etmektedir. Bu yöntem ile incelenen yıldızların radyal hızları dışında, etkin sıcaklıkları, yüzey çekim ivmeleri, metal bollukları ve mikrotürbülans hızları tayin edilmektedir. Yüksek çözünürlüklü yıldız tayflarının analizi sonucunda model atmosfer parametrelerine ait dejenerasyonluk en aza indirgenmektedir. Fakat bu durum yıldızların yaş tayini için pek duyarlı değildir. Günümüzde yıldız yaşlarının belirlenmesinde model atmosfer parametrelerine göre oluşturulan eş-yaş eğrileri kullanılmaktadır. Araştırmacılar yıldızların model atmosfer parametrelerine eş-yaş eğrilerini fit ederek yıldız yaşlarını Bayes olasılığını dikkate alarak tayin etmektedir. Fakat bu istatistiksel yaklaşımda kullanılan parametrelerin belirsizlikleri dikkate alınarak çözüme gidildiğinden yıldız yaşlarındaki hatalar artmaktadır. Hataları büyük yıldız yaşlarının metal bolluklarıyla bir arada incelenmesi aranan ayrıntının kaybolmasına neden olur. Bu da Galaksinin zamanla kimyasal zenginleşmesinin anlaşılmasını zorlaştırmaktadır.

Galaksimizdeki hidrojen, helyum ve lityum dışındaki ağır elementlerin tamamı yıldızların çekirdeklerinde üretilmiştir. Evrenin erken evrelerinde metalce zengin olmayan bulutlardan oluşan yıldızlar (halo türü nesneler) çekirdeklerinde füzyon reaksiyonları sonucunda daha ağır elementlerin oluşmasına neden olur ve yaşamlarının sonunda meydana gelen süpernova patlamalarıyla yıldızlararası ortamı metal bolluğu bakımından zenginleştirir. Yıldızımız Güneş de, günümüzden yaklaşık 4.5 Gyıl önce, yıldızlararası ortamdaki bu metalce zengin materyalden oluşmuştur. Galaksimizin genç ve metalce zengin ince diski bu türden yıldızlara ev sahipliği yapmaktadır. Galaksiyi yaş ve metal bolluğu açısından incelemek için Hertzsprung-Russell (HR) diyagramı üzerindeki *Kırmızı Dev* yıldızları tercih edilebilir. Çünkü kırmızı dev yıldızların anakol yıldızlarına göre mutlak kadirlerinin daha parlak olması Galaksinin daha uzak bölgelerinden bilgi sağlanmasına fırsat verir. Günümüzde yakın kızılötede evrimleşmiş yıldızların tayfsal gözlemlerinin yapıldığı Sloan Sayısal Gökyüzü Taraması (Sloan Digital Sky Survey, SDSS; York ve diğ., 2000), içindeki Apaçi Nokta Gözlemevi Galaksi Evrim Deneyi (Apache Point Observatory Galaxy Evolution Experiment, APOGEE-2; Majewski ve diğ., 2017) alt programı sayesinde Güneş civarındaki 200,000'den fazla yıldızın incelenmesi söz konusudur. 2013 yılının son günlerinde uzaya gönderilen *Gaia* uydusundan sağlanan verileri astronomların kullanımına sunulmasıyla Galaksi astrofiziği konusunda hararetli çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. Yüksek lisans tez çalışmasında APOGEE-2 tayfsal ve *Gaia* astrometrik verilerinin bir arada incelenmesi çalışmanın kinematik analizlerinin oldukça hassas yapılmasına fırsat vermiştir (Gaia işbirliği, 2018).

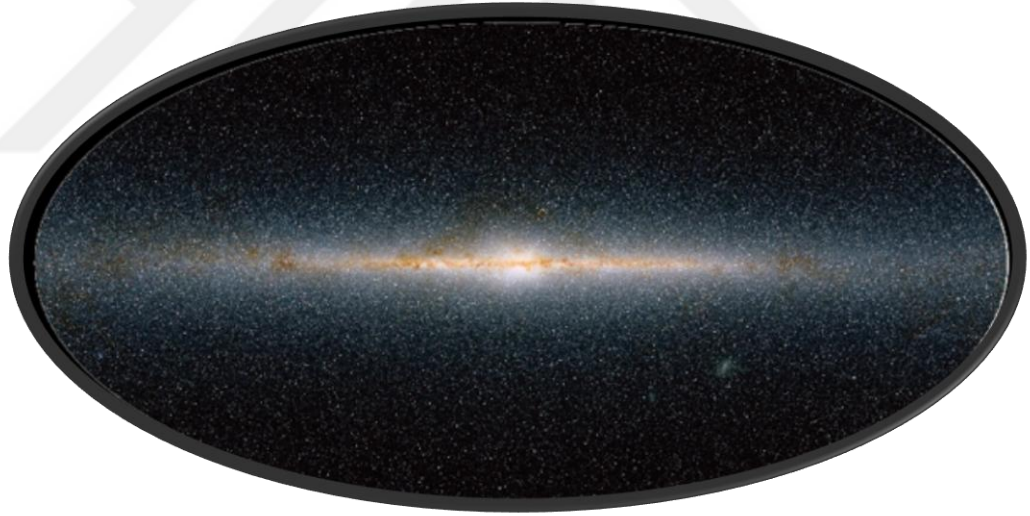
Yüksek lisans tez çalışmasının amacı günümüzde tayfsal ve astrometrik verileri hassas tayin edilmiş kırmızı dev yıldızların kinematik ve metal bolluklarını bir arada analiz ederek Galaksimizin disk bileşeni için yaş – metal bolluğu ilişkisini araştırmak ve Galaksimizin oluşumu ve evrimi üzerine yapılan modellere sınırlama getirmektir. Tezdeki 2. kısımda çalışmaya ilişkin genel bilgiler, 3. kısımda çalışmada kullanılan malzeme ve yöntemler, 4. kısımda yapılan analizler sonucu elde edilen bulgular, 5. kısımda ise tüm sonuçlara yönelik yapılan tartışmalar yer almaktadır.

## 2. GENEL KISIMLAR

### 2.1 SAMANYOLU'NUN BİLEŞENLERİ VE YILDIZ POPÜLASYONLARI

İçinde bulunduğumuz Evren farklı türden çok sayıda galaksiye ev sahipliği yapmaktadır. Evrenin yapı taşları olarak kabul edilen bu *galaksiler* bir araya gelerek *galaksi kümelerini*, galaksi kümeleri de *süper galaksi kümelerini* oluştururlar. Laniakea süper galaksi kümesi çok sayıda galaksiyle birlikte içinde bulunduğumuz *Samanyolu Galaksisi*'ni de içerir. İçinde yer aldığımız Laniakea süper galaksi kümesinin çapı  $R \sim 160$  Mpc (Tully ve diğ., 2014) iken Samanyolu Galaksisi'nin çapı  $R \sim 30$  kpc'dir (López-Corredoira ve diğ., 2018).

Galaksileri morfolojik olarak tanımlayan *Hubble sınıflamasına* göre, Samanyolu Galaksisi, SBb tipi spiral bir galaksidir (Binney ve Merrifield, 1998) ve yapısında *halo*, *kalın disk*, *ince disk* ve *şişkin bölge* gibi bileşenlerden oluşmaktadır (Şekil 2.1).



**Şekil 2.1:** Samanyolu Galaksisi'nin bileşenlerinin kızılöte görüntüsü<sup>1</sup>.

#### 2.1.1 İnce Disk

Güneş'imizi de barındıran *ince disk* bileşeni spiral kollar, metalce zengin genç yıldızlar, açık yıldız kümeleri, gaz ve toz içerdiğinden Samanyolu'nun oluşumunu ve evrimini anlamak açısından önemlidir. Galaksimizin oluşumunun son aşamasında meydana gelen ince disk yıldızlarının yaşları geniş bir aralığa sahip olduğundan literatürde ince disk bileşeni genç ve

<sup>1</sup> [sdss3.org/surveys/apogee.php](http://sdss3.org/surveys/apogee.php)

yaşlı ince disk olarak ikiye ayrılmaktadır (Buser, 2000). İnce disk yıldızları Galaksi merkezi etrafında çember yörüngelerde dolanırlar. Ortalama dönme hızı Güneş civarında  $V \sim 220$  km/sn iken, uzay hızı bileşenlerinin hız dispersiyonları,  $(\sigma_u, \sigma_v, \sigma_w) \simeq (35, 20, 16)$  km/sn değerlerindedir. Metalce zengin, genç Pop I yıldızlarından oluşan ince diskin demir bolluğu,  $-0.5 < [\text{Fe}/\text{H}] < +0.5$  dex aralığındadır (Bensby ve diğ., 2003). Günümüzde artan tayfsal çalışmalar neticesinde incelenen Pop I yıldızlarının alfa bolluklarının fakir ( $[\alpha/\text{Fe}] < 0.15$  dex) olduğu gösterilmiştir (Karaali ve diğ., 2019). Fotometrik gökyüzü taramalarından ince disk bileşeni için hesaplanan uzunluk ve yükseklik ölçekleri, sırasıyla,  $2000 < h \leq 2400$  pc ve  $200 < H \leq 400$  pc aralığındadır (Karaali ve diğ., 2004; Bilir ve diğ., 2006, 2008; Juric ve diğ., 2008). Genç ince disk için verilen yüksek ölçeği  $90 \leq H \leq 100$  pc aralığındadır (Gilmore ve Wyse, 1985).

### 2.1.2 Kalın Disk

Kenardan görünen çoğu spiral galaksinin iki farklı (ince ve kalın) disk bileşeninden oluştuğu bilinmesine rağmen (Tsikoudi, 1980), Galaksinin ince disk bileşeninin dışında *kalın disk* olarak ifade edilen yapı Gilmore ve Reid (1983) tarafından literatüre kazandırılmıştır. Galaksimizin yıldız sayı yoğunluğu olarak %5 ile %15'ini içeren kalın diskin uzunluk ve yükseklik ölçekleri, sırasıyla,  $2.8 < h < 4.7$  ve  $0.58 < H \leq 1.90$  kpc'dir (Yoshii, 2013). Galaktik düzlemde  $Z = 5$  kpc uzaklığa erişen kalın disk popülasyonunun ortalama yaşı 10 Gyl'dan büyüktür. Tayfsal ve fotometrik gözlemler sonucu incelenen kalın disk popülasyonu geniş bir metal bolluğu aralığındadır ( $-1.20 < [\text{Fe}/\text{H}] < 0$  dex) ve ortalama demir bolluğu  $\langle [\text{Fe}/\text{H}] \rangle = -0.80$  dex'tir. Demir bolluğu  $[\text{Fe}/\text{H}] = -0.40$  dex olan kalın disk yıldızlarının alfa ( $\alpha$ ) bollukları  $[\alpha/\text{Fe}] = +0.40$  dex civarındadır. Samanyolu'ndaki kalın disk yıldızlarının  $\alpha$ -element bollukları demir bolluklarına göre daha zengindir; çünkü kalın disk yıldızlarının çoğu Tip II süpernova patlamalarının artıklarından oluşmuşlardır ki bu durum Güneş civarındaki kalın disk yıldızlarının tayfsal yöntemler ile belirlenmesine yardımcı olur. Kalın disk yıldızları Galaksi merkezi etrafında basık yörüngelerde dolanırlar. Güneş civarındaki tipik dönme hızları yaklaşık  $V = 170$  km/sn iken, Galaktik düzleme dik doğrultudaki ortalama uzay hız bileşeni yaklaşık  $W \sim 40$  km/sn'dir. Uzay hızı bileşenlerinin ortalama uzay hız dispersiyonları da  $(\sigma_u, \sigma_v, \sigma_w)_{\text{TK}} \simeq (67, 38, 35)$  km/sn'dir (Bensby ve diğ., 2003). Kalın disk popülasyonunun incelenmesinde geç tayf türünden (F, G, K, M) anakol yıldızları ve evrimleşmiş yıldızlar ile gezegenimsi bulutsular ve metalce nispeten zengin küresel kümeler kullanılır. Bütün bu araştırmalara

rağmen, kalın diskin ayrık bir popülasyon olarak oluşup oluşmadığına dair tartışmalar halen devam etmektedir (Karaali ve diğ. 2004, Ivezić ve diğ., 2008).

### 2.1.3 Şişkin Bölge

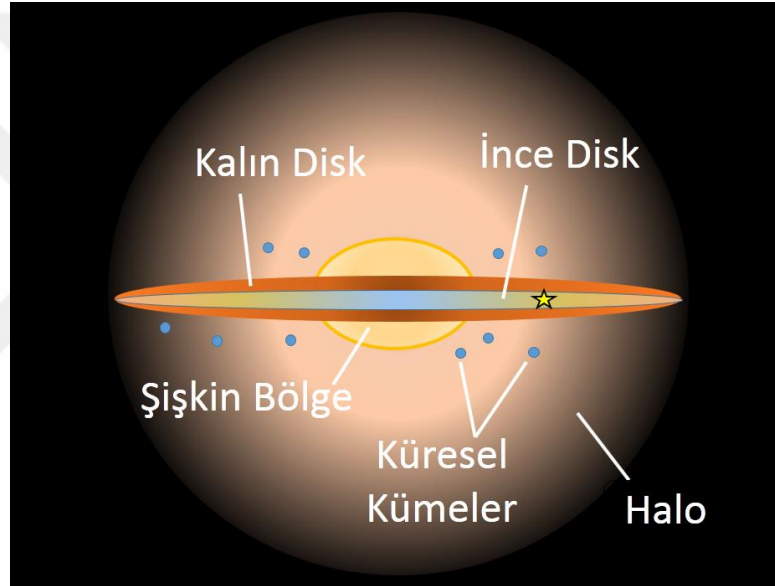
Galaksimizin merkez bölgesindeki *şişkin bölge* pek çok açıdan karmaşık bir yapıdır. Genç ve yaşlı yıldızlardan oluşan şişkin bölge, geniş bir metal bolluğu aralığına sahiptir ( $-1 < [\text{Fe}/\text{H}] < +1$  dex). Şişkin bölge çok parlak olmasına rağmen, bu bölgede bulunan tozun neden olduğu yıldızlararası sönmüleme şişkin bölge yıldızlarının optik dalgaboylarındaki gözlemlerini ve dolayısıyla analizlerini zorlaştırır. Bu nedenle şişkin bölge, ışınlamalarının etkin dalgaboyları yakın ve orta kızılötesi dalgaboylarına karşılık gelen evrimleşmiş yıldızlar sayesinde daha ayrıntılı şekilde incelenebilir. Bu bölgenin içinde *Baade Penceresi* adı verilen nispeten az sönmülemeli bölgedeki yıldızlar optik dalgaboylarında da incelenebilir. Şişkin bölgenin Galaksi merkezi etrafındaki ortalama dönme hızı  $V \sim 60$  km/sn, Galaktik düzleme dik doğrultudaki ortalama uzay hız bileşeni  $W \sim 120$  km/sn'dir (Cox, 2000).

### 2.1.4 Halo

Galaksimizin en dış bileşeni halo, metalce fakir, yaşlı ve basık yörüngelerde dolanan yıldız ve küresel kümelerden oluşmaktadır. Halo, içerdiği nesnelerin uzay dağılımları ve astrofizik parametreleri göz önüne alındığında biri Güneş çemberi ( $R_{gc} \leq 8$  kpc) içinde (*iç halo*), diğeri dışında ( $R_{gc} > 8$  kpc) kalan (*dış halo*) iki bileşenden meydana gelir. Yıldız halosu olarak da isimlendirilen iç halo baryonik maddeden oluşurken karanlık halo olarak ifade edilen dış halo kütlesi yaklaşık  $10^{12} M_{\odot}$  olan görünmeyen maddeden ibarettir (Bland-Hawthorn ve Freeman, 2000). Bu bileşene ait bilgiler, gaz bulutlarının hareketinden, metalce fakir küresel küme yıldızlarından, tekil yıldızlardan ve uydu galaksilerden elde edilmiştir. Karanlık halonun hacmi 200 kpc mesafeye uzanmakla beraber Samanyolu'nun yıldız ve gaz kütlesinin yaklaşık 20 katı madde içerir. Galaksinin toplam kütlesinin çoğunluğunu içeren bu bileşenin hacminin, disk yıldızların hacminden 1,000 kat daha büyük olduğu düşünülmektedir. Günümüzde henüz bu devasa boyutlardaki yapının içeriği tam olarak belirlenememiştir (Alcock, 2000).

İç halonun dış halodan en belirgin farkı, iç halonun dış haloya göre daha basık-üç eksenli olması ve dönmesidir. İç halodaki yıldızların demir bollukları  $-3 \leq [\text{Fe}/\text{H}] \leq -1$  dex aralığında olup, 13 Gyr yaşındaki yıldızlardan oluşur (Carney ve diğ., 1990). Pop II yıldızlarından oluşan halonun

Galaksi merkezi etrafındaki ortalama dönme hızı  $V \sim 30$  km/s iken, dikey hız dispersiyonları iç haloda  $\sigma_w \sim 95$  km/sn, dış haloda ise  $\sigma_w \sim 180$  km/sn'dir (Freeman, 2011). Halo popülasyonu geç tayf türünden (G, K, M) metalce fakir anakol yıldızları, RR Lyr yıldızları, sefeidler, gezegenimsi bulutsular ve küresel kümelerle ev sahipliği yapar. Halo popülasyonunun kinematiki, küresel kümeler, RR Lyr, metalce fakir alt cüceler ve dev yıldızlar gibi nesnelerin kullanılmasıyla belirlenir. Galaksi merkezi etrafındaki dönme hızı, 200-220 km/sn arasında değişen Güneş ve civarı dikkate alındığında, Tablo 2.1'deki temel kinematik veriler elde edilmiştir (Reid ve Hawley, 2005). Bölüm 2.1'de bahsedilen Galaktik bileşenlerin güncel bir çizimi Şekil 2.2'de gösterilmiştir.



**Şekil 2.2:** Galaksimizin bileşenlerinin şematik bir gösterimi<sup>2</sup>.

**Tablo 2.1:** Yıldız halosunun göstergesi olan nesnelerin ortalama uzay hız bileşenleri, hız bileşenlerinin dispersiyonları ve ortalama teğet hızları.

|                          | $U$ | $V$     | $W$ | $\sigma_U$ | $\sigma_V$ | $\sigma_W$ | $N$ | $V_{teğet}$ |
|--------------------------|-----|---------|-----|------------|------------|------------|-----|-------------|
|                          |     | (km/sn) |     |            | (km/sn)    |            |     | (km/sn)     |
| Kümeler                  |     | -160    |     | 118        | 118        | 118        | 66  | 172         |
| Metalce fakir RR Lyr'lar |     | -220    |     | 210        | 119        | 91         | 33  | 228         |
| Halo RR Lyr'lar          | 9   | -210    | -12 | 168        | 102        | 97         | 162 | 209         |
| Metalce fakir yıldızlar  |     | -200    |     | 153        | 93         | 107        | 887 | 201         |
| Metalce fakir yıldızlar  | 16  | -217    | -10 | 161        | 115        | 108        | 180 | 215         |
| Alt cüceler              |     | -180    |     | 130        | 105        | 85         | 452 | 177         |
| Alt cüceler              |     | -195    |     | 133        | 98         | 94         | 420 | 189         |
| Alt cüceler              | -20 | -149    | -4  | 140        | 100        | 67         | 33  | 173         |
| Alt cüceler              | -7  | -181    | -5  | 156        | 112        | 108        | 118 | 206         |
| Alt cüceler              | -20 | -193    | -3  | 152        | 104        | 95         | 150 | 209         |
| Disk cüceleri            | -9  | -22     | -7  | 41         | 27         | 21         | 311 | 39          |

<sup>2</sup> <http://www.astro.lu.se/~greg/milkyway.html>

## 2.2 SAMANYOLU'NUN OLUŞUM SENARYOLARI

Galaksimizdeki nesneler uzay dağılımları dışında kimyasal ve yörünge dinamiğine bağlı olarak geliştirilen sistematik gökyüzü tarama programlarıyla incelenmektedir. Artan tayfsal gözlemler ile yıldızların kimyasal analizlerinin yapılmasının yanı sıra gelişen bilgisayar teknolojisiyle paralel olarak karmaşık yörünge analizlerinin yapılabilmesi söz konusu olmuştur. Bu da Samanyolu galaksisinin oluşumu ve evrimine yönelik modellerin oluşturulmasına fırsat vermektedir. Galaksimize ait ilk yarı deneysel modeller ELS (1962) tarafından öne sürülmüştür. Bu modelde Güneş civarındaki anakol yıldızları dikkate alınmıştır. Metal bolluklarıyla yörünge basıklıkları arasında bir ilişki olduğu tespit edilen bu çalışmada Galaksimizin, metalce fakir ilkel bir bulutun kısa bir dinamik zaman ölçeğinde (~300 Myıl) çökmesiyle şekillenmeye başladığı ifade edilmiştir. Bu düşüncede haloda oluşan ilk kuşak metalce fakir büyük kütleli yıldızların hızlıca evrimleşerek süpernova patlamaları geçirmeleri yıldızlararası ortamın zenginleşmesine yol açmıştır. Metalce zengin bu maddenin açıl momentumunun korunumundan dolayı Galaksi diskinde çökmesiyle metalce zengin ikinci kuşak yıldızlar oluşmuştur. Bu senaryoya göre halodaki yıldızlar ile disk yıldızları arasında bir metal bolluğu gradyentinin bulunması beklenir. Fakat geçen süre zarfında Galaksimizdeki küresel kümelerin metal bolluklarını analiz eden araştırmacılar küresel kümelerin metal bolluklarında belirgin farklılıkların bulunduğunu tespit etmişlerdir. Bu gözlemsel durumu değerlendiren Searle ve Zinn (SZ, 1978) ELS modeline alternatif bir kuram olarak halodaki metal bolluğu farklılıklarının Galaksimiz ile cüce galaksilerin etkileşmesinden kaynaklandığını iddia etmişlerdir. İlkel Galaktik bulutun çökmesinden sonra başlayan ve 1-2 Gyıl süren galaksi etkileşimleriyle farklı metal bolluklarında bulunan küresel kümeler oluştukları galaksiden Samanyolu'na aktarılmıştır. Bu durum halo bileşeni için de hesaplanamayan metal bolluğu gradyentinin açıklamaktadır. Geçen süre içinde Galaksi diskindeki yıldızlar içinde Galaksi merkezinden radyal doğrultuda zayıf bir metal bolluğu gradyenti tespit edilmiştir (Janes, 1978). Chiappini ve diğ. (1997) Galaksi diskinde farklı nesneler kullanılarak tespit edilen radyal metal bolluğu gradyentlerinin açıklaması için *ikili çökme* modelini öne sürmüşlerdir. Bu modele göre dinamik zaman ölçeğinde evrimleşerek yıldızlararası ortamı zenginleştiren madde Galaksi diskinde toplanmış ve yeni disk yıldızlarını oluşturmuştur. Galaksi merkezine yakın bölgede meydana gelen etkileşimlerin, Galaksinin dış kısımlarına göre fazla oluşu yıldız oluşum oranlarını arttırmış ve Galaksi diskinin iç kısımlarında daha çok metalce zengin yıldızların oluşmasına neden olmuştur. Bu durum Galaksi merkezinden dışa doğru gidildikçe metal

bolluğunda bir azalmanın olacağını ifade etmekte olup zayıf bir radyal metal bolluğu gradyentinin bulunması gerektiğini söylemektedir. Galaksinin oluşumuna ve evrimine yönelik modeller Galaksi etkileşimleri, kimyasal zenginleşme ve dinamik süreçler dikkate alınarak çok cisim sayısal benzetimleriyle halen geliştirilmektedir (Minchev ve diğ. 2013; Haywood ve diğ. 2019).

### 2.3 SAMANYOLU'NUN KİMYASAL EVRİMİ

Yerel gruptaki spiral galaksilerden biri olan Samanyolu ve uydularının kimyasal yapısı son yıllarda elde edilen yüksek çözünürlüklü tayfsal veriler sayesinde daha detaylı incelenabilmektedir. Kimyasal evrim modelleriyle gözlemsel verilerin karşılaştırılması Galaktik arkeoloji açısından ele alındığında yıldız nükleosentezi, galaksilerin oluşumu için zaman ölçekleri olarak kabul edilmektedir. Bu zaman ölçekleri dışında yıldız oluşumu, başlangıç kütle fonksiyonu ve kimyasal zenginleşmeye kaynaklık eden olaylar galaksi evrimi çalışmalarında önemli bir yer tutmaktadır.

Galaksimizde yıldız oluşumu, özellikle Güneş komşuluğundaki yakın yıldızlar kullanılarak, birkaç yöntem ile incelenmiştir. Galaksimizin disk bileşenindeki yıldızların yaş dağılımı incelendiğinde 10 Gyıl'dan bu yana yıldız oluşumunun kesintisiz gerçekleştiği Friel (1995) tarafından gösterilmiştir. Metal bollukları  $[M/H] > -1$  dex olan disk yıldızlarının bollukları incelendiğinde yıldız oluşum aktivitesinin metal bolluğuna bağlılığı gösterilmiştir (Twarog, 1980; Reid ve Majewski, 1993). Galaksimizdeki yıldız oluşumunun anlaşılabilmesi için beyaz cüceler de dikkate alınmıştır. Beyaz cücelerin ata yıldızlarının anakoldan ayrılma süreleri 0.05-10 Gyıl arasında olduğundan kütleleri  $1 < M/M_{\odot} \leq 8$  aralığındadır (Noh ve Scalo, 1990). Beyaz cücelerin ısıma gücü fonksiyonlarının belli bir uzay hacmi içinde elde edilmesi kütle fonksiyonlarının belirlenmesine, dağılımın sınırlarındaki kütle değerleri de ata yıldızların yaşlarının tayinine olanak verir.

*Yıldız oluşum oranının* (SFR) en yaygın ifadesi Schmidt yasasıdır (Schmidt, 1959). Yasaya göre,  $SFR = v \sigma_{gaz}^k$  şeklinde ifade edilen bağıntıda  $\sigma_{gaz}^k$ , yıldız oluşumundaki gazın yüzey yoğunluğu,  $v$  yıldız oluşum oranının etkinliği,  $k$  değeri de 1 ile 2 değeri arasında bulunan serbest bir parametredir. SFR, ortamdaki toplam kütleinin yüzey yoğunluğu dikkate alındığında  $\psi(t) = v \sigma_{top}^{k1} \sigma_{gaz}^{k2}$  bağıntısıyla da ifade edilmektedir (Dopita ve Ryder, 1994).

Salpeter (1955) tarafından literatüre kazandırılan *başlangıç kütle fonksiyonu* (IMF), incelenen bir yıldız grubunun (küme gibi) kütle dağılımını ifade eden evrensel bir ilişkidir. Bu ilişki grupta birim kütle aralığındaki yıldız sayısının değişimi olarak verilmektedir. Analitik olarak bu bağıntı  $\phi(M) = a \times M^{-(1+X)}$  şeklindeki bir güç kanunuyla ifade edilir (Scalo, 1986, 1998; Kroupa ve diğ., 1993; Chabrier, 2003). Kütle değerinin üstel kısmında yer alan  $-(1+X)$  ifadesi dağılımın eğimi göstermektedir. Galaksimizde bu bağıntının elde edilmesinde kütleleri  $0.1 < M/M_{\odot} < 100$  aralığında bulunan yıldızlar kullanılmaktadır. Güneş civarındaki anakol yıldızlarını inceleyen Salpeter (1955) bu değeri  $X = 1.35$  olarak vermektedir.

*Yıldız oluşum verimliliği*, farklı kütlelerdeki yıldız ölümüyle yıldızlararası ortama bırakılan ağır element bolluğunu ifade eder. Bu fonksiyon Galaktik kimyasal evrimin hesaplanmasında gereken temel bir unsurdur. Kütleleri birbirinden farklı yıldızların nükleosentez süreçleri farklılıklar içerdiğinden değişik bolluklarda element üretimi söz konusudur. Kütlesi  $M < 0.1 M_{\odot}$  olan kahverengi cüceler, yıldızlararası ortamı element bakımından zenginleştirmez ancak sahip oldukları hacim içerisindeki gazı hapsederler. Küçük ve orta kütleli yıldızlar ( $0.8 \leq M/M_{\odot} \leq 8$ ),  ${}^4\text{He}$ ,  ${}^{12}\text{C}$ ,  ${}^{14}\text{N}$  elementlerini, CNO izotoplarını ve s-işlev elementlerini oluştururlar (Marigo ve diğ., 1996; Karakas, 2010). Büyük kütleli yıldızlar ( $8 < M/M_{\odot} \leq 40$ ), ömürlerini Tip II süpernova patlamalarıyla sonlandırdıklarından yıldızlararası ortamı çoğunlukla  $\alpha$ -elementleri (O, Ne, Mg, Si, S, Ca) bakımından zenginleştirirler. Fe ve Fe benzeri elementlerinin yanı sıra r-işlevi ve s-işlevi elementleri de üretirler. Bu yıldızların  $40 M_{\odot}$ 'ten daha büyük kütleli olanları, ömürlerini, Tip Ib/c süpernova patlamalarıyla sonlandırırlar. Bu tip süpernova patlamaları aynı zamanda  $\gamma$ -ışın patlamaları ile ilişkili çekirdek çökmesiyle oluşurlar (Woosley ve Weaver, 1995; Meynet ve Maeder, 2002). Tip Ia süpernova patlaması baş bileşeni bir beyaz cüce ve yoldaşı da orta kütleli bir kırmızı dev yıldızın çift yıldız evriminden kaynaklanmaktadır. Kırmızı dev yıldızdan aktarılan maddenin beyaz cüce etrafındaki disk ısıtması ve diskin kararsızlık haline gelerek maddenin beyaz cüceye aktarılmasına ve yıldızın kritik kütle limitini ( $\sim 1.44 M_{\odot}$ ) aşması sonucu Tip Ia süpernovalarının oluşmasına neden olur. Bu tip patlamalar, yıldızlararası ortamı sülfür, silikon, kalsiyum bakımından zenginleştirmenin ötesinde, Galaksimizdeki gözlemlenen demirin %70'inin oluşumuna katkı sağlamaktadır (Chiappini, 2001). Büyük kütleli yıldızların ( $M > 100 M_{\odot}$ ) süpernova patlaması sonucu özellikle ortamı oksijence zenginleştirdiği yapılan hesaplamalar ile gösterilmiştir. Bu türden nesnelerin gözlemleri için diğer galaksilerdeki süpernova artıklarının incelenmesi önemlidir (Alan ve diğ., 2019)

### 2.3.1 Yaş-Metal Bolluğu İlişkisi

Yaş ve metal bolluğu ilişkisi galaksi evrimi için oluşturulan kuramsal modellerin sınanmasında önemlidir. Günümüzde yıldızların metal bollukları yüksek çözünürlüklü ve yüksek S/N değerli tayfların analizleriyle oldukça hassas tayin edilebilmektedir. Yıldız yaşları model atmosfer parametrelerinin kuramsal eş-yaş eğriyle karşılaştırılması sonucu belirlenmektedir. Yıldızların metal bolluklarıyla yaşlarının birlikte incelenmesi, zamanın bir fonksiyonu olarak Galaksinin kimyasal zenginleşmesinin anlaşılmasında kullanılmaktadır. Güneş komşuluğundaki F tayf türünden anakol yıldızlarını Strömgren fotometrisiyle (*uvby*) inceleyen Twarog (1980) literatürdeki ilk kapsamlı yaş-metal bolluğu ilişkisini elde etmiştir. Strobel (1991), Galaksimizdeki açık ve küresel küme yıldızlarını inceleyerek Galaksi diskindeki metal bolluğu zenginleşmesinin iki farklı süreçte gerçekleştiğini göstermiştir. Ibukiyama ve Arimoto (2002) Güneş civarındaki ince disk ve kalın disk yıldızlarını inceleyerek ince diskin yaş-metal bolluğu ilişkisinde bir saçılma tespit etmiştir. Bu saçılmanın Güneş civarında kimyasal evrimin homojen olmamasından kaynaklanabileceğini ifade etmişlerdir. Kalın diskteki yaş-metal bolluğu ilişkisine göre yıldız oluşumunun 8 Gyl önce son bulduğunu göstermişlerdir. Araştırmacılar elde ettikleri sonucun ikili çökme ve/veya uydu galaksilerin yığılması gibi olası ince disk oluşum senaryolarını desteklediğini önermektedirler. Edvardsson ve diğ.'lerinin (1993) tayfsal örneğini kullanan Pont ve Eyer (2004), cüce yıldızlardan Galaksinin kimyasal ve dinamik tarihini araştırmak için yaş-metal bolluğu ilişkisini elde etmişlerdir.

### 2.3.2 Gaz Akıntıları

Galaksimizin büyük kısmını oluşturan gazın dağılımı homojen değildir. Uydu galaksilerle kütle çekimsel etkileşimleri sonucu Galaksimize asimetric gaz akıntıları olmaktadır. İnce diske düşen gaz akıntıları Galaktik metal bolluğu gradyentini etkiler. Pek çok araştırmacı tarafından gözlemsel veriler ile analiz edilen radyal metal bolluğu gradyenti Galaksimizin oluşumu ve evrimini açıklayan ikili çökme modelini desteklemektedir. Gaz akıntılarının Galaksi merkezine doğru ilerlemesi yıldız oluşumunu ve Galaktik manyetik alanı etkiler (Portinari ve Chiosi, 2000). Bununla birlikte, gaz akıntıları Galaktik çekimsel tedirginliklerden biri olan çubuk yapıdan etkilenir ve bu etki çubuk yapının hızının belirlenmesinde kullanılmaktadır (Debattista, 2002).

### 2.3.3 Radyal Göç

Galaksimizdeki çeşitli dinamik etkiler sonucu yıldızların yörüngeleri etkilenecek değişimlere uğramaktadır. Galaksi kütlelerinin homojen olmayan dağılımı ince disk yıldızlarının çembersel yörüngelerinin radyal doğrultularda değişimine neden olur (De Simone ve diğ., 2004). Radyal göçün, metalce zengin yaşlı yıldızları Galaksinin iç yörüngelerinden daha dış yörüngelere taşıdığı bir süredir bilinmekle beraber (Grenon, 1972), dış yörüngelerdeki ince diskin metalce fakir yıldızlarının benzer bir mekanizma ile iç yörüngelere sürüklenmesi de mümkündür. Cenevre fotometrik verilerini kullanan Haywood (2008), genç metalce zengin yıldızlar (2-3 Gyl) için belirgin bir yaş-metal bolluğu ilişkisi gösterebilmişken yaşlı metalce fakir yıldızlar (8-10 Gyl) için böyle bir ilişki bulamamıştır. Bu durumu yıldızların radyal göçüyle açıklamıştır.

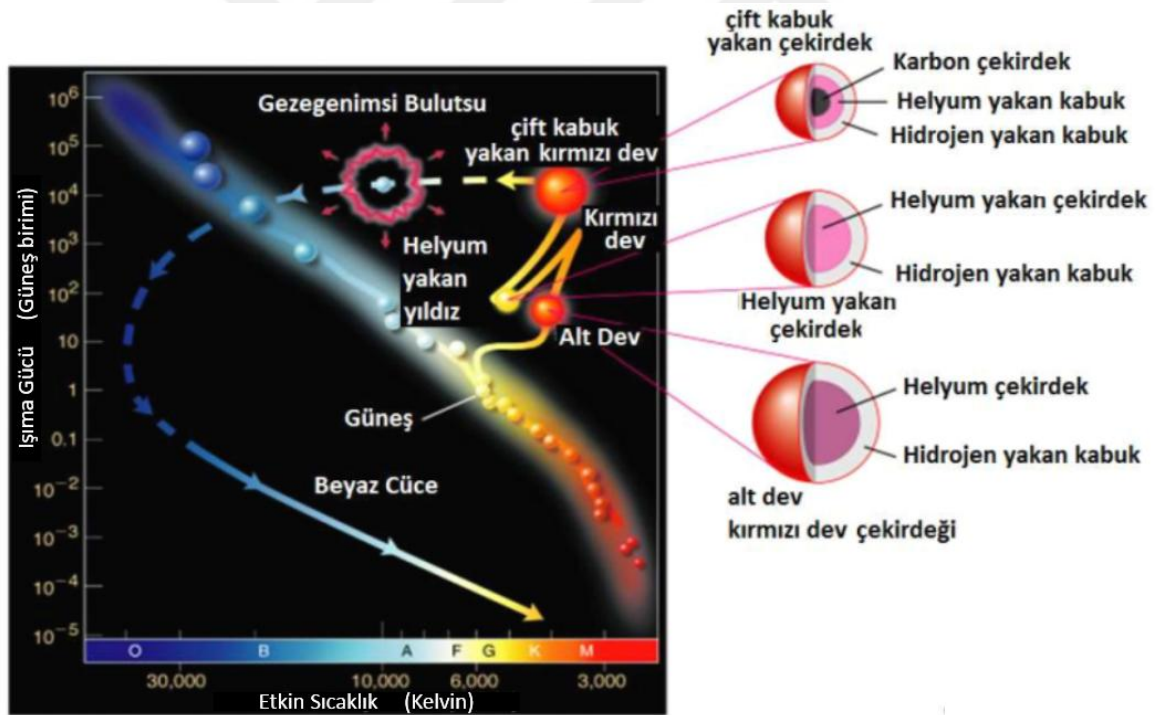
### 2.4 KIRMIZI DEV YILDIZLAR

Kırmızı dev yıldızlar, iç yapılarında genişleyen konvektif zarflara sahip nesnelerdir (Şekil 2.3). Gözlemsel renk-parlaklık diyagramlarının parlak ve kırmızı kısmı, yaşlı ve orta-yaşlı yıldızların evrimi araştırmalarında büyük bir öneme sahiptir. Kırmızı dev kolu, kırmızı yığın ve asimptotik dev kolu olmak üzere üç ana sınıfta incelenen kırmızı dev yıldızlar, uzaklık hesaplamalarının (Pulone, 1992; Lee ve diğ., 1993) yanı sıra Galaksimizin metal bolluğu (Sarajedini, 1994) ve yıldız oluşumu (Girardi ve Salaris, 2001; Salaris ve Girardi, 2002; Maness ve diğ., 2007) araştırmalarında kullanılmaktadır.

Kırmızı dev kolu yıldızları, helyum çekirdeklerinin çevresinde hidrojen yakan kabuğa sahip yıldızlardır. Başlangıç kütleleri, başlangıçtaki kimyasal kompozisyonlarına bağlı olmak ile birlikte  $2.0 - 2.3 M_{\odot}$ 'in altındadır. Güneş kütlelerinde bir yıldız için kırmızı dev kolu aşaması yaklaşık  $10^9$  yıl sürmektedir. Kırmızı dev kolu süresince, hem merkez hem de hidrojen yakan kabukta gerçekleşen reaksiyonlar sonucu artan helyum miktarıyla yıldızın parlaklığı artarken, yüzey sıcaklığında azalma söz konusudur. Bu süreç,  $M_{He} \approx 0.5 M_{\odot}$  koşulu gerçekleşip He parlaması oluşuncaya kadar devam eder (Kippenhahn ve Weigert, 1990). Süreç içerisinde gerçekleşen kütle kaybının miktarı, He parlaması aşamasında yıldızın sahip olduğu yüzey sıcaklığının belirlenmesinde kritik rol oynamaktadır. Ancak kırmızı dev aşamasındaki kütle kaybının miktarıyla ilgili net bir bilgi henüz mevcut değildir (Origlia ve diğ., 2002; Boyer ve diğ., 2008).

Kırmızı yığın yıldızları, HR diyagramındaki konumları sebebiyle, uzaklık hesaplamalarında etkin rol oynarlar. Metalce zengin olan bu yıldızlar bazen He parlamasının sonucu olabildiği gibi, küçük kütleli bir yıldızın kırmızı dev aşamasında az miktarda kütle kaybetmesi sonucu da ortaya çıkmaktadır. Kırmızı yığın evresi, metal bolluğu Güneş metal bolluğunda olan yıldızlar için kütleye bağlı olmaksızın yaklaşık 100 Myıl mertebesindedir. Merkezlerindeki konvektif bölgede He yakan çekirdek yer alır. Çekirdeğin etrafındaki H yakan kabuk radyatiftir ve bu radyatif kabuk konvektif bir zarfla çevrilmiştir.

Asimptotik dev kolu yıldızları, merkezlerindeki nükleer reaksiyonlar sonucu oluşan elektron dejenere C ve O çekirdeğin etrafında helyum yakan kabukla çevrilidir. He yakan kabuğun çevresindeki H yakan kabuk geniş konvektif bir zarfla çevrelenmiştir. H ve He kabukların yanmasıyla C ve O kütlesi artışa geçerken diğer taraftan yıldız zarfının kütlesi  $0.01-0.001 M_{\odot}$  mertebelerine ulaşır.



Şekil 2.3: HR diyagramında kırmızı dev yıldızlar<sup>3</sup>.

<sup>3</sup> <https://docplayer.biz.tr/58505810-Yildizlarin-evrimi-zeki-aslan.html>

## 2.5 SDSS IV GÖKYÜZÜ TARAMA PROGRAMI (2014-2020)

Yaklaşık on yıl süren tasarım ve yapım aşamasının ardından Sloan Dijital Gökyüzü Tarama programı (Sloan Digital Sky Survey, SDSS) 1998’de dev mozaik kamerasıyla ilk ışığı görmüş ve 2000 yılından itibaren rutin işlemlerine başlamıştır. SDSS’in kapsamı yıllar içinde değişirken çok çeşitli gözlem programları oluşturulmuştur.

SDSS’in yeni nesil gökyüzü tarama programı olan SDSS IV (2014-2020), hassas kozmolojik ölçümlerle, kozmik tarihin erken evrelerinin araştırılması (The Extended Baryon Oscillation Spectroscopic Survey, eBOSS), yakın kızılötesi tayfçekerin geliştirilmesiyle kuzey ve güney yarıküreden Galaksi’nin geniş tayfsal incelenmesi (Apache Point Observatory Galaxy Evolution Experiment, APOGEE-2) ve birbirinden ayrı konumlanmış galaksilerin yüksek uzaysal çözünürlükteki haritalarının (Mapping Nearby Galaxies, MaNGA) oluşturulması gibi görevlere sahiptir.

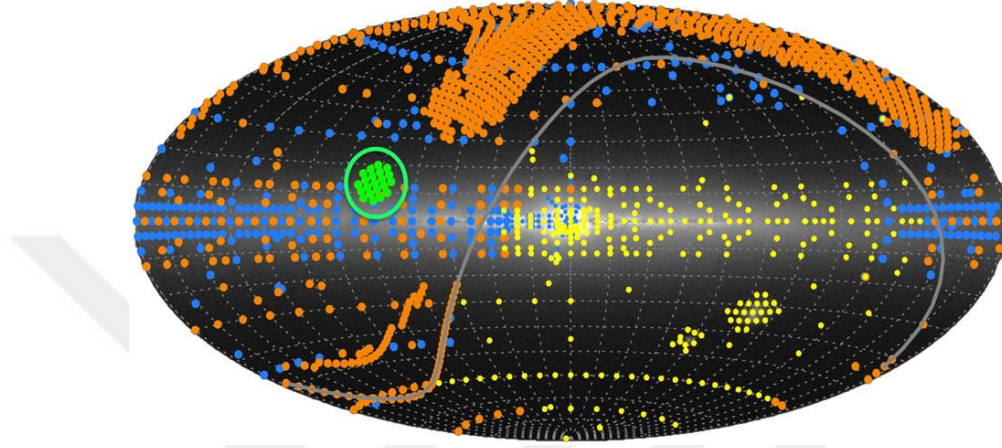
### 2.5.1 APOGEE-2

APOGEE, Galaksideki çok sayıda yıldızın element bolluklarının belirlenmesiyle Samanyolu’nun kimyasının haritalandırılması için amaçlanan SDSS tarama programının sonuçları üzerine yapılandırılmıştır. APOGEE, elektromanyetik tayfın yakın kızılöte bölgesinde yıldız tayfları üzerine yürütülen büyük ölçekli bir tarama programıdır. Radyal hız ve element bolluklarının hesaplanması ve 13.8 kadirten parlak nesnelerin gözlemlenebilmesi için yüksek çözünürlüklü ( $R \sim 22,500$ ) ve 300 fiberli bir tayfçeker kullanılmıştır. Galaksimizin disk ve şişkin bölgesinde bulunan yoğun tozdan dolayı etkilenen optik dalgaboyundaki araştırmaların aksine yakın kızılötesi bölgede gözlem yapan APOGEE programı özellikle Samanyolu’nun yıldız yoğunluğunun en fazla olduğu diskin araştırılmasında önemlidir.

İkinci nesil APOGEE programı olan APOGEE-2’nin hedefi, 1 m çapındaki NMSU (New Mexico State University) Teleskobu, 2.5 m çapındaki APO (Apache Point Observatory) Teleskobu (APOGEE-2N) ve Şili’deki 2.5 m çaplı du Pont Teleskobu (APOGEE-2S) kullanılarak Samanyolu’nun dinamik ve kimyasal haritasını oluşturmaktır. APOGEE-2 Samanyolu’nun oluşumu ve evriminin anlaşılması için yüz binlerce yıldızı gözlemlemektedir.

Yakın kızılöte dalgaboyundaki tayfsal çalışmalarla yıldızlararası ortamdan etkilenen bölgelerin de gözlemlenebilmesi mümkün olduğundan APOGEE-2’nin verileri sayesinde Galaksimizdeki

yıldızların element bolluğu dağılımı ve farklı konumlardaki yıldızların dinamik hareketleri kapsamlı bir şekilde elde edilmiştir. Böylelikle, APOGEE-1 Güneş merkezli 2 kpc'lik uzaklık içindeki kırmızı dev yıldızları dikkate alınmışken, APOGEE-2 ile daha geniş bir uzay hacmindeki evrimleşmiş yıldızlar, yıldız oluşum bölgeleri, uydu galaksiler ve küme yıldızları gözlem programına alınmıştır (Şekil 2.4).



Şekil 2.4: APOGEE-2 gökyüzü tarama programındaki yıldız alanları<sup>4</sup>.

### 2.5.2 eBOSS

eBOSS, üç milyar yıl yaşımdan daha erken dönemlerine ait evrenin genişleme zamanını belirlemek ve karanlık enerjinin doğası üzerinde oluşturulan modellerin sınırlandırılması amacıyla oluşturulmuş bir gökyüzü tarama programıdır. Günümüzde bu alt tarama programıyla henüz keşfedilmemiş galaksi ve kuazarların gözlenmesi üzerine yoğunlaşmış ve buradan evrenin en geniş hacimli haritasının oluşturulması hedeflenmiştir.

### 2.5.3 MaNGA

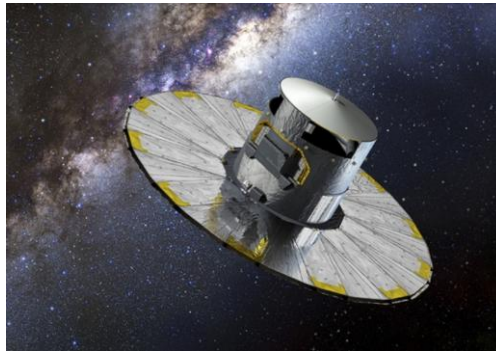
MaNGA gökyüzü alt tarama programıyla yaklaşık 10,000 yakın galaksinin merkezi bölgelerinin tayfsal gözlemleri yapılarak yıldızların iki boyutlu hız ve dispersiyon haritalarını oluşturmak, yıldız yaşları ve yıldız oluşumuna ışık tutmak, yıldızların metal ve diğer element bolluklarını tayin etmek ve bulundukları galaksilerin toz haritasını ortaya çıkarmak hedeflenmiştir. MaNGA'nın galaksilerin etkileşimleri ve dinamik yapıları hakkındaki

<sup>4</sup> <https://www.sdss.org/surveys/apogee-2/>

gözlemleri sayesinde yakın galaksilerin birkaç milyar yıldan daha uzun süredeki gelişmeleri incelenecektir.

## 2.6 GAIA UYDUSU

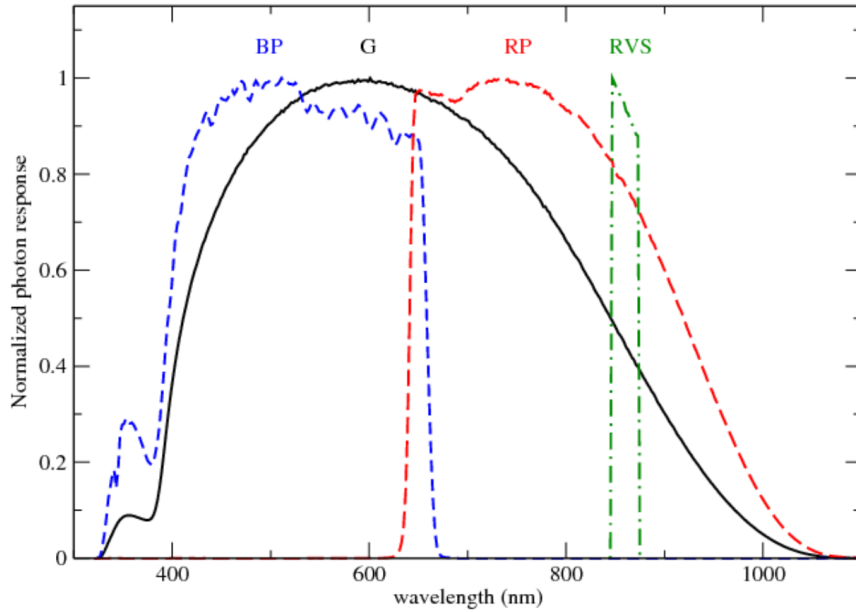
*Gaia* (Global Astrometric Interferometer for Astrophysics), 19 Aralık 2013 tarihinde Avrupa Uzay Ajansı (ESA) tarafından fırlatılan bir uzay teleskobudur (Şekil 2.5). Uydunun hedefi görünen parlaklığı  $G = 20$  kadire kadar, gökyüzündeki tüm yıldızları en az beş yıl süresince gözleyerek konumlarını, parlaklıklarını, radyal hızlarını, öz hareketlerini ve trigonometrik paralakslarını büyük bir duyarlılık ile belirlemektir. Bu gözlemler sayesinde farklı türden nesnelerin keşifleri yapılabilecektir. Çok sayıda öte-gezegen, kahverengi cüce yıldız ve değişen yıldızlar, Güneş sisteminde yer alan asteroidler, evrenin sınırlarında bulunan kuazarlar da *Gaia* ile gözlenecektir. *Gaia* uydusu, gök cisimlerini neredeyse eş zamanlı olarak astrometrik, fotometrik ve tayfsal olarak gözleyebilmektedir. Bir yıllık *Gaia* gözlemleri sonucu elde edilen veriler, 14 Eylül 2016 tarihinde erken veri sürümü 1 (DR 1) olarak astronomların kullanımına sunulmuştur. İlk veri sürümünde 1.1 milyar nesnenin gökyüzündeki konumları ve  $G$  parlaklıkları bulunmaktadır. 2,057,050 parlak yıldızın trigonometrik paralaksları, öz hareket ve ekvatorial koordinatları *Hipparcos* ve *Tycho-2* kataloglarındaki yıldızlar ile eşleştirilerek TGAS (Tycho-Gaia Astrometric Solution) kataloğu *Gaia* DR1'in alt bir sürümü olarak hazırlanmıştır. *Gaia*'nın DR2 veri sürümü 25 Nisan 2018 tarihinde yayımlanmıştır. Yaklaşık 22 aylık bir gözlem süresine ait bu veri seti 1.7 milyar nesnenin, ekvatorial koordinatlarını ve  $G$  görünen parlaklıklarını içermektedir. Trigonometrik paralaks, öz hareket, mavi ve kırmızı ( $BP$  ve  $RP$ ) fotometrik verileri 1.3 milyar nesne için belirlenmiştir. Radyal hız verisi 7 milyon civarındaki yıldız için hesaplanmış ve katalogda yer almıştır.



Şekil 2.5: *Gaia* uydusunun temsili görünüşü.

*Gaia* CCD dedektörlerindeki, her bir piksel 10  $\mu\text{m}$  (59 milli yay saniyesi) boyutundadır ve CCD'in gökyüzünde gördüğü bir derece karesinde yaklaşık 750,000 nesnenin yer alabilmesine göre tasarlanmıştır. *Gaia* fotometrisi, yaklaşık 330-1,050 nm aralığında tanımlanmış geniş *G* bandında beyaz-ışık akısı, mavi ve kırmızı bantlarda (*BP* ve *RP*) elde edilen düşük çözünürlükteki spektro-fotometriyi kapsamaktadır (Şekil 2.6). Fotometrik gözlemler ile tüm nesnelerin, yıldız veya kuazar olarak sınıflanmasının yanı sıra, yıldızlararası kızarma, etkin sıcaklık, fotometrik kırmızıya kayma gibi astrofiziksel parametreler tayin edilmiştir.

*Gaia*'nın tayfsal gözlemleri için geliştirilmiş *Radyal-Hız Spektrometresi* (RVS) 842-872 nm dalga boyu aralığında, yaklaşık  $R = 11,500$  çözünürlüklü bir tayfçekere sahiptir. Tayfsal gözlemler,  $G_{RVS} \approx 16$  kadirde daha parlak yıldızlar için elde edilecektir. Yaklaşık 150 milyon nesnenin Doppler kayması ölçümlerinden radyal hızlarının hesaplanması planlanmaktadır. Yıldızlararası kızarma, atmosferik parametreler ve yıldızların dönme hızları gibi temel astrofiziksel verilerin  $G_{RVS} \approx 12$  kadirde daha parlak yaklaşık beş milyon yıldız için elde edileceği düşünülürken,  $G_{RVS} \approx 11$  kadirde daha parlak yaklaşık iki milyon yıldızın element bolluklarının tayini hedeflenmiştir.



**Şekil 2.6:** *Gaia* fotometrik bandları ve duyarlılık fonksiyonları ile radyal hız ölçümlerinin yapıldığı dalgaboyu aralıkları.

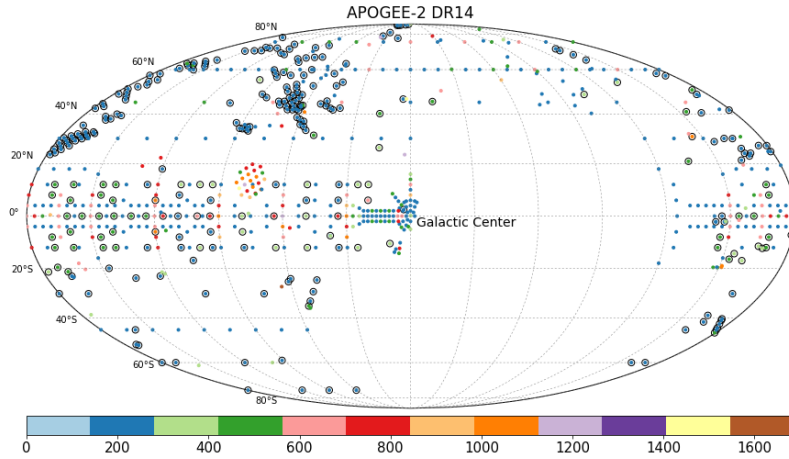
### 3. MALZEME VE YÖNTEM

#### 3.1 SDSS DR14 APOGEE-2

SDSS'nin 14. veri sürümü (DR14), SDSS-III (Eylül 2011-Temmuz 2014; APOGEE-1) ve SDSS-IV'ü (Temmuz 2014-Temmuz 2016; APOGEE-2) içeren ve yaklaşık beş yıl süren 731 gökyüzü alanının gözlemlerinden elde edilen verilerden oluşmaktadır (Şekil 3.1). Tayfsal tüm veriler APOGEE'nin veri seti web sayfasında *Allstar-l31C.2.fits*<sup>5</sup> dosyası olarak verilmektedir.

APOGEE 2, Galaksimizin tüm yapısal bileşenlerini (ince ve kalın disk, halo) kapsayan 262,000 civarındaki yıldızın radyal hızlarını ve model atmosfer parametrelerini içermektedir. Bunun yanı sıra yıldızların element bolluklarını 20 farklı element üzerinden (C, CI, N, O, Na, Mg, Al, Si, P, S, K, Ca, Ti, TiII, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni) birbirinden bağımsız olarak ölçmektedir.

APOGEE-2'nin dev yıldız verileri, ASPCAP (APOGEE Stellar Parameters and Chemical Abundances Pipeline) algoritmasıyla indirgenmiştir. Bu algoritmayla incelenen yıldızların, etkin sıcaklıkları, yüzey çekim ivmeleri, ağır element bollukları,  $\alpha$ -element bollukları, dönme, mikro ve makro türbülans hızları tayin edilebilmektedir. Böylece gözlemleri yapılmış yıldız tayflarının teorik yıldız tayflarıyla uyumluluğu artarak hesaplanan etkin sıcaklık ve bolluklardaki farklılıklar en aza indirgenmiştir.



**Şekil 3.1:** SDSS DR 14'teki tayf gözlemlerinin yapıldığı yıldız alanlarının Galaktik koordinatlardaki konumları. Renk ölçeği alanlardaki yıldız sayı yoğunluğunu göstermektedir.

<sup>5</sup> [https://www.sdss.org/dr14/irspec/spectro\\_data/](https://www.sdss.org/dr14/irspec/spectro_data/)

### 3.2 GAIA DR2

*Gaia* uydu verilerinin ikinci veri sürümü (*Gaia* DR2) görünen parlaklığı  $G = 21$  kadirden daha parlak yaklaşık 1.7 milyar nesnenin ekvatorial koordinatları ( $\alpha, \delta$ ), öz hareket bileşenleri ( $\mu_\alpha \cos \delta, \mu_\delta$ ) ve trigonometrik paralaks ( $\pi$ ) gibi fotometrik ve astrometrik verileri içermektedir (*Gaia* işbirliği, 2018). *Gaia* gözlemlerinde hesaplanan trigonometrik paralaksların belirsizlikleri görünen  $G$  parlaklıklarına göre,  $G < 15$  kadir için  $\sigma_\pi = 0.04$  mas,  $G = 17$  kadir için  $\sigma_\pi = 0.1$  mas,  $G = 20$  kadir için  $\sigma_\pi = 0.7$  mas mertebesindedir. Nesnelerin öz hareketlerinin belirsizlikleri de, sırasıyla, 0.06 mas/yıl, 0.2 mas/yıl ve 1.2 mas/yıl'dır.

*Gaia* DR2 kataloğunda görünen  $G$  parlaklığı  $4 < G < 13$  kadir ve etkin sıcaklığı  $3,550 < T_{eff} < 6,900$  K aralığında bulunan yaklaşık 7.2 milyon yıldızın en fazla yedi tayfsal gözlemi yapılarak tayfsal analizler sonucu hesaplanan radyal hızların ( $\gamma$ ) medyan değerleri verilmiştir (Soubiran ve diğ., 2018). Parlak yıldızlardan oluşan ve parametreleri en hassas olan bu alt örnek altı boyutlu ( $\alpha, \delta, \mu_\alpha \cos \delta, \mu_\delta, \pi, \gamma$ ) veriyi içermektedir.

*Gaia* DR2 kataloğunda  $G = 17$  kadirden daha parlak yaklaşık 161 milyon yıldızın  $3,000 < T_{eff} < 10,000$  K aralığında değişen etkin sıcaklıkları da bulunmaktadır. Ayrıca 87 milyon yıldız için görüş doğrultusundaki  $A_G$  sönmlemeleri,  $E(BP-RP)$  renk artıkları ve yaklaşık 76 milyon yıldız için de ışıma gücü ( $L$ ) ve yarıçap ( $r$ ) verileri hesaplanarak astronomların kullanımına sunulmuştur. *Gaia* DR2 kataloğunda sefeid, RR Lyr, mira ve yarı-düzenliler,  $\delta$  Scu, BY Dra, SX Pho gibi parlaklık değişimi gösteren yıldızlar da sınıflandırılmıştır.

### 3.3 KIRMIZI DEV YILDIZLARIN SEÇİMİ

Yüksek lisans tez çalışmasında kırmızı dev yıldızların tayfsal verileri APOGEE-2 kataloğundan seçilmiştir (Majewski ve diğ., 2017). Bu katalogdaki nesnelerin çoğu evrimleşmiş kırmızı yıldızlardan oluşmaktadır. Konsorsiyum tarafından belirlenen standart bir algoritmayla program dâhilindeki yıldızların radyal hızları, model atmosfer parametreleri ve 23 farklı elemente ait bollukları tayin edilmiş ve literatüre sunulmuştur. APOGEE-2 kataloğundaki kırmızı dev yıldızların seçiminde model atmosfer parametrelerine sınırlamalar getirilerek örneğin oluşturulmasının ilk aşaması tamamlanmıştır. Buna göre örnek seçiminde, yıldızların etkin sıcaklıkları ve yüzey çekim ivmeleri için, sırasıyla,  $3,550 \leq T_{eff}(K) \leq 5,600$  ve  $0.5 \leq \log g$  ( $\text{cm/sn}^2$ )  $\leq 3.5$  aralıkları dikkate alınmıştır.

### 3.4 KIRMIZI DEV YILDIZLARIN UZAKLIK TAYİNİ

Kırmızı dev yıldızların uzaklıkları *Gaia* DR2 kataloğundaki hassas trigonometrik paralaks ( $\pi$ ) verilerinden  $d(\text{pc}) = 1000/\pi$  (mas) bağıntısı kullanılarak hesaplanır. Yıldızların paralaks hesabındaki belirsizlikler ( $\sigma_\pi$ ), rölatif paralaks hataları ( $\sigma_\pi/\pi$ ) dikkate alınarak çözümlenmiştir. Bunun için trigonometrik paralaks verilerinden hesaplanan uzaklıklar, rölatif paralaks hatalarının çarpımıyla belirlenmiştir. Tez çalışmasındaki yıldız örneğinin Güneş merkezli kartezyen koordinat sistemindeki uzaklıklarının belirlenmesinde aşağıdaki bağıntılar kullanılmıştır:

$$X = d \cos b \cos l \quad (3.1)$$

$$Y = d \cos b \sin l \quad (3.2)$$

$$Z = d \sin b \quad (3.3)$$

Burada  $d$  yıldızın Güneş'e uzaklığını,  $l$  ve  $b$ , sırasıyla, Galaktik boylam ve enlemi ifade etmektedir. Yıldızın Galaksi merkezine uzaklığı ( $R_{gc}$ ) aşağıda verilen bağıntılarla hesaplanmıştır:

$$x = (R_0^2 + d^2 \cos^2 b - 2R_0 d \cos l \cos b)^{\frac{1}{2}} \quad (3.4)$$

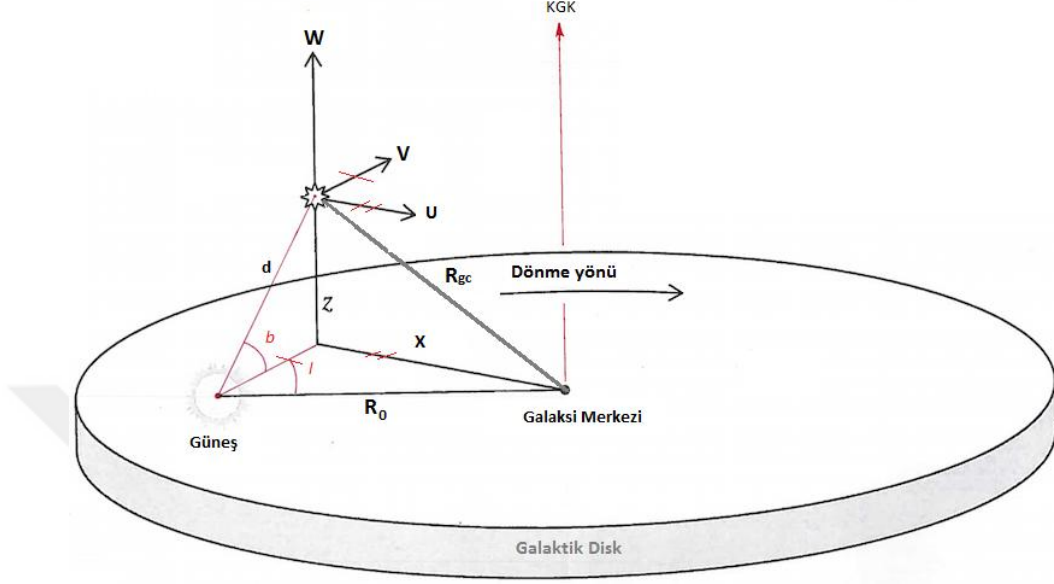
$$R_{gc} = (x^2 + Z^2)^{1/2} \quad (3.5)$$

Güneş'in Galaksi merkezine uzaklığı  $R_0 = 8$  kpc olarak kabul edilmiştir (Majewski, 1993).

### 3.5 KIRMIZI DEV YILDIZLARIN UZAY HIZLARININ HESAPLANMASI

Tez çalışmasında, kırmızı dev yıldızların uzay hız bileşenlerinin hesaplanması için APOGEE-2 kataloğundan yıldızların ekvatorial koordinatları ( $\alpha$ ,  $\delta$ ) ve radyal hızları ( $\gamma$ ), *Gaia* DR2 kataloğundan da öz hareket bileşenleri ( $\mu_\alpha \cos \delta$ ,  $\mu_\delta$ ) ve trigonometrik paralaksları ( $\pi$ ) alınmıştır. Örnekteki yıldızların uzay hız bileşenleri ( $U$ ,  $V$ ,  $W$ ) ve bu bileşenlerin hataları, Johnson ve Soderblom'un (1987) yöntemi ve dönüşüm matrisleri kullanılarak hesaplanmıştır. Uzay hız bileşenlerinin hesaplanmasında sağ el kuralı tercih edilmiştir. Bu uzay hızı bileşenlerinden  $U$ , Galaksi merkezi ( $l = 0^\circ$ ,  $b = 0^\circ$ ) doğrultusunda,  $V$  Galaksi'nin dönüş doğrultusunda ( $l = 90^\circ$ ,

$b = 0^\circ$ ) ve  $W$  Galaksi'nin Kuzey Galaktik Kutbu (KGK;  $b = 90^\circ$ ) yönünde ölçülmektedir.  $U$ ,  $V$ ,  $W$  uzay hızı bileşenlerinin doğrultuları aşağıdaki şekilde de gösterilmektedir (Şekil 3.2).



**Şekil 3.2:** Bir yıldızın Galaksi merkezi etrafındaki yörünge hareketinin  $U$ ,  $V$ ,  $W$  uzay hız bileşenlerinin gösterimi. Şekil üzerindeki semboller metin içinde açıklanmıştır.

Tez çalışmasında Güneş'in Galaksi merkezi etrafında dönüş hızı 220 km/sn olarak kabul edilmiştir. Johnson ve Soderblom (1987)  $T$  dönüşüm matrisinin hesaplanması için KGK noktasının ekvatorial koordinatlarını  $\alpha_{KGK} = 192^\circ.85948$ ,  $\delta_{KGK} = 27^\circ.12825$  (bkz. Uluslararası Gök Referans Sistemi; ICRS) olarak almış ve KGK noktasının bulunduğu büyük daire yayının konum açısını  $\theta_0 = 123^\circ$  olarak kabul etmiştir.  $T$  matrisinin çözümüyle ekvatorial koordinatlar Galaktik koordinatlara dönüştürülmüştür.

$$T = \begin{bmatrix} \cos \theta_0 & \sin \theta_0 & 0 \\ \sin \theta_0 & -\cos \theta_0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -\sin \delta_{KGK} & 0 & \cos \delta_{KGK} \\ 0 & -1 & 0 \\ \cos \delta_{KGK} & 0 & \sin \delta_{KGK} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \delta_{KGK} & \sin \delta_{KGK} & 0 \\ \sin \delta_{KGK} & -\cos \delta_{KGK} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.6)$$

$T$  matrisinin çözümünün sayısal ifadesi aşağıdaki gibidir:

$$T = \begin{bmatrix} -0.0548755604 & -0.8734370902 & -0.4838350155 \\ +0.4941094279 & -0.4448296300 & +0.7469822445 \\ -0.8676661490 & -0.1980763734 & +0.4559837762 \end{bmatrix} \quad (3.7)$$

$T$  matrisinin ekvatorial koordinatlar ile çarpımı sonucu Galaktik koordinatlar hesaplanmıştır:

$$\begin{bmatrix} \cos b \cos l \\ \cos b \sin l \\ \sin b \end{bmatrix} = T \begin{bmatrix} \cos \delta \cos \alpha \\ \cos \delta \sin \alpha \\ \sin \delta \end{bmatrix} \quad (3.8)$$

Uzay hızı bileşenlerine ait hataların belirlenmesinde aşağıdaki yöntem izlenmiştir.

$$\begin{bmatrix} U \\ V \\ W \end{bmatrix} = B \begin{bmatrix} \gamma \\ k\mu_\alpha/\pi \\ k\mu_\delta/\pi \end{bmatrix} \quad (3.9)$$

Burada  $B$  matrisi  $B = T \times A$  ve  $k = 4.74057$ 'dir. Bağntıdaki  $A$  çarpanına ait matris de aşağıda verilmiştir.

$$A = \begin{bmatrix} \cos \alpha \cos \delta & -\sin \alpha & -\cos \alpha \cos \delta \\ \sin \alpha \cos \delta & \cos \alpha & -\sin \alpha \sin \delta \\ \sin \delta & 0 & \cos \delta \end{bmatrix}$$

Aşağıdaki  $C$  matrisi  $C_{ij} = B_{ij}^2$  işlemiyle hesaplanır.  $C$  matrisi  $3 \times 3$ 'lük bir matristir.

$$\begin{bmatrix} \sigma_U^2 \\ \sigma_V^2 \\ \sigma_W^2 \end{bmatrix} = C \begin{bmatrix} \sigma_\gamma^2 \\ (k/\pi)^2 [\sigma_{\mu_\alpha}^2 + (\mu_\alpha \sigma_\pi/\pi)^2] \\ (k/\pi)^2 [\sigma_{\mu_\delta}^2 + (\mu_\delta \sigma_\pi/\pi)^2] \end{bmatrix} + 2\mu_\alpha \mu_\delta k^2 \sigma_\pi^2 / \pi^4 \begin{bmatrix} b_{12} b_{13} \\ b_{22} b_{23} \\ b_{32} b_{33} \end{bmatrix} \quad (3.10)$$

Yıldızlar Galaksi merkezi etrafında çekimsel kuvvete bağlı olarak bir dönme hareketine sahiptir. Güneş sisteminde olduğu gibi, Galaksi merkezine yakın nesneler daha uzaktaki nesnelere göre daha hızlı dönerler. Bu durum diferansiyel dönme olarak bilinir. Güneş merkezli gözlemler sonucu uzay hızı bileşeni hesaplanan ve Galaksi merkezi doğrultusunda bulunan nispeten uzak nesnelerin  $U$  ve  $V$  hızlarına, sırasıyla,  $dU$  ve  $dV$  düzeltmelerinin yapılması gerekmektedir. Bu hız düzeltmesi *diferansiyel dönme düzeltmesi* olarak bilinir ve Mihalas ve Binney (1981) tarafından analitik bağıntılar ile tanımlanmıştır. Diferansiyel dönme düzeltmesi dik doğrultudaki  $W$  uzay hızı bileşenini etkilemediğinden hesaplamaya katılmamaktadır.  $U$  ve  $V$  uzay hızı bileşenlerine uygulanan düzeltmeler için aşağıdaki bağıntılar kullanılmıştır.

$$dU = \gamma \cos l - v_t \sin l \quad (3.11)$$

$$dV = \gamma \sin l - v_t \cos l \quad (3.12)$$

$$\gamma = A d \sin 2l \quad (3.13)$$

$$v_t = d(A \cos 2l + B) \quad (3.14)$$

Burada  $\gamma$  radyal hız,  $v_t$  teğet hız,  $A$  ve  $B$  Oort sabitleri olup, sırasıyla, 14.8 km/(sn kpc) ve  $B = -12.4$  km/(sn kpc) değerlerinde kabul edilmiştir.

Galaksinin merkezinden Güneş'in bulunduğu konuma uzanan çember yörüngedeki ortalama hız yerel durağanlık standardı ( $LSR$ ) olarak bilinmektedir. Gözlemler Güneş merkezli yapıldığından, tez çalışmasındaki kırmızı dev yıldız örneği için hesaplanan uzay hız bileşenleri Güneş'nin uzay hızı bileşenlerini içermektedir. Tez çalışmasında  $LSR$  değerleri için, Coşkunoğlu ve diğ.'nin, (2011)  $U_O = 8.83 \pm 0.24$ ,  $V_O = 14.19 \pm 0.34$  ve  $W_O = 6.57 \pm 0.21$  km/sn uzay hızı bileşenleri dikkate alınmıştır. Yıldızların toplam uzay hızı ve hatası için aşağıda verilen bağıntılar kullanılmıştır:

$$S = \sqrt{U^2 + V^2 + W^2} \quad (3.15)$$

$$S_{hata} = \sqrt{U_{hata}^2 + V_{hata}^2 + W_{hata}^2} \quad (3.16)$$

Bir grup yıldızın uzay hız dispersiyonları ( $\sigma_U$ ,  $\sigma_V$ ,  $\sigma_W$ ) ve bunların toplamının ( $\sigma_{Top}$ ) hesaplanmasında aşağıdaki bağıntılar dikkate alınmıştır.

$$\sigma_U = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{U_i^2}{N}}, \quad \sigma_V = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{V_i^2}{N}}, \quad \sigma_W = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{W_i^2}{N}} \quad (3.17)$$

$$\sigma_{Top} = \sqrt{\sigma_U^2 + \sigma_V^2 + \sigma_W^2} \quad (3.18)$$

### 3.6 KIRMIZI DEV YILDIZLARIN GALAKTİK POPÜLASYONLARI

Galaksinin kimyasal evrim modelleri incelendiğinde disk bileşeninin farklı oluşum evrelerinden geçtiği tespit edilmiştir. Bu yapının detaylı analizinin yapılabilmesi için Güneş civarından seçilen kırmızı dev yıldızların Galaktik popülasyon türlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Tayfsal analizlere ait yöntemlerin geliştirilmesiyle birlikte, incelenen yıldızların farklı türden element bolluklarının belirlenmesi mümkün hale gelmiştir. Araştırmacılar farklı türden element bolluklarının özellikle  $[Fe/H]$  bolluğuyla karşılaştırılması neticesinde ince disk ile kalın disk/halo bileşenlerinin kimyasal kompozisyonlarının farklı olduğunu tespit etmiş ve

bu farklılığın popülasyonların ayrımında kullanılabileceğini fark etmişlerdir. Karbon ile magnezyum arasında kalan atom numarası büyük elementler Galaksimizin oluşumu aşamasındaki büyük kütleli yıldızların çekirdeklerinde üretilmiştir. Bu yıldızlar evrim süreçlerinin sonunda süpernova patlamalarıyla yıldızlararası ortamı zenginleştirerek ikinci kuşak yıldızların oluşumunu sağlamışlardır. Bu tür elementler günümüzde  $\alpha$ -elementleri olarak ifade edilmektedir.  $\alpha$ -element bolluklarının yüksek (yüksek- $\alpha$ ) ve düşük (düşük- $\alpha$ ) değerlerde bulunması yıldızların, sırasıyla, kalın disk/halo ve ince disk bileşenlerine ait olacağını göstermektedir (Nissen ve Schuster, 2010). Artan tayfsal çalışmalar ile birlikte çok sayıda yıldızın, APOGEE-2’de olduğu gibi,  $\alpha$ -element ve  $[\text{Fe}/\text{H}]$  bolluklarının ölçülmesi gelişmiş istatistiksel yöntemler kullanılarak popülasyon analizlerinin yapılabilmesine fırsat vermiştir. Bu motivasyon ile çalışmamızdaki APOGEE-2 kataloğundan seçilen evrimleşmiş yıldızlar  $[\alpha/\text{Fe}] \times [\text{Fe}/\text{H}]$  diyagramına yerleştirilerek, verilere *Gauss karışım modeli* uygulanmıştır. Gauss karışım modeliyle, içinde birden çok alt grubu barındıran büyük bir örnekte istatistiksel yaklaşım ile popülasyon ayrımı yapılır. Gauss karışım modelinin uygulanmasıyla yüksek- $\alpha$  ve düşük- $\alpha$  bolluklu popülasyonların tespiti için, *python* programlama dilinde yazılmış 0.91.1 sürümlü *scikit-learn* adı verilen makine öğrenmesi kütüphanesi kullanılmıştır.

Galaktik yıldız popülasyonlarının ayrımında uygulanan başka bir yöntem de yıldızların kinematik davranışlarının dikkate alınmasıdır. Güneş civarındaki farklı popülasyonlardaki yıldızların  $U \times V$  ve  $W \times V$  diyagramları üzerindeki konumları incelendiğinde farklı bölgelerde yoğunlaştıkları görülmektedir. Yakın yıldızların *Hipparcos* uydu verileriyle yüksek çözünürlüklü tayfsal verilerini bir arada inceleyen Bensby ve diğ.’leri (2003; 2005) üç popülasyonun hız uzaylarındaki konum ve dispersiyonlarını belirlemiştir. Yıldızların popülasyon ayrımında, hesaplanan uzay hızlarını her bir popülasyonun merkezi değerlerine ait farkları ölçülerek, Gauss benzeri değiştiği varsayımı altında, bir olasılık değeri belirlenmiştir. Bensby ve diğ.’lerinin (2003; 2005) çalışmasında izlenen yönteme ait istatistiksel yaklaşımlar aşağıdaki bağıntılar ile ifade edilmektedir.

$$f(U, V, W) = k. \exp \left( -\frac{U_{LSR}^2}{2\sigma_U^2} - \frac{(V_{LSR} - V_{asym})^2}{2\sigma_V^2} - \frac{W_{LSR}^2}{2\sigma_W^2} \right), \quad (3.23)$$

$$k = \frac{1}{(2\pi)^{3/2} \sigma_U \sigma_V \sigma_W} \quad (3.24)$$

Burada  $(U, V, W)_{LSR}$  yıldızın uzay hızı bileşenlerini,  $\sigma_U, \sigma_V, \sigma_W$  hız dispersiyonlarını,  $V_{asym}$  asimetrik sürüklenme hızını,  $k$  bir sabiti ve  $f(U,V,W)$  olasılık fonksiyon değerini göstermektedir. Burada asimetrik sürüklenme hızı ince disk, kalın disk ve halo popülasyonları için, sırasıyla,  $-15, -46, -220$  km/sn'dir. Aynı şekilde  $\sigma_U, \sigma_V, \sigma_W$  hız dispersiyonları da, sırasıyla,  $(35, 20, 16), (67, 38, 35), (160, 90, 90)$  km/sn'dir (Bensby ve diğ., 2003).

Bir yıldızın Galaksideki herhangi bir popülasyona ait olup olmadığının belirlenmesinde, Bağıntı 3.23'de hesaplanan olasılık değerleri her bir popülasyonun Güneş civarındaki sayı yoğunluklarıyla ( $X$ ) çarpılır. Popülasyonların Güneş civarındaki sayı yoğunluk değerleri ince disk (D), kalın disk (TD) ve halo (H) için, sırasıyla,  $X_D = 0.9385, X_{TD} = 0.06$  ve  $X_H = 0.0015$ 'dir (Robin ve diğ., 1996; Buser ve diğ., 1999). Kalın diskin ince disk ve haloya göre göreceli olasılıkları aşağıdaki bağıntılar ile hesaplanır:

$$\frac{TD}{D} = \frac{X_{TD}}{X_D} \times \frac{f_{TD}}{f_D}, \quad \frac{TD}{H} = \frac{X_{TD}}{X_H} \times \frac{f_{TD}}{f_H}. \quad (3.25)$$

Bensby ve diğ. (2003, 2005)  $TD/D \leq 0.1$  olanları yüksek olasılıklı ince disk yıldızları,  $TD/D > 10$  olanları da yüksek olasılıklı kalın disk yıldızı olarak kabul etmişlerdir. Bu değerler arasında kalan  $0.1 < TD/D \leq 1$  ve  $1 < TD/D \leq 10$  aralıklarına ait olanları, sırasıyla, düşük olasılıklı ince disk ve düşük olasılıklı kalın disk yıldızları olarak sınıflamışlardır.

### 3.7 KIRMIZI DEV YILDIZLARIN KİNEMATİK YAŞ TAYİNİ

Galaktik düzlemde uzaklaştıkça yıldız yaşlarının sistematik olarak artmasının nedeni, yıldızların oluştukları günden bugüne kadar çevreleriyle etkileşerek uzay hızlarının karakteristik özelliklerinin değişmesidir. Bir grup içinde incelenen bu türden yıldızlar grubun toplam hız dispersiyonunun arttırır, bu da grup yaşının büyümesine yol açar. Bu durum yıldızların yaşlarının tayin edilmesinde kinematik bir yöntemin geliştirilmesine yol açmıştır. Yıldızlar Galaktik düzlemde uzaklaştıkça yıldız yoğunluğunun daha az olduğu bir ortama geçerler. Bu sırada etrafındaki cisimlerle etkileşen yıldızların  $v$  uzay hızı artarken difüzyon katsayısında azalma olur (Spitzer ve Schwarzschild, 1953; Chandrasekhar, 1960; Hénon, 1973). İfade edilen difüzyon katsayısı:

$$C_v = \gamma_v/v, \quad (3.26)$$

$$d(v^2) = C_v dt, \quad (3.27)$$

Bağıntı 3.26'daki  $\gamma_v$ , difüzyon mekanizmasına bağlı bir sabittir. Her iki bağıntının (3.26, 3.27) bir arada değerlendirilmesiyle Bağıntı 3.28 elde edilir.

$$v^3 = v_0^3 + \frac{3}{2} \gamma_v \tau \quad (3.28)$$

Hız dispersiyonu  $\sigma_v(\tau)$ 'nin kinematik yaş ( $\tau$ ) ile artışını belirleyebilmek için  $v^2$  nin başlangıç hızlarının ( $v_0$ ) dağılımı üzerinden integrali alınır. Difüzyon katsayısının Bağıntı 3.26'da verilen değeri küçük hızlar için düzgün bir yaklaşım olmadığından  $v_0 = \sigma_{v,0}$  varsayılarak,

$$\sigma_v = \left( \sigma_{v,0}^3 + \frac{3}{2} \gamma_v \tau \right)^{\frac{1}{3}}, \quad (3.29)$$

ifadesi elde edilir. Bu varsayım altında hesaplanan belirsizlikler  $\sigma_v \gg \sigma_{v,0}$  ve  $\sigma_v \approx \sigma_{v,0}$  için ihmal edilebilir. Ortalama değerler için de %10 mertebesindedir. Büyük yaşlar için hesaplanan hızların yaş ile büyümesi Bağıntı 3.29'a göre daha hızlı olmaktadır. Bu sonuç Bağıntı 3.26'daki  $\gamma_v$ 'nin zamana bağlı olduğunun bir göstergesidir.  $\gamma_v$ 'nin, Galaksinin çekimsel alanı zaman ile düzgünleşebileceğinden, küçüldüğü dikkate alınır

$$\gamma_v(t) = \gamma_{v,p} \times \exp\left(\frac{(t-t_p)}{T_\gamma}\right), \quad (3.30)$$

bağıntısı elde edilir. Bağıntıdaki  $\gamma_{v,p}$ ,  $\gamma_v$ 'nin günümüzdeki değeridir,  $T_\gamma$ ,  $\gamma_v$ 'nin bozunma zamanı olup  $5 \times 10^9$  yıl,  $t_p$  de bugünkü zamanı temsil etmektedir. Bağıntılar 3.26, 3.27 ve 3.30'dan,  $v_0 \approx \sigma_{v,0}$  alınarak,

$$\sigma_v^3 = \sigma_{v,0}^3 + \frac{3}{2} \gamma_{v,p} T_\gamma \left[ \exp\left(\frac{\tau}{T_\gamma}\right) - 1 \right], \quad (3.31)$$

bağıntısı bulunur. Burada  $\sigma_v$ , incelenen yıldız grubunun toplam hız dispersiyonu,  $\sigma_{v,0}$ , sıfır yaşındaki yıldızın hız dispersiyonudur ve değeri 10 km/sn'dir. Wielen (1977), tarafından verilen Bağıntı 3.31, zaman ile geliştirilmiş ve en güncel halini almıştır (Cox, 2000).

$$\sigma_v^3 = 1000 + 81862.5 \left[ \exp\left(\frac{\tau}{5 \times 10^9}\right) - 1 \right], \quad (3.32)$$

burada  $\tau$  kinematik yaş ve birimi yıldır.

## 4. BULGULAR

### 4.1 KIRMIZI DEV YILDIZ ÖRNEĞİNİN TAYFSAL YÖNTEMLER İLE SEÇİMİ

Tez çalışmasının tayfsal verileri SDSS DR14'ün içinde verilen APOGEE-2 kataloğundan alınmıştır. Bu katalogda çok sayıda evrimleşmiş yıldızın model atmosfer verileri ( $sT_{eff}$ ,  $\log g$ ,  $[Fe/H]$ ), radyal hızları ( $\gamma$ ), farklı türden 23 elemente ait bolluklar hatalarıyla birlikte verilmiştir (Majewski ve diğ., 2017). Tayfsal veriler, APOGEE web sayfasında *Allstar-l31C.2.fits*<sup>6</sup> isimli dosyadan alınmıştır. Veri setinde, SDSS konsorsiyumu tarafından tayfsal verileri analiz edilmiş ve temel astrofizik parametreleri belirlenmiş 277,371 yıldız bulunmaktadır. Kırmızı dev yıldızların seçimi için tayfsal verileri duyarlı tayin edilen yıldızlara öncelik verilmiştir. Yıldızların etkin sıcaklıkları ( $T_{eff}$ ) ve yüzey çekim ivmelerine ( $\log g$ ) göre oluşturulan HR diyagramı üzerinde kırmızı dev yıldızları belirleyebilmek için etkin sıcaklıklarına  $3,550 < T_{eff} (K) < 5,600$  ve yüzey çekim ivmelerine  $0.5 < \log g (cm/sn^2) < 3.5$  sınırlamaları getirilmiştir. Seçilen örnekte 143,874 evrimleşmiş yıldız elde edilmiş ve bu yıldızların HR diyagramındaki konumları yıldız sayı yoğunlukları ve metal bolluklarına göre Şekil 4.1'de gösterilmiştir. Şekil 4.1a'da  $4,500 < T_{eff} (K) < 5,250$  ve  $2.3 < \log g (cm/sn^2) < 2.7$  aralıklarında evrimleşmiş yıldız kümelenmesi dikkat çekmektedir. Bu yıldızlar, çekirdeklerinde helyum füzyonuyla karbon-oksijen üreten kırmızı yığın yıldızlarıdır (Girardi, 2016). HR diyagramı üzerinde tespit edilen bir başka yapı da evrimleşmiş yıldızların bir band üzerinde toplandığı kırmızı dev koludur. Metal bolluklarına göre oluşturulan HR diyagramı incelendiğinde metalce zengin evrimleşmiş yıldızların düşük etkin sıcaklıklarda, metalce fakir olanların ise yüksek etkin sıcaklıklarda yoğunlaştığı görülmektedir (Şekil 4.1b).

Kırmızı dev yıldızların temel parametrelerinin duyarlılığını ortaya koyabilmek için PARSEC eş-yaş eğrileri (Bressan ve diğ., 2012) HR diyagramına fit edilmiştir. PARSEC eş-yaş eğrileri farklı ağır element bolluklarına ( $Z$ ) göre üretilmiş olup ağır element bolluğu  $10^{-10} < Z < 0.03$  aralığında verilmektedir<sup>7</sup>. Örneğimizdeki yıldızlar  $-2.25 < [Fe/H] < 0.5$  dex aralığında bulunduğundan bu yıldızları temsil eden ağır element bolluklarını belirleyebilmek için Bovy'nin<sup>8</sup> vermiş olduğu (4.1) ve (4.2) analitik ifadeleri kullanılmıştır.

<sup>6</sup> [https://www.sdss.org/dr14/irspec/spectro\\_data/](https://www.sdss.org/dr14/irspec/spectro_data/)

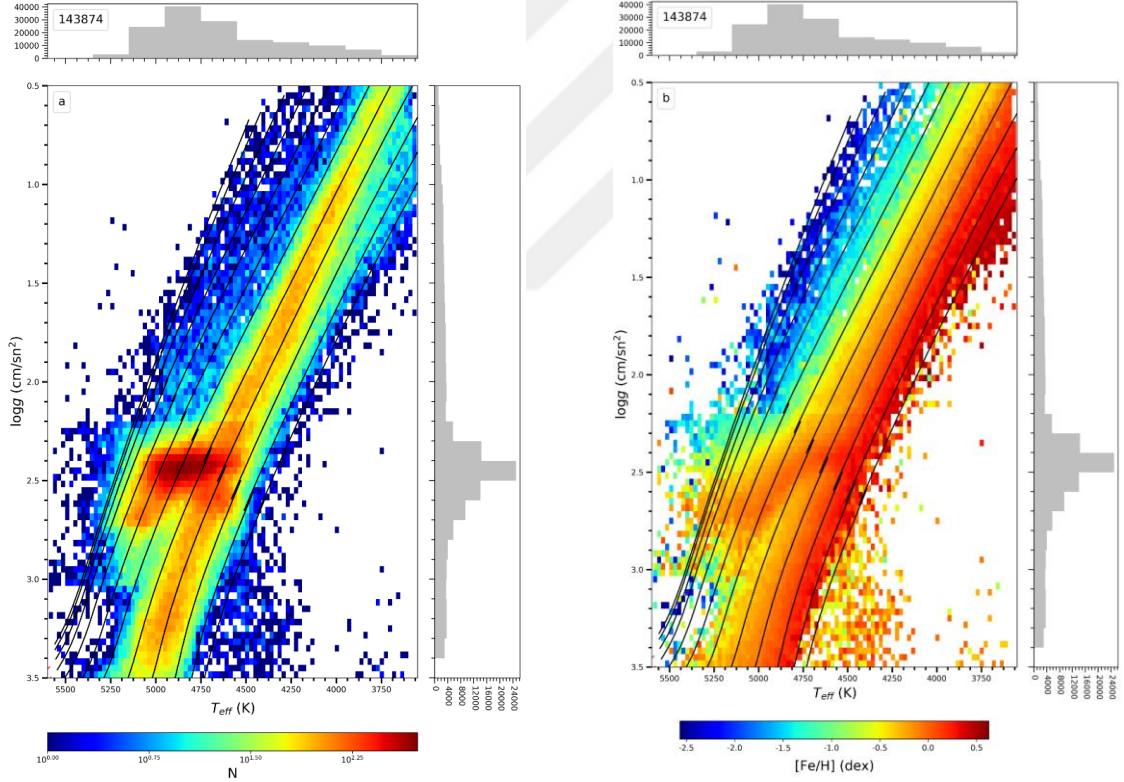
<sup>7</sup> <http://stev.oapd.inaf.it/cgi-bin/cmd>

<sup>8</sup> <https://github.com/jobovy/isodist/blob/master/isodist/Isochrone.py>

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

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

Bağıntı (4.1)'deki  $Z_X$  parametresi ara bir işlem olup seçilen demir bolluğu ( $[\text{Fe}/\text{H}]$ ) ve Güneş'in ağır element ( $Z_\odot = 0.0152$ ) bolluğuna bağlıdır. Bağıntı (4.2)'de verilen  $Z$  parametresi de ağır element bolluğunu ifade etmektedir. Tez çalışmasında kırmızı dev yıldızların yaşları için ortalama bir değer olarak 7 Gyl kabul edilmiştir. Bu değer Evren yaşının yarısı civarındadır (Planck İşbirliği, 2018). Bu aşamadan sonra PARSEC eş-yaş eğrileri  $-2.25 < [\text{Fe}/\text{H}] < 0.5$  dex aralığı için 0.25 dex adımlar ile 7 Gyl yaşındaki veriler için üretilmiş ve HR diyagramlarına işaretlenmiştir (Bkz. Şek. 4.1)

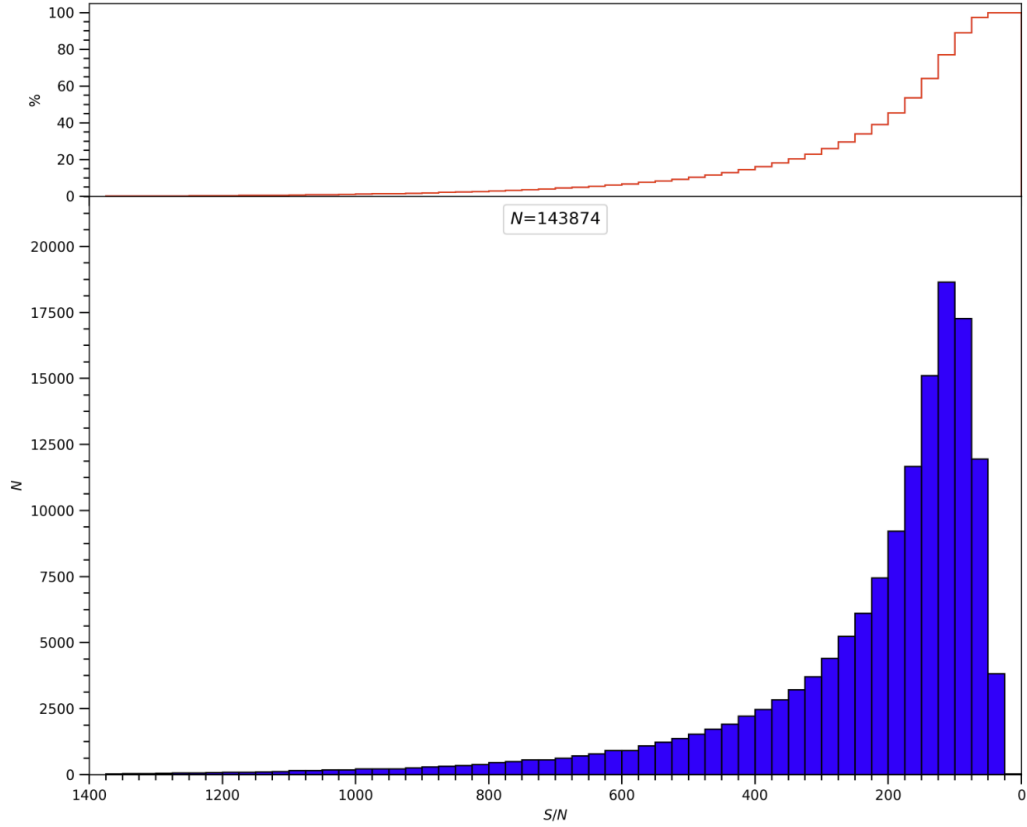


**Şekil 4.1:** APOGEE-2 kataloğundaki kırmızı dev yıldızların (a) sayı yoğunluğu ( $N$ ) ve (b) metal bolluğu ( $[\text{Fe}/\text{H}]$ ) değerlerine göre çizilmiş  $T_{\text{eff}} \times \log g$  diyagramları.

HR diyagramı üzerinde, PARSEC eş-yaş eğrilerine göre kalibre edilen teorik modeller ile gözlemsel verilerin uyum içerisinde olduğu görülmektedir. Çok az sayıda yıldız metalce zengin veya metalce fakir bölgede yer almaktadır. Bu durum sadece metal bolluğu açısından değil daha

yaşı yıldızların örnekte yer almasından da kaynaklanabilir. Modellere göre farklılık gösteren bu yıldızlar çalışmamızdaki ileri analizlerde istatistiksel açıdan büyük belirsizliğe yol açmamaktadır.

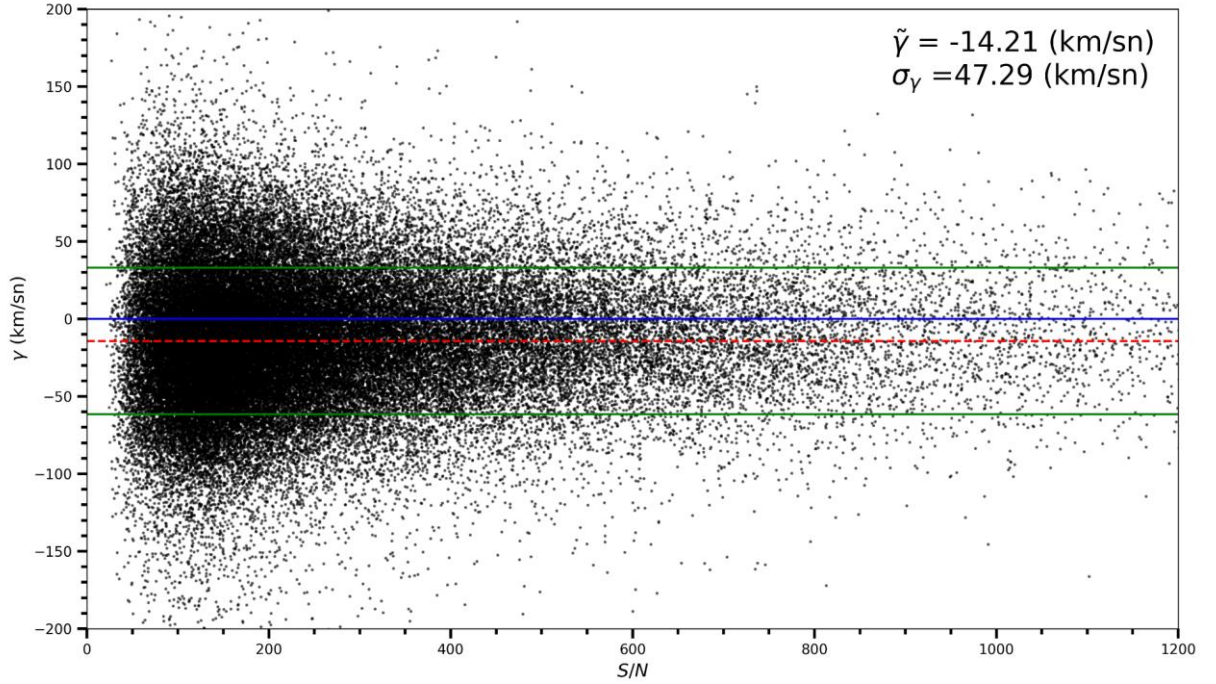
Tayfsal çözünürlükleri yaklaşık  $R \approx 22,000$  olan APOGEE yıldız örneğinin sinyal/gürültü ( $S/N$ ) değerlerine ait frekans ve birikimli dağılımları Şekil 4.2’de gösterilmiştir. Kırmızı dev yıldızların birikimli dağılımları incelendiğinde yıldız tayflarının %50, %68 ( $1\sigma$ ) ve %95’nin ( $2\sigma$ )  $S/N$  değerleri, sırasıyla, 175, 125 ve 75’tir. İstatistiksel sonuçlar, incelenen APOGEE kırmızı dev yıldızlarının yüksek  $S/N$  değerli olduğunu ve bu tayflardan elde edilen model atmosfer parametrenin duyarlı tayin edildiğini göstermektedir. Bu sebeple tez çalışmasında yıldızların  $S/N$  değerlerine bir sınırlama getirilmemiştir.



**Şekil 4.2:** 143,874 kırmızı dev yıldızın  $S/N$  histogramı (alt panel) ve birikimli dağılımları (üst-panel).

Tayfsal veriler kullanılarak hesaplanan önemli bir parametre de yıldızların radyal hızlarıdır. SDSS konsorsiyumu tarafından indirgenen ve tez çalışmasında kırmızı dev yıldız olarak sınıflanan 143,874 yıldızın  $S/N$  değerlerine karşılık çizilen radyal hızları ( $\gamma$ ) Şekil 4.3’te

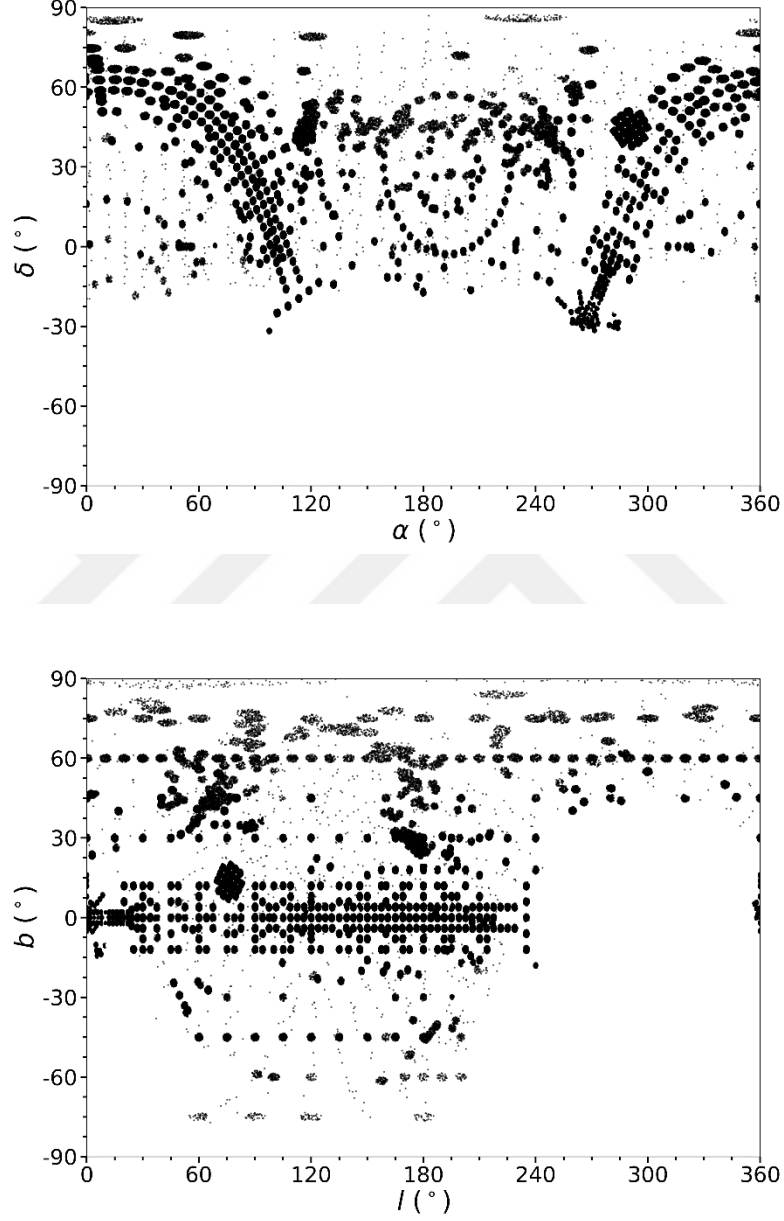
gösterilmiştir. APOGEE yıldız tayfları yüksek  $S/N$  değerlerinde olduklarından, tayf indirgemelerinden hesaplanan radyal hızların duyarlı olduğu sonucu dikkate alınarak, tez çalışmasında radyal hızlara  $S/N$  değerlerinden kaynaklanan herhangi bir sınırlama getirilmemiştir. APOGEE kırmızı dev yıldızlarının radyal hızlarına ait medyan ve standart sapma değerleri, sırasıyla, -14.21 ve 47.29 km/sn'dir. Yıldız örneğindeki negatif ve pozitif radyal hızlar arasında büyük bir farkın bulunmaması, bu yıldızların radyal hızlarında bir yanlılığın olmadığını göstermektedir.



**Şekil 4.3:** Kırmızı dev yıldız örneğinin  $S/N \times$  radyal hız dağılımı.

APOGEE veri tabanından seçilen kırmızı dev yıldızların ekvatorial ( $\alpha$ ,  $\delta$ ) ve Galaktik koordinat ( $l$ ,  $b$ ) sistemlerindeki konumları Şekil 4.4'te gösterilmiştir. Seçilen yıldızların ekvatorial koordinatları incelendiğinde APOGEE programı dâhilinde deklinasyonu  $\delta = -30^\circ$  ye kadar olan güneysel yıldızların tayf gözlemlerinin yapıldığı tespit edilmiştir. Tayf gözlemlerinde gökyüzünün belli bölgelerinin yoğun bir şekilde incelendiği Şekil 4.4'ten görülmektedir. Seçilen bu yıldızların Galaktik koordinatlardaki konumları incelendiğinde hem kuzey hem de güney Galaktik enlemlerde yıldızlar bulunmaktadır. Bunun nedeni ekvatorial koordinat sistemiyle Galaktik koordinat sistemi arasındaki yaklaşık  $63^\circ$  lik açıdan kaynaklanmaktadır. SDSS fotometrik tarama programının aksine tayfsal gözlemlerde düşük Galaktik enlemlili yıldız

gözlemlerinin yapıldığı görünmektedir. Çünkü APOGEE gökyüzü taraması elektromanyetik bölgenin kızılötesinde yürütülmektedir.



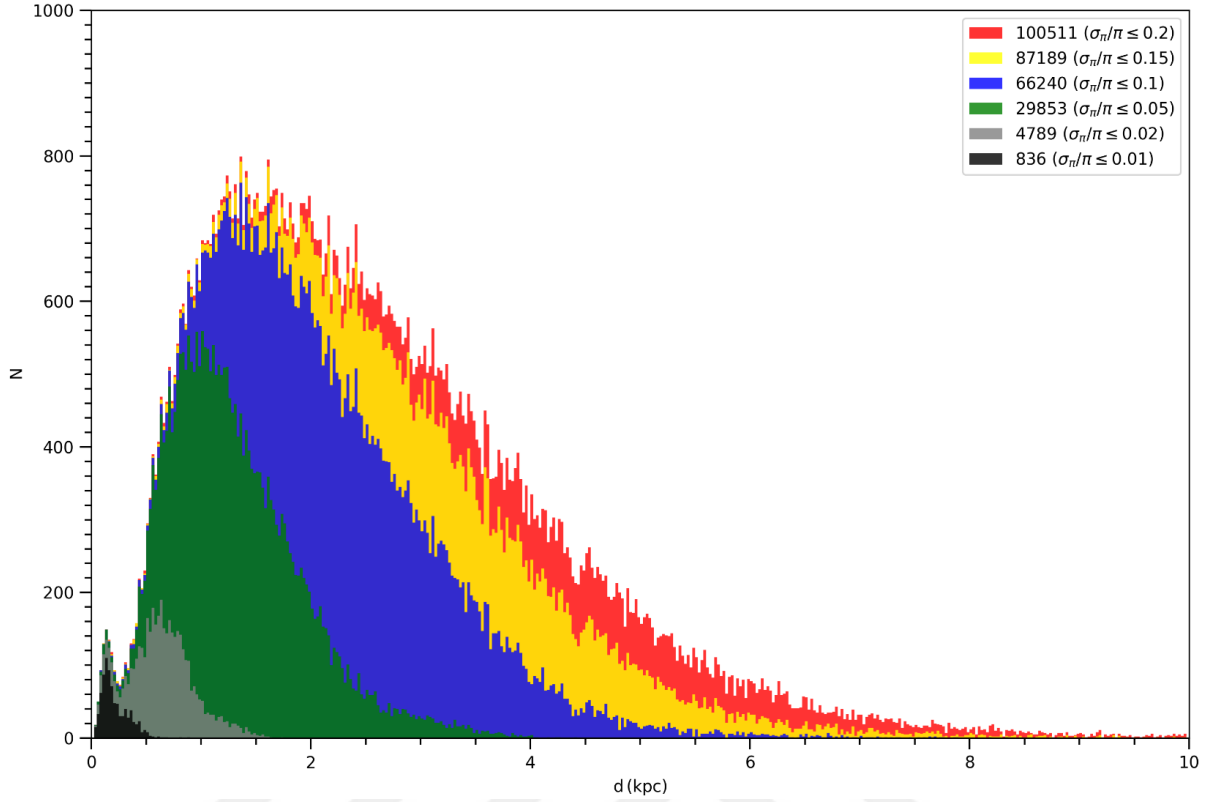
**Şekil 4.4:** APOGEE-2 veri tabanından seçilen kırmızı dev yıldız örneğinin ekvatorial (üst panel) ve Galaktik koordinat sistemindeki konumları (alt panel).

## 4.2 KIRMIZI DEV YILDIZ ÖRNEĞİNİN ASTROMETRİSİ

Tez çalışmasında incelenen kırmızı dev yıldızların astrometrik verileri *Gaia* DR2 (*Gaia* işbirliği, 2018) kataloğundan alınmıştır. *Gaia* DR2 kataloğunda yıldızların trigonometrik paralaksları ve öz hareket bileşenleri, hatalarıyla birlikte verilmektedir. APOGEE kataloğundan seçilen kırmızı dev yıldızların astrometrik karşılıkları belirlenirken yıldızların ekvatorial koordinatları *Gaia* DR2 kataloğundaki koordinatlar ile 5 yay saniyelik bir uzanım içinde tespit edilebilmiştir. Böylece kırmızı dev yıldız örneğinin tayfsal verileriyle astrometrik verileri bir araya getirilmiştir.

### 4.2.1 Uzaklıklar

Kırmızı dev yıldızların uzaklıkları, Bölüm 3.4'te ifade edildiği gibi, *Gaia* DR2 kataloğunda verilen trigonometrik paralakslardan itibaren tayin edilmiştir. Yıldızların Güneş'e uzaklıkları trigonometrik paralakslarından ( $\pi$ ),  $d(\text{pc}) = 1000/\pi(\text{mas})$ , bağıntısı kullanılarak hesaplanmıştır. Uzaklıklardaki belirsizlikler de yıldızların rölatif paralaks hatalarının ( $\sigma_\pi/\pi$ ) yıldız uzaklıklarıyla çarpımından belirlenmiştir. Tez çalışmasında yıldızların kinematik hesaplamaları yapıldığından incelenen yıldızların uzaklıklarındaki belirsizliklerin büyük önemi vardır. Uzaklık hatası büyük olan yıldızların kinematik hesaplamalarda kullanımı yıldızların uzay hızı bileşenlerindeki hataların büyümesine dolayısıyla gruplanan yıldızların hız dispersiyonlarının artmasına neden olur. Bu da yıldız yaşlarının hız dispersiyonlarından tayininde büyük belirsizliklere yol açar. Analizlerde uzaklıktan gelen hataları en aza indirmek için kırmızı dev yıldız örneği rölatif paralaks hatalarına göre sınıflandırılmıştır. 143,874 kırmızı dev yıldızdan oluşan örnek rölatif paralaks hatalarına göre sınıflandırıldığında örnekteki yıldızların yaklaşık %70'nin  $\sigma_\pi/\pi = 0.2$  değeri içinde yer aldığı tespit edilmiştir. Rölatif paralaks hatası  $\sigma_\pi/\pi = 0.2$  değerine kadar uzanan yıldızların sayısı 100,511 olup bu yıldızlar rölatif paralaks hatalarına göre  $\sigma_\pi/\pi \leq 0.01$ ,  $\sigma_\pi/\pi \leq 0.02$ ,  $\sigma_\pi/\pi \leq 0.05$ ,  $\sigma_\pi/\pi \leq 0.10$ ,  $\sigma_\pi/\pi \leq 0.15$  ve  $\sigma_\pi/\pi \leq 0.20$ 'den oluşan altı gruba ayrılmıştır. Her gruptaki yıldızların uzaklıklarına göre oluşturulmuş frekans dağılımları Şekil 4.5'te gösterilmiştir. Beklendiği gibi yıldızların uzaklıkları arttıkça uzaklık hataları büyümektedir. Buna göre rölatif paralaks hatası  $\sigma_\pi/\pi \leq 0.01$  olan yıldız örneği yaklaşık 0.5 kpc uzaklığa erişirken  $\sigma_\pi/\pi \leq 0.20$  aralığındaki yıldızların 10 kpc'e uzandığı görülmektedir.



**Şekil 4.5:** APOGEE-2 veri tabanından seçilen kırmızı dev yıldız örneğinin *Gaia* DR2’den hesaplanan uzaklıklarının rölatif paralaks hatalarına göre oluşturulmuş histogramları.

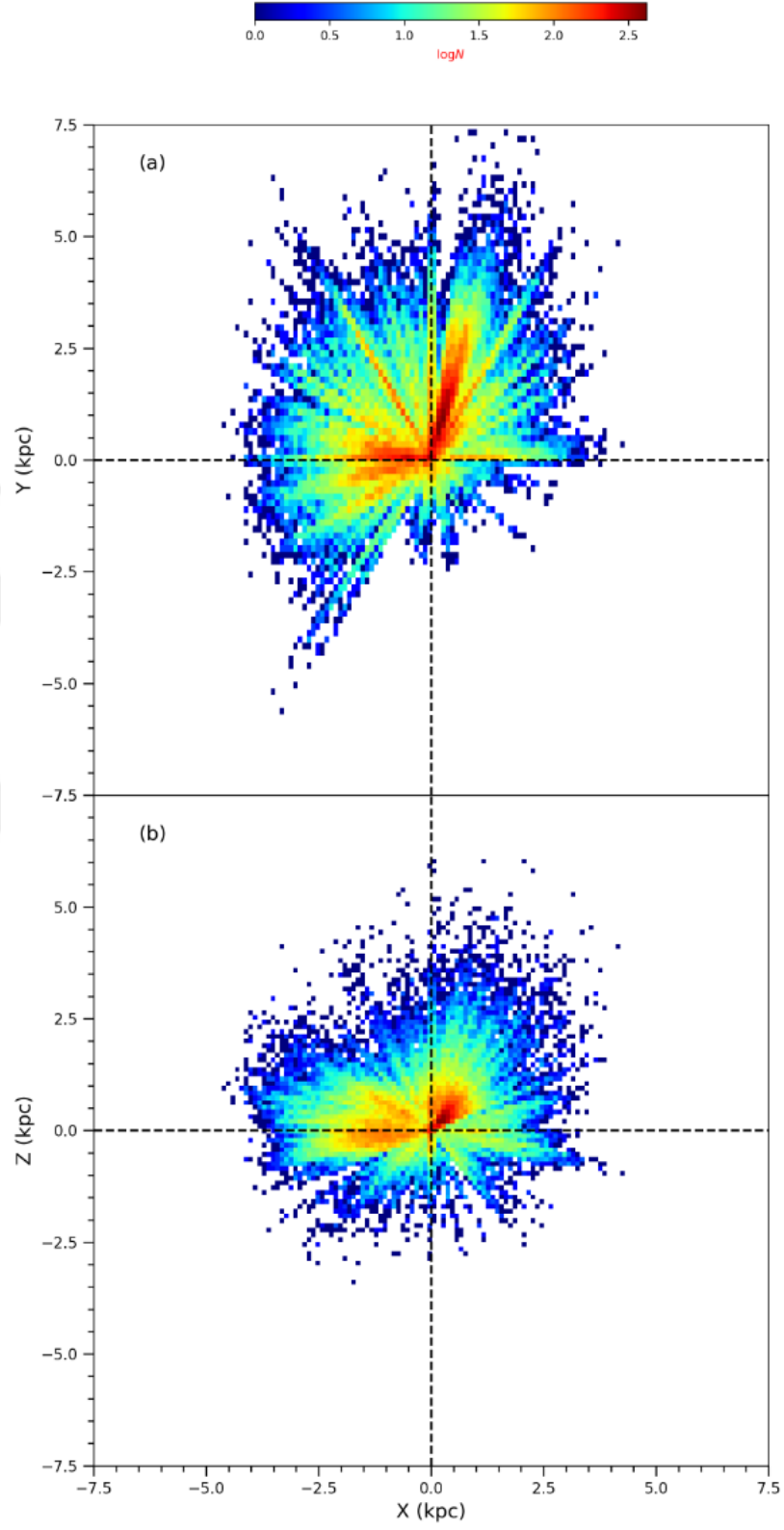
Tez çalışmasında kırmızı dev yıldızların demir bolluklarıyla yaşları arasındaki bağıntı inceleneyeceğinden ve bu bağıntıların da farklı popülasyon türleri için elde edilmesi hedeflendiğinden uzaklıklardaki hatalara göre en uygun alt örneğin belirlenmesi gerekmektedir. Şekil 4.5 incelendiğinde, rölatif paralaks hataları  $\sigma_\pi/\pi \leq 0.10$  olan 66,240 kırmızı dev yıldızın yaklaşık  $d = 7$  kpc’e uzandığı ve yıldızların medyan uzaklığının da 1.76 kpc olduğu tespit edilmiş olup istatistiksel açıdan en uygun örnek olduğuna karar verilmiştir. Ayrıca bu grubun tercih edilmesinin başka bir nedeni de Lutz-Kelker (LK, 1973) yanlışlığını daha az içermesidir. LK yanlışlığı, yıldızların istatistiksel olarak trigonometrik paralakslarının daha büyük ölçülmesine neden olmaktadır. LK (1973) bu yanlışlığı ortaya koymakla birlikte yıldızların uzaklıklarının ölçülenden daha ötede olması gerektiğini öne sürmüştü ve yıldızın mutlak parlaklığına, rölatif paralaks hatasını dikkate alarak bir düzeltme uygulamıştır. Fakat bu düzeltme, rölatif paralaks hatası yaklaşık  $\sigma_\pi/\pi = 0.18$  değerine kadar uygulanabilmekte ve yıldızın mutlak parlaklığına en fazla 0.43 kadrlık bir düzeltme gerektirmektedir. Smith (1987) LK yanlışlığını, yeni bir analitik ifadeyle yıldızın trigonometrik paralaksına uygulamıştır.

Bağıntı (4.3)'te verilen ifadeyle yıldızların trigonometrik paralaksarı LK yanlışlığından arındırılabilir.

$$\pi_0 = \pi \left( \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \sqrt{1 - 16(\sigma_\pi/\pi)^2} \right) \quad (4.3)$$

Tez çalışmasında bağıntı (4.3)'e göre rölatif paralaks hataları  $\sigma_\pi/\pi \leq 0.10$  olan yıldızların trigonometrik paralakslarına en büyük %4.2 bir iyileştirme yapılabileceği görülmektedir. Ancak hesaplanan bu düzeltme örnekteki rölatif paralaks hatası en büyük olan yıldızlara uygulanacak değerdir ki, bu da istatistik açıdan yıldızların uzaklık tayininde büyük bir belirsizliğe yol açmamaktadır.

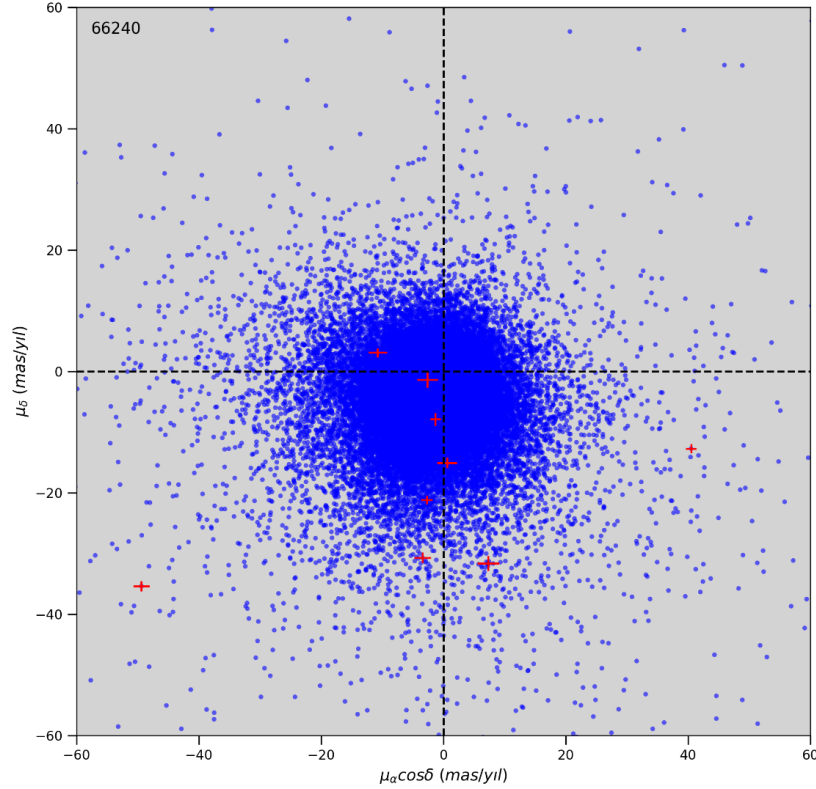
Rölatif paralaks hatalarına göre sınırlama getirilen 66,240 kırmızı dev yıldızın Güneş civarındaki dağılımlarını inceleyebilmek için Bölüm 3.4'teki verilen (3.1), (3.2), (3.3) bağıntıları kullanılmıştır. Bu bağıntılarla yıldızların Güneş merkezli Galaktik kartezyen koordinatları ( $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ) hesaplanmıştır. Burada  $X$  Galaksi merkezi,  $Y$  Güneş'in dönme doğrultusu ve  $Z$  de Galaktik düzlemden Kuzey Galaktik kutup doğrultusu yönünde ölçülmektedir. Yıldızların ( $X$ ,  $Y$ ) ve ( $X$ ,  $Z$ ) düzlemlerindeki konumları yıldız sayı yoğunluklarına göre Şekil 4.6a'da gösterilmiştir. Örnekteki yıldızların  $X$ ,  $Y$  ve  $Z$  uzaklıklarının, sırasıyla, 5, 7.5 ve 6 kpc'e uzandığı tespit edilmiştir. APOGEE gözlem stratejisinden dolayı IV. Galaktik çeyrekte az sayıda yıldız gözlenmiştir (bkz. Şekil 4.6a). Galaktik düzleme göre dağılımların incelendiği Şekil 4.6b'de kırmızı dev yıldızların kuzey Galaktik yarı kürede daha etkin olduğu görülmektedir. Galaktik yıldız popülasyonlarının uzay dağılımı dikkate alındığında,  $Z = 6$  kpc'e kadar uzanan örnekteki kırmızı dev yıldızların ince ve kalın diskte yoğunlaştığı görülmektedir. Örnekteki yıldızların  $X$ ,  $Y$  ve  $Z$  uzaklıklarındaki medyan değerleri ve standart sapmaları da, sırasıyla,  $-0.11 \pm 1.20$ ,  $0.74 \pm 1.28$ ,  $0.30 \pm 0.77$  kpc'tir. Bu sonuçlar  $Y$  ve  $Z$  uzaklıklarında küçük denebilecek bir yanlışlığın olduğunu göstermektedir.



**Şekil 4.6:** 66,240 kırmızı dev yıldızın (a)  $(X, Y)$  ve (b)  $(X, Z)$  düzlemlerindeki uzay dağılımları. Kesikli çizgilerin kesişim noktasında Güneş bulunmaktadır.

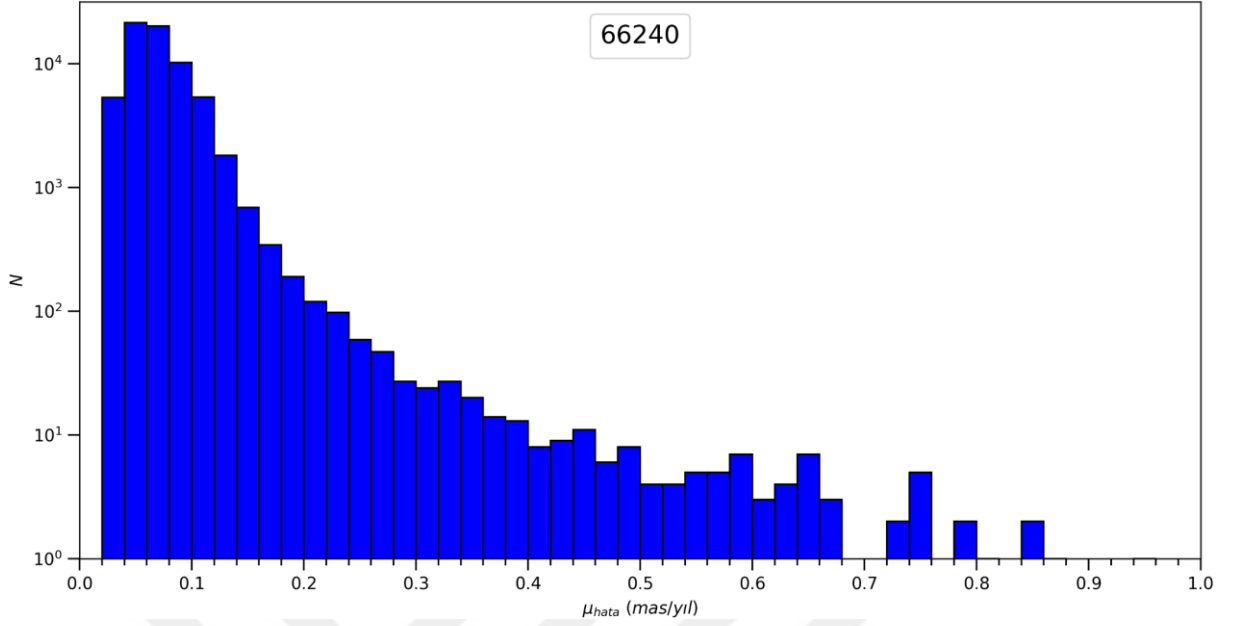
#### 4.2.2 Öz Hareket Bileşenleri

Kinematik hesaplamalarda gerekli olan bir başka parametre de yıldızların öz hareket bileşenleridir. Tez çalışmasında kırmızı dev yıldızlarının öz hareket bileşenleri *Gaia* DR2 kataloğundan (Gaia işbirliği, 2018) alınmıştır. 66,240 kırmızı dev yıldızın öz hareket bileşenlerinin ( $\mu_\alpha \cos \delta$ ,  $\mu_\delta$ ) dağılımları Şekil 4.7’de gösterilmiştir. Öz hareket bileşenlerindeki veriler dikkate alındığında -60 ile 60 mas/yıl aralığında bir değişim gösterdiği tespit edilmiştir. Örnek içinde en büyük öz hareket hatasına sahip 10 yıldız Şekil 4.7 üzerinde farklı renk ile gösterilmiştir. Bu yıldızların öz hareket düzlemi üzerindeki konumları incelendiğinde, öz hareket bileşenlerinde bir yanlılık bulunmadığı ve hata değerleri büyük olanların da ölçülen değerlerinden çok farklı olmadığı görülmektedir. Ayrıca 66,240 yıldızın öz hareket bileşenlerine ait hataların frekans dağılımları da Şekil 4.8’de gösterilmiştir. Öz hareket bileşenlerinin bileşke vektörüne ait hatanın 1 mas/yıl’ı geçmediği ve örnekteki  $1\sigma$  standart sapma değerinin 0.1 mas/yıl değerinden daha küçük olduğu görülmektedir.



1.

**Şekil 4.7:** 66,240 kırmızı dev yıldızın *Gaia* DR2 kataloğundan alınan öz hareket bileşenleri. Şekil üzerindeki kırmızı semboller, öz hareket bileşenlerinde en büyük hataya sahip yıldızları göstermektedir.



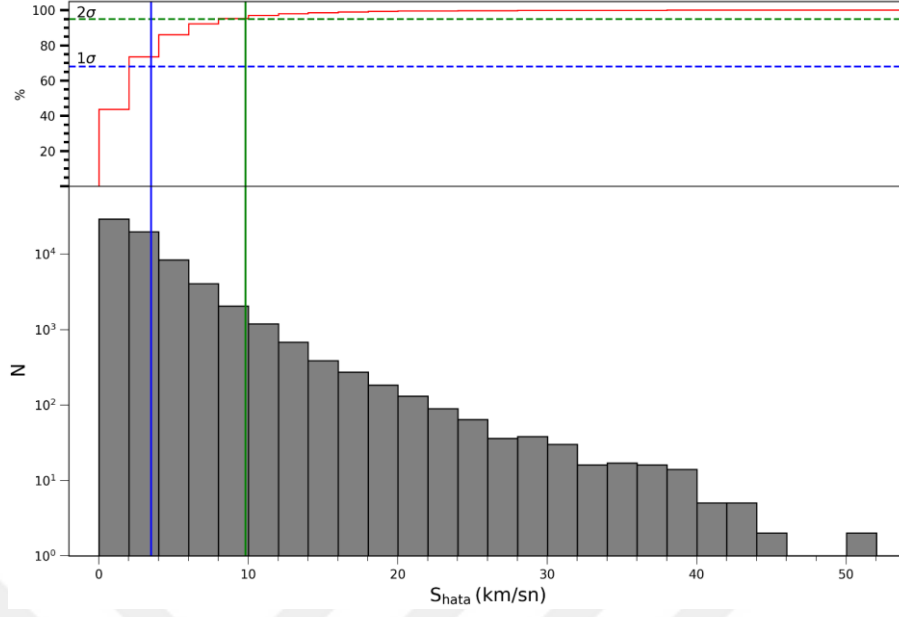
**Şekil 4.8:** 66,240 kırmızı dev yıldızın öz hareket bileşenlerinin bileşke vektörüne ait hatalarının dağılımı.

#### 4.3 KIRMIZI DEV YILDIZLARIN UZAY HIZLARI

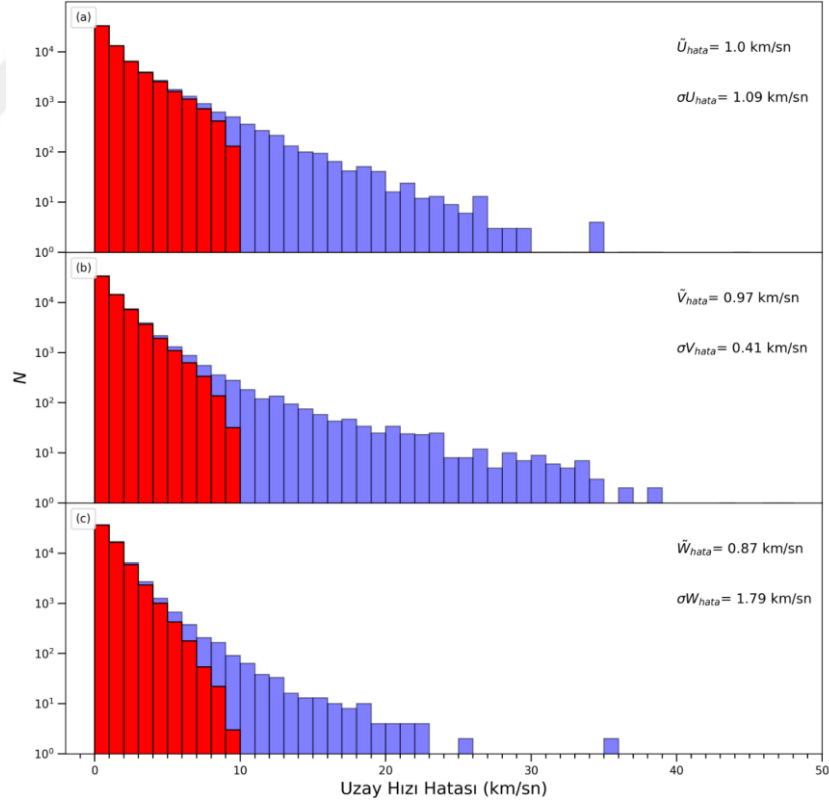
Tez çalışmasında seçilen 66,240 kırmızı dev yıldızın uzay hızı bileşenleri Johnson ve Soderblom'un (1987) geliştirdiği yöntem ile hesaplanmıştır. Uzay hızı bileşenleri ve hataları tez çalışmasının Bölüm 3.5'te verilen (3.6) – (3.10) bağıntıları kullanılarak tayin edilmiştir. Uzay hızı bileşenleri hesaplanan yıldızların *LSR* düzeltmeleri için Coşkunoğlu ve diğ.'nin (2011)  $(U_{\odot}, V_{\odot}, W_{\odot}) = (8.83 \pm 0.24, 14.19 \pm 0.34, 6.57 \pm 0.21)$  km/sn değerleri dikkate alınmıştır. Yıldızların *LSR* düzeltmesi için yıldızların uzay hızı bileşenlerinden Güneş'in uzay hızı bileşenleri çıkartılmıştır. Uzay hızı bileşenlerini etkileyen bir başka faktör de yıldızların Samanyolu galaksisindeki diferansiyel dönmesidir. Yıldızların diferansiyel dönme düzeltmeleri için Bölüm 3.5'te bahsedilen (3.11) – (3.14) bağıntıları kullanılmıştır. Diferansiyel dönme düzeltmesi *W* hız bileşenini etkilemediği için hesaplamalara katılmamıştır. Hesaplamalar sonucunda *U* ve *V* hızlarındaki düzeltmeler, sırasıyla  $-154.76 < dU < 201.20$  ve  $-11.18 < dV < 10.29$  km/sn olarak tayin edilmiştir. İlk bakışta *U* ve *V* hız bileşenlerine uygulanan bu düzeltmeler çok büyük olarak algılanabilir. Fakat tez çalışmasındaki kırmızı dev yıldızlar çok büyük uzaklıklara kadar uzandığı için uzay hızı bileşenlerine uygulanacak düzeltmeler büyük olabilir. Bu durumu daha iyi analiz edebilmek için örnek içindeki dev yıldızların Güneş civarından seçilmesi durumunda ( $d < 1$  kpc) diferansiyel dönme düzeltmelerinin daha küçük olması beklenir. Gerçekten, Güneş civarındaki kırmızı dev yıldızlar için hesaplanmış  $dU$  ve  $dV$

hızları incelendiğinde,  $U$  ve  $V$  uzay hızı bileşenleri için hesaplanan hız düzeltmelerinin  $-22.59 < dU < 26.76$  ve  $-2.40 < dV < 2.40$  km/sn aralıklarında yer aldığı tespit edilmiştir. Tez çalışmasındaki yıldızların medyan uzaklığının 1.76 kpc değeri dikkate alındığında diferansiyel dönme düzeltmelerinin anlamlı olduğu görülmektedir.

Günümüzde tayfsal ve astrometrik verilerin duyarlılığının artması yıldızların uzay hızı bileşenine ait hataların küçülmesine yol açmıştır. Yıldızların uzay hızlarının hesaplanmasında öz hareket, uzaklık ve radyal hız verilerine ait belirsizlikler dikkate alındığından bu parametrelerden kaynaklanan hata yayılımları söz konusudur. Bu yayılımın en belirgin olduğu parametre ise yıldızların toplam uzay hızıdır. Tez çalışmasında kırmızı dev yıldızların toplam uzay hızının ( $S$ ) ve hatasının ( $S_{hata}$ ) hesaplanmasında, sırasıyla, Bağntılar (3.15) ve (3.16) kullanılmıştır. Kırmızı dev yıldızların uzay hızı dispersiyonlarının hesaplanmasında oluşabilecek belirsizliklerin en düşük seviyede tutulması için, toplam uzay hızı hatasına ( $S_{hata}$ ) bir sınırlama getirilmesi gerekmektedir. Şekil 4.9'da tez çalışmasındaki kırmızı dev yıldızların toplam uzay hızı hatalarının histogramı verilmiştir. Toplam hız hatalarının birikimli dağılımları da hata diyagramının üst panelinde bulunmaktadır. Dağılım içinde örneğe ait  $1\sigma$  ve  $2\sigma$  standart sapma değerlerine karşılık gelen toplam uzay hızı hataları, sırasıyla, 3.5 ve 9.8 km/sn olarak hesaplanmıştır. Tez çalışmasında uzay hızları duyarlı tayin edilmiş yıldızların seçimi için  $2\sigma$  standart sapma değerine karşılık gelen toplam uzay hızı hatasının  $S_{hata} = 9.8$  km/sn olarak alınmasına karar verilmiş ve kırmızı dev yıldız örneği 62,928'e azalmıştır. Yıldızların uzay hızı bileşenlerinin hatalarının, toplam uzay hızı hatasına sınırlama getirilmeden önce (66,240) ve getirildikten sonrasına (62,928) ait histogramları Şekil 4.10'da gösterilmiştir. Toplam uzay hızı hatalarına getirilen sınırlama sonucunda ( $S_{hata} \leq 9.8$  km/sn), kırmızı dev yıldız örneğinin  $U$ ,  $V$ ,  $W$  uzay hızı bileşenlerine ait hataların medyan ve standart sapma değerleri, sırasıyla,  $1.00 \pm 1.09$ ,  $0.97 \pm 0.41$  ve  $0.87 \pm 1.79$  km/sn olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlar incelenen kırmızı dev yıldız örneğinin kinematik açıdan çok hassas seçildiğini göstermektedir.

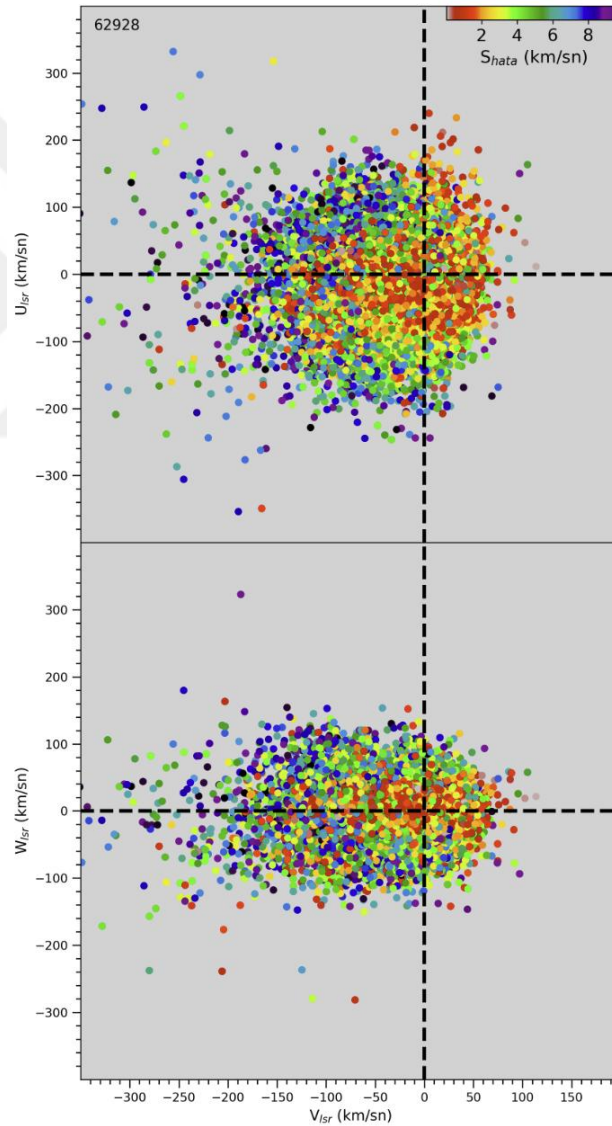


**Şekil 4.9:** Kırmızı dev yıldız örneğinin toplam uzay hızı hatalarının ( $S_{hata}$ ) frekans dağılımı (alt panel) ve bu dağılımın birikimli toplamı (üst panel). Mavi renkli çizgi dağılımın  $1\sigma$  standart sapma değerini, yeşil renkli çizgi dağılımın  $2\sigma$  standart sapma değerini göstermektedir.



**Şekil 4.10:** Kırmızı dev yıldız örneğine toplam uzay hızı hatasına sınırlama getirmeden (mavi renk) ve  $S_{hata} \leq 9.8$  km/sn'lik bir sınırlama getirildikten sonra (kırmızı renk) uzay hızı bileşenlerinin frekans dağılımları.

62,928 kırmızı dev yıldızın, uzay hızı yanlışlıklarından arındırılmış  $U_{LSR}$ ,  $V_{LSR}$ ,  $W_{LSR}$  uzay hızı bileşenlerinin  $U_{LSR} - V_{LSR}$  ve  $W_{LSR} - V_{LSR}$  düzlemindeki dağılımları Şekil 4.11’de gösterilmiştir. Şekildeki renklendirmeler toplam uzay hızı hatalarını temsil etmektedir. Yıldızların uzay hızı bileşenleri,  $-350 < U_{LSR} < +350$ ,  $-350 < V_{LSR} < +100$  ve  $-300 < W_{LSR} < +330$  km/sn aralıklarında bulunmaktadır. Uzay hızı bileşenlerinin farklı düzlemlerdeki konumlarına bakıldığında küçük uzay hızı hatası olan yıldızların Güneş benzeri hızlarda bulunduğu, farklı popülasyonlara gidildikçe uzay hızı hatalarının  $S_{hata} = 9.8$  km/sn’e arttığı görülmektedir. Bu sonuç, kırmızı dev yıldızların hız dispersiyonu hesaplamalarının yeterince duyarlı yapılabileceğini göstermektedir.



**Şekil 4.11:** Kırmızı dev yıldızların uzay hızı bileşenlerinin  $U-V$  (a) ve  $W-V$  (b) düzlemlerindeki dağılımları. Şekil üzerindeki renklendirme toplam uzay hızı hatasını göstermektedir.

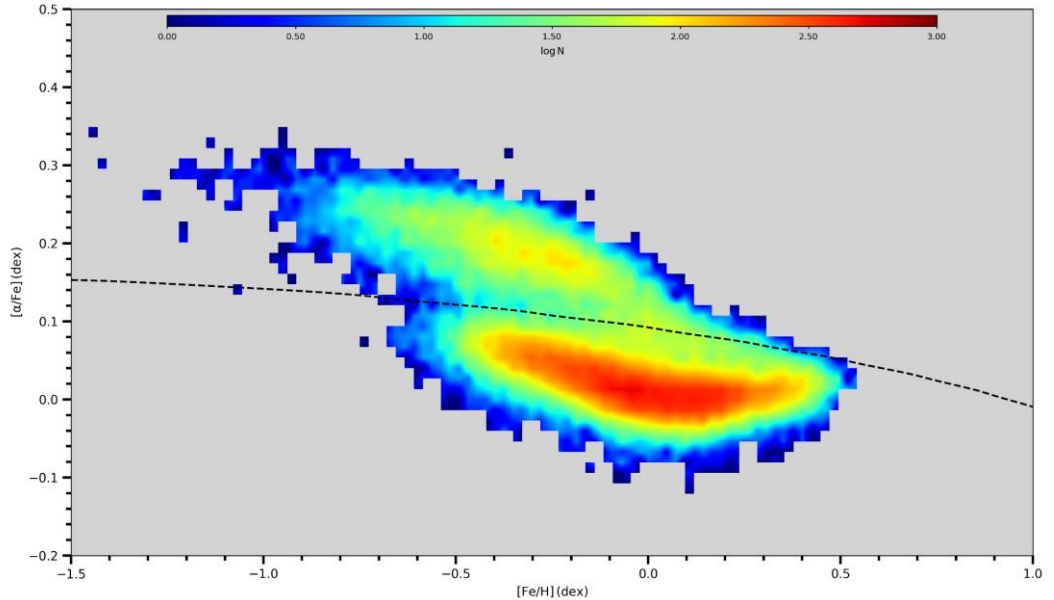
#### 4.4 KIRMIZI DEV YILDIZLARIN YAŞ-METAL BOLLUĞU İLİŞKİSİ

Kırmızı dev yıldızların yaş – metal bolluğu ilişkisinin araştırılmasında yıldızların popülasyon türlerinin belirlenmesi önemlidir. İncelenen bir örnek içerisinde farklı tür popülasyonlara ait yıldızların bulunması grubun hız dispersiyonunu arttırmakta ve hız dispersiyonlarına bağlı yaş tayinlerini doğrudan etkilemektedir. Galaktik popülasyon ayrımı literatürde nesnelerin uzay dağılımları, kimyasal kompozisyonları, kinematik ve Galaktik yörünge potansiyellerine bağlı analizler ile yapılmaktadır. Günümüzde yıldızların yüksek çözünürlüklü tayflarının analizleri sonucunda hesaplanan düşük/yüksek  $\alpha$ -element bolluklarının bir arada incelenmesi yıldız popülasyon ayrımının oldukça duyarlı yapılmasını sağlamaktadır (Gilmore ve Wyse 1998). Tez çalışmasında APOGEE tayfsal taramasına ait yüksek çözünürlük ve yüksek  $S/N$  değerlerine sahip evrimleşmiş yıldızların incelenmiş olması yıldızların demir bolluklarının yanı sıra  $\alpha$ -element bolluklarının da tayin edilmesine fırsat vermiştir. Bu nedenle tez çalışmasında yıldızların popülasyon türlerinin ayrılmasında yıldızların kimyasal bolluklarının kullanılması tercih edilmiştir.

##### 4.4.1 Kırmızı Dev Yıldızların Galaktik Popülasyonları

Tez çalışmasındaki 62,928 kırmızı dev yıldızın Galaktik popülasyon türlerine ayrımında APOGEE-2 kataloğunda verilen  $\alpha$ -element ( $[\alpha/\text{Fe}]$ ) ve demir bollukları ( $[\text{Fe}/\text{H}]$ ) dikkate alınmıştır.  $\alpha$ -element ve demir bollukları bilinen 62,928 kırmızı dev yıldızın  $[\alpha/\text{Fe}] \times [\text{Fe}/\text{H}]$  diyagramı Şekil 4.12’de gösterilmiştir. Diyagramdaki yıldızlar sayı yoğunluğuna göre renklendirilmiştir. Kırmızı dev yıldız örneğindeki yıldızların demir bollukları  $-1.5 < [\text{Fe}/\text{H}] < +0.6$  dex ve  $\alpha$ -element bollukları da  $-0.15 < [\alpha/\text{Fe}] < +0.36$  dex aralığında yer almaktadır. Diyagramdaki yıldızların iki bölgede yoğunlaştığı görülmektedir. İlk ve en belirgin yoğunlaşma, demir bolluğu Güneş’inkine benzer yıldızların oluşturduğu bölgedeyken, ikinci yoğunlaşma demir bolluğu Güneş’e göre yaklaşık 0.3 dex daha fakir bir bölgede meydana gelmektedir. Ayrıca bu farklılık  $\alpha$ -element bolluğunda da görülmektedir. Her iki grubun element bolluğu birbirlerine göre bir dejenerasyonluk göstermektedir. Güneş demir bolluğundaki yıldızların  $\alpha$ -element bollukları düşükken ( $[\alpha/\text{Fe}] < 0.10$  dex), Güneş demir bolluğuna göre fakir yıldızların  $\alpha$ -element bollukları yüksektir ( $[\alpha/\text{Fe}] > 0.15$  dex). Şekil 4.12’de kolaylıkla görülebilen düşük ve yüksek  $\alpha$ -element bolluklu iki popülasyon, sırasıyla, Galaksimizin ince disk ve kalın disk/halo yıldızlarını ifade etmektedir. Diyagramdaki

popülasyonların iki ayrı bölgede yoğunlaşmasına karşın belirgin bir ayrımı görülememektedir. Bu sorunun üstesinden gelebilmek için Bölüm 3.6’de bahsedilen *Gauss karışım modeli* kullanılarak örnekteki kırmızı dev yıldızlar popülasyon türlerine ayrılmıştır. Şekil 4.12’de *Gauss karışım modeliyle* hesaplanan popülasyon ayırım sınırı siyah kesikli çizgiyle gösterilmiştir. Analizler sonucunda düşük ve yüksek  $\alpha$ -element bolluğuna göre ayrılan yıldızların sayısı, sırasıyla, 49,193 ve 13,735 olarak belirlenmiştir. Kimyasal bolluklara göre ayrımı yapılan kırmızı dev yıldızların popülasyon türlerine ayrımı kinematik analizler ile sınanmıştır. Düşük ve yüksek  $\alpha$ -bolluklu kırmızı dev yıldız örneklerinin medyan uzay hızı bileşenleri, sırasıyla,  $(U, V, W)_{LSR} = (-2.82, -11.88, -1.04)$  ve  $(-10.18, -46.61, -0.46)$  km/sn olarak hesaplanmıştır. İki grup için yıldız popülasyonlarını en iyi ayırt eden uzay hızı bileşeninin  $V_{LSR}$  olduğu görülmektedir.  $V_{LSR}$  uzay hızı bileşenleri birbirleriyle karşılaştırıldığında,  $V_{LSR} = -11.88$  km/sn olanın metalce zengin ince disk popülasyonu,  $V_{LSR} = -46.61$  km/sn olanın da metalce fakir kalın disk/halo popülasyonu olduğu görülmektedir. Bu bulgu, Benbsy ve diğ.’nin (2003) kinematik çalışmasında ince ve kalın disk popülasyonlarının  $V_{LSR}$  uzay hızı bileşeni için verdikleri, sırasıyla, -15 ve -46 km/sn’lik değerler ile mükemmel bir uyum göstermektedir. Tez çalışmasında kırmızı dev yıldız örneği için metal bolluğu ve kinematik yöntemlere dayalı analiz ile incelenen popülasyon ayrımının yeterince duyarlı yapıldığı söylenebilir.



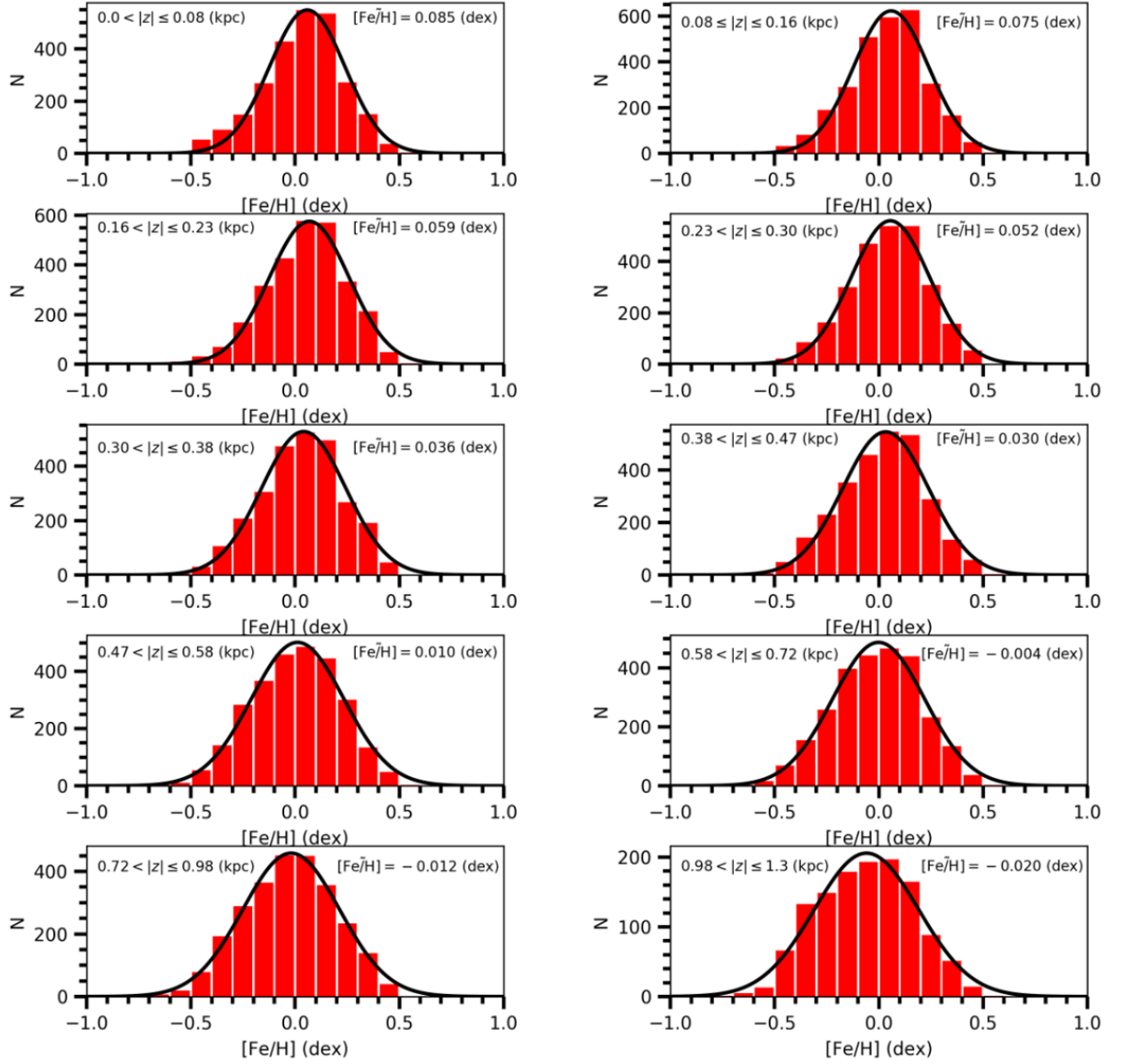
**Şekil 4.12:** Kırmızı dev yıldızların sayı yoğunluklarına göre renklendirilmiş  $[\alpha/\text{Fe}] \times [\text{Fe}/\text{H}]$  diyagramı. Gauss karışım modeliyle belirlenen yıldızların popülasyon ayırım sınırı siyah kesikli çizgiyle gösterilmiştir.

#### 4.4.2 Düşük - $[\alpha/\text{Fe}]$ Bolluklu Örneğin Kinematik Yaşları ve Metal Bollukları

Tez çalışmasında yaş – metal bolluğu ilişkisinin incelenmesi için Güneş civarında popülasyon türleri belirlenmiş kırmızı dev yıldızlar kullanılmıştır. Analizlerde, Galaksi merkezinden  $7 < R_{gc} < 9$  kpc aralığında bulunan ve Galaktik düzlemden itibaren  $Z_1$ - $Z_2$  mesafeleri arasına hemen hemen eşit sayıda yıldız düşecek 10 uzaklık aralığı seçilmiştir. Yıldızların Galaktik düzlemden dik ve Galaksi merkezine olan uzaklıklarının hesaplanmasında, sırasıyla, Bağntı (3.3) ve Bağntılar (3.4 ve 3.5) kullanılmıştır. Seçilen kırmızı dev yıldızlar Güneş civarındaki silindir içinde bulunmaktadır. Yıldızların popülasyon türlerinin belirlenmesi, bir önceki bölümde bahsedildiği gibi,  $[\alpha/\text{Fe}] \times [\text{Fe}/\text{H}]$  düzlemi üzerinde yapılmıştır. Güneş silindiri içindeki düşük  $[\alpha/\text{Fe}]$  bolluklu ince disk yıldızlarının sayısı 25,841 olarak belirlenmiş ve bu yıldızlar  $0 < Z \leq 80$ ;  $80 < Z \leq 160$ ;  $160 < Z \leq 230$ ;  $230 < Z \leq 300$ ;  $300 < Z \leq 380$ ;  $380 < Z \leq 470$ ;  $470 < Z \leq 580$ ;  $580 < Z \leq 720$ ;  $720 < Z \leq 980$  ve  $980 < Z \leq 1,300$  pc uzaklık aralıklarına ayrılmıştır. Her bir uzaklık aralığına karşılık gelen ortalama uzay hızı bileşenleri (Bağntılar 3.6-3.10), bu bileşenlerin hız dispersiyonları (Bağntı 3.17) ve toplam uzay hızı dispersiyonu (Bağntı 3.18) belirsizlikleriyle birlikte hesaplanmıştır. Grup içindeki yıldızların kinematik yaşları grubun toplam uzay hızı dispersiyonuna bağlı olarak Bağntı (3.32) kullanılarak belirlenmiştir. Son olarak, her bir  $Z_1$ - $Z_2$  uzaklık aralıklarındaki kırmızı dev yıldızların metal bolluklarının belirlenmesinde yıldızların  $[\text{Fe}/\text{H}]$  bolluklarının frekans dağılımlarına fit edilen Gauss benzeri eğrinin merkezi ölçümü ve bu ölçümün hatası dikkate alınmıştır (Şekil 4.13). Düşük  $[\alpha/\text{Fe}]$  bolluklu kırmızı dev yıldızlar için elde edilen bulgular Tablo 4.1’de listelenmiştir.

**Tablo 4.1:** Uzaklık aralıklarına göre ayrımı yapılan düşük  $[\alpha/\text{Fe}]$  bolluklu kırmızı dev yıldızların uzay hızı bileşenleri ( $U_{LSR}$ ,  $V_{LSR}$ ,  $W_{LSR}$ ), bu bileşenlere ait hız dispersiyonları ( $\sigma_U$ ,  $\sigma_V$ ,  $\sigma_W$ ), toplam hız dispersiyonu ( $\sigma_{Top}$ ), hesaplanan kinematik yaş ( $\tau$ ) ve metal bolluğu ( $[\text{Fe}/\text{H}]$ ).

| $Z_1$ - $Z_2$ | $N$  | $U_{LSR}$  | $V_{LSR}$   | $W_{LSR}$  | $\sigma_U$ | $\sigma_V$ | $\sigma_W$ | $\sigma_{Top}$ | $\tau$    | $[\text{Fe}/\text{H}]$ |
|---------------|------|------------|-------------|------------|------------|------------|------------|----------------|-----------|------------------------|
| (pc)          |      | (km/sn)    | (km/sn)     | (km/sn)    | (km/sn)    | (km/sn)    | (km/sn)    | (km/sn)        | (Gyıl)    | (dex)                  |
| 0-80          | 2699 | -0.49±1.09 | -12.91±0.54 | -0.55±0.64 | 30.89±1.57 | 23.14±0.66 | 16.44±0.57 | 41.95±1.81     | 3.18±0.01 | 0.085±0.004            |
| 80-160        | 2795 | -0.48±0.85 | -10.66±0.49 | -0.50±0.55 | 32.92±1.10 | 22.92±0.59 | 17.16±0.47 | 43.63±1.33     | 3.47±0.01 | 0.075±0.004            |
| 160-230       | 2794 | -0.18±1.19 | -9.84±0.50  | -0.94±0.61 | 35.54±1.39 | 23.23±0.60 | 17.50±0.51 | 45.92±1.60     | 3.88±0.01 | 0.059±0.004            |
| 230-300       | 2636 | -1.22±1.35 | -10.98±0.52 | -1.97±0.68 | 36.46±1.42 | 23.70±0.55 | 18.52±0.56 | 47.27±1.62     | 4.12±0.01 | 0.052±0.004            |
| 300-380       | 2673 | -1.52±1.55 | -11.25±0.60 | -2.47±0.74 | 37.46±1.60 | 23.83±0.62 | 19.75±0.59 | 48.59±1.81     | 4.35±0.01 | 0.036±0.004            |
| 380-470       | 2837 | -0.80±1.84 | -12.80±0.68 | -1.50±0.82 | 38.39±1.87 | 24.63±0.66 | 21.35±0.66 | 50.36±2.09     | 4.68±0.01 | 0.030±0.004            |
| 470-580       | 2776 | -1.96±2.10 | -13.95±0.75 | -2.54±0.87 | 40.79±2.09 | 26.23±0.67 | 21.51±0.71 | 53.05±2.31     | 5.17±0.01 | 0.010±0.004            |
| 580-720       | 2692 | -3.47±2.10 | -14.35±0.83 | -1.84±0.85 | 42.49±2.09 | 26.56±0.71 | 21.37±0.73 | 54.47±2.32     | 5.43±0.01 | -0.004±0.004           |
| 720-980       | 2661 | -3.95±2.10 | -15.77±1.03 | -1.59±0.86 | 42.25±2.07 | 27.12±0.88 | 22.36±0.75 | 54.96±2.37     | 5.52±0.01 | -0.012±0.004           |
| 980-1300      | 1278 | -5.48±2.08 | -17.99±1.29 | -0.77±0.89 | 42.09±1.89 | 27.25±1.09 | 23.68±0.83 | 55.45±2.33     | 5.61±0.01 | -0.020±0.006           |

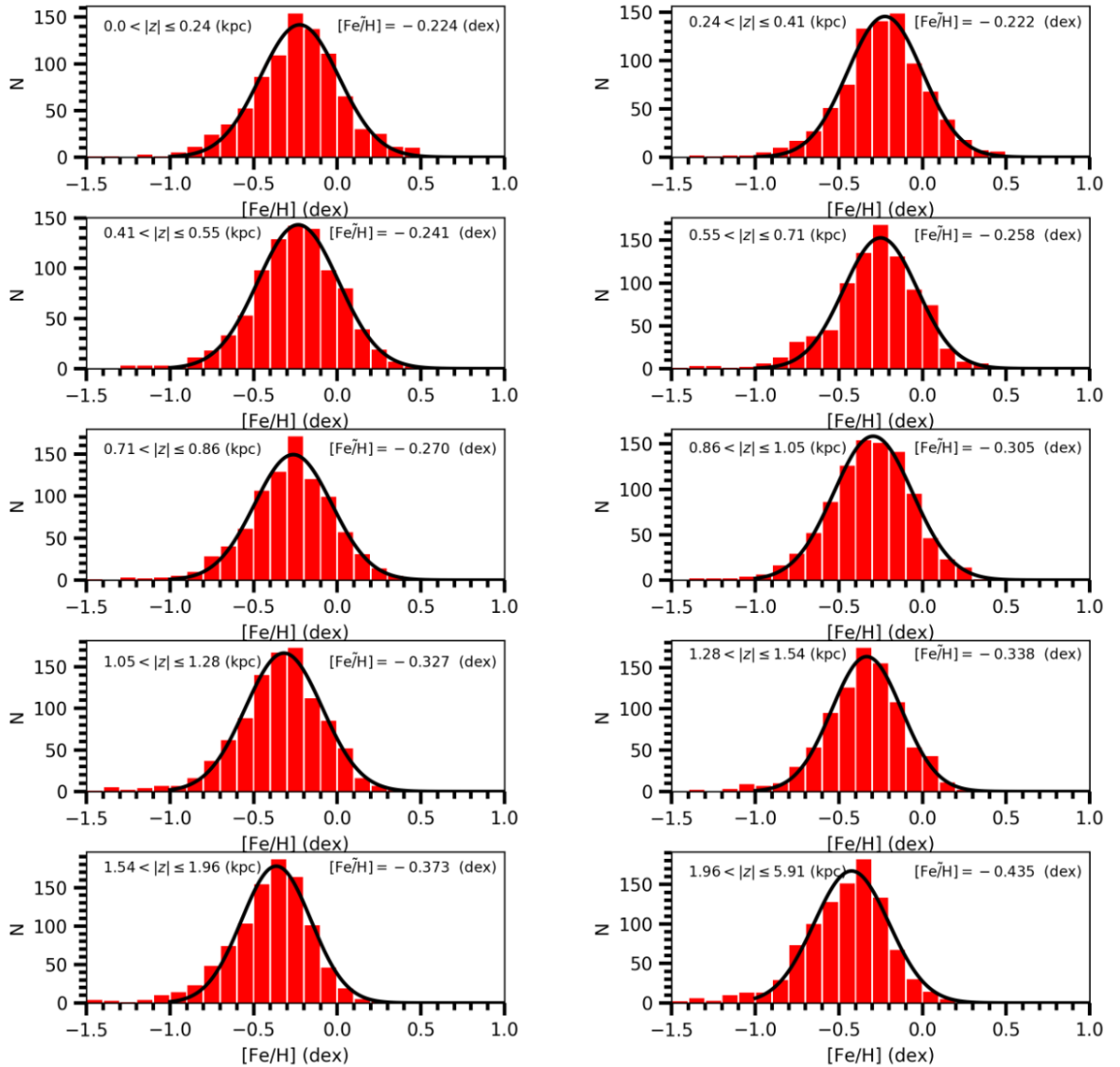


**Şekil 4.13:** Düşük  $[\alpha/\text{Fe}]$  bolluklu farklı 10 uzaklık aralığında ( $Z_1$ - $Z_2$ ) bulunan kırmızı dev yıldızların metal bolluğu histogramları. Histogramlardaki sürekli çizgi dağılımlara fit edilen Gauss eğrilerini göstermektedir.

#### 4.4.3 Yüksek - $[\alpha/\text{Fe}]$ Bolluklu Örneğin Kinematik Yaşları ve Metal Bollukları

Kimyasal bolluklara göre ayrımı yapılan yüksek  $[\alpha/\text{Fe}]$  bolluklu kırmızı dev yıldızların Güneş silindiri içinde bulunanların sayısı 9,172 olarak tespit edilmiştir. Hemen hemen eşit sayıda yıldız barındıracak şekilde seçilen 10 farklı uzaklık aralığı  $0 < Z \leq 240$ ;  $240 < Z \leq 410$ ;  $410 < Z \leq 550$ ;  $550 < Z \leq 710$ ;  $710 < Z \leq 860$ ;  $860 < Z \leq 1,050$ ;  $1,050 < Z \leq 1,280$ ;  $1,280 < Z \leq 1,540$ ;  $1,540 < Z \leq 1,960$  ve  $1,960 < Z \leq 5,910$  pc olarak belirlenmiştir. Her bir uzaklık aralığına karşılık

gelen ortalama uzay hızı bileşenleri, bu bileşenlerin hız dispersiyonları ve toplam uzay hızı dispersiyonu belirsizlikleriyle birlikte hesaplanmış, gruplar içindeki yıldızların kinematik yaşları incelenen grubun toplam uzay hızı dispersiyonuna bağlı olarak tayin edilmiştir. Son olarak, her bir  $Z_1$ - $Z_2$  uzaklık aralıklarındaki kırmızı dev yıldızların metal bolluklarının belirlenmesinde yıldızların  $[\text{Fe}/\text{H}]$  bolluklarının frekans dağılımlarına fit edilen Gauss benzeri eğrinin merkezi ölçümü ve bu ölçümün hatası dikkate alınmıştır (Şekil 4.14). Yüksek  $[\alpha/\text{Fe}]$  bolluklu kırmızı dev yıldızlar için elde edilen bulgular Tablo 4.2’de verilmiştir.



**Şekil 4.14:** Yüksek  $[\alpha/\text{Fe}]$  bolluklu farklı 10 uzaklık aralığında ( $Z_1$ - $Z_2$ ) bulunan kırmızı dev yıldızların metal bolluğu histogramları. Histogramlardaki sürekli çizgi dağılımlara fit edilen Gauss eğrilerini göstermektedir.

**Tablo 4.2:** Uzaklık aralıklarına göre ayrımı yapılan yüksek  $[\alpha/\text{Fe}]$  bolluklu kırmızı dev yıldızların uzay hız bileşenleri ( $U_{LSR}$ ,  $V_{LSR}$ ,  $W_{LSR}$ ), bu bileşenlere ait hız dispersiyonları ( $\sigma_U$ ,  $\sigma_V$ ,  $\sigma_W$ ), toplam hız dispersiyonu ( $\sigma_{Top}$ ), hesaplanan kinematik yaş ( $\tau$ ) ve metal bolluğu ( $[\text{Fe}/\text{H}]$ ).

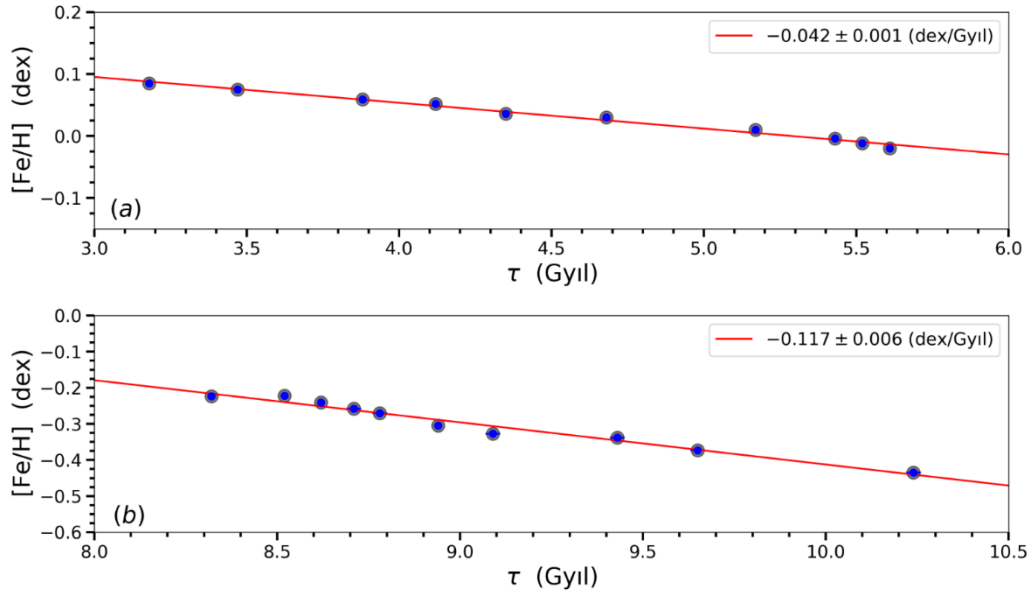
| $Z_1-Z_2$<br>(pc) | $N$ | $U_{LSR}$<br>(km/sn) | $V_{LSR}$<br>(km/sn) | $W_{LSR}$<br>(km/sn) | $\sigma_U$<br>(km/sn) | $\sigma_V$<br>(km/sn) | $\sigma_W$<br>(km/sn) | $\sigma_{Top}$<br>(km/sn) | $\tau$<br>(Gyl) | $[\text{Fe}/\text{H}]$<br>(dex) |
|-------------------|-----|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------------|-----------------|---------------------------------|
| 0-240             | 890 | -7.20±1.07           | -31.85±0.76          | -2.10±0.84           | 53.86±1.29            | 34.84±0.93            | 24.40±0.78            | 70.56±1.77                | 8.32±0.01       | -0.224±0.009                    |
| 240-410           | 857 | -6.62±1.64           | -39.02±0.78          | -1.82±1.01           | 54.94±1.67            | 33.27±0.80            | 31.96±0.88            | 71.74±2.05                | 8.52±0.01       | -0.222±0.010                    |
| 410-550           | 874 | -5.94±2.00           | -39.41±0.99          | -3.09±1.12           | 54.48±1.89            | 33.97±0.90            | 33.32±0.96            | 72.33±2.30                | 8.62±0.01       | -0.241±0.009                    |
| 550-710           | 879 | -12.28±2.20          | -42.34±1.23          | -1.13±1.22           | 54.28±1.99            | 33.21±1.11            | 35.47±1.02            | 72.85±2.50                | 8.71±0.02       | -0.258±0.009                    |
| 710-860           | 900 | -12.05±2.12          | -42.58±1.48          | -3.78±1.18           | 53.90±1.96            | 36.50±1.29            | 33.61±1.09            | 73.26±2.59                | 8.78±0.02       | -0.270±0.009                    |
| 860-1050          | 959 | -9.02±2.03           | -45.07±1.78          | 0.33±1.17            | 54.33±1.69            | 37.08±1.45            | 34.36±1.04            | 74.21±2.46                | 8.94±0.01       | -0.305±0.008                    |
| 1050-1280         | 984 | -14.48±2.32          | -49.87±2.12          | 0.24±1.28            | 54.98±1.88            | 37.16±1.62            | 35.08±1.13            | 75.06±2.73                | 9.09±0.02       | -0.327±0.008                    |
| 1280-1540         | 882 | -9.75±2.51           | -48.67±2.31          | 0.87±1.35            | 58.54±1.92            | 36.02±1.65            | 34.96±1.07            | 77.11±2.75                | 9.43±0.02       | -0.338±0.009                    |
| 1540-1960         | 972 | -12.55±2.86          | -56.51±2.96          | 2.76±1.60            | 58.43±2.07            | 38.12±1.87            | 35.95±1.26            | 78.48±3.06                | 9.65±0.02       | -0.373±0.008                    |
| 1960-6000         | 975 | -21.84±3.14          | -63.11±3.56          | 0.36±1.87            | 58.52±2.08            | 41.23±2.11            | 40.17±1.41            | 82.09±3.28                | 10.24±0.02      | -0.435±0.009                    |

#### 4.4.4 Kırmızı Dev Yıldızların Yaş-Metal Bolluğu İlişkisi

Kimyasal olarak düşük ve yüksek  $[\alpha/\text{Fe}]$  bolluklu iki gruba ayrılan kırmızı dev yıldızların hesaplanan kinematik ve kimyasal sonuçları bir önceki bölümde Tablo 4.1 ve Tablo 4.2’de listelenmiştir. Düşük  $[\alpha/\text{Fe}]$  bolluklu (ince disk) kırmızı dev yıldızların  $0 < Z \leq 1,300$  pc aralığında bulunduğu tespit edilmiştir. Her bir  $Z_1-Z_2$  uzaklık aralığı için hesaplanan uzay hızı bileşenlerine ait değerler literatürde ince disk için verilenler ile oldukça uyumludur (Bensby ve diğ. 2003). Galaktik düzlemden uzaklaştıkça her bir  $Z_1-Z_2$  aralığındaki toplam hız dispersiyonlarının sistematik bir şekilde arttığı görülmüştür. Bu da kinematik yaşın toplam uzay hızı dispersiyonuna bağlılığından dolayı büyüdüğünü gösteren önemli bir bulgudur. Düşük  $[\alpha/\text{Fe}]$  bolluklu kırmızı dev yıldızların Galaktik düzlem civarında ( $0 < Z \leq 80$  pc) ortalama kinematik yaşı  $\tau = 3.18 \pm 0.31$  Gyl iken, Galaktik düzlemin dışında ( $980 < Z \leq 1,300$  pc) ortalama yaş  $\tau = 5.61 \pm 0.43$  Gyl olmaktadır. İncelenen bu iki gruptaki ortalama metal bolluğu ( $[\text{Fe}/\text{H}]$ ) değerleri de, sırasıyla,  $0.085 \pm 0.194$  ve  $-0.020 \pm 0.226$  dex hesaplanmıştır. Metal bollukları dağılımlarından belirlenen merkezi ölçümlere ait belirsizlikler standart hata olarak ( $\sigma/\sqrt{N}$ ) verilmiştir. Burada  $\sigma$  metal bolluğu dağılımının standart sapması ve  $N$  incelenen aralıktaki yıldız sayısını göstermektedir. Bu analizler, Galaktik düzlemden uzaklaştıkça metal bolluğunda bir fakirleşmenin olduğunu göstermektedir. Düşük  $[\alpha/\text{Fe}]$  bolluklu örneğe ait  $\tau \times [\text{Fe}/\text{H}]$  diyagramı Şekil 4.15a’da gösterilmiştir. Taban yarıçapı 1 kpc olan Güneş silindiri içindeki kırmızı dev yıldızların artan ortalama kinematik yaşlarıyla ortalama metal

bolluklarının azaldığı dikkat çekmektedir. Bu örneğe uygulanan doğrusal fit yöntemiyle düşük  $[\alpha/\text{Fe}]$  bolluklu kırmızı dev yıldızların yaş – metal bolluğu gradyenti  $-0.042 \pm 0.001$  dex/Gyıl olarak hesaplanmıştır. Doğrusal fite ait korelasyon katsayısı ve dağılımın standart sapması, sırasıyla,  $R^2 = 0.988$  ve  $\sigma = 0.004$ 'tür.

Yüksek  $[\alpha/\text{Fe}]$  bolluklu kırmızı dev yıldızların Galaktik düzlem civarında ( $0 < Z \leq 240$  pc) ortalama kinematik yaşı  $\tau = 8.32 \pm 0.31$  Gyıl iken, Galaktik düzlemin dışında ( $1,960 < Z \leq 6,000$  pc) ortalama yaş  $\tau = 10.24 \pm 0.52$  Gyıl olmaktadır. İncelenen bu iki gruptaki ortalama  $[\text{Fe}/\text{H}]$  değerleri de, sırasıyla,  $-0.224 \pm 0.275$  ve  $-0.435 \pm 0.268$  dex hesaplanmıştır. Yüksek  $[\alpha/\text{Fe}]$  bolluklu örneğe ait  $\tau \times [\text{Fe}/\text{H}]$  diyagramı Şekil 4.15b'de gösterilmiştir. Örnekteki alt grupların Galaktik düzlemden uzaklaştıkça ortalama kinematik yaşlarının büyüdüğü, buna karşın ortalama metal bolluklarının azaldığı görülmektedir. Uzaklık aralıkları için hesaplanmış ortalama kinematik yaş ve ortalama metal bolluğu verilerine doğrusal fit yöntemi uygulanarak yüksek  $[\alpha/\text{Fe}]$  bolluklu kırmızı dev yıldızların yaş – metal bolluğu gradyenti  $-0.117 \pm 0.006$  dex/Gyıl olarak hesaplanmıştır. Yaş – metal bolluğu gradyentine ait korelasyon katsayısı ve dağılımın standart sapması, sırasıyla,  $R^2 = 0.967$  ve  $\sigma = 0.013$ 'tür.



**Şekil 4.15:** (a) Düşük ve (b) yüksek  $[\alpha/\text{Fe}]$  bolluklu kırmızı dev yıldızların 10 farklı uzaklık aralığı için hesaplanmış ortalama kinematik yaş ve metal bolluklarına ait dağılımlar. Kırmızı sürekli çizgi verilere yapılan doğrusal fitleri göstermektedir.

## 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu tez çalışmasında, tayfsal ve astrometrik verileri hassas tayin edilmiş kırmızı dev yıldızlar kullanılarak Galaksi diskindeki yaş – metal bolluğu ilişkisi araştırılmıştır. Elde edilen bulgular yorumlanarak Samanyolu Galaksisi’nin oluşumuna ve evrimine ait senaryolar sınanmıştır.

Tez çalışmasında tercih edilen kırmızı dev yıldızlar HR diyagramının parlak ve soğuk kısmında yer alır. Bu yıldızların ışıma güçleri Güneş’in ışıma gücünün yüz ile bin katı büyüklüğünde olduğundan aynı parlaklıktaki anakol yıldızlarına göre çok daha büyük uzaklıklardan görülebilir. Etkin sıcaklıklarının düşük olması bu tür yıldızların özellikle kızılöte bölgede ışıma yapmalarına neden olur. Kırmızı dev yıldızların ışığı, yıldızlararası ortamdan daha az etkilenirler. Bu özelliklerinden dolayı Galaksi diskinin incelenmesinde tercih edilirler.

SDSS DR14 APOGEE-2 tayfsal verileri, yüksek çözünürlüklü ( $R \sim 22,500$ ) ve yüksek  $S/N$  ( $>100$ ) değerlerine sahip yıldız tayflarından elde edilmiştir. Mevcut katalogdaki nesnelerin çoğu evrimleşmiş yıldızlardan oluşmaktadır (Majewski ve diğ., 2017). APOGEE’nin son veri sürümünde tayfsal olarak incelenen yıldızların radyal hızları, model atmosfer parametreleri ( $T_{eff}$ ,  $\log g$ ,  $[Fe/H]$ ,  $\xi$ ) ve 23 elementin bollukları verilmiştir. Tez çalışmasında tayfsal yöntemler kullanılıp APOGEE-2 kataloğundaki yıldızların etkin sıcaklık ve yüzey çekim ivmesi parametrelerine, sırasıyla,  $3,550 < T_{eff} (K) < 5,600$  ve  $0.5 < \log g (cm/sn^2) < 3.5$  sınırlamaları getirilerek 143,874 kırmızı dev yıldız seçilmiştir. Çalışmanın bundan sonraki aşamasında *Gaia* uydu verilerinin ikinci veri sürümündeki astrometrik veriler dikkate alınarak daha duyarlı bir yıldız örneğinin oluşturulmasına önem verilmiştir. Öncelikle yıldızların uzaklıklarının duyarlı hesaplanabilmesi için *Gaia* DR2 kataloğundaki rölatif paralaks hatalarına bir sınırlama getirilmiştir. Farklı rölatif paralaks hatalarına sahip yıldızlar kendi içlerinde gruplandırılarak, bu gruplardaki yıldız uzaklıklarına ait frekans dağılımları oluşturulmuş ve en uygun (uzaklıkları hassas ve istatistiksel bakımdan yeterli sayıda yıldız) rölatif paralaks aralığı ( $\sigma_{\pi}/\pi \leq 0.10$ ) belirlenmiştir. Bu aralığın tercih edilmesiyle yıldız sayısı 66,240 olmuştur. Örnekteki kırmızı dev yıldızların Güneş civarındaki dağılımları incelendiğinde Galaktik düzlemde 5 ile 7.5 kpc ve bu düzlemden dik uzaklıklarda 6 kpc’e uzandığı belirlenmiştir. Üç boyutlu kartezyen sistemde yıldızların uzaklıkları incelendiğinde sadece dönme doğrultusundaki bileşende bir yanlılığın bulunduğu görülmüştür. Bunun nedeni APOGEE taramasında dördüncü Galaktik çeyrekte az sayıda yıldızın gözlenmesidir.

Tez çalışmasında seçilen kırmızı dev yıldızların literatürde iyi bilinen kinematik analiz yöntemleri uygulanarak uzay hızı bileşenleri ve belirsizlikleri tayin edilmiştir. İncelenen yıldız örneği ışıma gücü değerlerinin büyük olmasından dolayı büyük bir uzay hacmi içinde yer alır ki bu da yıldızların hesaplanan uzay hızı bileşenlerine diferansiyel dönme ve *LSR* düzeltmelerinin yapılmasını gerektirir. Seçilen örnekteki yıldızların uzay hızı bileşenlerine bu düzeltmeler uygulanarak bilinen kinematik yanlışlıklardan arındırılmıştır. Kinematik bakımdan daha hassas bir örneğin seçimi için son bir sınırlama da yıldızların toplam uzay hızı hatalarına getirilmiştir. Yıldızların toplam uzay hızı hatalarının histogramı oluşturulmuş ve dağılımın iki standart sapma değerine karşılık gelen  $S_{hata} = 9.8$  km/sn değerinden daha küçük hataya sahip yıldızlar seçilmiş ve toplam yıldız sayısı 62,928 olmuştur.

Tez çalışmasında seçilen kırmızı dev yıldızların popülasyon ayrımı için son zamanlarda sıkça kullanılan bolluk analiz yöntemi tercih edilmiştir. Bu yöntemde tayfsal olarak  $\alpha$  ve  $[Fe/H]$  bolluğu belirlenmiş yıldızlar,  $[\alpha/Fe] \times [Fe/H]$  düzlemine işaretlenerek  $\alpha$  bolluğu bakımından zengin ve fakir olarak sınıflandırılır. Buradaki yüksek- $\alpha$  ve düşük- $\alpha$  bolluklu örnek, sırasıyla, Galaksimizdeki kalın disk/halo ve ince disk popülasyonunu temsil etmektedir. 62,928 kırmızı dev yıldızın  $[\alpha/Fe]$  ve  $[Fe/H]$  bolluk değerleri  $[\alpha-Fe] \times [Fe/H]$  diyagramına işaretlenerek *Gauss karışım modeli* kullanılarak yıldız örneği yüksek- $\alpha$  ve düşük- $\alpha$  gruplarına ayrılarak yıldızların Galaktik popülasyon türleri belirlenmiştir. Bu sınıflamaya göre yüksek- $\alpha$  ve düşük- $\alpha$  bolluklu yıldızların sayısı, sırasıyla, 13,735 ve 49,193'tür. Kimyasal analiz yöntemiyle Galaktik popülasyon gruplarına ayrılmış yıldızların, kinematik yöntemler ile analizi yapıldığında yüksek- $\alpha$  ve düşük- $\alpha$  bolluklu yıldız gruplarının ortalama  $V$  hızlarının literatürde verilen ile çok uyumlu olduğu tespit edilmiştir. Bu da tez çalışmasında popülasyon ayrımının duyarlı yapıldığını göstermektedir.

Galaksi diskindeki yaş – metal bolluğu ilişkisinin daha hassas araştırılmasında, ince disk ve kalın disk/halo popülasyonu olarak belirlenen örnek Güneş silindiriyle sınırlandırılmış ( $7 < R_{gc} < 9$  kpc) ve Galaktik düzlemden dik doğrultularda 10 farklı uzaklık ( $Z_1-Z_2$ ) aralığına ayrılmıştır. Her iki popülasyondaki yıldızlar için seçilen ( $Z_1-Z_2$ ) uzaklık aralığında medyan uzay hız bileşenleri ve hız dispersiyonları hesaplanmış ve  $[Fe/H]$  histogramları oluşturularak her bir histograma Gauss eğrileri fit edilmek suretiyle incelenen uzaklık aralığı için medyan metal bolluğu değerleri hesaplanmıştır. Her bir uzaklık aralığındaki yıldızların hız dispersiyonlarından toplam uzay hızı dispersiyonu, Wielen (1977) tarafından literatüre

kazandırılan ve Cox (2000) tarafından geliştirilen hız dispersiyonuna dayalı kinematik yaş bağıntısı kullanılarak her bir grubun kinematik yaşı tayin edilmiştir. Düşük- $\alpha$  ve yüksek- $\alpha$  bolluklu yıldız gruplarının kinematik ve bolluk analizlerine dayalı sonuçları tez çalışmasının Bulgular kısmında, sırasıyla, Tablo 4.1 ve Tablo 4.2’de verilmiştir.

Düşük- $\alpha$  ve yüksek- $\alpha$  bolluklu yıldız gruplarındaki 10 farklı  $Z_1$ - $Z_2$  uzaklık aralığı için hesaplanan kinematik yaş ve metal bolluğu değerleri kullanılarak her bir popülasyon için yaş – metal bolluğu ilişkisi incelenmiştir. İnce disk ifade eden düşük- $\alpha$  bolluklu yıldızlar dikkate alındığında kinematik yaşı yaklaşık 3 ile 6 Gyl ve metal bolluğunun da  $0.1 < [\text{Fe}/\text{H}] < -0.02$  dex aralığında değiştiği tespit edilmiştir. Bu verilere yapılan doğrusal fit ile yaş-metal bolluğu değişimi  $-0.042 \pm 0.001$  dex/Gyl olarak hesaplanmıştır. Benzer şekilde kalın disk/halo popülasyonunu ifade eden yüksek- $\alpha$  bolluklu yıldızlar dikkate alındığında kinematik yaşı yaklaşık 8.3 ile 10.3 Gyl ve metal bolluğunun da  $-0.2 < [\text{Fe}/\text{H}] < -0.45$  dex aralığında bulunduğu belirlenmiştir. Bu verilere yapılan doğrusal fit ile yaş-metal bolluğu değişimi  $-0.117 \pm 0.006$  dex/Gyl olarak tayin edilmiştir. Bu analiz sonuçları literatürdeki çoğu çalışmanın aksine hem ince disk hem de kalın disk/halo bileşeninde belirgin bir yaş – metal bolluğu ilişkisinin bulunduğunu göstermektedir.

Tez çalışmasında ince disk ve kalın disk/halo popülasyonları için elde edilen yaş-metal bolluğu ilişkilerinin literatürdeki çalışmalarla da bir karşılaştırılması yapılmıştır.

Yaklaşık kırk yıl önce Twarog (1980) Güneş civarındaki F anakol yıldızlarının Strömgren fotometrisi analizlerini teorik eş-yaş eğrileriyle birleştirerek Galaksi diski için yaş-metal bolluğu ilişkisini araştırmıştır. Diskin ortalama metal bolluğunun zamanla -1 dex’ten -0.03 dex’e arttığını bulmuştur.

Ann ve Kang (1985), Olsen’in (1983) kataloğundaki Ara Pop II F anakol yıldızlarını Strömgren fotometrisi ile inceleyerek ve Hejlesen’in (1980) eş-yaş eğrilerini kullanarak yaş-metal bolluğu ilişkisini elde etmişlerdir. Gözlemsel olarak tespit edilen bu ilişkinin Galaksi diskinin kimyasal evriminin iki evreli teorik modeliyle (Lee ve Ann, 1981) uyum içinde olduğunu ifade etmişlerdir. Bu teorik modele göre Galaksi diskindeki evrimin ilk evresinde (15-10.5 Gyl) Galaksi’nin hızlı çöküşünden dolayı metal bolluğunda hızlı bir artış (-0.72 dex’ten -0.44 dex’e) meydana gelmiştir. Daha sonraki kimyasal evrim aşamasında (9.5-4.5 Gyl) metal bolluğundaki zenginleşme (-0.48 dex’ten -0.29 dex’e) görece daha yavaş olmuştur.

Marsakov ve diğ. (1990) Strömgren fotometrisini kullanarak yaklaşık 5,500 yakın F anakol yıldızını öz hareketleriyle birlikte incelemişlerdir. F yıldızlarının metal bolluğu dağılımlarını dikkate aldıklarında yaşlı ( $3 < \tau < 12$  Gyl) olanları için daha geniş bir metal bolluğu aralığı ( $-0.5 \leq [\text{Fe}/\text{H}] \leq 0.3$  dex) bulurken genç olanlar ( $\tau < 3$  Gyl) için daha dar bir aralık ( $-0.15 \leq [\text{Fe}/\text{H}] \leq 0.3$  dex) tespit etmişler ve ortalama metal bolluğunun da genç yaştaki yıldızlara gidildikçe arttığını görmüşlerdir. F yıldızlarının gözlenen bu özellikleri iki boyutlu yaş-metal bolluğu ilişkisini işaret etmektedir. Tespit ettikleri bu ilişkiden dolayı Galaksinin kimyasal evrim modellerinin gözden geçirilmesi gerektiğini ifade etmişlerdir.

Edvardsson ve diğ. (1993), modern gözlemsel yöntemler ile elde ettiği duyarlı verilerden itibaren Güneş civarı için bir yaş-metal bolluğu ilişkisi araştırmıştır. Bu çalışmada F ve G tayf türünden 189 alan yıldızının element bollukları ve yaşları hassas biçimde tayin edilmiştir. Yıldızların yaşları, van den Berg'in (1985) eş-yaş eğrileriyle karşılaştırılarak belirlenmiştir. Hesaplanan yıldız yaşları ( $2 < \tau < 15$  Gyl) ve metal bolluklarında ( $-1 \leq [\text{Fe}/\text{H}] \leq 0.3$  dex) gözlenen büyük saçılmadan dolayı yaş-metal bolluğu arasında bir ilişki bulunamamıştır.

Ng ve Bertelli (1998), Edvardsson ve diğ.'nin (1993) verilerinden yaşlarını hesapladığı Güneş civarındaki F ve G tayf türünden yıldızların uzaklıklarını da *Hipparcos* kataloğundaki (ESA, 1997) paralakslardan tayin etmiştir. 10 Gyl'dan daha küçük yaştaki yıldızlar için belirgin bir yaş-metal bolluğu tespit edememiştir. Daha yaşlı yıldızlar için 0.07 dex/Gyl'lık bir yaş-metal bolluğu değişimi bulmuştur.

Feltzing ve diğ. (2001), *Hipparcos* kataloğundan seçtikleri yaklaşık 6,000 cüce ve alt cüce örneğinin yaş ve metal bolluklarını tayin ederek Güneş civarında Galaksi diski için yaş-metal bolluğu ilişkisini araştırmışlardır. Yıldız yaşlarını ( $0 < \tau < 15$  Gyl) ve metal bolluklarını ( $-1 \leq [\text{Fe}/\text{H}] \leq 0.5$  dex) bir diyagram üzerine yerleştirdiklerinde metal bolluklarının geniş bir yaş aralığında dağıldıklarını ve özellikle de yaşlı, metalce zengin yıldızların varlığını tespit etmişlerdir. Bu geniş saçılmadan dolayı yaş ve metal bolluğu arasında bire-bir ilişki bulunamamışlardır.

Ibukiyama ve Arimoto (2002) uzaklıkları *Hipparcos* trigonometrik paralakslarıyla hesaplanmış, öz hareket ve radyal hız verileriyle birleştirmesi sonucu 1,658 yıldızın Güneş komşuluğundaki uzay hız bileşenlerini ve Galaktik yörünge parametrelerini tayin ederek Güneş civarı için yaş – metal bolluğu ilişkisini araştırmışlardır. İnceledikleri yıldızlarının  $V$  uzay hız

bileşenin dikkate alarak Galaktik popülasyon analizi gerçekleştirmişlerdir. Analizleri sonucu örneklerindeki yıldızların 1382'sinin ince disk, 229'un kalın disk ve 47'sinin de halo popülasyonuna üye olduğunu göstermişlerdir. 489 yıldızın tayfsal verileri Cayrel de Strombel ve Bentolila'dan (2001), geriye kalan 1,169 yıldız için Hauck ve Mermilliod'un (1998) F ve G tayf türü yıldızlarının Strömgren verileri kullanılarak metal bollukları fotometrik yöntem ile tayin edilmiştir. Örnekteki yıldızların yaşları farklı metal bolluklarına göre oluşturan renk – mutlak parlaklık diyagramlarına kalibre edilen Yonsei-Yale (Yi ve diğ., 2001) teorik eş-yaş eğrileri kullanılarak hesaplanmıştır. Yaş – metal bolluğu ilişkisinin araştırılmasında Galaktik popülasyonlar dikkate alınmıştır. İnce disk popülasyonu için oluşturdıkları yaş – metal bolluğu dağılımında, 14 Gyl'dan 1 Gyl'a gidildikçe ortalama metal bolluğunun neredeyse sabit olduğunu fakat metal bolluğundaki saçılmanın günümüze doğru küçüldüğünü göstermişler. Kalın disk yıldızların yaş – metal bolluğu dağılımının incelenmesinde ise, örnekteki yıldızların 14 ile 3 Gyl aralığında ve metal bolluklarının da -1 ile +0.1 dex aralığında bulunduklarını tespit etmişlerdir. Kalın disk yıldızlarının ortalama yaşı 8.2 Gyl ve ortalama metal bolluklarının da -0.5 dex olduğu belirtilmiştir. Bu bulgu kalın diskte yıldız oluşumunun 8.2 Gyl önce sona erdiğini göstermektedir.

Bensby ve diğ. (2003) astrometrik verileri *Hipparcos* uydu verilerinden seçilen F ve G tayf türündeki 66 anakol yıldızının ayrıntılı tayfsal çalışmasını yaparak Galaksi diskinin oluşum tarihini araştırmışlardır. İncelenen yıldızların tayfsal verileri yüksek ayırma gücüne sahip FEROS tayfçekerini kullanılarak elde edilmiştir. Tayfsal analizler sonucu farklı türden elementlere ait yaklaşık 30,000 çizgi ölçümü yapılarak  $\alpha$ -element ve demir grubu elementlere ait bolluklar tayin edilmiştir. İncelenen yıldızların metal bollukları  $-0.8 < [\text{Fe}/\text{H}] < +0.4$  dex olarak hesaplanmış olup kinematik analiz yoluyla Galaktik popülasyon türleri tayin edilmiştir. Kinematik analizler sonucunda 45 yıldızın ince disk, 21 yıldızın da kalın diske üye olduğu belirlenmiştir. Model atmosfer parametreleri tayin edilen 66 yıldızın yaş tayininde  $\log T_{\text{eff}} - M_V$  düzlemlerine kalibre edilen  $\alpha$ -element bolluğunu içermeyen (Girardi ve diğ., 2000) ve  $\alpha$ -element bolluğunu içeren (Salasnich ve diğ., 2000) eş-yaş eğrileri kullanılmıştır. İnce ve kalın disk yıldızlarının ortalama yaşı, sırasıyla,  $4.9 \pm 2.8$  ve  $11.2 \pm 4.3$  Gyl olarak verilmiştir. Çalışmalarında kalın disk yıldızların  $\alpha$ -element bolluklarının ince disk yıldızlarına göre yüksek bulunduğu tespit edilmiş ve kalın disk yıldızlarının çok büyük kütleli yıldızlar tarafından oluşturulduğu vurgulanmıştır. İnce disk yıldızlarının ise ata yıldızlarının Tip Ia süpernovalarıyla demir bakımından zenginleştiği belirtilmiştir.

Pont ve Eyer (2004), Güneş civarındaki yıldızların sıcaklık, ısıma gücü ve metal bolluklarını Bayes istatistiğini uygulayarak Girardi ve diğ.'nin (2000) eş-yaş verileriyle karşılaştırmış ve yıldız yaşlarını duyarlı yöntem ile tayin etmişlerdir. Edvardsson ve diğ.'nin (1993) alan cüce yıldızlarına ait model atmosfer parametrelerini dikkate alan Pont ve Eyer (2004) bu yıldızlardan yaş – metal bolluğu ilişkisini araştırmışlardır. Disk yıldızlarından oluşan bu örnek için yaş – metal bolluğu gradyentini  $-0.056 \text{ dex/Gyl}$  ve metal bolluğundaki saçılmayı da  $0.18 \text{ dex}$  olarak hesaplamışlardır.

Soubiran ve diğ. (2008), Güneş komşuluğunda bulunan çoğunluğu kırmızı yığın yıldızlardan oluşan 891 yıldızın model atmosfer parametrelerini, uzaklıklarını, mutlak parlaklıklarını, uzay hızı dağılımlarını, Galaktik yörünge parametrelerini ve yaşlarını belirleyerek Galaksi diski için yaş – metal bolluğu ve yaş – uzay hızı ilişkilerini araştırmışlardır. Yıldızların yaş tayininde da Silva ve diğ.'nin (2006) vermiş olduğu Bayes istatistiğine dayalı yöntem Girardi ve diğ.'den (2000) alınan teorik eş-yaş eğrileriyle yapılmıştır. Model atmosfer parametrelerinin belirlenmesinde yüksek çözünürlüklü tayf verileri kullanılmıştır. Verilerin analizleri sonucunda yaşlı ince disk yıldızları için Galaktik düzleme dik doğrultudaki metal bolluğu gradyenti  $-0.31 \text{ dex/kpc}$  olarak hesaplanmıştır. İncelenen yıldızların 0 ile 10 Gyl yaş aralığında ve ortalama metal bollukların da 0.01 ile  $-0.27 \text{ dex}$  arasında değiştiğini gösteren araştırmacılar, 4 Gyl'dan daha büyük yaşlara sahip yıldızların metal bolluğu – yaş ilişkisinin daha küçük bir eğime ( $0.01 \text{ dex/Gyl}$ ) sahip olduğunu vurgulamışlardır. Bununla birlikte, yaşlı ince disk bileşeninin kalın disk ile  $-0.70 \leq [\text{Fe}/\text{H}] \leq -0.30 \text{ dex}$  metal bolluğu ve  $8 < \tau < 10 \text{ Gyl}$  yaş aralıklarında örtüştüğünü göstermişlerdir.

Duran ve diğ. (2013), RAVE'nin 3. veri salımındaki (DR3) F ve G tayf türünden anakol yıldızlarına ait verileri kullanarak, Galaktik diskte yaş-metal bolluğu ve yaş-hız dispersiyonu ilişkilerini araştırmışlardır. 5691 F ve G türü anakol yıldızının yaşları Jørgensen ve Lindegren'nin (2005) Bayes olasılık yöntemiyle hesaplanmış ve teorik eş-yaş eğrileri de Padova grubundan (Marigo ve diğ., 2008) alınmıştır. Yıldızların Galaktik popülasyon türlerinin belirlenmesinde Benbsy ve diğ.'nin (2003) kinematik kriterleri kullanılmıştır. F ve G tayf türündeki anakol yıldızlarının medyan yaş değerleri, sırasıyla, 5 ve 8.5 Gyl olarak hesaplanmıştır. Genel olarak tüm örnek ele alındığında yaş – metal bolluğu ilişkisi görülmemiştir. 4,787 ince disk yıldızını içeren anakol örneğindeki yıldızlar tayf türlerine

ayrıldığında erken tayf türündeki yıldızlar (F0-F9) için belirgin bir yaş – metal bolluğu ilişkisinden bahsedilirken, geri tayf türündeki yıldızlar (G0-G9) da bu ilişki bulunamamıştır.

Bergemann ve diğ.'nin (2014) *Gaia*-ESO taramasında seçtikleri F, G ve K tayf türündeki anakol yıldızlarının yüksek çözünürlüklü UVES tayflarını analiz ederek yıldızların model atmosfer parametrelerini tayin etmişlerdir. Yıldızların mutlak parlaklıkları ve yaşları Serenelli ve diğ.'nin (2013) geliştirmiş olduğu Bayes istatistik tabanlı BeSPP koduyla hesaplanmıştır. Farklı element bolluklarındaki yaşların oluşturulmasında Weiss ve Schlattl'ın (2008) GARSTEC yıldız yaş tayini kodu kullanılmıştır. Seçilen örnekteki 144 yıldızın yaşları  $0.5 < \tau < 13.5$  Gyl aralığındadır. Hemen hemen Güneş civarında yer alan yıldızların Galaksi merkezine ve Galaktik düzleme olan uzaklıkları, sırasıyla,  $6 < R_{gc} < 9.5$  kpc,  $0 < |Z| < 1.5$  kpc aralıklarındadır. Metal bollukları  $-1 \leq [Fe/H] \leq 0.5$  dex ve yaşları  $0 < \tau < 8$  Gyl aralığında bulunan yıldızların yaş – metal bolluğu ilişkisine bakıldığında bir değişimin (düze yakın) bulunmadığı buna karşın  $\tau > 9$  Gyl'dan daha yaşlı yıldızların  $[Fe/H]$  bolluklarında bir fakirleşmenin bulunduğu tespit edilmiştir.

Takeda ve diğ. (2016), Kepler yıldız alanından seçtikleri 106 kırmızı dev yıldızın fotometrik ve tayfsal verilerinden itibaren yaş – metal bolluğu ilişkisini araştırmışlardır. Kepler uydusundan sağlanan hassas fotometrik verilerin zaman analiziyle incelenen kırmızı dev yıldızların zonklama parametreleri hesaplanarak kütleleri ve yarıçapları bağımsız bir yöntem ile tayin edilmiştir. Tayfsal verilerin analiziyle de incelenen yıldızların model atmosfer parametreleri ( $T_{eff}$ ,  $\log g$ ,  $[Fe/H]$ ) belirlenmiştir. Kırmızı dev yıldızların yaş tayinlerinde  $T_{eff}$ ,  $L$ ,  $[Fe/H]$  ve  $M/M_{\odot}$  değerleri dikkate alınmış, bu veriler PARSEC kütle yollarıyla (Bressan ve diğ., 2012) karşılaştırılmıştır. Araştırmacılar kırmızı dev yıldızların yaşlarını ve metal bolluklarını, sırasıyla,  $8 < \tau < 10.5$  Gyl ve  $-1.5 \leq [Fe/H] \leq 0.5$  dex aralıklarında tespit etmiştir. Yıldızların yaş – metal bolluğu diyagramı üzerindeki konumları incelendiğinde  $\tau = 3$  Gyl'a kadar düz ve nispeten saçılması daha küçük olan bir ilişki söz konusuken,  $\tau = 3$  Gyl'dan daha yaşlı yıldızlarda hafif bir eğim fakat saçılması büyük bir dağılım söz konusudur. Bu dağılım Takeda'nın (2007) F, G ve K anakol yıldızları için elde ettiğini değerler ile uyum içerisinde.

*Gaia* DR2 verilerini kullanarak daha büyük bir hacim için yapılan en güncel çalışmalardan biri Feuillet ve diğ.'ne (2019) aittir. Bu çalışmada, Galaksi diski için yıldız yaşları hesaplanarak yaş–metal bolluğu ve yaş–alfa bolluğu ilişkileri araştırılmıştır. APOGEE-2 ve *Gaia* DR2

verilerine sınırlama getirerek 81,400 yıldız içeren bir örnek oluşturmuşlardır. Tayfsal ve astrometrik sınırlamaların yanı sıra yıldız örneğine Galaksi merkezine radyal ( $5 < R_{gc} < 13$  kpc) ve Galaksi düzlemine dik ( $|Z| < 2$  kpc) doğrultulardaki uzaklıklarına da sınırlama getirmişlerdir. Böylece yıldız örneği 77,562 olmuştur. Yıldızların yaşları Bayes istatistiğine göre oluşturulan model kullanılarak hesaplanmış (Feuillet ve diğ., 2016; 2018) ve yaş–metal bolluğu ile yaş–alfa bolluğu ilişkisi araştırılmıştır. Galaksi diskinde yaş–metal bolluğu ilişkisinde önemli bir değişim tespit ederek diskte radyal göçün ihmal edilemeyeceğini ifade etmişlerdir. Yıldız örneğini Galaksi merkezinden uzaklığa göre alt gruplara bölerek en genç yıldızların metal bolluğundan itibaren günümüzdeki metal bolluğu gradyentini  $-0.059 \pm 0.010$  dex/kpc olarak hesaplamışlardır. Farklı Galaktik popülasyonlardan oluşan örneklerinde evrimleşmiş yıldızlar için bir yaş–metal bolluğu bağıntısı yerine  $[\alpha/M] \times [M/H]$  düzleminde yıldızların yaşları ve sayı yoğunluklarını dikkate alarak yaş–metal bolluğu ilişkisinden bahsetmişlerdir.

Yukarıdaki paragraflarda literatürde tez konusuyla ilgili konularda yapılan çalışmalar dikkate alınarak Güneş civarındaki anakol ve evrimleşmiş yıldızlardan itibaren yaş – metal bolluğu ilişkisinden bahsedilmiştir. *Hipparcos* uydu verilerinin literatüre kazandırılmasıyla birlikte yıldızların mutlak parlaklıkları oldukça hassas tayin edilmiştir. Fakat tayfsal çalışmalar bu süreçte diğer araştırma yöntemlerine göre daha zahmetli olduğunda ancak sınır bir yıldız örneği için uygulanabilmiştir. Bununla birlikte, yıldız evrim modellerinin geçen yüzyıl için sınırlı değerler (metal bollukları ve kütle) için kabaca yapılmış olması Güneş civarında araştırılan yaş – metal bolluğu ilişkisinin hassas tayin edilememesine yol açmıştır. Yukarıda özetlenen çoğu çalışma ile araştırılan bu ilişki yaş ile metal bolluğu değişiminin düz ve her iki yönde büyük saçılmalar içerdiğini göstermektedir.

Günümüzde *Gaia* DR2 (*Gaia* işbirliği, 2018) astrometrik verilerinin analiz edilerek astronomlar ile paylaşılması Güneş civarı kavramını 1 kpc öteye taşımıştır. Buna ilaveten tayfsal çalışmaların sistematik gökyüzü programları çerçevesinde incelenmeye başlaması çok sayıda yıldızın radyal hız, model atmosfer, farklı türden element bollukları, mikro ve makro türbülans hızlarının tayin edilmesine büyük hassasiyet katmıştır. Ayrıca gelişen programlama dillerinin etkin bir şekilde kullanılmaya başlanması başta kuramsal eş-yaş eğrilerinin ve kütle yollarının geniş kütle ve metal bolluğu aralıklarında verilmesine fırsat tanımıştır. Özellikle kalın disk ve halo yıldızlarının Güneş civarında ayrımının kimyasal yollar ile yapılmasına olanak tanıyan  $\alpha$ -elementlerinin oldukça duyarlı ölçülmesi, teorik eş-yaş eğrilerinin bu boyutta dikkate

alınmasını mümkün hale getirmiştir. Son yıllarda yıldızların astrofizik parametrelerindeki duyarlılık artışı yaş tayininde sadece yıldız parametreleri değil bunlar ait hataların da dikkate alındığı Bayes istatistiğinin kullanılmasına olanak vermiştir. Yıldızların konum, radyal hız, öz hareket ve trigonometrik paralakslarının *Gaia* uydu verileriyle oldukça hassas tayin edilmesi yukarıda bahsedilen yöntemlere ek olarak kinematik yaş tayininin de günümüzde duyarlı yapılabileceğini göstermiştir.

Tez çalışması için parametreleri duyarlı tayin edilmiş büyük bir kırmızı dev yıldız örneği Galaksi diskindeki yaş – metal bolluğu ilişkisinin araştırılmasında kullanılmıştır. Yıldız yaşları eş-yaş eğrisi yöntemi yerine kinematik yaş tayini yöntemiyle hesaplanmıştır. Bu yöntemde yıldızlar tek tek değil bir grup içinde incelendiği için araştırılan yaş – metal bolluğu ilişkisi ince disk ve kalın disk/halo yıldızları için oldukça hassas tayin edilmiştir. İnce disk ve kalın disk/halo yıldızları için hesaplanan yaş–metal bolluğu gradyentleri, sırasıyla,  $-0.042 \pm 0.001$  ve  $-0.117 \pm 0.006$  dex/Gyıl'dır. İnce disk ve kalın disk/halo için hesaplanan bu gradyentlerin iç hatalar dışında birbirinden oldukça farklı olması kalın disk yıldızları içinde halo yıldızlarının bulunmasından kaynaklanabilir. Bunun ortaya konabilmesi için daha çok verinin, yine bu tez çalışmasında yapıldığı gibi, homojen yöntemler ile analiz edilmesi gerekmektedir.

Tez çalışmasında ince ve kalın disk/halo bileşenleri için hesaplanan yaş–metal bolluğu gradyentleri literatürde az sayıda sayısal değer veren çalışmalar ile uyum içerisindedir. Örneğin Ng ve Bertelli'in (1998), Güneş civarındaki F ve G tayf türünden yıldızların yaş – metal bolluğu incelenmesinde Galaksi diski için verdiği  $0.07$  dex/Gyıl değer, tez çalışmasındaki ince disk ve kalın disk/halo için verilen değerlerin ortalamasına karşılık gelmektedir. Ibukiyama ve Arimoto (2002) Güneş civarındaki farklı türden yıldızları kinematik ve dinamik olarak inceleyerek popülasyon türlerine ayırmışlar ve özellikle kalın disk yıldızlarının  $8.2$  Gyıl önce oluşumlarının sona erdiğini göstermişlerdir. Bu bulgu, tez çalışmasında kalın disk yıldızları için verilen  $8.3 < \tau < 10.3$  Gyıl yaş aralığının alt sınırına karşılık gelmektedir. Benbsy ve diğ. (2003) ince ve kalın disk yıldızlarının ortalama yaşını  $4.9 \pm 2.8$  ve  $11.2 \pm 4.3$  Gyıl olarak vermektedir. Bu sonuçlar tez çalışmasında ince ve kalın disk yıldızları için verilen, sırasıyla,  $4.3$  ve  $9.35$  Gyıl'lık ortalama değerlere yakındır. Tez çalışmasındaki yaş – metal bolluğu analizlerinin yapılmasında tercih edilen benzer sınırlamaları kullanan Bergemann ve diğ. (2014), yaş–metal bolluğu ilişkisini orta tayf türündeki anakol yıldızlarından itibaren incelemişlerdir. Analizleri yaş–metal

bolluğunda düz bir ilişkinin bulunduğunu göstermişken tez çalışmasında bu bulgunun aksine daha belirgin olduğu ortaya konmuştur.

Yukarıdaki paragraflarda detaylı bir şekilde literatür özeti verilen çalışmalar zamana göre dikkate alındığında verilerdeki hassasiyetlerin ve araştırma tekniklerinin oldukça geliştiği görülmektedir. Fakat her bir çalışmada yıldızların ışıma gücü sınıflarının farklılıklar içermesi, fotometrik ve tayfsal yöntemler altında metal bolluklarının tayin edilmiş olması, yaş tayinindeki yöntem farklılıkları, kullanılan eş-yaş eğrilerinin farklı araştırma gruplarına ait olması, Galaktik popülasyon ayrımının yapıp yapılmaması ve Güneş civarı tanımlarının farklılıklar içermesi hassas bir yaş – metal bolluğu ilişkisinin belirlenmesine fırsat vermemektedir. Fakat bu tez çalışmasında elde edilen yaş – metal bolluğu ilişkisi literatürde, ilk defa, bu kadar net bir şekilde ortaya konmuştur. Bunun nedeni hassas astrometrik ve tayfsal verilerin homojen veri tabanından alınması ve yıldız yaşlarının eş-yaş eğrileri yerine astrometrik verilere dayanan kinematik yaş tayiniyle yapılmış olmasıdır.

Gelecekte artan tayfsal gözlemler ile *Gaia* uydusunun ileri ki sürümlerine ait hassas fotometrik, astrometrik ve tayfsal verilerin kapsamlı bir şekilde homojen yöntemler ile analizi sonucu, yıldızların popülasyon türlerine bağlı yaş – metal bolluğu ilişkilerinin elde edilmesi söz konusu olacaktır. Bu süreç içinde literatüre kazandırılan bu tür çalışmalar ile Galaksi diskinin oluşumuna yönelik sınırlamalar getirilmesi ve Samanyolu Galaksisi için duyarlı bir kemo-dinamik modelin oluşturulması beklenebilir.

## KAYNAKLAR

- Alcock, C., 2000, The Dark Halo of the Milky Way, *Science*, 287, 74-79.
- Alan, N., Park, S., Bilir, S., 2019, A Detailed Archival CHANDRA Study of the Young Core-collapse Supernova Remnant 1E 0102.2-7219 in the Small Magellanic Cloud, *The Astrophysical Journal*, 873, 53.
- Ann, H. B., Kang, Y. H., 1985, The Chemical Evolution of the Solar Neighborhood: Age-Metallicity Relation of F-Stars, *Journal of the Korean Astronomical Society*, 18, 79-85.
- Baade, W., 1944, The Resolution of Messier 32, NGC 205, and the Central Region of the Andromeda Nebula, *Astrophysical Journal*, 100, 137.
- 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.
- 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,  $\alpha$ -, r-, and s-process Element Trends in the Galactic Thin and Thick Disks, *Astronomy and Astrophysics*, 433, 185.
- Bergemann, M., Ruchti, G. R., Serenelli, A., ve diğ., 2014, The Gaia-ESO Survey: Radial Metallicity Gradients and Age-metallicity Relation of Stars in the Milky Way Disk, *Astronomy and Astrophysics*, 565, id.A89, 11.
- Bilir, S., Karaali, S., Ak, S., Yaz, E., Hamzaoglu, E., 2006, Galactic Longitude Dependent Galactic Model Parameters, *New Astronomy*, 12, 234-245.
- 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.
- Binney, J., Merrifield M., 1998, *Galactic Astronomy*, Galactic Astronomy / James Binney and Michael Merrifield. Princeton, NJ: Princeton University Press, 1998.
- Bland-Hawthorn, J., Freeman, K., 2000, The Baryon Halo of the Milky Way, *Science*, 287, 79.
- Boyer, M. L., McDonald, I., van Loon, J. Th., ve diğ., 2008, A Spitzer Space Telescope Atlas of  $\omega$  Centauri: The Stellar Population, Mass Loss, and the Intracluster Medium, *The Astronomical Journal*, 135, 1395-1411.
- Bressan, A., Marigo, P., Girardi, L. ve diğ., 2012, PARSEC: Stellar Tracks and Isochrones with the PAdova and TRieste Stellar Evolution Code, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 427, 127-145.
- Buser, R., Rong, J., Karaali, S., 1999, The New Basel High-latitude Field Star Survey of the Galaxy. II. The Thick Disk Component: Density Structure, Luminosity Function, and Metallicity Distribution, *Astronomy and Astrophysics*, 348, 98.

- Buser, R., 2000, The Formation and Early Evolution of the Milky Way Galaxy, *Science*, 287, 69-74.
- 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, *Astronomical Journal*, 99, 572-589.
- Cayrel de Strobel, G., Bantolila, C., 2001, In Search of Real Solar Twins. II., *Astronomy and Astrophysics*, 211, 324-340.
- Chabrier, G., 2003, Galactic Stellar and Substellar Initial Mass Function, *The Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 115, 763-795.
- Chandrasekhar, S., 1960, Principles of Stellar Dynamics, Dover Publishing, New York, 978-0486442730.
- Chiappini, C., Matteucci, F., Gratton, R., 1997, The Chemical Evolution of the Galaxy: The Two-Infall Model, *The Astrophysical Journal*, 477, 765-780.
- Chiappini, C., 2001, The Formation and Evolution of the Milky Way, *American Scientist*, 89, 506.
- Coşkunoğlu, B., Ak, S., Bilir, S. ve diğ., 2011, Local Stellar Kinematics from RAVE Data - I. Local Standard of Rest, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 412, 1237-1245.
- 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.
- da Silva, L., Girardi, L., Pasquini, L., Setiawan, J., von der Lüh, O., de Medeiros, J. R., Hatzes, A., Döllinger, M. P., Weiss, A., 2006, Basic Physical Parameters of a Selected Sample of Evolved Stars, *Astronomy and Astrophysics*, 458, 609-623.
- Debattista, V. P., 2002, Bar Dynamical Friction and Disk Galaxy Dark Matter Content, Disks of Galaxies: Kinematics, Dynamics and Perturbations, ASP Conference Proceedings, Vol. 275. Edited by E. Athanassoula, A. Bosma, and R. Mujica. ISBN: 1-58381-117-6. San Francisco: *Astronomical Society of the Pacific*, 2002, 153-156.
- De Simone, R., Wu, X., Tremaine, S., 2004, The Stellar Velocity Distribution in the Solar Neighbourhood, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 350, 627-643.
- Dopita, M. A., Ryder, S. D., 1994, On the Law of Star Formation in Disk Galaxies, *The Astrophysical Journal*, 430, 163-178.
- Duran, Ş., Ak, S., Bilir, S., Karaali, S., Ak, T., Bostancı, Z. F., Coşkunoğlu, B., 2013, Local Stellar Kinematics from RAVE Data: IV. Solar Neighbourhood Age-Metallicity Relation, *Publications of the Astronomical Society of Australia*, 30, id.e043, 18.
- Edvardsson, B., Andersen, J., Gustafsson, B., Lambert, D. L., Nissen, P. E., Tomkin, J., 1993, The Chemical Evolution of the Galactic Disk - Part One - Analysis and Results, *Astronomy and Astrophysics*, 275, 101.

- 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.
- 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, 1997, Series: ESA SP Series Vol No: 1200, ISBN: 9290923997.
- Feltzing, S., Holmberg, J., Hurley, J. R., 2001, The Solar Neighbourhood Age-Metallicity Relation - Does it Exist?, *Astronomy and Astrophysics*, 377, 911-924.
- Feillet, D.K., Bovy, J., Holtzman, J., Girardi, L., MacDonald, N., Majewski, S., R., Nidever, D., L., 2016, Determining Ages of APOGEE Giants with Known Distances, *The Astrophysical Journal*, 817, 40-15.
- Feillet, D. K., Bovy, J., Holtzman, J., Weinberg, D. H., García-Hernández, D., Hearty, F. R., Majewski, S., R., Roman-Lopes, A., Rybizki, J., Zamora, Ol., 2018, Age-resolved Chemistry of Red Giants in the Solar Neighbourhood., *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 477, 2326-2348.
- Feillet, D., K., Frankel, N., Lind, K., Frinchaboy, P., M., García-Hernández, D. A., Lane, R., R., Nitschelm, C., Roman-Lopes, A., 2019, Spatial Variations in the Milky Way Disc Metallicity-age Relation, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 489, 1742-1752.
- Freeman, K., 2011, Structure and Evolution of the Milky Way, *Red Giants as Probes of the Structure and Evolution of the Milky Way*, 15-17 Nov 2010 Roma, ISBN: 978-3-642-18417-8 Springer, 137-147.
- Friel, 1995, The Old Open Clusters of The Milky Way, *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 33, 381-414.
- Gaia Collaboration., Brown, A. G. A., Vallenari, A., Prusti, T., et al., 2018, Gaia Data Release 2. Summary of the Contents and Survey Properties, *Astronomy and Astrophysics*, 616, is.A1, 22.
- 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., 1985, The Abundance Distribution in the Inner Spheroid, *Astronomical Journal*, 90, 2015-2026.
- Gilmore, G., Wyse, R. F. G., 1998, Element Ratios and the Formation of the Stellar Halo, *The Astronomical Journal*, 116, 748-753.
- Girardi, L., Bressan, A., Bertelli, G., Chiosi, C., 2000, Evolutionary Tracks and Isochrones for Low- and Intermediate-mass Stars: From 0.15 to 7  $M_{\text{sun}}$ , and from  $Z=0.0004$  to 0.03, *Astronomy and Astrophysics Supplement*, 141, 371-383.

- Girardi, L., Salaris, M., 2001, Population Effects on the Red Giant Clump Absolute Magnitude, and Distance Determinations to Nearby Galaxies, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 323, 109-129.
- Girardi, L., 2016, Red Clump Stars, *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 54, 95-133.
- Grenon, M., 1972, On Metal Rich and SMR Stars, *Age des Etoiles, Proceedings of IAU Colloq. 17*, held in Paris, France, 18-22 September, 1972. Edited by G. Cayrel de Strobel and A. M. Delplace. Observatoire de Paris-Meudon, 55.
- Hauck, B., Mermilliod, M., 1998, Uvbybeta Photoelectric Photometric Catalogue, *Astronomy and Astrophysics Supplement*, 129, 431-433.
- Haywood, M., 2008, Radial Mixing and the Transition between the Thick and Thin Galactic Discs, *Monthly Notices of Royal Astronomical Society*, 388, 1175.
- Haywood, M., Snaith, O., Lehnert, M. D., Di Matteo, P., Khoperskov, S., 2019, Revisiting Long-Standing Puzzles of the Milky Way: The Sun and its Vicinity as Typical Outer Disk Chemical Evolution, *Astronomy and Astrophysics*, 625, id.A105, 13.
- Hejlesen, P. M., 1980, Studies in Stellar Evolution. I - The Calculation Programme and the Standard Solar Model, *Astronomy and Astrophysics*, 84, 135-141.
- Hénon, M., 1973, Collisional Dynamics in Spherical Stellar Systems, *Dynamical Structure and Evolution of Stellar Systems*, 1973 Saas-Fee, Sauverny: Geneva Observatory, 183.
- Ibukiyama, A., Arimoto N., 2002, HIPPARCOS Age-metallicity Relation of the Solar Neighbourhood Disc Stars, *Astronomy and Astrophysics*, 394, 927-941.
- Janes, K. A., 1978, "A Composition Gradient in the Galactic Disk", *Chemical and Dynamical Evolution of our Galaxy*, Proceedings of IAU Colloq. 45, held at the Nicolaus Copernicus University, Torun, Poland, September 7-9, 1977. Edited by E. Basinska-Grzesik, and M. Mayor. Sauverny: Geneva Observatory, 173
- Johnson, D. R. H., Soderblom, D. R., 1987, Calculating Galactic Space Velocities and Their Uncertainties, with an Application to the Ursa Major Group, *Astronomical Journal*, 93, 864-867.
- Jørgensen, B. R., Lindegren, L., 2005, Determination of Stellar Ages from Isochrones: Bayesian Estimation versus Isochrone Fitting, *Astronomy and Astrophysics*, 436, 127-143.
- Karaali, S., Bilir, S., Hamzaoğlu, E., 2004, A Different Approach for the Estimation of Galactic Model Parameters, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 355, 307-320.
- Karaali, S., Bilir, S., Gökçe Yaz, E., Plevne, O., 2019, Analysis of the Disc Components of Our Galaxy via Kinematic and Spectroscopic Procedures, *Publications of the Astronomical Society of Australia*, 36, id. e040.

- Karakas, A. I., 2010, Updated Stellar Yields from Asymptotic Giant Branch Models. *Monthly Notices of Royal Astronomical Society*, 403-1413.
- Kippenhahn, R., Weigert, A., 1990, *Stellar Structure and Evolution*, XVI, 468. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York. Also Astronomy and Astrophysics Library
- Kroupa, P., Tout, C. A., Gilmore, G., 1993, The Distribution of Low-mass Stars in the Galactic disc, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 262, 545-587.
- Lee, S. -W., Ann, H. B., 1981, A Simple Disk Model For the Chemical Evolution of Our Galaxy, *Journal of the Korean Astronomical Society*, 14, 55-71.
- Lee, M. G., Freedman, W. L., Madore, B. F., 1993, The Tip of the Red Giant Branch as a Distance Indicator for Resolved Galaxies, *Astrophysical Journal*, 417-553.
- López-Corredoira, M., Allende Prieto, C., Garzón, F., Wang, H., Liu, C., Deng, L., 2018, Disk Stars in the Milky Way Detected beyond 25 kpc from its Center, *Astronomy and Astrophysics*, 612, id.L8, 4.
- Lutz, T. E., Kelker, D. H., 1973, On the Use of Trigonometric Parallaxes for the Calibration of Luminosity Systems: Theory, *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 85, 507-573.
- Majewski, S. R., 1993, Galactic Structure Surveys and the Evolution of the Milky Way, *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 31, 575-638.
- Majewski, S. R., Schiavon, R. P., Frinchaboy, P. M., ve diğ., 2017, The Apache Point Observatory Galactic Evolution Experiment (APOGEE), *The Astronomical Journal*, 154, article id. 94, 46.
- Maness, H., Martins, F., Trippe, S. ve diğ., 2007, Evidence for a Long-standing Top-heavy Initial Mass Function in the Central Parsec of the Galaxy , *The Astrophysical Journal*, 669, 1024-1041.
- Marigo, P., Bressan, A., Chiosi, C., 1996, The TP-AGB phase: a new model. *Astronomy and Astrophysics*, 313, 545-564.
- Marigo, P., Girardi, L., Bressan, A., Groenewegen, M. A. T., Silva, L., Granato, G. L., 2008, Evolution of Asymptotic Giant Branch Stars. II. Optical to Far-Infrared Isochrones with Improved TP-AGB Models, *Astronomy and Astrophysics*, 482, 883-905.
- Marsakov, V. A., Shevelev, Iu. G., Suchkov, A. A., 1990, F stars: Evidence for 'Two-dimensional' Age-metallicity Relation and a New Light on the Enrichment History of the Solar Neighbourhood, *Astrophysics and Space Science*, 172, 51-75.
- Meynet, G., Maeder, A., 2002, Stellar Evolution with Rotation. VII. Models at  $Z=10^{-5}$  and CNO Yields for Early Galactic Evolution, *Astronomy and Astrophysics*, 390, 561-583.
- Mihalas, D., Binney, J., 1981, *Galactic Astronomy: Structure and kinematics /2nd edition/*, San Francisco, CA, W. H. Freeman and Co., 608.
- Minchev, I., Chiappini, C., Martig, M., 2013, Chemodynamical Evolution of the Milky Way Disk. I. The Solar Vicinity, *Astronomy and Astrophysics*, 558, 25.

- Ng, Y. K., Bertelli, G., 1998, Revised Ages for Stars in the Solar Neighbourhood, *Astronomy and Astrophysics*, 329, 943-950.
- Nissen, P. E., Schuster, W. J., 2010, Two Distinct Halo Populations in the Solar Neighborhood. Evidence from Stellar Abundance Ratios and Kinematics, *Astronomy and Astrophysics*, 511, id.L10, 9.
- Noh, H. R., Scalo, J., 1990, History of the Milky Way Star Formation Rate from the White Dwarf Luminosity Function, *Astrophysical Journal, Part 1 (ISSN 0004-637X)*, 352, 605-614.
- Olsen, E. H., 1983, Four-colour uvby and H $\beta$  Photometry of A5 to G0 Stars Brighter than 8.3, *Astronomy and Astrophysics, Supplement Series*, 54, 55-134
- Origlia, L., Ferraro, F. R., Fusi Pecci, F., Rood, R. T., 2002, ISOCAM Observations of Galactic Globular Clusters: Mass Loss along the Red Giant Branch, *The Astrophysical Journal*, 571, 458-468.
- Planck işbirliği., Aghanim, N., Akrami, Y., Ashdown, M. ve diğ., 2018, Planck 2018 results. VI. Cosmological parameters, *arXiv:1807.06209*.
- Pont, F., Eyer, L., 2004, Isochrone Ages for Field Dwarfs: method and application to the age-metallicity relation, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 351 (2), 487-504.
- Portinari, L., Chiosi, C., 2000, On Radial Gas Flows, the Galactic Bar and Chemical Evolution in the Galactic Disc, *Astronomy and Astrophysics*, 355, 929-948.
- Pulone, L., 1992, AGB Clump as Standard Candle, *Società Astronomica Italiana*, 63, 485-490.
- Reid, N., Majewski, S. R., 1993, Star Counts Redivivus. I - A New Look at the Galaxy at Faint Magnitudes, *Astrophysical Journal, Part 1 (ISSN 0004-637X)*, 409, No. 2, 635-662.
- Reid, I. N., Hawley, S. L., 2005, *New light on dark stars : red dwarfs, low-mass stars, brown dwarfs*, Springer-Praxis books in astrophysics and astronomy, Praxis Publishing Ltd, ISBN 3-540-25124-3.
- Robin, A. C., Haywood, M., Creze, M., Ojha, D. K., Bienaymé, O., 1996, The Thick Disc of the Galaxy: Sequel of a Merging Event, *Astronomy and Astrophysics*, 305, 125.
- Salaris, M., Girardi, L., 2002, Population Effects on the Red Giant Clump Absolute Magnitude: the K Band, *Monthly Notice of the Royal Astronomical Society*, 337, 332-340.
- Salasnich, B., Girardi, L., Weiss, A., Chiosi, C., 2000, Evolutionary Tracks and Isochrones for Alpha-enhanced Stars, *Astronomy and Astrophysics*, 361, 1023-1035.
- Salpeter, E. E., 1955, The Luminosity Function and Stellar Evolution, *Astrophysical Journal*, 121, 161.
- Sarajedini, A., 1994, Technique for the Simultaneous Determination of Globular Cluster Metallicity and Reddening Using (V,V-I) Color-magnitude Diagrams, *Astronomical Journal*, 107, 618-621.

- Scalo, J. M., 1986, The stellar initial mass function, *Fundamentals of Cosmic Physics* (ISSN 0094-5846), 11, 1-278.
- Scalo, J., 1998, The IMF Revisited: A Case for Variations, *The Stellar Initial Mass Function*, 38th Herstmonceux Conference edited by Gary Gilmore and Debbie Howell. ASP Conference Series, 142, 201.
- Schmidt, M., 1959, The Rate of Star Formation, *Astrophysical Journal*, 129, 243.
- Searle, L., Zinn, R., 1978, Compositions of Halo Clusters and the Formation of the Galactic Halo, *Astrophysical Journal*, 225, 357-379.
- Serenelli, A. M., Bergemann, M., Ruchti, G., Casagrande, L., 2013, Bayesian Analysis of Ages, Masses and Distances to Cool Stars with Non-LTE Spectroscopic Parameters, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 429, 3645-3657.
- Smith, H. Jr, 1987, The Calibration Problem. IV - The Lutz-Kelker Correction, *Astronomy and Astrophysics*, 188, 233-238.
- Soubiran, C., Bienaymé, O., Mishenina, T. V., Kovtyukh, V. V., 2008, Vertical Distribution of Galactic Disk Stars. IV. AMR and AVR from Clump Giants, *Astronomy and Astrophysics*, 480, 91-101.
- Soubiran, C., Jasiewicz, G., Chemin, L., ve diğ., 2018, Gaia Data Release 2. The Catalogue of Radial Velocity Standard Stars, *Astronomy and Astrophysics*, 616, id.A7, 8.
- Spitzer, L. Jr., Schwarzschild, M., 1953, The Possible Influence of Interstellar Clouds on Stellar Velocities, II., *Astrophysical Journal*, 118, 106-112.
- Strobel, A., 1991, An Observational Age-Metallicity Relation for the Galaxy, *Astronomy and Astrophysics*, 247-35.
- Takeda, Y., 2007, Fundamental Parameters and Elemental Abundances of 160 F-G-K Stars Based on OAO Spectrum Database, *Publications of the Astronomical Society of Japan*, 59, 335-356.
- Takeda, Y., Tajitsu, A., Sato, B., Liu, Y. J., Chen, Y. Q., Zhao, G., 2016, Fundamental Stellar Parameters and Age-metallicity Relation of Kepler Red Giants in Comparison with Theoretical Evolutionary Tracks, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 457, 4454-4469.
- Tsikoudi, V., 1980, Photometry and Structure of Lenticular Galaxies. II - NGC 4111 and NGC 4762, *Astrophysical Journal Supplement Series*, 43, 365-377.
- Tully, R. B., Courtois, H., Hoffman, Y., Pomarède, D., 2014, The Laniakea Supercluster of Galaxies, *Nature*, 513, 71-73.
- Twarog, B.A. 1980, The Chemical Evolution of the Solar Neighborhood. II - The Age-Metallicity Relation and the History of Solar Formation in the Galactic Disk, *Astrophysical Journal*, 242 (1), 242-259

- Van den Berg, D. A., 1985, Evolution of 0.7-3.0 M Stars Having  $-1.0 \leq [\text{Fe}/\text{H}] \leq 0.0$ , *Astrophysical Journal, Supplement Series*, 58, 711-769.
- Weiss, A., Schlattl, H., 2008, GARSTEC—the Garching Stellar Evolution Code. The Direct Descendant of the Legendary Kippenhahn Code, *Astrophysics and Space Science*, 316, 99-106.
- Wielen, R., 1977, The Diffusion of Stellar Orbits Derived from the Observed Age- Dependence of the Velocity Dispersion, *Astronomy and Astrophysics*, 60, 263-275.
- Woosley, S. E., Weaver, T. A., 1995, The Evolution and Explosion of Massive Stars. II. Explosive Hydrodynamics and Nucleosynthesis, *Astrophysical Journal Supplement*, 101-181.
- Yi, S., Demarque, P., Kim, Y., Lee, Y., Ree, C. H., Lejeune, T., Barnes, S., 2001, Toward Better Age Estimates for Stellar Populations: The  $Y^2$  Isochrones for Solar Mixture, *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 136, 417-437.
- York, D. G., Adelman, J., Anderson, J. E., et al., 2000, The Sloan Digital Sky Survey: Technical Summary, *The Astrophysical Journal*, 120, 1579-1587.
- Yoshii, Y., 2013, *Star Counts and Nature of the Galactic Thick Disk*, Planets, Stars and Stellar Systems Vol. 5, by Oswalt, Terry D., Gilmore, Gerard, ISBN 978-94-007-5611-3. Springer Science+Business Media Dordrecht, 2013, 393.

## ÖZGEÇMİŞ

| Kişisel Bilgiler |                                                                          |
|------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| Adı Soyadı       | Sibel Döner                                                              |
| Doğum Yeri       | Akdede                                                                   |
| Doğum Tarihi     | 14.05.1986                                                               |
| Uyruğu           | <input checked="" type="checkbox"/> T.C. <input type="checkbox"/> Diğer: |
| Telefon          | (538) 441 39 24                                                          |
| E-Posta Adresi   | sibeldnr@gmail.com                                                       |
| Web Adresi       | -                                                                        |



| Eğitim Bilgileri |                                    |
|------------------|------------------------------------|
| Lisans           |                                    |
| Üniversite       | İstanbul Üniversitesi              |
| Fakülte          | Fen Fakültesi                      |
| Bölümü           | Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü |
| Mezuniyet Yılı   | 24.06.2016                         |

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

| Doktora       |                   |
|---------------|-------------------|
| Üniversite    |                   |
| Enstitü Adı   |                   |
| Anabilim Dalı | Anabilim Dalı Adı |
| Programı      | Program Adı       |

| Makale ve Bildiriler                                                                                                                                                               |  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| <p><b>Uluslararası Yayınlar</b></p> <p>Döner, S., Ak, S., Bilir, S., 2019, Age-metallicity Relation in Solar Vicinity from RGB Stars, <i>AIP Conference Proceedings</i>, 2178.</p> |  |