T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Yüksek Lisans Tezi

GALAH VE GAIA VERİLERİYLE GALAKTİK METAL BOLLUĞU GRADYENT ARAŞTIRMASI

Furkan AKBABA

Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı

Astronomi ve Uzay Bilimleri Programı

DANIŞMAN
Prof. Dr. Tansel AK

Aralık, 2021

İSTANBUL

Bu çalışma, 31.12.2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı, Astronomi ve Uzay Bilimleri Programında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

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

Prof. Dr. Selçuk BİLİR
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi

Doç. Dr. Esin SİPAHİ
Ege Üniversitesi
Fen Fakültesi

İntihal Programı Beyanı

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

ÖNSÖZ

Lisans dönemimden itibaren örnek aldığım, bilgi ve tecrübesiyle yol gösteren ve tez çalışmamda yoğun katkıları bulunan danışmanım Prof. Dr. Tansel AK'a,

Benimle bir danışman gibi ilgilenen, çalıştığım konuda ürettiğim ya da ortaya çıkan problemlere hızlı çözümler bulan, tez çalışmamın en güzel şekilde sonuçlanabilmesi adına tüm bilgi ve tecrübesiyle çalışmama değer katan Prof. Dr. Selçuk BİLİR'e,

Çalışma sürecim boyunca her daim yanımda olan, tüm bilgi ve tecrübesini paylaşarak tez çalışmamda büyük katkı sağlayan Araş. Gör. Olcay PLEVNE'ye,

Dünümden bugününe beni hiçbir şart gözetmeksizin destekleyen annem Pakizer AKBABA, babam Kadir AKBABA, dayım Yadigar AKBABA ve halam HATİCE AKBABA'ya

Lisans dönemimde ve sonrasında yanımda olan ve motivasyonumu artıran değerli arkadaşlarıma

En içten duygularımla teşekkür ederim

Aralık 2021 Furkan AKBABA

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ ..... **iv**
İÇİNDEKİLER ..... **v**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **vii**
TABLO LİSTESİ ..... **xi**
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ ..... **xii**
ÖZET ..... **xvii**
SUMMARY ..... **xix**
1. GİRİŞ **1**
2. GENEL KISIMLAR **5**
2.1. SAMANYOLU'NUN YAPISI VE BİLEŞENLERİ 5
2.1.1. Şişkin Bölge ve Çubuk Yapı 5
2.1.2. İnce Disk 7
2.1.3. Kalın Disk 7
2.1.4. Halo 9
2.2. SAMANYOLU'NUN KİMYASAL OLUŞUMU VE EVRİMİ 10
2.2.1. İkili Çökme Modeli 13
2.2.2. Disk Boyunca Metal Bolluğu Değişimi 14
2.2.3. Radyal Göç 15
2.3. GÖKYÜZÜ TARAMA PROGRAMLARI 15
2.3.1. GALAH Gökyüzü Taraması 16
2.3.2. GAIA Uydusu ve Görevi 19
3. MALZEME VE YÖNTEM **25**
3.1. VERİLER 25
3.1.1. GALAH DR3 25
3.1.2. *Gaia* EDR3 26
3.2. YILDIZLARIN IŞIMA GÜCÜ SINIFLARININ BELİRLENMESİ 27
3.3. YILDIZLARIN UZAY HIZI HESABI 27
3.4. YILDIZLARIN GALAKTİK YÖRÜNGE PARAMETRELERİ 30
3.5. KİMYASAL EVRİM MODELİ 33
3.6. POPÜLASYON TAYİNİ 36

4. BULGULAR **39**
4.1. ANAKOL YILDIZLARININ SEÇİMİ 39
4.2. ANAKOL YILDIZLARININ ASTROMETRİSİ VE RADYAL HIZLARI 43
4.2.1. Uzaklıklar 45
4.2.2. Öz Hareket Bileşenleri 51
4.2.3. Radyal Hızlar 52
4.3. ANAKOL YILDIZLARININ UZAY HIZLARI 53
4.4. ANAKOL YILDIZLARININ GALAKTİK YÖRÜNGE PARAMETRELERİ 58
4.5. ANAKOL YILDIZLARININ METAL BOLLUKLARI VE YAŞLARI 59
4.6. ANAKOL YILDIZLARININ GALAKTİK POPÜLASYON TÜRLERİ 61
4.7 ANAKOL YILDIZLARININ METAL BOLLUĞU BOLLUĞU GRADYENTLERİ 62
4.7.1. Yıldızların Bugünkü Konumlarına Göre 62
4.7.2 Yıldızların Galaktik Yörünge Parametrelerine Göre 65
4.7.2.1 Demir Bolluğuna Göre *65*
4.7.2.2 Alfa Element Bolluğuna Göre *68*
4.7.3 Yıldızların Yaşlarına Göre 71
5. TARTIŞMA VE SONUÇ **73**
5.1. ANAKOL YILDIZLARININ METAL BOLLUĞU GRADYENTLERİ 75
5.2. KEMODİNAMİK MODEL KARŞILAŞTIRMASI 78
KAYNAKLAR **80**
ÖZGEÇMİŞ **90**

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1: Samanyolu'nun kutupları doğrultusunda kesitten görünüşü ve bileşenleri (Helmi, 2020). 6

Şekil 2.2: ELS (1962) senaryosuna göre Samanyolu'nun oluşumuna dair şematik gösterim (Chiappini, 2001).....12

Şekil 2.3: SZ (1978) senaryosuna göre Samanyolu'nun oluşumuna dair şematik gösterim. Şekilde evrimin çeşitli aşamalarında bulunan ilkel galaksi parçaları görülmektedir (Chiappini, 2001). 13

Şekil 2.4: Anglo-Avustralya Teleskobu (sol panel) ve bu teleskoba bağlı HERMES tayfçekerinin görüntüsü (sağ panel). 17

Şekil 2.5: GALAH programı çerçevesinde gerçekleştirilen alt programlardaki görünen parlaklık aralıkları ve yıldız sayıları. 19

Şekil 2.6: GALAH programı çerçevesinde gerçekleştirilen alt programlardaki ekvatoral (a) ve Galaktik koordinat (b) sistemlerindeki konumları. 19

Şekil 2.7: *Gaia* uydusunun temsili bir görüntüsü.....21

Şekil 2.8: *Gaia* uydu verilerinden oluşturan bir gökyüzü atlası (Moitinho ve diğ., 2017). 22

Şekil 2.9: *Gaia* uydusunun gökyüzü tarama prensibinin temsili çizimi (Çelebi, 2018). 22

Şekil 2.10: *Gaia* EDR3 kataloğunda kullanılan fotometrik filtrelerin G (yeşil), G_{BP} (mavi) ve G_{RP} (kırmızı) duyarlılık fonksiyonları. Gri renkli eğriler *Gaia* uydusu uzaya gönderilmeden önce tasarlanan bandların (Jordi ve diğ., 2010) duyarlılık fonksiyonlarını ifade etmektedir.....24

Şekil 3.1: *MWPotential2014* modelinin Galaksi bileşenleri için ürettiği dönme eğrileri (Bovy, 2015). Apsis ekseni Güneş'in Galaksi merkezinden uzaklığına göre normalize edilmiş uzaklığı, ordinat ekseni Güneş'in dairesel hızına göre normalize edilmiş Galaktik merkezden uzaklığa bağlı dairesel hızını göstermektedir. 31

Şekil 3.2: [α/Fe] × [Fe/H] metal bolluğu düzleminde farklı R ve Z uzaklık aralıklarında bulunan APOGEE yıldızları. Paneller içindeki semboller ve çizgiler metin içinde açıklanmıştır (Sharma ve diğ., 2020). 36

Şekil 3.3: Tayfsal analizler ile O, Fe ve H bolluğu ölçümü yapılmış yıldızların [O/Fe] × [Fe/H] düzlemindeki dağılımları (Gilmore, Wyse ve Kuijken, 1989). 37

Şekil 3.4: Kırmızı yığın yıldızlarının [α/Fe] × [Fe/H] düzleminde dağılımları. Sol panel: Dağılım logaritmik sayı yoğunluğuna göre verilmiştir. Siyah kesikli çizgi Gauss karışım yönteminin karar sınırı çizgisini temsil eder. Sağ panel: KY yıldızlarının saçılma grafiğidir. Kırmızı ve mavi noktalar, sırasıyla, yüksek-α (kalın disk ve halo) ve düşük-α (ince disk) popülasyonlarını gösterir. Turuncu ve turkuaz elipsler kimyasal uzay için her bir Gauss'un 1σ olasılık dağılımıdır (Plevne ve diğ., 2020). 38

Şekil 4.1: GALAH DR3 kataloğundaki nesnelerin HR diyagramları: (a) yıldız sayı yoğunluğuna ve (b) demir bolluklarına göre renklendirilmiştir. 40

Şekil 4.2: GALAH DR3 kataloğuna getirilen sınırlamalar sonucu oluşturulan HR diyagramları: (a) yıldız sayı yoğunluğuna ve (b) demir bolluklarına göre renklendirilmiştir. 40

Şekil 4.3: Veri kalitesi sınırlamasıyla elde edilen 281,143 yıldızın ekvatoral ve Galaktik koordinat sistemindeki konumları. 41

Şekil 4.4: 281,143 yıldızın dört filtrede alınmış tayflarına ait S/N histogramları (panel a-d). Son paneldeki (e) histogram dört filtrede ölçülmüş S/N değerlerinin ortalaması alınarak oluşturulmuş histogramı göstermektedir. Histogramlarda görülen kırmızı çizgi en büyük S/N değerinden itibaren yıldızların birikimli toplamını, sağ ordinat eksenleri de bu toplamların yüzdesini göstermektedir. 42

Şekil 4.5: Farklı metal bolluğu aralıklarındaki yıldızların HR diyagramları. Diyagramlardaki turuncu noktalar anakol yıldızlarını, kırmızı noktalar evrimleşmiş yıldızları ve mavi noktalar ışıma gücü sınıfı belirlenememiş yıldızları ve eğriler de ZAMS ve TAMS sınırlarını göstermektedir.....44

Şekil 4.6: Anakol yıldızlarının rölatif paralaks hatalarının histogramı. Kırmızı çizgi yıldızların birikimli toplamını ve gri kesikli çizgi rölatif paralaks hatalarına getirilen sınırlamayı göstermektedir. 46

Şekil 4.7: Anakol yıldızlarının uzaklık histogramı. Kırmızı çizgi yıldızların birikimli toplamını göstermektedir.....46

Şekil 4.8: 66,220 anakol yıldızının (a) (Y×X) ve (b) (Z×X) düzlemlerindeki uzay dağılımları. Kesikli çizgilerin kesişim noktasında Güneş bulunmaktadır. Diyagramlardaki (G.M.) ifadesi Galaksi merkezini göstermektedir. Renklendirme yıldız sayı yoğunluğuna göre yapılmıştır. 48

Şekil 4.9: 66,220 anakol yıldızının Z×R düzlemlerindeki uzay dağılımları. (a) Yıldız sayı yoğunluğuna, (b) [α/Fe] ve (c) [Fe/H] bolluklarına göre renklendirilmiştir. Renk ölçekleri panellerin sağ tarafında gösterilmiştir. Kesikli çizgilerin kesişim noktasında Güneş bulunmaktadır. 50

Şekil 4.10: 66,220 anakol yıldızının *Gaia* EDR3 kataloğundan alınan öz hareket verilerinin $\mu_\delta \times \mu_\alpha \cos\delta$ düzlemi üzerindeki dağılımı. Şekil üzerindeki renklendirme yıldız sayı yoğunluğuna göre yapılmıştır. Renk ölçeği şeklin üst panelinde gösterilmiştir.....51

Şekil 4.11: 66,220 anakol yıldızının *Gaia* EDR3 kataloğundan alınan öz hareket bileşenlerine ait toplam hata dağılımı (mavi çubuklar) ve hataların birikimli toplamı (kırmızı çizgi). Panelin sağ dik ekseninde örneğin yüzdesel değişimi gösterilmiştir. 52

Şekil 4.12: GALAH DR3'deki anakol yıldızlarının radyal hızlarına ait frekans dağılımı. 52

Şekil 4.13: GALAH DR3'teki anakol yıldızlarının radyal hız hatalarına ait frekans dağılımı (mavi çubuklar) ve bu dağılımın birikimli toplamı (kırmızı çizgi). Panelin sağ dik ekseninde örneğin yüzdesel değişimi gösterilmiştir. 53

Şekil 4.14: Anakol yıldızlarının toplam uzay hız hatalarının (S_{ht}) dağılımı (mavi çubuklar) ve bu dağılımın birikimli toplamı (kırmızı çizgi). Panelin sağ dik ekseninde örneğin yüzdesel değişimi gösterilmiştir. 54

Şekil 4.15: GALAH DR3'ten seçilen 66,220 anakol yıldızının U ve V uzay hız bileşenlerine uygulanan ortalama (a) dU ve (b) dV diferansiyel dönme düzeltme değerlerinin Galaktik boylam ile değişimi. Renklendirme yıldız sayı yoğunluğuna göre yapılmıştır. 55

Şekil 4.16: 66,220 anakol yıldızının uzay hız bileşenlerinin $U \times V$ (a) ve $W \times V$ (b) hız-hız düzlemlerindeki dağılımları. Yıldızlar sayı yoğunluğuna göre renklendirilmiş olup renk ölçeği panelin üstünde verilmiştir. 56

Şekil 4.17: Seçilen anakol yıldızlarına ait Toomre diyagramı. Kırmızı daireler sırasıyla 50, 100, 150, 200 ve 250 km/sn'lik toplam uzay hızı değerlerini göstermektedir. 57

Şekil 4.18: 66,220 anakol yıldızlının *galpy* koduyla hesaplanan Galaktik yörünge parametrelerinin histogramları: (a) R_p, (b) R_a, (c) R_M, (d) R_{Rehber}, (e) Z_{max} ve (f) e_p. 58

Şekil 4.19: 66,220 yıldızın demir bolluğu (a), alfa element bolluğu (b) ve yaş (c) histogramları. 60

Şekil 4.20: 66,220 anakol yıldızının (a) sayı yoğunluklarına ve (b) yaşlarına göre [α/Fe] × [Fe/H] düzlemi üzerindeki konumları. Kesikli çizgi popülasyon ayrımında kullanılan sınırı göstermektedir. 61

Şekil 4.21: Popülasyon sınıflarına ayrılmış ince disk (a-b) ve kalın disk/halo (c-d) anakol yıldızlarının [Fe/H] × R_{GC} düzlemi üzerindeki yıldız sayı yoğunluğuna (a-c) ve yıldız yaşlarına (b-d) göre dağılımları. Panellerde daire sembolü ağırlıklandırılmış verileri, sürekli çizgi de bu verilere uygulanan doğrusal fiti göstermektedir. 64

Şekil 4.22: Popülasyon sınıflarına ayrılmış ince disk (a-b) ve kalın disk/halo (c-d) anakol yıldızlarının [α/Fe] × R_{GC} düzlemi üzerindeki yıldız sayı yoğunluğuna (a-c) ve yıldız yaşlarına (b-d) göre dağılımları. Panellerde daire sembolü ağırlıklandırılmış verileri, sürekli çizgi de bu verilere uygulanan doğrusal fiti göstermektedir. 65

Şekil 4.23: Popülasyon sınıflarına ayrılmış ince disk (a-b) ve kalın disk/halo (c-d) anakol yıldızının [Fe/H] × R_{Rehber} düzlemi üzerindeki yıldız sayı yoğunluğuna, (a-c) ve yıldız yaşlarına (b-d) göre dağılımları. Panellerde daire sembolü ağırlıklandırılmış verileri, sürekli çizgi de bu verilere uygulanan doğrusal fiti göstermektedir. 66

Şekil 4.24: Popülasyon sınıflarına ayrılmış ince disk (a-b) ve kalın disk/halo (c-d) anakol yıldızlarının [Fe/H] × Z_{max} düzlemi üzerinde yıldız sayı yoğunluğuna (a-c), ve yıldız yaşlarına (b-d) göre dağılımları. Panellerde daire sembolü ağırlıklandırılmış verileri, sürekli çizgi de bu verilere uygulanan doğrusal fiti göstermektedir. 68

Şekil 4.25: Popülasyon sınıflarına ayrılmış ince disk (a-b) ve kalın disk/halo (c-d) anakol yıldızlarının [α/Fe] × R_{Rehber} düzlemi üzerindeki yıldız sayı yoğunluğuna (a-c), ve yıldız yaşlarına (b-d) göre dağılımları. Panellerde daire sembolü ağırlıklandırılmış verileri, sürekli çizgi de bu verilere uygulanan doğrusal fiti göstermektedir. 69

Şekil 4.26: Popülasyon sınıflarına ayrılmış ince disk (a-b) ve kalın disk/halo (c-d) anakol yıldızının [α/Fe] × Z_{max} düzlemi üzerindeki yıldız sayı yoğunluğuna (a-c), ve yıldız yaşlarına (b-d) göre dağılımları. Panellerde daire sembolü ağırlıklandırılmış verileri, sürekli çizgi de bu verilere uygulanan doğrusal fiti göstermektedir. 70

Şekil 4.27: Örnekteki 60,461 ince disk anakol yıldızının [Fe/H] × τ (a) ve [α/Fe] × τ (b) düzlemlerinde yıldız sayı yoğunluklarına göre oluşturulmuş dağılımları. Panellerde daire sembolü ağırlıklandırılmış verileri, sürekli çizgi de bu verilere uygulanan doğrusal fiti göstermektedir.....72

Şekil 5.1: İnce disk anakol yıldızlarından hesaplanan radyal metal bolluğu gradyenti ve Sharma ve diğ.'nin (2020) Güneş civarı için yıldız yaşlarının fonksiyonu olarak üretilen kemo-dinamik model sonuçlarına ait gradyent değerleri. Panellerde daire sembolü ağırlıklandırılmış verileri, siyah çizgi tez çalışmasında hesaplanan doğrusal fiti, kesikli çizgiler de farklı yaşlardaki model fitlerini göstermektedir. 79

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 3.1: *MWPotential2014* potansiyelinde kullanılan parametre değerleri (Bovy, 2015). 33

Tablo 4.1: GALAH DR3'deki 235,202 yıldızın Bilir ve diğ.'nin (2020) geliştirdiği ışıma gücü sınıfı belirleme yöntemine göre metal bolluğu gruplarına ayrılmış anakol, evrimleşmiş ve istatistik dışı yıldızlarının sayı dağılımları. 43

Tablo 5.1: Popülasyon türlerine ayrılmış 66,220 anakol yıldızının iki farklı element bolluğu ve üç farklı uzaklık yöntemine göre hesaplanmış metal bolluğu gradyent değerleri. 76

Tablo 5.2: Literatürde anakol yıldızlarından hesaplanmış metal bolluğu gradyent değerleri: R_{GC} ve Z yıldızların bugünkü konumlarını, R_{Rehber} ve Z_{max} Galaktik yörünge parametrelerini ifade etmektedir. Gradyent değerleri dex/kpc'tir. 76

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler **Açıklama**

′ : Yay dakikası
″ : Yay saniyesi
γ : Radyal hız
ϖ : Trigonometrik paralaks
Σ : Yerel görünür yüzey yoğunluğu
θ_0 : Durum açısı
[Fe/H] : Metal bolluğu
[O/Fe] : Oksijenin demir elementine bolluk oranı
[α/Fe] : Alfa element bolluğu
≈ : Yaklaşık sembolü
° : Derece
Å : Angström
A_∞ : Galaksi sınırındaki *V* bandı sönümleme değeri
A_d : İndirgenmiş sönümleme değeri
Al : Alüminyum elementi
A_v : Yıldızlararası soğurma katsayısı
b : Galaktik enlem
Ba : Baryum elementi
C : Karbon elementi
c : Işık hızı
c*/*a : Galaksinin eksen oranı
Ca : Kalsiyum elementi
Co : Kobalt elementi
Cr : Krom elementi
Cu : Bakır elementi
d : Yıldızların Güneş'e uzaklığı
e_p : Galaktik düzlemindeki yörünge basıklığı
Eu : Evropiyum elementi
e_v : Galaktik düzlemine dik doğrultudaki yörünge basıklığı
f : Giyotin çarpanı
Fe : Demir elementi
G : Evrensel çekim sabiti
g : Yüzey çekim ivmesi
H : Hidrojen elementi
H : Uzunluk ölçeği
h : Yükseklik ölçeği
He : Helyum elementi
HI : Nötral hidrojen
HII : İyonize hidrojen
I : Optik bölgede tanımlı *I* parlaklığı
IR : Kızıl ötesi (Infrared)
K : Potasyum elementi

K : Uzay hızı hesabında kullanılan bir sabit
l : Galaktik boylam
$L_\odot$: Güneş'in ışıma gücü
La : Lantan elementi
Li : Lityum elementi
log g : Yüzey çekim ivmesi
m : Metre
$M_\odot$: Güneş'in kütlesi
Mg : Magnezyum elementi
Mn : Mangan elementi
Mo : Molibden elementi
M_V : Optik bölgede V bandındaki mutlak parlaklık
N : Yıldız sayısı
Na : Sodyum elementi
Nd : Neodimyum elementi
Ne : Neon elementi
Ni : Nikel elementi
nm : Nanometre
n_s : Haloya ait normalleştirilmiş yerel uzay yoğunluğu
O : Oksijen elementi
OH : Hidroksit
R : Galaksi merkezinden radyal uzaklık
R_a : Apogalaktik uzaklık
R_b : Doğum yarıçapı
R_p : Perigalaktik uzaklık
Rb : Rubidyum elementi
R_e : Etkin yarıçap
R_{GC} : Galaksi merkezine olan uzaklık
R_m : Galaksi merkezine ortalama uzaklık
R_o : Güneş'in Galaksi merkezine uzaklığı
R_{Rehber} : Rehber yarıçapı
Ru : Rutenyum elementi
S : Toplam uzay hızı
S_{hata} : Toplam uzay hızı hatası
SBbc : Çubuklu spiral galaksi
Sc : Skandiyum elementi
Si : Silisyum elementi
SiO : Silisyum Oksit
Sm : Samaryum elementi
SO : Merceksi galaksi
T_{eff} : Etkin sıcaklık
Ti : Titanyun elementi
U, V, W : Uzay hızı bileşenleri
V : UBV sistemindeki V bandı görünen parlaklığı
V : Vanadyum elementi
V_o : Güneş'in Galaksi merkezi etrafında dönme hızı
V_T : Teğet hız
X : Galaksi merkezine doğru ölçülen konum vektörü
Y : Galaksinin dönme doğrultusundaki konum vektörü

Y	: İtriyum elementi
z	: Ağır elementler
Z	: Galaksi düzlemine dik uzaklık
Z	: Galaksi düzlemine dik doğrultudaki konum vektörü
Z_{max}	: Bir yıldızın Galaktik düzlemden dik doğrultuda ulaşabileceği en büyük uzaklık
Zn	: Çinko elementi
α	: Rektasansyon (sağ açıklık)
δ	: Deklinasyon (dik açıklık)
λ	: Dalgaboyu
μ_m	: Mikrometre
$\sigma\varpi/\varpi$	: Rölatif paralaks hatası
γ_{hata}	: Radyal hız hatası
$\sigma_U, \sigma_V, \sigma_W, \sigma_S$	: U, V, W uzay hız bileşenleriyle S toplam uzay hız dispersiyonları
τ	: Kinematik yaş
$\Phi(R, Z)$	: İnce disk potansiyeli
Φ_{disk}, Φ_{halo}	: Disk ve halo bileşenlerinin potansiyelleri
v_{mic}	: Mikrotürbülans hızı

Kısaltmalar **Açıklama**

AAT : Anglo-Australia Telescope
2dF : Two Degree Field
2MASS : Two Micron All Sky Survey
APOGEE : The Apache Point Observatory Galactic Evolution Experiment
BATC : Beijing-Arizona-Taipei-Connecticut
CADIS : Calar Alto Deep Imaging Survey
CCD : Charge Coupled Device
dex : Deka Ekponansiyel
DR : Data Release
EDR : Early Data Release
ELS : Eggen, Lynden-Bell ve Sandage
ESA : European Space Agency
ESO : European Southern Observatory
GAIA : Global Astrometric Interferometer for Astrophysics
GALAH : GALactic Archaeology with HERMES
GES : GAIA-ESO Survey
Gyıl : Milyar yıl
HERMES : High-Efficiency Resolution Mercator Echelle Spectrograph
HIPPARCOS: HIgh Precision PARallax COllecting Satellite
HR : Hertzsprung-Russell
ICRS : International Celestial Reference System
IR : Infrared
K2 : Kepler 2
KGK : Kuzey Galaktik Kutup
KIDS : The Kilo-Degree Survey
km : kilometre
kpc : Kilo parsek
KY : Kırmızı Yığın
LAMOST : The Large Sky Area Multi-Object Fibre Spectroscopic Telescope
LSR : Local Standard of Rest
Mpc : Mega parsek
Myıl : Milyon yıl
PARSEC : Padova TRieste Stellar Evolution Code
pc : Parsek
POP : Popülasyon
RAVE : RAdial Velocity Experiment
S/N : Sinyal / Gürültü oranı
SDSS : Sloan Digital Sky Survey
SME : Spectroscopy Made Easy
SN : Süpernova
SZ : Searl ve Zinn
TAMS : Terminal Age Main Sequence
TESS : Transiting Exoplanet Survey Satellite
TGAS : Tycho-GAIA Astrometric Solution

VISTA : Visible and Infrared Survey Telescope for Astronomy
WISE : Wide-field Infrared Survey Explorer
ZAMS : Zero Age Main Sequence

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GALAH VE GAIA VERİLERİYLE GALAKTİK METAL BOLLUĞU GRADYENT ARAŞTIRMASI

Furkan AKBABA

İstanbul Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Tansel AK

Bu tez çalışmasında GALAH DR3 ve *Gaia* EDR3 gökyüzü taramalarından seçilen 66,220 anakol yıldızına ait metal bollukları, uzay hızları ve Galaktik yörünge parametreleri kullanılarak Galaksi diski için metal bolluğu gradyentleri araştırılmıştır. Yıldızların Galaktik popülasyon türleri kimyasal düzlemde ayrılmış, ince disk ve kalın disk/halo yıldızlarının sayısı, sırasıyla, 60,461 ve 5,789 olarak belirlenmiştir. Metal bolluğu gradyent hesaplamalarında yıldızların Galaktik popülasyon türleri, bugünkü konumları (R_{GC}), Galaktik yörünge parametrelerinden (R_{Rehber}, Z_{max}) hesaplanan uzaklıkları ve iki farklı element bolluk ([Fe/H], [α/Fe]) değerleri kullanılarak hesaplanmıştır. İnce disk yıldızları için demir bollukları dikkate alınarak hesaplanan metal bolluğu gradyentleri d[Fe/H]/dR_{GC}=-0.068±0.014, d[Fe/H]/dR_{Rehber}=-0.074±0.005 ve d[Fe/H]/dZ_{max}=-0.160±0.008 dex/kpc, alfa element bolluk gradyentleri de d[α/Fe]/dR_{GC}=+0.001±0.003, d[α/Fe]/dR_{Rehber}= -0.005±0.001 dex/kpc ve d[α/Fe]/dZ_{max}=0.034±0.002 dex/kpc'dir. Yıldız örneğinde kalın disk yıldızlarının sayıca az olması nedeniyle metal bolluğu gradyent değerleri [Fe/H] ve [α/Fe] bollukları için sadece R_{Rehber} doğrultusunda, sırasıyla, d[Fe/H]/dR_{Rehber} = 0.052±0.009 dex/kpc ve d[α/Fe]/dR_{Rehber} = -0.016 ± 0.002 dex/kpc olarak hesaplanmıştır. İnce disk yıldızlarının [Fe/H] × R_{Rehber} düzlemi üzerinde hesaplanan metal bolluğu gradyenti Sharma ve diğ.'nin (2020) Samanyolu Galaksisi için oluşturdukları 4 Gyıl'lık kemo-dinamik model sonuçlarıyla çok iyi uyuşmuştur. Sonuç olarak, tez çalışmasında elde edilen bulgular ikili çökme modelini desteklemektedir.

Aralık 2021, 110 sayfa.

Anahtar kelimeler: Galaksi: güneş civarı – disk – yapı, yıldızlar: bolluk, yıldızlar: uzaklık

SUMMARY

M.Sc. THESIS

INVESTIGATION OF GALACTIC METALLICITY GRADIENT WITH GALAH AND GAIA DATA

Furkan AKBABA

İstanbul University

Institute of Graduate Studies in Sciences

Department of Astronomy and Space Sciences

Supervisor : Prof. Dr. Tansel AK

In this thesis, metallicity gradients for the Galaxy disc were investigated by using metal abundances, space velocities and Galactic orbit parameters of 66,220 main sequence stars selected from GALAH DR3 and *Gaia* EDR3 sky surveys. The Galactic population types of stars were determined on the chemical plane, with the number of thin disc and thick disc/halo stars being 60,461 and 5,789, respectively. Galactic population types of stars, present positions (R_{GC}), distances calculated from Galactic orbital parameters ($R_{Guiding}$, Z_{max}) and two different element ([Fe/H], [α/Fe]) abundance values were used in metallicity gradient calculations. For thin disc stars, the metallicity gradients calculated taking into account the iron elements abundances are: d[Fe/H]/dR_{GC}=-0.068±0.014, d[Fe/H]/$dR_{Guiding}$=-0.074±0.005 and d[Fe/H]/dZ_{max}=-0.160±0.008 dex/kpc, the metallicity gradients calculated taking into account the alpha elements abundances are: d[α/Fe]/dR_{GC}=+0.001±0.003, d[α/Fe]/$dR_{Guiding}$=-0.005±0.001 and d[α/Fe]/dZ_{max}=0.034±0.002 dex/kpc. Due to the low number of thick disc stars in the stellar sample, the metallicity gradient values were calculated as d[Fe/H]/$dR_{Guiding}$=0.052.009 and d[α/Fe]/$dR_{Guiding}$=-0.016.0.002 dex/kpc for [Fe/H], [α/Fe] abundances only in the $R_{Guiding}$ respectively. The metallicity gradients are calculated on [Fe/H] × $R_{Guiding}$ plane of thin disk stars fits very well with the results of chemodynamic model for the Milky Way Galaxy by Sharma et al (2020), including stars aged 4 Gyr. As a result, the findings obtained in the thesis study support the two-infall model.

December 2021, 110 pages.

Keywords: Galaxy: solar neighbourhood – disc – structure, stars: abundances, stars: distance

1. GİRİŞ

İnsanoğlunun ilk zamanlarında gece gökyüzünde bir şerit biçiminde görülen yapı mitolojiye konu olmuş ve "Samanyolu" ismini almıştır. Dünya'nın birçok yerinden Samanyolu'na verilen isimler ve hikayeler farklılık göstermiştir: Romalılar "sütlü yol", Yunanlar "sütlü çember", Kuzey Avrupalılar "kuşların yolu". Yunan mitolojisine göre Samanyolu, tanrılar tarafından oluşturulmuştur. Zeus'un ölümlü bir kadından doğan oğlu Herakles'in ölümsüz olabilmesi için Hera'nın göğsünden süt içmesi gerekmektedir. Zeus bir gece fark ettirmeden Herakles'i Hera'dan süt içmesi için yanına bırakmıştır. Aniden uyanan Hera, yanında tanımadığı çocuğu görünce göğsünden uzaklaştırmış ve Hera'nın sütü göğsünden gökyüzüne doğru savrulmuştur. Bu mitolojik hikâyeye göre Samanyolu'nun yapısı "sütlü yol" ismini almıştır. Modern gözlemsel çalışmalar bir şerit halinde gökyüzünde görülen Samanyolu'nun yıldızlararası ortam ile bir arada bulunan farklı renklerdeki milyarlarca yıldızdan meydana geldiğini göstermektedir.

Bugünkü bilgimiz dahilinde Samanyolu Galaksi'si 30 kpc çapında Hubble sınıflamasına göre SBb türünde spiral bir galaksidir. Bu devasa yapı yıldızlararası ortam ve yıldız kümelerinden meydana gelmektedir. Samanyolu Evren'deki tek spiral galaksi değildir. Galaksimize benzeyen en yakın komşusu, yine bir spiral galaksi olarak sınıflanan Andromeda Galaksi'sidir. İki galaksi arasındaki mesafe yaklaşık 780 kpc olup bu galaksiler etrafına dağılmış 80'e yakın cüce ve düzensiz galaksi bulunmaktadır (Kalirai ve diğ., 2012). Küçük bir imparatorluğu andıran bu sistem "yerel grup" olarak isimlendirilmiştir. Yerel grup da daha büyük bir galaksi topluluğunun küçük bir parçasını oluşturur. Samanyolundan 15 ile 20 Mpc uzaklık içinde farklı büyüklüklerde yaklaşık 1,300 galaksiden oluşan bu topluluk "Virgo süper galaksi kümesi" olarak bilinir. Bu imparatorluğun merkezinde ise M87 ismiyle bilinen dev bir eliptik galaksi bulunur.

1610 yılında Galileo Galilei'nin teleskobu astronomik gözlemde kullanmasıyla insanlık gözün görme sınırının ötesine geçme fırsatını yakalamış ve gökyüzünde bilinenden çok daha fazla sayıda yıldız olduğunu fark etmiştir. Alman gökbilimci William Herschel 1782 ile 1802 yılları arasında ürettiği teleskoplar ile derin gökcisimlerini ve yıldız alanlarını gözlemeye başlamıştır. Gökyüzünü 683 bölgeye ayıran araştırmacı, her bir bölgedeki yıldızların sayımını yaparak Güneş'in Samanyolu'ndaki konumunu belirlemeye ve Galaksi'nin bir haritasını çıkartmaya

çalışmıştır. Bu gözlemler ile Samanyolu galaksisi ilk kez sistematik olarak incelenmeye başlanmıştır. William Herschel'in gözlemleri neticesinde Samanyolu'nun bir disk yapısına sahip olduğu ve Güneş'in Galaksi merkezine yakın olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Samanyolu'nun modern teleskoplar ile incelenmeye başlandığı 20. yüzyılın başlarında Shapley (1917), küresel kümelerin gözlemlerinden Galaksi'deki konumlarını ve uzaklıklarını hesaplayarak Samanyolu'nun yaklaşık 100 kpc çapında ve Güneş'in Galaksi merkezine uzaklığını da yaklaşık 15 kpc olduğunu belirledi. Trumpler (1930), açık kümelerin görünen açısal çaplarından hesaplanan uzaklıklarının sistematik olarak fotometrik uzaklıklarından daha küçük olduğunu tespit ederek yıldız ışığının soğurucu bir yıldızlararası ortamdan geçerek Dünya'ya ulaştığını fark etti. Bu keşfi sayesinde gözlenen gökcisimlerinin uzaklıklarının hesaplamaları daha doğru yapılabilir hale gelmiş ve Galaksi'nin gerçek bir haritasının ortaya konmasına fırsat vermiştir.

Galaksilerdeki yıldızların farklı popülasyonlardan meydana geldiği fikri ilk kez Walter Baade tarafından öne sürülmüştür. Baade (1944) Güneş civarındaki yakın yıldızlar ile küresel kümelerde bulunan yıldızların yapısal farklılıklarını belirlemiş ve Güneş civarında bulunan yıldızlar için Pop I, küresel küme yıldızları için de Pop II terimlerini kullanmıştır. Daha sonra diğer galaksilerde yapılan gözlemler ile yıldızların farklı popülasyonlardan meydana geldiği anlaşılmış ve bu olgunun Samanyolu'na özgü olmadığı tespit edilmiştir. Literatüre Galaktik popülasyon kavramının kazandırılmasıyla birlikte, Samanyolu'nun yapısına yönelik çalışmalar dışında oluşumuna ve evrimine yönelik araştırmaların başlatılması da söz konusu olmuştur.

Samanyolu'nun üç boyutlu yapısının ortaya çıkartılması, oluşumundan itibaren kimyasal bakımdan zenginleşmesi ve bu aşamalarda barındırdığı gökcisimlerinin kinematik özelliklerinin zaman içerisinde değişime uğramasına yönelik literatürde çok sayıda araştırma bulunmaktadır. 20. yüzyılın üçüncü çeyreğinde teknolojideki hızlı ilerlemeler, teleskopların odak düzlem aletlerinin gelişmesini sağlamıştır. Bu aletlerin başında dijital kameralar (CCD; Charged Coupled Devices) gelmektedir. Günümüzde kullanılan CCD'lerin kuantum etkinliği insan gözünden neredeyse 100 kat daha hassastır. Bu da daha sönük gök cisimlerinin duyarlı gözlemlerinin yapılmasına fırsat vermektedir. 21. yüzyılın ilk yıllarında elektromanyetik tayfın farklı bölgelerinde tasarlanmış fotometrik gökyüzü tarama programlarının (SDSS, WISE, 2MASS, CADIS, BATC, UKIDSS/VISTA) devreye girmesiyle birlikte, daha sönük nesnelerin gözlemleri yapılabilir hale gelmiş ve Galaksi'nin üç boyutlu yapısının ortaya çıkartılması söz

konusu olmuştur. Bu gözlemleri RAVE, APOGEE, GAIA-ESO, LAMOST, GALAH gibi tayfsal gökyüzü tarama programları takip etmiş ve incelenen nesnelerin radyal hız, model atmosfer parametreleri ve element bollukları tayin edilmiştir. Bu verilerin literatüre kazandırılmasıyla birlikte, yüzbinlerce yıldızın kinematik ve kimyasal özelliklerinin incelenebilme fırsatı doğmuş, böylece Galaksinin oluşumu ve evrimine yönelik araştırmalar artmıştır.

20. yüzyılın son çeyreğinde Güneş civarındaki yakın yıldızların duyarlı astrometrik ve fotometrik gözlemlerinin yapılabilmesi için ESA tarafından *Hipparcos* uydusu tasarlanmıştır (Beeckmans, 1980). *Hipparcos* uydusunun üç yıldan fazla süren görevi boyunca görünen parlaklığı $V = 8$ kadirden daha parlak olan yaklaşık 120,000 yıldız incelenmiş, böylece Güneş civarındaki yıldızların uzaysal yoğunluğuyla kinematik özellikleri ortaya konmuştur. *Hipparcos* uydusundan sağlanan bilgilerin beklenenin üstünde olması ikinci kuşak bir astrometrik uydunun tasarlanmasına yol açmış ve yeni uydu *Gaia* ismiyle tanımlanmıştır.

ESA'nın önemli projelerinin başında gelen *Gaia* (Gaia işbirliği, 2016a) uydusunun amacı Samanyolu'nun üç-boyutlu uzay ve hız haritalarının oluşturulması, gözlenen nesnelerin astrofizik parametrelerinin hassas tayin edilmesi ve bu verilerden itibaren Galaksi'nin yapısı, oluşumu ve evriminin anlaşılmasıdır. 19 Aralık 2013 tarihinde uzaya gönderilen *Gaia* uydusu kısa bir sürede veri toplamaya başlamış ve elde edilen veriler belli aralıklarla *Gaia* konsorsiyumu tarafından indirgenerek araştırmacıların ortak kullanımına açılmıştır. *Gaia* uydusunun beş yıl olarak planlanan görev süresi, elde edilen verilerin beklenenden çok hassas olması nedeniyle, 2025 yılına kadar uzatılmıştır.

Literatürde Samanyolu'nun oluşumu ve evrimsel sürecinin araştırılmasına yönelik çok sayıda çalışma bulunmasına rağmen, yeteri kadar yıldızın yüksek çözünürlüklü tayfsal gözlemi yapılamadığından söz konusu problem halen güncelliğini korumaktadır. Galaksi'nin erken döneminden bu yana evrim sürecini tamamlayan büyük kütleli yıldızların süpernova patlama sayıları, çift yıldızlar arasındaki madde alışverişi, yıldız oluşum bölgelerindeki yıldız oluşum oranları, Galaksi'yi oluşturan gaz bulutu ya da bulutların açısal momentumu ve bunların zaman içerisindeki değişimlerini içeren süreçlerin bir bütün olarak ele alınarak incelenmesi, Samanyolu'nun evrim sürecinin anlaşılmasında önemlidir.

Yıldızların element bolluğu, yıldızı oluşturan molekül bulutlarının kimyasal kompozisyonuna bağlıdır. Hertzsprung-Russell (HR) diyagramındaki yıldızların büyük bir bölümü anakol bandı içinde hidrostatik denge halinde bulunmaktadır. Anakol yıldızları çekirdeklerinde füzyon yoluyla hafif çekirdekleri yakarak ağır çekirdeklere çevirmektedir. Enerjinin korunumu ilkesi doğrultusunda yanan çekirdeklerin bir kısmı enerjiye dönüşmekte ve yıldızın çökmesini engelleyecek olan iç basıncı sağlamaktadır. Kütlesi büyük olan yıldızlar küçük kütleli olanlara göre hızlı evrimleşerek anakol bandını daha erken terk eder ve süpernova patlaması geçirerek yıldızlararası ortamı metalce zenginleştirirler. Galaksi'deki nesneler izole sistemler değildir ve birbirleriyle kütleçekimsel kuvvetler ile etkileşirler. Bu da nesnelerin doğdukları bölgelerden farklı bölgelere göç etmesine neden olur. Galaksi'nin kimyasal zenginleşmesinin anlaşılmasında kullanılan metal bolluğu gradyent hesaplamaları bu tür etkileşimlerden etkilenir. Nesnelerin bugünkü konumlarından hesaplanacak metal bolluğu gradyentleri bu nedenden dolayı gerçeği yansıtmazlar. Bu sorunun üstesinden gelebilmek için, incelenen nesnelerin kinematik ve dinamik yörünge analizlerinden hesaplanan parametrelerinin kullanılması gerekir. Hareketli bir uzay düzleminde yapılacak metal bolluğu araştırmaları için duyarlı astrometrik ve tayfsal gözlemlere ihtiyaç duyulmaktadır.

Günümüzde *Gaia* uydusunun hassas astrometrik verilerinin GALAH gökyüzü taramasının (De Silva ve diğ., 2015) yüksek çözünürlüklü tayfsal analizlerinden elde edilen model atmosfer parametreleriyle bir arada değerlendirilmesi Samanyolu'nun zamana bağlı kimyasal evriminin anlaşılmasına katkı yapacak bilgileri içermektedir. Bu amaç doğrultusunda tez çalışmasında *Gaia* ve GALAH'ın sunmuş olduğu verilerden seçilen anakol yıldızları kullanılarak Galaksimizdeki metal bolluğu değişimleri araştırılmıştır. Galaksimizin farklı doğrultuları için metal bolluğu gradyentleri elde edilerek güncel bir kemo-dinamik modele ait sonuçlar tez çalışmasındaki gözlemsel sonuçlar ile karşılaştırılmış ve Samanyolu'nun evrimine ait ip uçları elde edilmiştir.

2. GENEL KISIMLAR

2.1. SAMANYOLU'NUN YAPISI VE BİLEŞENLERİ

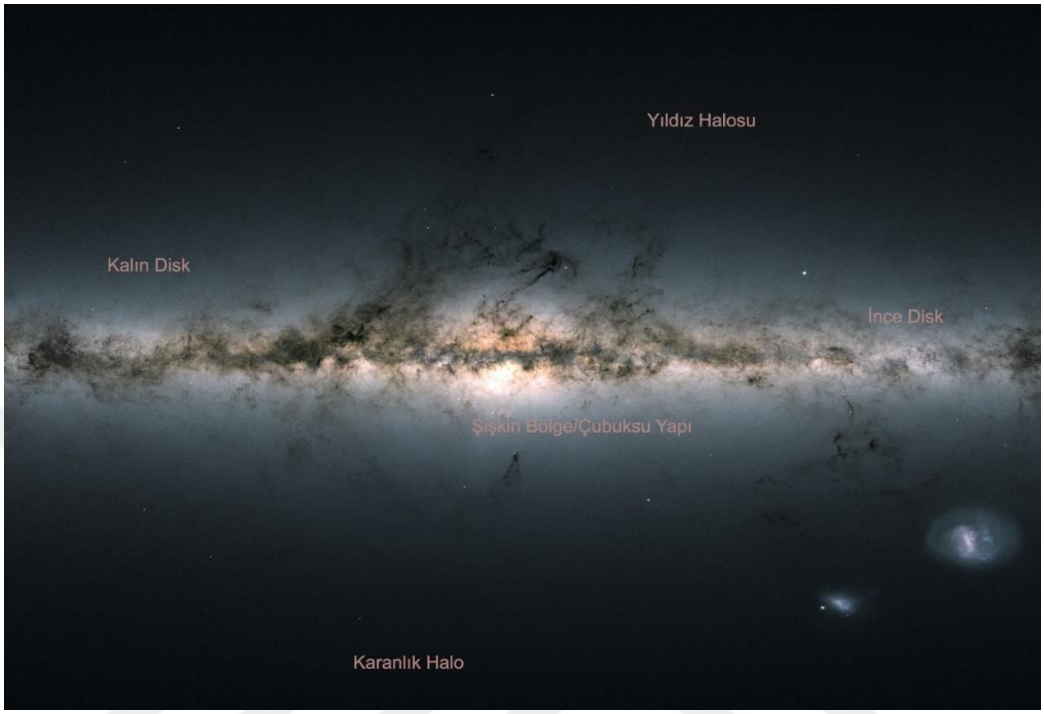
Samanyolu galaksisi milyarlarca yıldızdan, karanlık maddeden, gaz ve toz yapıdan oluşmaktadır. Bugünkü gözlemsel verilerden Samanyolu'nun yaklaşık 30 kpc büyüklüğünde ve SBb türü bir spiral galaksi olduğu bilinmektedir (Binney ve Merrifield, 1998). Galaksimiz, farklı büyüklükteki galaksiler ile bir arada bulunur. Yerel Grup olarak bilinen bu topluluk 3 Mpc boyutlarındadır, Samanyolu ve Andromeda galaksisinin etrafında toplanmış yaklaşık 80 cüce galaksiden oluşur. Ayrıca Yerel Grup Virgo süper kümesinin dış kenarı yakınında bulunan çok sayıda galaksi kümesinden biridir. Galaksimizin yapısı, oluşumu ve evriminin araştırılmasında yıldız popülasyonlarının farklı özelliklerinin belirlenmesi önemlidir. Samanyolu galaksisi ince disk, kalın disk, şişkin bölge ve halo olmak üzere dört bileşenden oluşur (Şekil 2.1). Bu bileşenlerin her biri kendine özgü özelliklere sahiptir. Bileşenlerin yıldızları sadece uzaysal dağılımları açısından değil, aynı zamanda kinematik olarak da farklı özellikler göstermektedir. Galaktik bileşenlerde incelenen nesnelerin yaşı ve kimyasal bolluk dağılımları bazı farklılıklar içermektedir. Bu, bileşenlerin gerçekten fiziksel olarak birbirinden farklı olduğunu gösterir. Bileşenlerin ata yıldızları, evrimi boyunca bir galaksinin oluşmasında önemli olan çeşitli süreçler hakkında bizi bilgilendirir. Söz konusu Galaktik yıldız popülasyonları uzay dağılımları, kimyasal yapıları, kinematik ve yörünge özellikleri bakımından farklılıklar içerir (Freeman ve Bland-Hawthorn, 2002).

Çok genç, büyük kütleli yıldızlar ile ilişkili moleküler maser ışınım gözlemleri, Samanyolu'nun dört kollu bir spiral yapıda olduğunu göstermektedir (Reid ve diğ., 2019). Galaksimiz farklı tayf türlerinden yıldızların gözlenebildiği ve yıldız astrofiziği üzerine detaylı bir şekilde çalışılabilen tek galaksidir.

2.1.1. Şişkin Bölge ve Çubuk Yapı

Samanyolu'ndaki şişkin bölge asimetrik bir kutu şeklindedir (Maihara ve diğ., 1978; Weiland ve diğ., 1994; Dwek ve diğ., 1995). Şişkin bölge, Samanyolu'nun merkezi bileşenidir, hem genç hem de yaşlı yıldızları barındırdığından metal bolluğu aralığı geniştir ($-1 < [Fe/H] < +1$ dex). Şişkin bölge, gaz ve toz bakımından zengin olduğundan elektromanyetik tayfın sınırlı bir

bölgesinde gözlenebilmektedir. Bu da söz konusu Galaktik bileşen hakkında sınırlı bilgiye sahip olunmasına neden olur.



Şekil 2.1: Samanyolu'nun kutupları doğrultusunda kesitten görünüşü ve bileşenleri (Helmi, 2020).

Şişkin bölge Samanyolu'nun en parlak bileşeni olmasına rağmen bölgedeki gazın ve tozun neden olduğu yıldızlararası sönümleme etkisi optik bölgede gözlem yapılmasını zorlaştırır. Ancak şişkin bölgede *Baade Penceresi* adı verilen nispeten çok daha az gaz ve toz bulunan bölgeden optik dalgaboylarında gözlemler yapılabilmektedir. Özellikle kırmızı dev yıldızlarının sayı yoğunluğunun fazla olması ve parlaklıkları sayesinde şişkin bölge hakkında detaylı bilgiler edinilebilmektedir (Shen ve Zheng, 2020). Şişkin bölgenin kütlesiyle ilgili tespitlerin çoğu 1.5×10^{10} $M_{\odot}$ değerini işaret etmektedir. Ancak bazı araştırmacılar şişkin bölgenin kütlesini 2×10^{10} $M_{\odot}$ (Valenti ve diğ., 2016) ve 6×10^{9} $M_{\odot}$ (Robin ve diğ., 2012) olarak vermektedir. Şişkin bölge için verilen bu ortalama kütle değeri Samanyolu kütlesinin beşte birine karşılık gelirken, halo kütlesine göre yaklaşık on kat daha büyüktür (Helmi, 2020).

Şişkin bölgedeki yıldızların yaş dağılımı hakkındaki tartışma halen devam etmektedir ancak tüm çalışmalar bileşendeki yıldızların ortalama yaşını 10 Gyıl olarak vermektedir (Ortolani ve diğ., 1995; Kuijken ve Rich, 2002; Zoccali ve diğ., 2003; Clarkson ve diğ., 2011; Valenti ve diğ., 2013).

Samanyolu galaksisinde görünen önemli yapılardan biri de şişkin bölgede yer alan çubuk yapıdır. Diğer çubuklu galaksilerde olduğu gibi Galaktik çubuk, gaz veya toz yerine ağırlıklı olarak yıldızlardan oluşmaktadır. Samanyolu'nun merkezi kısmında bir çubuk yapının bulunduğuna dair gözlemler ilk kez de Vaucouleurs (1964) tarafından gerçekleştirilmiştir. Galaksi merkezine yakın Galaktik boylamlarda HI çizgi profilinde (λ = 21 cm) görülen dairesel hareketlerdeki sapmaların bir açıklaması olarak ortaya konmuştur. Bununla birlikte, Galaksi merkezinde bir çubuk yapının varlığına dair ilk doğrudan kanıt, Galaksi merkezini λ=2.4 μm'lik dalgaboyunda oluşturulan haritalarını analiz eden Blitz ve Spergel (1991) tarafından keşfedilmiştir. Ayrıca mikromercekleme araştırmalarından (Alcock ve diğ., 2000) ya da OH/IR ve SiO maser kinematiğinden (Habing ve diğ., 2006) çubuksu yapının varlığını doğrulayan başka çalışmalar da vardır.

2.1.2. İnce Disk

Güneş Sistemi'nin de içinde bulunduğu, yıldız oluşum bölgeleri ve açık kümeleri barındıran, Samanyolu'nun oluşumunun ve evrim süreçlerinin en iyi şekilde incelenen bileşeni ince disktir. İnce disk yıldızları Galaksi merkezi etrafında çember yörüngelerde hareket eder ve Güneş civarındaki yıldızların ortalama hızları yaklaşık V = 220 km/sn'dir. Güneş komşuluğunda farklı element bolluklarında bulunan yıldızların kinematik analizlerini gerçekleştiren Bensby ve diğ. (2003) ince disk popülasyonundaki yıldızların uzay hız bileşenlerine ait hız dispersiyonlarını (σ_U, σ_V, σ_W) ≈ (35, 20, 16) km/sn ve sürüklenme hızını da -15 km/sn olarak vermektedir. Yıldız oluşum oranının yaklaşık 1.6 $M_\odot$/yıl olduğu tahmin edilmektedir (Licquia ve Newman, 2015). İnce disk yıldızlarının metal bolluğu -0.5 < [Fe/H] < + 0.5 dex aralığındadır (Bensby ve diğ., 2003). İnce disk yıldızlarının yaş aralığı da çok geniştir bu yüzden bu bileşendeki yıldızlar; yaşlı ve genç ince disk olarak iki grupta incelenir (Buser, 2000). Genç ince disk yıldızları Samanyolu'nun spiral kollarında yoğunlaşmışken, yaşlı olanlar Galaktik düzlemden yaklaşık 1 kpc'lik uzaklığa kadar değişen bir aralıkta yer alırlar (Bilir ve diğ., 2008). Bu yıldızların Galaktik düzlemdeki dağılımları ise simetriktir (Gilmore ve Reid, 1983; Robin ve diğ., 1996).

2.1.3. Kalın Disk

Kalın disk, Gilmore ve Reid'ın (1983) güney Galaktik kutup doğrultusunda yaptıkları yıldız sayım yöntemiyle keşfedilmiştir. Gözlemsel yıldız yoğunluk profillerini önce iki bileşenli galaksi modeline uygulayan Gilmore ve Reid (1983), gözlemsel yoğunlukların model

sonuçlarını desteklemediğini göstererek disk yapısına benzer yeni bir bileşeni Galaksi modellerine eklemişlerdir. Üç bileşenli galaksi modelini gözlemsel yoğunluk profilleriyle karşılaştıran Gilmore ve Reid (1983) beklenen uyumu sağlayarak yeni bileşenin yükseklik ölçeğini H = 1.45 kpc ve Güneş civarındaki yıldız sayı yoğunluğunu da %2 olarak vermiştir. Günümüzde bu bileşen *kalın disk* olarak bilinmektedir. Kalın diskin literatüre kazandırılmasından sonra yeni Galaktik bileşen üzerine çok sayıda araştırma yapılmış ve bu bileşenin uzunluk ve yükseklik ölçekleri ve Güneş civarındaki yıldız sayı yoğunlukları elde edilmiştir. Özellikle son yirmi yıl içerisinde kalın diskin yükseklik ölçeği değerlerinin 1.45 kpc'den (Gilmore ve Reid, 1983) 650 pc'e kadar küçüldüğü (Chen ve diğ., 2001), buna karşın Güneş civarındaki yıldız sayı yoğunluğunun da %2'den (Gilmore ve Reid, 1983) %10 değerine arttığı (Chen ve diğ., 2001; Siegel ve diğ., 2002) görülmüştür. Literatürdeki kalın disk model parametrelerini hesaplayan araştırmacıların çalışmaları incelendiğinde farklı değerlerin verildiği tespit edilmektedir (Buser ve diğ., 1998;1999; Chen ve diğ., 2001; Siegel ve diğ., 2002; Karaali ve diğ., 2004; Cabrera-Lavers ve diğ., 2005; Juric ve diğ., 2008, Bilir ve diğ., 2008). Kalın disk için verilen model parametrelerindeki farklılıklar çalışma yöntemlerinden ileri gelebileceği gibi çalışılan yıldız alanının doğrultusu, uzay hacmi ve farklı tayf türündeki nesnelerden de kaynaklanmaktadır (Karaali ve diğ., 2004, 2007; Bilir ve diğ., 2006a, b; Cabrera-Lavers ve diğ., 2007; Ak ve diğ., 2007).

Kalın disk üzerine yapılan kinematik araştırmalarda kalın disk yıldızlarının ince disk yıldızlarına göre Galaksi merkezi etrafında yaklaşık 30-50 km/sn kadar daha yavaş döndüğü tespit edilmiştir. Bensby ve diğ. (2003) kalın disk popülasyonundaki yıldızların uzay hız bileşenlerine ait hız dispersiyonlarını (σ_U, σ_V, σ_W) ≈ (67, 38, 35) km/sn ve sürüklenme hızını da -46 km/sn olarak vermektedir. Tipik kalın disk yıldızları Galaksi merkezi etrafında basık yörüngelerde dolanır ve Güneş civarındaki dönme hızları yaklaşık 160 ile 190 km/sn aralığında değişmektedir (Lee ve diğ., 2011). İlk tayfsal çalışmalar kalın diskin ince diskten metalce daha fakir ve daha yaşlı yıldızlardan oluştuğunu gösterdi (Gilmore ve diğ., 1989). Kalın disk yıldızlarının metal bolluğu -1.2 < [Fe/H] < 0 dex aralığında olup yaşları 8 Gyıl'dan büyüktür.

Kalın diskin oluşmasıyla ilgili son zamanlarda desteklenen bir senaryo *Gaia* uydusunun ikinci veri sürümünde verilen tayfsal çalışmalardan gelmektedir (Gaia işbirliği, 2018). *Gaia – Enceladus,* Samanyolu'nun muhtemelen yaklaşık 10 Gyıl önce tamamlanan son büyük birleşme olayıydı. Birleşmenin sonucu olarak haloda bulunan kırmızı dev yıldızlar z ~ 1.8'de bir disk

bileşeninin varlığını ortaya çıkarmıştır (Helmi, 2020). *Gaia – Enceladus* ile birleşmenin Samanyolu'nun erken döneminde yıldız oluşumunu tetiklediğini ve kalın diskin ortaya çıkmasına yol açtığına dair kanıtlar bulunmaktadır. Gallart ve diğ. (2019), *Gaia-Enceladus* ile birleşme sonrasında/sırasında kalın disk yıldızlarının çoğunun oluştuğunu önermiştir. Günümüzde kalın diskin oluşumuna dair sorulara literatürde halen cevap aranmaktadır.

2.1.4. Halo

Halo, Samanyolu'nun en dış bileşenidir. Metalce en fakir yıldızlar ([Fe/H] < -1 dex) halo bileşeninde bulunmaktadır. Galaksi oluşumunun ve evriminin araştırılmasında galaksi birleşmelerinin önemi büyüktür. Bu nedenle Samanyolu halosunun farklı gözlemsel teknikler ile incelenmesi galaksi birleşme tarihinin anlaşılmasına yönelik ipuçlarının bulunacağı bir yerdir.

Samanyolu'nun halosu biri Galaksi merkezinden 10 kpc'ye kadar uzanan iç halo ve diğeri 10 kpc'den 100 kpc'ye kadar uzanan dış halo olmak üzere iki bileşenden oluşmaktadır. İç halo bileşeninde metalce fakir yaşlı yıldızlar bulunur. Bu yıldızlar Galaksi merkezi etrafında basık ve düşük açısal momentumlu yörüngelerde dolanırlar. Samanyolu'nun halo bileşeninde küresel kümeler, anakol ve evrimleşmiş yıldızlar ve RR Lyrae türü değişen yıldızlar bulunur. RR Lyrae değişenlerinin Galaksi merkezinden itibaren oluşturulan yoğunluk profillerini inceleyen Vivas ve Zinn (2006) yıldız sayı yoğunluğunun $\rho = R^{-3.1}$ bağıntısıyla değişimini ortaya koymuştur. Burada R, Galaksi merkezinden yıldızın günümüzdeki uzaklığıdır. Ayrıca yıldız sayım yöntemlerini kullanan araştırmacılar halo yıldızlarının yoğunluk profillerine Galaksi modellerini fit ederek halonun basıklığıyla ilgili sonuçlara ulaşmışlardır. Literatürde iç halodaki yıldızların basıklık oranı için $0.5 < c/a < 0.8$ aralığındaki değerler bulunmakta olup halonun görünüşünün bir sferoid olduğu söylenmektedir (Hartwick, 1987; Wyse ve Gilmore, 1989; Bilir ve diğ., 2006a). Burada c/a Galaksi'nin eksen oranıdır. Galaksi merkezinden artan uzaklıkla birlikte halonun şekli küreselleşir (Vivas, Zinn ve Gallart, 2006). *Gaia* DR2 (Gaia işbirliği, 2018) verilerine dayanan halo kütlesinin güncel tahminleri yaklaşık $1.3 \times 10^{12}\ M_{\odot}$'tir (Posti ve Helmi, 2019; Watkins ve diğ., 2019).

Ayrıca, Bensby ve diğ. (2003) halo popülasyonundaki yıldızların uzay hız bileşenlerine ait hız dispersiyonlarını $(\sigma_U, \sigma_V, \sigma_W) \approx (160, 90, 90)$ km/sn ve sürüklenme hızını da -220 km/sn olarak vermektedir.

2.2. SAMANYOLU'NUN KİMYASAL OLUŞUMU VE EVRİMİ

Samanyolu'nun kimyasal oluşumunun incelenmesinde Galaktik arkeolojiden faydalanılır. Galaktik arkeolojide yıldızların çekirdeklerinde ürettikleri ağır element süreçleri galaksi oluşumu adına birer zaman ölçekleri olarak kabul edilmesiyle gerçekleştirilir. Bunun dışında tek yıldız oluşumları ve süpernovalar neticesinde yıldızlararası ortamın kimyasal olarak zenginleşmesi de galaksi evriminin anlaşılmasında önemlidir.

Ayrıca küçük kütleli çift yıldız sistemlerinin evrimleri sonucu farklı zaman ölçeklerinde süpernovalar geçirerek farklı türden element oluşumları sağlaması mümkün olup yıldızlararası ortamdaki ağır element bolluk oranlarını değiştirmesi söz konusudur.

Büyük kütleli tek yıldızların ($M > 8\ M_{\odot}$) Tip II türü süpernovalar oluşturmasıyla yıldızlararası ortam α-element (C, O, Ne, Mg, Ca, Si gibi) ve diğer ağır element bollukları bakımından zenginleşir. Bir bileşeni beyaz cüce diğer bileşeni de anakol yıldızı olan bir çift sistemin evrimleşmesi sonucu oluşan Tip Ia türü süpernovaları da yıldızlararası ortamı özellikle demir elementince zenginleştirir. Daha uzun bir zaman ölçeğinde gerçekleşen Tip Ia süpernova patlamaları ise Galaksi evrimine farklı bolluk oranlarındaki elementler ile katkıda bulunur. Samanyolu'nda gerçekleşen Tip Ia süpernovaları ise günümüzde gözlemlenen demir bolluğu oranının %70'ine katkı verdiği Chiappini (2001) tarafından gösterilmiştir. Ayrıca çok büyük kütleli yıldızların $M > 100\ M_{\odot}$ süpernova oluşturmaları sonucunda ortamı özellikle oksijen açısından zenginleştirdikleri yapılan teorik hesaplamalar ile gösterilmiştir. Bu türden nesnelerin gözlemleri için diğer yakın galaksilerdeki süpernova artıklarının incelenmesi önemlidir (Alan ve diğ., 2019).

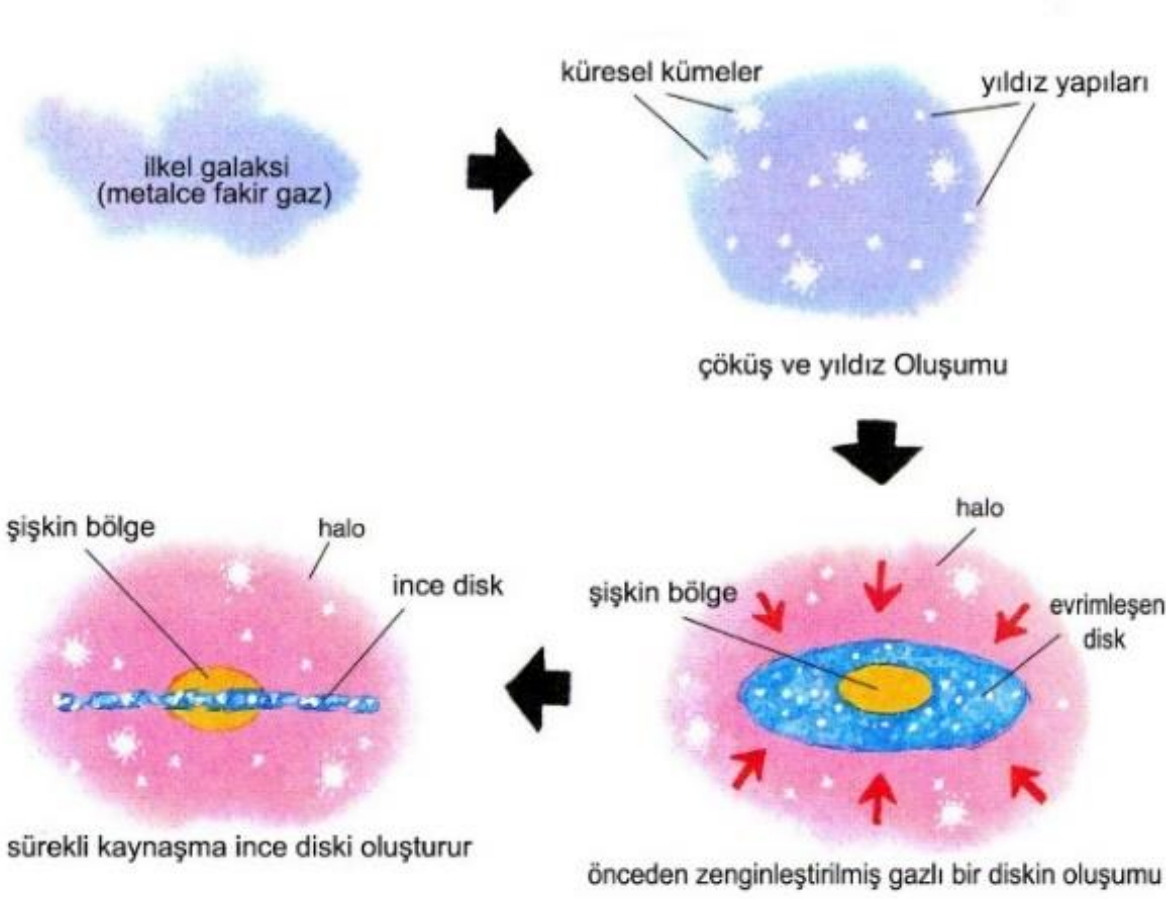
Eggen, Lynden-Bell ve Sandage (ELS, 1962) Samanyolu'nun oluşumunu ve evrimini ilk kez fotometrik, tayfsal ve astrometrik gözlemler ile destekleyerek ortaya konan modeli geliştirmiştir. ELS, Güneş komşuluğundaki cüce yıldızları inceleyerek metal bolluklarıyla Galaktik yörüngelerinin basıklıkları ve Galaktik düzleme dik doğrultuda ölçülen W uzay hızı bileşenleri arasındaki ilişkiyi ortaya koymuşlardır. Böylece, yaşlı yıldızların metalce fakir ve W uzay hızı bileşeninin büyük, genç olanlarının metalce zengin ve W uzay hızı bileşeninin daha küçük olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Senaryoya ait şematik bir sunum Şekil 2.2'de gösterilmiştir. İlkel bulutun çöküşünün başlangıcında oluşan yıldızlar, metalce fakir gazın dinamiklerini korumuşlardır. Bulut tercihen dönme ekseni boyunca çöktüğünden (Şekil 2.2,

kırmızı oklar), ilk nesil halo yıldızlarının süpernovalar sonucu ürettiği metaller ile zenginleştirilmiş bir disk oluşturmuştur. Bu gözlemsel bulgulardan itibaren ELS (1962) Samanyolu galaksisinin metalce fakir büyük bir gaz bulutunun içe doğru 2×10^8 yıl gibi kısa bir zaman ölçeğinde çökmesiyle metalce zenginleşmesi gerektiğini öne sürmüşlerdir.

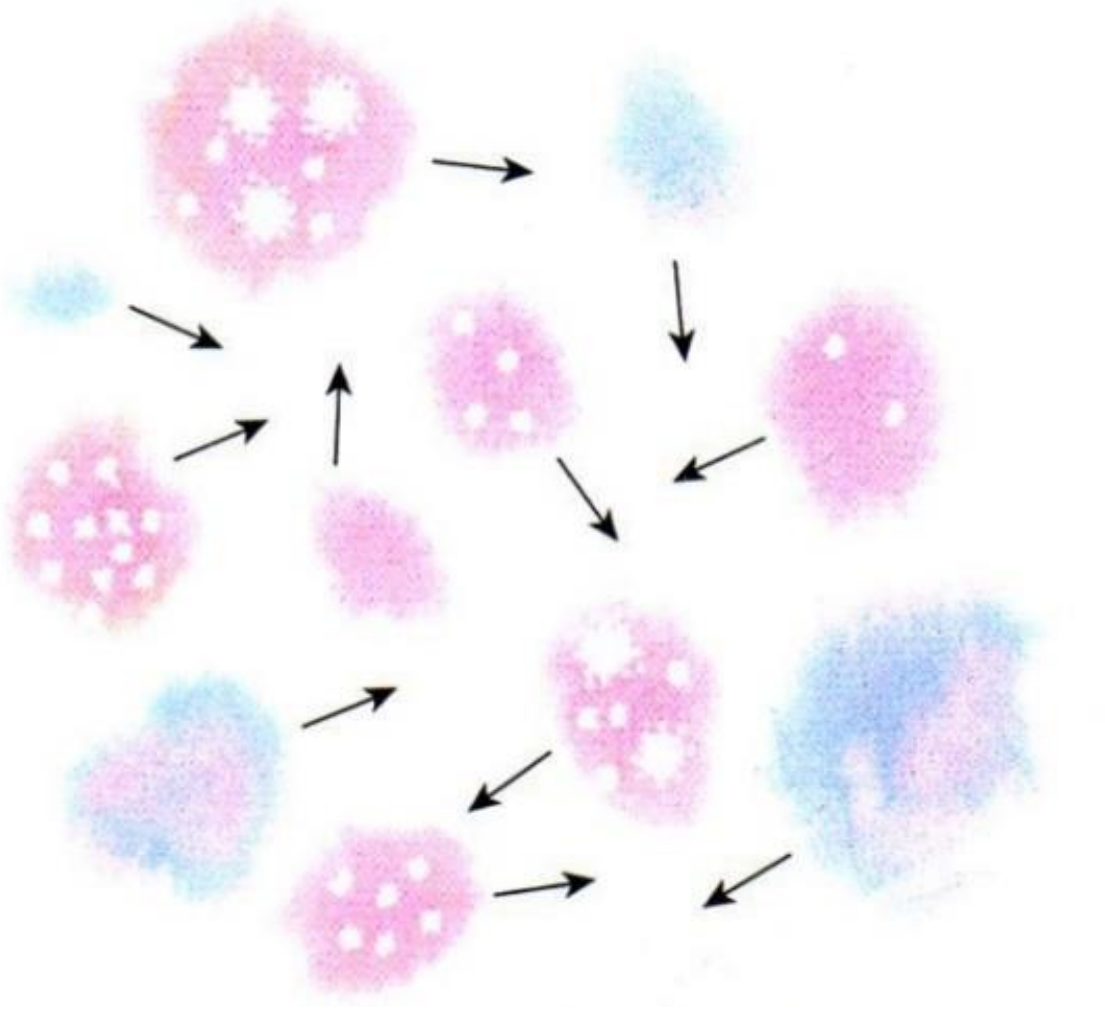
Zaman içinde farklı nesnelerin incelenmesi neticesinde Galaksi halosunda bulunan küresel kümelerin metal bolluğu açısından geniş bir aralıkta bulunduğu tespit edilmiştir. Searle ve Zinn (SZ, 1978) Samanyolu'nun iç ve dış halolarındaki küresel kümeleri inceleyerek küme yaşları ve metal bollukları arasında farklılıklar olduğunu göstermiştir. SZ'nin (1978) elde etmiş olduğu bu sonuçlar ELS'nin (1962) Galaksi oluşum senaryosunu desteklememektedir. Searle ve Zinn (1978) SZ modeli adını verdikleri bu yeni senaryoyla metalce fakir bir bulutun çöküşü yerine farklı metal bolluklarında bulunan birkaç bulutun kendi içinde çöküp hiyerarşik olarak yığılıp birleşmeleri sonucunda Galaksi halosunun yaklaşık 1 Gyıl'da oluştuğunu ifade etmektedir. SZ (1978) senaryosuna göre oluşturulmuş şematik bir sunum Şekil 2.3'te gösterilmiştir.

Günümüzde büyük teleskoplar ve bu teleskopların odak düzlemlerine yerleştirilen gelişmiş alıcılar ile yapılan gözlemler Samanyolu'nun oluşumu için öne sürülen ELS (1962) ve SZ (1978) modellerinin tek başına açıklama getiremediğini göstermektedir. Wyse ve Gilmore (1989) halo ve ince diskin tek bir gaz bulutundan oluşamayacağını öne sürmüştür. Farklı gaz bulutlarından oluşma önerilerini yıldızların açısal momentumlarına dayandırmışlardır. Halo ve şişkin bölgenin düşük açısal momentuma sahip yıldızlardan oluşma eğiliminde olduğu, buna karşın kalın disk ve ince disk yıldızlarının ise yüksek açısal momentumlu yıldızlardan oluştuğunu göstermişlerdir. Galaksi içinde açısal momentum korunduğundan Galaktik bileşenlerin farklı açısal momentumlara sahip farklı gaz bulutlarından meydana geldiklerini belirtmişlerdir. Güncel gözlemsel verileri analiz eden Chiappini ve diğ. (1997) Galaksimizin oluşumu için ikili çökme modelini önermiştir. İkili çökme modelinde biri hızlı, diğeri yavaş ve devam eden bir çökmenin varlığı söz konusudur. İlk çökmede halo, şişkin bölge ve kalın disk popülasyonları oluşmuşken, ikinci çökmede ince disk popülasyonuna ait nesneler oluşmuş ve bu süreç ince diskte günümüzde de devam etmektedir. Bu modelde ilk çökme ELS'nin (1962) önerdiği zaman ölçeğinin birkaç katı süresince ($0.8 < t < 1$ Gyıl) metalce fakir gaz bulutunun yoğunlaşarak çökmesiyle oluşur. Halodaki yıldız oluşumu metalce fakir buluttaki gaz yoğunluğu belli bir değerin altına düşene kadar devam etmiştir. Halodaki büyük kütleli yıldızların hızlı evrimlerinden dolayı süpernova oluşturmaları neticesinde yıldız

çekirdeklerinde üretilen ağır elementler yıldızlararası ortama saçılarak, açısal momentumun korunumu ilkesine göre, Galaktik düzleme çöken madde Galaksi merkezi civarında yoğunlaşıp yeni yıldızları oluşturmuş ve Galaksi merkezi etrafındaki uzay hızlarını artırmıştır. Ağır element bakımından zengin olan gaz çekimsel etkileşimlerden dolayı metalce zengin yıldızların oluşmasına ve Galaksi'nin şişkin bölgesinin meydana gelmesine yol açmıştır. Halo ile şişkin bölgedeki nesneler oluştuktan ve yıldız oluşumu durduktan sonra yeniden başlayan ve daha yavaş süren ikinci çökme döneminde de ince disk popülasyonu oluşmuştur.



Şekil 2.2: ELS (1962) senaryosuna göre Samanyolu'nun oluşumuna dair şematik gösterim (Chiappini, 2001).



Şekil 2.3: SZ (1978) senaryosuna göre Samanyolu'nun oluşumuna dair şematik gösterim. Şekilde evrimin çeşitli aşamalarında bulunan ilkel galaksi parçaları görülmektedir (Chiappini, 2001).

Günümüzde Samanyolu'nun oluşumu için ELS (1962) ve SZ (1978) dışında farklı galaksi oluşum senaryoları da bulunmaktadır (Wyse ve Gilmore, 1995; Chiappini, 2001; Minchev ve diğ., 2013; Sharma ve diğ., 2020).

2.2.1. İkili Çökme Modeli

Günümüzde büyük teleskoplar ve bu teleskopların odak düzlemlerine yerleştirilen gelişmiş alıcılar ile yapılan gözlemler Samanyolu'nun oluşumu için öne sürülen ELS (1962) ve SZ (1978) senaryolarını tek başına açıklama getiremediğini göstermektedir. Gözlemsel tayfsal verileri analiz eden Chiappini ve diğ. (1997) Samanyolu'nun oluşumu için *ikili çökme modelini* önermiştir. İkili çökme modelinde biri hızlı, diğeri yavaş ve devam eden bir çökmenin varlığı söz konusudur. İlk çökmede halo, şişkin bölge ve kalın disk popülasyonları oluşmuşken, ikinci

çökmede ince disk popülasyonuna ait nesneler oluşmuş ve bu süreç ince diskte günümüzde de devam etmektedir. Bu modelde ilk çökme ELS'nin önerdiği zaman ölçeğinin birkaç katı süresince (t < 1 Gyıl) metalce fakir gaz bulutunun yoğunlaşarak çökmesiyle oluşur. Halodaki yıldız oluşumu metalce fakir buluttaki gaz yoğunluğu belli bir değerin altına düşene kadar devam etmiştir. Halodaki büyük kütleli yıldızların hızlı evrimlerinden dolayı süpernova oluşturmaları neticesinde yıldız çekirdeklerinde üretilen ağır elementler yıldızlararası ortama saçılarak, açısal momentumun korunumu ilkesine göre, Galaktik düzleme çöken madde Galaksi merkezi civarında yoğunlaşıp yeni yıldızları oluşturmuş ve Galaksi merkezi etrafındaki hızlarını artırmıştır. Ağır element bakımından zengin olan gaz çekimsel etkileşimlerden dolayı metalce zengin yıldızların oluşmasına ve Galaksi'nin şişkin bölgesinin meydana gelmesine yol açmıştır. Halo ile şişkin bölgedeki nesneler oluştuktan ve yıldız oluşumu durduktan sonra yeniden başlayan ve daha yavaş süren ikinci çökme döneminde de ince disk popülasyonu oluşmuştur. Bu ikinci çökme dönemi diğer senaryoların öne sürdüğü gibi kısa değil, yaklaşık 7-8 Gyıl'lık bir zaman diliminde meydana gelmiş ve bu çökmenin sonucunda ince disk ve kalın diskin kalanı olmuştur.

İkinci çökme dönemi, Galaksimizin cüce galaksiler ile birleşmeleri sonucunda veya yüksek açısal momentuma sahip galaksi-dışı gazın Galaksi diskine akışıyla tetiklenmiş olabilir. Bu modelde Galaksi diskine akan gaz ve şişkin bölgedeki yıldızların evrimiyle gerçekleşen süpernovaların neden olduğu şok dalgaları, ince diskin içten dışa doğru genişlemesine yol açmıştır. Bu da ince disk kimyasal evriminin 'içten dışa doğru' olmuş olabileceğini ifade eder. İkili çökme modeli Samanyolu'nun ince disk oluşumunu ve evrimini iyi açıklayabilmesine karşın kalın diski için tatmin edici sonuçlar üretmemektedir (Chiappini ve diğ., 1997).

2.2.2. Disk Boyunca Metal Bolluğu Değişimi

Metal bolluğu gradyenti Güneş ya da Galaksi merkezi gibi bir referans noktası dikkate alınarak Samanyolu'nun herhangi bir doğrultusu boyunca metal/element bolluğundaki değişim olarak tanımlanır. Metal bolluğu gradyent hesaplamaları özellikle literatürdeki senaryolar için önerilen değişim aralıklarının belirlenmesinde önemlidir. Bu da söz konusu senaryoların sınanmasında kullanılır. Dolayısıyla Galaksi merkezinden radyal ve Galaktik düzlemden dikey doğrultularda metal bolluğu gradyentlerini araştırmak Galaksi'nin kimyasal evriminin anlaşılmasına fırsat verir. Dikey metal bolluğu gradyenti Samanyolu'nu oluşturan ilkel bulutun Galaktik düzleme çökmesi sonucu metal bolluğundaki zenginleşmeyi gösterirken, radyal metal bolluğu gradyenti

ise Galaksi diskinin iç ve dış kısımlarındaki farklı evrimsel hızlarda gerçekleşen metal bolluğu farklılığını ifade eder. Samanyolu'nun farklı bölgelerinde doğan yıldızlar Galaksi içindeki çekimsel etkileşmelerden etkilenerek Galaksi merkezi etrafındaki yörüngelerini değiştirirler. Bu da artan yıldız yaşıyla birlikte yıldızın Galaksi'nin daha dış bölgelerine göç etmesine neden olur. Bu göçün araştırmalarda dikkate alınmaması hesaplanan metal bolluğu gradyentlerini doğrudan etkiler. Senaryoların sınanmasında iyi bir araç olarak kullanılıp metal bolluğu gradyentlerinin daha hassas hesaplanabilmesi için Galaktik etkileşimler ile yörüngeleri değişmiş yıldızların istatistik dışı bırakılması gerekir.

2.2.3. Radyal Göç

Güneş civarında bulunan yıldızların yaşları ve kimyasal yapıları bakımından tekdüze bir yapıda olmadıkları anlaşılmıştır. Yapılan detaylı analizler, farklılık gösteren bazı yıldızların şişkin bölge ve diskin dış bölgesindeki yıldızların özelliklerini taşıdıklarını göstermiştir. Literatürde bu durumun açıklanmasında *radyal göç* modeli önerilmiştir (Haywood, 2008; Schönrich ve Binney, 2009a). Radyal göç, kütle çekimsel kuvvetlerin etkisiyle yıldızların doğdukları Galaktik yarıçaptan uzaklaşarak Samanyolu'nun farklı bölgelerine doğru hareket ettiğini öne sürmektedir. Yıldızların doğum yerlerinden farklı çekimsel etkilerden dolayı uzaklaşmalarının birçok sebebi olabilir:

i) Spiral kollarla geçici etkileşim (Sellwood ve Binney, 2002; Minchev ve Quillen 2006; Roskar ve diğ., 2008),
ii) Çubuk yapıya ve spiral kollara karşılık gelen dinamik rezonansların örtüşmesi (Minchev ve Famaey, 2010; Minchev ve diğ., 2011),
iii) Spiral kollardan yayılan yoğunluk dalgaları (Comparetta ve Quillen, 2012),
iv) Samanyolu diskinin uydular ile etkileşimi (Quillen ve diğ., 2009; Bird ve diğ., 2012).

2.3. GÖKYÜZÜ TARAMA PROGRAMLARI

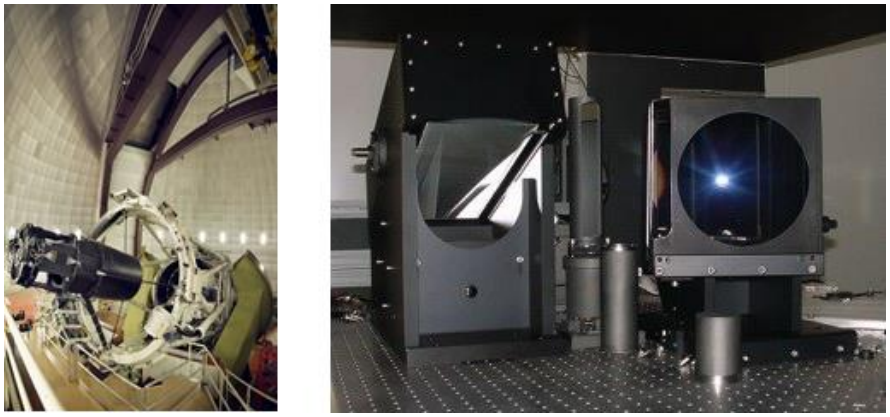
Gökyüzü tarama programları Evren'i ve bileşenlerini sistematik bir şekilde haritalandırmak, kimyasal analizlerini yapmak, nesnelerin yapılarını öğrenmek ve keşifler yapabilmek adına kullanılan büyük organizasyonlardır. Yer ya da uzay tabanlı gözlemler neticesinde elde edilen verilerin sayısal hale getirilmesiyle büyük boyutlu kataloglar oluşturulur. Hazırlanan bu kataloglar incelenen nesnelerle ilgili problemlerin çözülmesinde kullanacağı gibi farklı katalogların bir araya getirilmesi, üzerinde çalışılan problemlerin farklı bakış açılarıyla

çözülmesi için fırsatlar yaratır. Gökyüzü tarama programların amacı yeni keşiflerin yapılması ve bilimsel anlamda hedeflenen sonuçların elde edilmesidir. Bu programlar gelişen teknolojinin sağlamış olduğu imkanlar çerçevesinde daha hassas gözlemlerin yapılmasını hedeflemekle birlikte, daha önceden eksik kalmış veya gözlenmemiş gökyüzü bölgelerinin gözlemlerine yönelik de olabilmektedir (Djorgovski ve diğ., 2012). Tez çalışmasında yer tabanlı GALAH ve uzay tabanlı *Gaia* uydu verileri kullanıldığından bu iki gökyüzü tarama programı hakkında detaylı bilgiler aşağıda sunulmuştur.

2.3.1. GALAH Gökyüzü Taraması

GALAH (Galactic Archaeology with HERMES), HERMES (High-Efficiency and high-Resolution Mercator Echelle Spectrograph) tayfçekeriyle Galaksimizin oluşumu ve kimyasal evrimini hedefleyen bir tayfsal gökyüzü programıdır (De Silva ve diğ., 2015). Gözlemler, Avustralya Astronomik Gözlemevi tarafından organize edilen ve Avustralya'nın Siding Spring Gözlemevi'nde bulunan Anglo-Avustralya Teleskobuyla (AAT) yapılmaktadır. Ekvatoral kurgulu AAT, deniz yüzeyinden 1100 m yükseklikte bulunan ve 3.9 metre çaplı bir aynaya sahiptir (Şekil 2.4 sol panel).

HERMES, yüksek çözünürlüklü ve çoklu nesne özelliğine sahip dört kanallı fiber beslemeli bir tayfçekerdir (Şekil 2.4 sağ panel). Tipik tayf çözümleme gücü R ~ 28,000 olan HERMES, yarıklı bir maske kullanımıyla tayfsal ayırma gücünü yaklaşık 50,000 mertebesine çıkartabilmektedir. Ayrıca dört farklı optik dalgaboyu aralığında (mavi: 4715 – 4900 Å, yeşil: 5649 – 5873 Å, kırmızı: 6478 – 6737 Å ve kızılötesi 7585 – 7887 Å) eş zamanlı tayfsal gözlemler gerçekleştirilmektedir. GALAH tayfsal gökyüzü tarama programında kullanılan HERMES tayfçekeriyle iki derece kare büyüklüğündeki bir gökyüzü parçasında 392 nesnenin tayf gözlemi yapılabilmektedir. HERMES, iki derecelik alan (2dF) konumlandırıcı ismiyle bilinen bir robot ile beraber çalışır. Bu robot yıldız alanında belirlenmiş 392 nesnenin fiber bağıntılarını gerçekleştirir.



Şekil 2.4: Anglo-Avustralya Teleskobu (sol panel) ve bu teleskoba bağlı HERMES tayfçekerinin görüntüsü (sağ panel) [1].

Tek yıldız tayflarının analizlerinden elde edilen veriler 30'a yakın (Li, C, O, Na, Al, K, Mg, Si, Ca, Ti, Sc, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Y, Ba, La, Rb, Mo, Ru, Nd, Sm, Eu) farklı element bolluğu içermektedir (Buder ve diğ., 2018). Elde edilen veriler Samanyolu'nun evrimiyle ilgili çalışmaları doğrudan etkilemektedir. SME (Spectroscopy Made Easy) denilen tayf sentez kodu (Piskunov ve Valenti, 2017) ve CANNON (Ness ve diğ., 2015) kullanılarak yıldızların atmosfer model parametreleri (T_{eff}, log g, [Fe/H] ve v_{mic}) ile radyal hızları (γ) tayin edilmektedir.

GALAH konsorsiyumu farklı tarihlerde araştırmacıların ortak kullanımına açık veri salımları gerçekleştirmektedir. GALAH tayfsal gökyüzü tarama programına ait ilk veri sürümü (GALAH DR1) Martell ve diğ. (2017) tarafından gerçekleştirilmiştir. Programın ilk iki yılında (2014-2016) 200,000'den fazla program yıldızının tayfsal analizleri yapılarak yıldızların atmosfer model parametreleri, radyal hızları, uzaklık modülleri ve renk artıkları hesaplanmış ve araştırmacıların ortak kullanımına sunulmuştur. GALAH taramasının ikinci veri sürümü (GALAH DR2) Buder ve diğ. (2018) tarafından gerçekleştirilmiştir. GALAH DR2'de 342,682 yıldızın tayfsal analizleri yapılmış ve yıldızlar için elde edilen tayfsal parametreler *Gaia* uydusundan sağlanan astrometrik ve fotometrik veriler ile eşleştirilerek kapsamlı bir veri tabanı oluşturulmuştur. Bu veriler tayfsal ve kinematik çalışmaların yapılabilmesine fırsat yaratarak Galaktik arkeolojik çalışmaların başlatılmasını sağlamıştır. GALAH konsorsiyumu tarafından gerçekleştirilen üçüncü veri sürümü Buder ve diğ. (2021) çalışmasıyla literatüre kazandırılmıştır. Son veri sürümünde, örneğin büyük kısmı (%81.2) 2 kpc'lik uzaklık içerisinde bulunan 588,571 yıldızın 678,423 tayf verisi analiz edilmiştir. Farklı alt programlarda incelenen yıldızların atmosfer model parametreleri ile radyal hız verileri *Gaia* erken veri

[1] https://www.kisa.link/PAeF

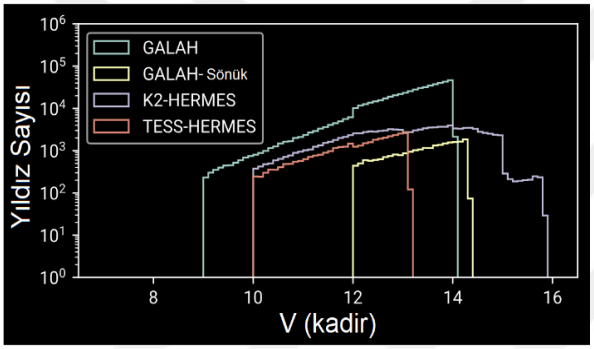
sürümü 3'e (*Gaia* işbirliği, 2021) ait verileriyle eşleştirilerek büyük ve homojen bir veri seti oluşturulmuştur. Son veri sürümünde her bir yıldız için 30'a yakın elemente ait bolluk değerleri de hatalarıyla birlikte sunulmuştur. GALAH konsorsiyumunun yapmış olduğu analizlerde GALAH DR3 veri tabanındaki nesnelerin %65'inin cüce, %34'ünün evrimleşmiş ve %1'inin de diğer veya ışıma gücü sınıfı belirlenmemiş yıldızlardan oluştuğu raporlanmıştır. Ayrıca yıldızların kimyasal kompozisyonlarına ve yaşlarına dayalı analizler neticesinde GALAH DR3'teki yıldızların %62 genç düşük-α, %9 genç yüksek-α, %27 yaşlı yüksek-α ve %2, [Fe/H] < -1 dex olan yıldızlardan oluştuğu belirlenmiştir. Yıldız kinematiğine göre yapılan incelemelerde veri tabanındaki yıldızların %4'ünün halo yıldızları olduğu tespit edilmiştir (Buder ve diğ., 2021).

GALAH programıyla, güney gökyüzünde görünen parlaklıkları $8 < V < 16$ kadir aralığında bulunan bir milyondan fazla yıldızın tayfı alınmıştır. GALAH programı *i*) Temel GALAH taraması, *ii*) GALAH-sönük taraması, *iii*) K2-HERMES, *iv*) TESS-HERMES ve *v*) diğer programlar çerçevesinde yürütülmektedir:

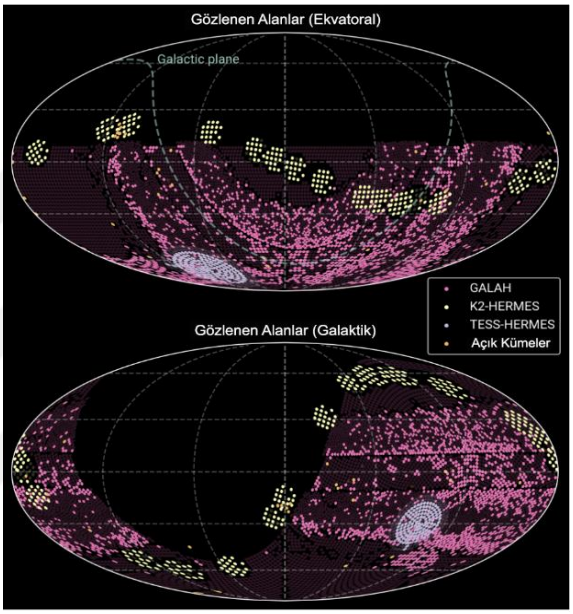
- **Temel GALAH taraması:** Görünen parlaklıkları $12 < V < 14$ kadir aralığında dik açıklığı $\delta<+10^{o}$ ve Galaktik enlemi $|b| > 10^{o}$ olan gökyüzü bölgesinde, iki derece karelik alanlarda yaklaşık 400 yıldızın eş zamanlı tayfsal gözleminin yapıldığı programdır.
- **GALAH-Sönük taraması:** Görünen parlaklıkları $12 < V < 14.3$ kadir aralığında daha az yıldız yoğunluğuna sahip yıldız alanlarında gerçekleştirilen programdır.
- **K2-HERMES:** *Kepler* uydusunun K2 gözlem stratejisiyle gözlenmiş parlak ($10 < V < 13$ kadir) ve sönük ($13 < V < 15$ kadir) yıldızların yıldız sismolojisine yönelik tayfsal programdır (Stello ve diğ., 2017).
- **TESS-HERMES:** Görünen parlaklıkları $10 < V < 13.1$ kadir aralığında TESS uydusuyla gözlenmiş yıldızların tayfsal gözlemlerinin yapıldığı programdır (Sharma ve diğ., 2018).
- **Diğer programlar:** Güney yarıküreden gözlenen açık kümelerdeki yıldızları hedefleyen programdır (Martell ve diğ., 2017).

GALAH tayfsal tarama programı çerçevesinde yürütülen alt projelerin V görünen parlaklıklarıyla gözlenen yıldız sayılarına ait histogram Şekil 2.5'te gösterilmiştir.

GALAH tayfsal gökyüzü tarama programı 7 Şubat 2014 tarihinde başlatılmıştır. 27 Eylül 2021 tarihine kadar 754,032 yıldızın 841,941 tayfı alınmış ve programın veri tabanına eklenmiştir. Günümüze kadar GALAH taraması kapsamında gözlemleri yapılan gökyüzü parçalarının ekvatoral ve Galaktik koordinat sistemlerindeki konumları Şekil 2.6'da gösterilmiştir. Şekilden görüleceği gibi programın büyük kısmı Galaksi'nin oluşumu ve kimyasal evriminin araştırıldığı temel GALAH ve GALAH-sönük taramalarına ayrılmıştır.



Şekil 2.5: GALAH programı çerçevesinde gerçekleştirilen alt programlardaki görünen parlaklık aralıkları ve yıldız sayıları[2].



Şekil 2.6: GALAH programı çerçevesinde gerçekleştirilen alt programlardaki ekvatoral (a) ve Galaktik koordinat (b) sistemlerindeki konumları[3].

2.3.2. GAIA Uydusu ve Görevi

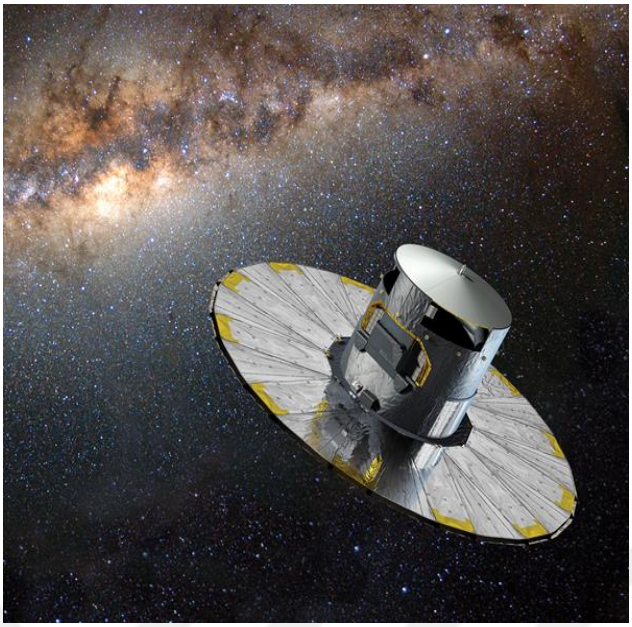
Gaia (Global Astrometric Interferometer for Astrophysics), ESA'nın (Avrupa Uzay Ajansı), 19 Aralık 2013 yılında uzaya fırlatılan, Galaksi'mizin oluşumu ve evriminin anlaşılmasına yönelik fotometrik, astrometrik ve tayfsal gözlemleri devam eden bir milyardan fazla nesnenin gözleneceği 21. yüzyıla özgü bir gökyüzü tarama programıdır. Program, Samanyolu'nun üç-boyutlu uzay ve hız dağılım haritasının ortaya çıkartılmasını, nesnelerin astrofizik

[2] https://www.galah-survey.org/
[3] https://www.galah-survey.org/

parametrelerini hesaplanmasını ve bu parametrelerden Galaksi'nin yapısının, oluşumunun ve evriminin anlaşılmasını hedeflemektedir.

Gaia uydusu, ESA'nın 1989 – 1993 yılları arasında Güneş komşuluğundaki yıldızların astrometrik gözlemlerini yapmak için uzaya göndermiş olduğu *Hipparcos* uydusunun (Clausen ve Wills, 1989; Clausen ve Perryman, 1990; Perryman, 1991) literatüre beklenenin üstünde veri ve bilgi kazandırması sonrasında oluşturulmuş uluslararası bir projenin ürünüdür (Şekil 2.7). Gelişen teknoloji ve uydu konusunda kazanılan deneyimler sonucu üretilen *Gaia* uydusu, *Hipparcos* uydusuna göre en az 200 kat daha hassas astrometrik ölçümler yapmakta olup *Hipparcos*'un literatüre kazandırdığı veriden en az 10,000 kat daha büyük veri üretmiştir ve üretmeye devam etmektedir. *Gaia* uydusu, Dünya'dan 1.5 milyon km uzaklıkta Güneş-Dünya-Ay sisteminin ikinci Lagrange noktasında bulunmaktadır. Uydunun üzerindeki hassas fotometrik cihazlar ile görünen parlaklığı $G = 20$ kadire kadar (göz ile gözlenebilen en sönük yıldızdan 400,000 kat daha sönük) olan nesneler beş yıllık bir dönem boyunca yaklaşık 70 kez gözlenerek nesnelerin konumlarının, uzaklıklarının, öz hareketlerinin ve fotometrik parlaklıklarındaki değişimlerinin gözleneceği bir gökyüzü tarama projesidir. Uydunun hedefinde Samanyolu'ndaki yıldızlar dışında, öte-gezegenler, kahverengi cüceler, asteroitler, galaksiler ve kuazarlar gibi farklı türden gök cisimleri de bulunmaktadır.

Gaia uydusundaki gözlemlerde kullanılmak üzere çeşitli boyutlarda 10 adet ayna bulunmaktadır. Bu aynalar program çerçevesinde gerçekleştirilen fotometrik, astrometrik ve tayfsal gözlemlerde nesnelerden gelen fotonları toplamak, odaklamak ve yönlendirmekte kullanılmaktadır. Fotometrik ve astrometrik gözlemlerde incelenen nesnelerin parlaklıkları ve konumları belirlenirken, tayfsal gözlemlerde nesneden gelen fotonların hassas incelenmesi yapılmaktadır.



Şekil 2.7: *Gaia* uydusunun temsili bir görüntüsü[4].

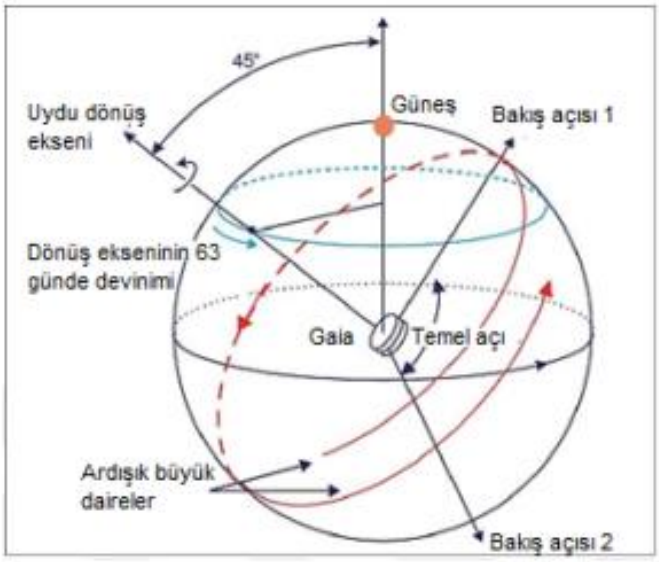
Gaia uzay aracı içindeki sınırlı alanın verimli kullanımını sağlamak için aynalar dikdörtgen şeklinde tasarlanmıştır. Uydunun gözlem düzenekleri, gökyüzünün iki farklı parçasını 106.5 dereceyle sabit olarak göstermektedir. Her biri yaklaşık 7,000 cm^2'lik bir toplama alanına sahip birincil aynaya sahiptir. Yer tabanlı teleskoplara göre küçük ayna çaplı bir optik düzeneğe sahip *Gaia* uydusu uzay tabanlı tasarlandığı için Dünya'daki büyük bir teleskoptan daha duyarlı gözlemler yapabilmektedir. *Gaia* uydusu verilerinden oluşturulan güncel gökyüzü haritası Şekil 2.8'de gösterilmiştir (Gaia işbirliği, 2016b).

Gaia uydusu, *Hipparcos* uydusunda kullanılan küresel astronomi yöntemini uygulayarak gözlem yapmaktadır; bu yöntem gözlenen her gök cisminin her yöne, çok sayıda başka nesneye bağlı olduğu bir yapı içinde, büyük açısal mesafeler ile birleştirilmesine dayanır. Uydu, her iki görüş alanına dik bir dönme ekseni etrafında 1/60 derece/sn'lik sabit bir açısal hız ile yavaş dönmektedir; bu da altı saat içinde gökyüzündeki büyük bir çemberi taraması anlamına gelmektedir (Şekil 2.9). Uydunun dönüş ekseni Güneş yönünden yaklaşık 45°'lik bir açı yapmaktadır. Dünya'dan Güneş'e doğru olan yönelimin yavaş bir şekilde gerçekleşmesi, uydunun beş yıllık bir süreçte ortalama 86 geçişi olan gök cisimlerinin gözlenmesini sağlar. (Gaia işbirliği, 2016b)

[4] https://www.kisa.link/PAeX



Şekil 2.8: *Gaia* uydu verilerinden oluşturan bir gökyüzü atlası (Moitinho ve diğ., 2017).



Şekil 2.9: *Gaia* uydusunun gökyüzü tarama prensibinin temsili çizimi (Çelebi, 2018).

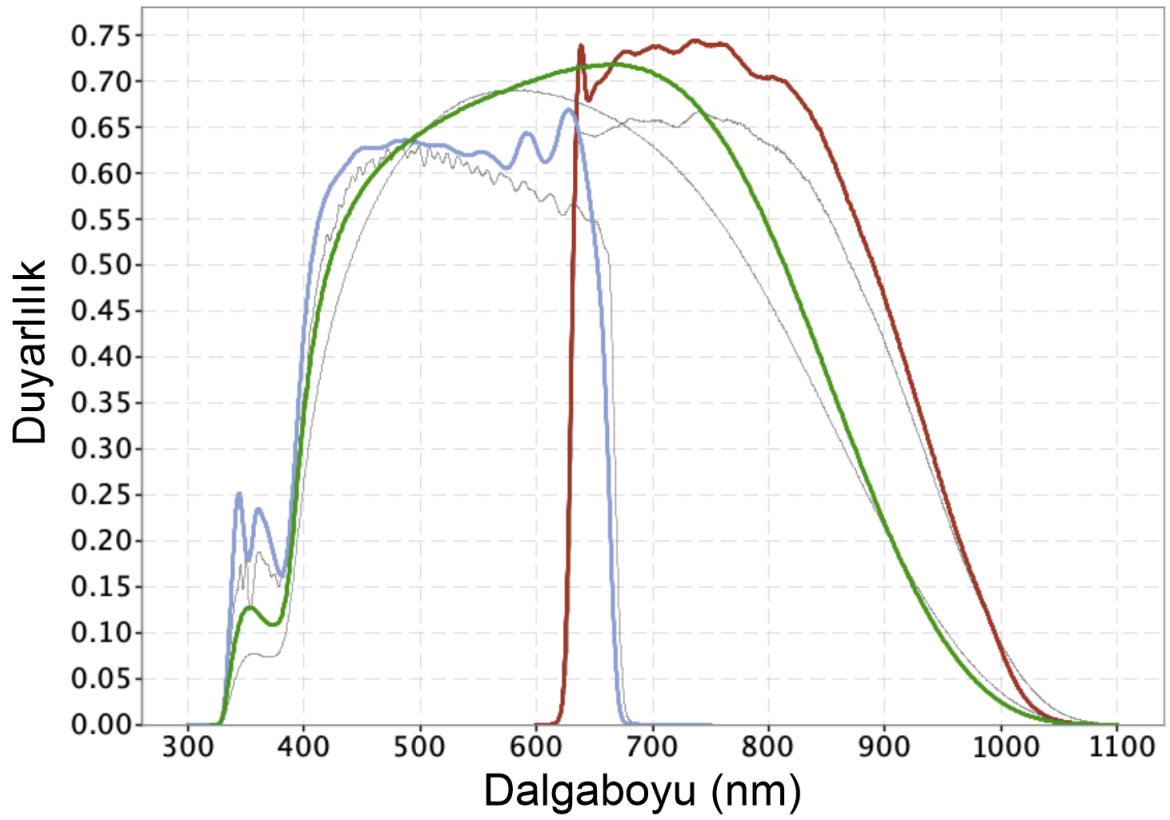
Gaia uydusunun göreve başladığı tarihten bugüne kadar üç ayrı veri sürümü yayınlanmıştır. *Gaia* uydusunun ilk veri sürümü (DR1; Gaia işbirliği, 2016a) uydu fırlatıldıktan 1,000 gün sonra yayımlanmıştır. *Gaia* DR1'de 1,142,679,769 nesnenin ölçülen *G*-bandı parlaklıkları ve 2.5 milyon yıldızın *Hipparcos* ve *Tycho-2* verilerini içeren bir alt veri seti (TGAS; Tycho-GAIA Astrometric Solution - Michalik ve diğ., 2015) bulunmaktadır. TGAS'ta parlak yıldızların ekvatoral koordinatları, öz hareket bileşenleri ve trigonometrik paralaksları yer alır. *Hipparcos*

verilerinden sonra yaklaşık 20 kat daha büyük olan TGAS verilerinin astronomlar tarafından kullanılması, Güneş civarındaki yapının anlaşılmasında önemli rol oynamıştır.

Gaia konsorsiyumu ikinci veri sürümü (*Gaia* DR2) 25 Nisan 2018 tarihinde *Gaia* uydusunun ilk 22 ay boyunca topladığı verilere dayanır (Gaia işbirliği, 2018). *Gaia* DR2'de 1.3 milyardan fazla nesnenin duyarlı trigonometrik paralaks ve öz hareket bileşenlerinin ölçümlerine ilave olarak hassas ve homojen üç-bant tüm gökyüzü fotometri verileri ve $G \leq 13$ kadire kadar radyal hız verilerini içerir. Bu katalogda, 1,692,919,135 nesnenin astrometri, geniş-bant fotometrisi, radyal hız, değişen yıldız sınıflandırmasıyla ışık eğrisi karakterizasyonu ve yıldızların temel astrofizik parametrelerinin ölçümü bulunmaktadır. Katalogdaki tüm nesnelerin *G*-bandı parlaklığı ölçülmüş; 1,331,909,727 gök cisminin beş temel astrometrik parametresi (ekvatoral koordinatlar, radyal hız, öz hareket bileşenleri); 1,381,964,755 gök cisminin G_{BP} ve 1,383,551,713 gök cisminin G_{RP} bantlarındaki parlaklıkları verilmiştir. Ölçülen trigonometrik paralaks belirsizlikleri görünen *G* parlaklığına göre değişmektedir. Buna göre $G < 15$ kadir için $\sigma_{\varpi} = 0.04$ mas, $G = 17$ kadir civarında $\sigma_{\varpi} = 0.1$ mas ve $G = 20$ kadir için $\sigma_{\varpi} = 0.7$ mas'tır, *Gaia* gökyüzü taraması $4 < G < 12$ kadir aralığında tam olup radyal hız hassasiyeti $G = 11.75$ kadir için $T_{eff} = 5500$ K'de 1.4 km/sn ve $T_{eff} = 5500$ K'de 3.6 km/sn'dir (Gaia işbirliği, 2018).

Gaia uydusunun güncel veri sürümü 3 Aralık 2020 tarihinde astronomların kullanımına açılan *Gaia* Erken Veri Sürümü 3'tür (*Gaia* EDR3; Gaia işbirliği, 202). Son veri sürümünde, *Gaia* uydusunun 25 Temmuz 2014 ile 28 Mayıs 2017 tarihleri arasında gerçekleştirdiği 34 aylık gözlemlerin indirgenmesiyle elde edilen fotometrik ve astrometrik veriler ile bir önceki sürümde verilen radyal hız ölçümleri yapılmış yaklaşık 7.2 milyon yıldızın radyal hızları bulunmaktadır. *Gaia* uydusuyla tayfları alınan yıldızların radyal hızları Ca II üçlüsü civarında yaklaşık $R = 11{,}500$ çözünürlük ile belirlenmektedir (Sartoretti ve diğ., 2018). *Gaia* EDR3'teki fotometrik veriler, *G* (3300-10500 Å; yeşil), G_{BP} (3300-6800 Å; mavi) ve G_{RP} (6300-10500 Å; kırmızı) olmak üzere üç geniş banttan elde edilmektedir (Şekil 2.10). Son veri sürümünde yaklaşık 1.8 milyar kaynağın ekvatoral koordinatları (α, δ), öz hareket bileşenleri ($\mu_{\alpha}\cos\delta$, μ_{δ}), trigonometrik paralakslarına (ϖ) ait ölçümler ve bu parametrelerin belirsizlikleri yer almaktadır. *Gaia* EDR3 veri tabanındaki trigonometrik paralaksların duyarlılığı kaynakların *G* görünen parlaklığına göre değişmektedir. Görünen parlaklıkları $G < 15$ kadir için $\sigma_{\varpi} = 0.03$ mas, $G = 17$ kadirde $\sigma_{\varpi} = 0.07$ mas ve $G = 20$ kadir için de $\sigma_{\varpi} = 0.5$ mas'tır. Benzer olarak, veri tabanındaki kaynakların öz hareket ölçümlerine ait belirsizlikler $G < 15$ kadir için 0.03

mas/yıl, G = 17 kadir için 0.07 mas/yıl ve G = 21 kadir için 1.40 mas/yıl'dır (Gaia işbirliği, 202). *Gaia* EDR3'te G = 12 kadirden daha parlak yıldızların radyal hız ölçümlerine ait belirsizlikler tayf türüne bağlı olarak $0.2 < \gamma_{hata} < 0.3$ km/sn aralığında değişmektedir (Gaia işbirliği, 2018).



Şekil 2.10: *Gaia* EDR3 kataloğunda kullanılan fotometrik filtrelerin G (yeşil), G_{BP} (mavi) ve G_{RP} (kırmızı) duyarlılık fonksiyonları. Gri renkli eğriler *Gaia* uydusu uzaya gönderilmeden önce tasarlanan bandların (Jordi ve diğ., 2010) duyarlılık fonksiyonlarını ifade etmektedir[5].

[5] https://www.cosmos.esa.int/web/gaia/edr3-passbands

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. VERİLER

Tez çalışmasına materyal sağlayan iki temel gökyüzü tarama programı bulunmaktadır. Yıldızların detaylı tayfsal analizlerinin yapıldığı ve bu analizler neticesinde yıldızların atmosfer model parametreleri ve radyal hız verileriyle birlikte element bolluklarının verildiği GALAH gökyüzü taraması tez çalışmasının tayfsal verilerini içermektedir. Program yıldızlarının koordinat, öz hareket ve trigonometrik paralaks verilerini içeren astrometrik verileri de *Gaia* uydu verilerinden alınmıştır. Bu verilerin bir araya getirilmesiyle yıldızların metal bolluğu, kinematik ve Galaktik dinamik yörünge hesapları yapılmıştır. Tez çalışmasına katkı yapan bu iki gökyüzü tarama programına ait verilerin sürümleri ve verilerin analizlere hazır hale getirilmesine ait süreç aşağıda detaylıca verilmiştir.

3.1.1. GALAH DR3

GALAH tayfsal gökyüzü tarama programı çerçevesinde Kasım 2013 ile Şubat 2019 tarihleri arasında Anglo-Avustralya Teleskobu ve ona bağlı olan HERMES tayfçekeriyle gözlenmiş veriler GALAH Veri Sürümü 3 (GALAH DR3) başlığı altında literatüre kazandırılmıştır (Buder ve diğ., 2021). GALAH DR3 veri tabanında 588,571 yıldıza ait 678,423 tayf gözleminin analizinden çoğu Güneş civarındaki yıldızlar için olmak üzere atmosfer model parametreleri, farklı elementlere ait bolluklar ve radyal hız verileri yer almaktadır. GALAH DR3 sürümüyle birlikte gözlemi yapılan tüm yıldızlar için sağlanan temel veriler aşağıda sıralanmıştır:

- HERMES tayf çekerinin dört dalgaboyu bölgesi boyunca alınan tek boyutlu tayflar,
- Radyal hızlar (γ)
- Atmosfer model parametreleri ($T_{\rm eff}$, log g, [Fe/H] ve $v_{\rm mic}$)
- Bolluk değeri ölçülen elementler (Li, C, O, Na, Al, K, Mg, Si, Ca, Ti, TiII, Sc, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Y, Ba, La, Rb, Mo, Ru, Nd, Sm, Eu)
- GALAH DR3 kataloğuna ek olarak farklı araştırmacılar tarafından üretilen yaş, kütle, uzaklık, Galaktik yörünge parametreleri.

Tez çalışmasına tayfsal katkılar sağlayacak GALAH DR3 veri tabanındaki veriler 588,571 yıldız için verildiğinden, GALAH konsorsiyumu güncel verileri web sayfalarındaki[6] veri kategorisinde 833 MB boyutlarında *GALAH_DR3_main_allstar_v2.fits* isimli bir dosyada toplanmıştır. Veriler web sayfasından ftp ile bilgisayar ortamına indirilmiştir. GALAH verilerinin analizi için Bölümümüzde geliştirdiğimiz Python kodları kullanılmıştır.

3.1.2. *Gaia* EDR3

Gaia EDR3 veri sürümünde, gökyüzü tarama programı çerçevesinde *Gaia* uydusunun 25 Temmuz 2014 ile 28 Mayıs 2017 tarihleri arasında gerçekleştirdiği 34 aylık gözlemlerin indirgenmesiyle elde edilen fotometrik ve astrometrik veriler ile bir önceki sürümde verilen radyal hız ölçümleri yapılmış yaklaşık 7.2 milyon yıldızın radyal hızları yer almaktadır (Gaia işbirliği, 202). *Gaia* grubu 1,811,709,771 kaynağın gözlem verilerini içeren üçüncü veri sürümünde (*Gaia* EDR3) araştırmacıların verilere ulaşabilmeleri için farklı kategorilerde sınıflama yapmışlardır. Yapılandırılmış sorgu dili kullanılarak *Gaia* EDR3 verileri araştırmacılar tarafından kolaylıkla sorgulanabilmektedir. *Gaia* EDR3 verileri literatürdeki farklı kataloglarla da eşleştirilerek 42 katalogda farklı tablo oluşturulmuş ve *Gaia* konsorsiyumunun *Gaia* DR3 web sitesindeki veri başlığı altında listelenmiştir[7]. Farklı gruplarda derlenmiş tablolar arasında en kapsamlı olanı 1,811,709,771 satır ve 100 sütun içeren *gaiaedr*3.*gaia_source* kataloğudur. Bu katalogda nesnelerin astrometrik ve fotometrik ölçümleri, ölçümlerin hataları ve nesnelerin astrofizik parametreleri bulunmaktadır.

Araştırmada GALAH DR3 veri tabanındaki yıldızların tayfsal, kinematik ve dinamik yörünge parametrelerinin incelenmesi hedeflendiğinden, *gaiaedr*3.*gaia_source* veri tabanı tablosundaki astrometrik ve fotometrik verilerin kullanılması gerekmiştir. *Gaia* EDR3 verilerinin konsorsiyum tarafından literatüre kazandırılması GALAH konsorsiyumundaki araştırmacıları tayfsal veriler ile *Gaia* astrometrik verilerini eşleştirmek zorunda bırakmıştır. GALAH DR3 verileri *Gaia* verileriyle birleştirilerek yayımlanmıştır (Buder ve diğ., 2021).

Genel olarak, *Gaia* veri tabanının son veri sürümü olan *Gaia* DR3 1.3 TB boyutunda dosya türü cvs biçimindeki bir dosyada derlenmiştir.

[6] https://cloud.datacentral.org.au/teamdata/GALAH/public/GALAH_DR3/
[7] https://gaia.aip.de/query/

3.2. YILDIZLARIN IŞIMA GÜCÜ SINIFLARININ BELİRLENMESİ

Yıldızların ışıma gücü sınıflarının belirlenmesi için Bilir ve diğ. (2020) tarafından yapılan çalışmalarında kullanılan yöntem tercih edilmiştir. Araştırmacılar farklı ışıma gücündeki yıldızları sınıflayabilmek için PARSEC (Padova TRieste Stellar Evolution Code) yıldız evrim yollarını kullanmışlardır (Bressan ve diğ., 2012, Tang ve diğ., 2014, Chen ve diğ., 2015). Bressan ve diğ. (2012) PARSEC evrim modelinde kütleleri $0.08 < M/M_{\odot} < 350$ aralığında bulanan teorik yıldızlar için ağır element bolluğu $0.0001 \leq Z \leq 0.060$ aralığında değişen 15 farklı Z değeri için hesap yapmışlardır. Bilir ve diğ. (2020) literatürde hassas atmosfer model parametreleri bilinen yıldızları ışıma gücü sınıflarına ayırabilmek için PARSEC yıldız evrim yollarını metal bolluğu gruplarına ayırarak farklı kütlelerdeki yıldızların evrim yollarını $\log g \times T_{\mathrm{eff}}$ diyagramlarına aktarmışlardır. Diyagramlarda yıldızların evrim yollarını analiz ederek sıfır yaş anakolu (ZAMS; Zero Age Main Sequence) ve terminal yaş anakollarını (Terminal Age Main Sequence) belirleyerek metal bolluğuna bağlı anakol – altdev ayrım sınırını belirlemişlerdir. Ayrıca aynı çalışma evrimleşmiş yıldızları (dev) belirleyebilmek için yıldızların yüzey çekim ivme değerlerine $\log g < 3.5$ cm/sn^2 sınırını getirmiştir. Böylece atmosfer model parametreleri bilinen farklı metal bolluğu aralıklarındaki yıldızların anakol – altdev ve altdev – dev ayırımları kolaylıkla yapılabilir hale getirilmiştir.

Tez çalışmasında GALAH DR3'teki (Buder ve diğ., 2021) yıldızların hassas atmosfer model parametreleri bilindiği için veri tabanındaki anakol yıldızlarının belirlenmesinde Bilir ve diğ.'nin (2020) literatüre kazandırdığı yöntem kullanılmıştır.

3.3. YILDIZLARIN UZAY HIZI HESABI

Yıldızların kinematik hesaplamalarında Johnson ve Soderblom'un (1987) geliştirdiği yöntem kullanılmıştır. Uzay hız bileşenlerinin (U, V, W) hesaplanabilmesi için yıldızların ekvatoral koordinatları (α, δ), radyal hızları (γ), öz hareket bileşenleri ($\mu_{\alpha}\cos\delta$, μ_{δ}), uzaklık (d (pc)= 1000/ϖ (mas)) ve bu parametrelerin hatalarının bilinmesi gerekmektedir. Uzay hızı bileşenlerinin hesaplanmasında sağ el koordinat sistemi tercih edilmiştir. Sağ el koordinat sistemine göre hesaplanan U hızı, Galaksi'nin merkezi doğrultusunda, V hızı Samanyolu'nun dönme doğrultusunda ve W hızı kuzey Galaktik kutup doğrultusunda hesaplanmaktadır. Uzay hızı hesaplarında J2000 epoğunda kuzey Galaktik kutbun (KGK) ekvatoral koordinatları $(\alpha, \delta)_{\mathrm{KGK}} = (12^{\mathrm{h}}\ 51^{\mathrm{m}}\ 26^{\mathrm{s}}.282, +27^{\mathrm{o}}\ 07'\ 42''.01)$ olarak alınmıştır. Uzay hızı hesaplarında kullanılan

üçüncü açı θ_0=123º'dir ve Galaktik boylamda (l=0°) ve kuzey Galaktik kutuptan geçen büyük yarım daireye göre kuzey göksel kutbunun konumudur. Sabit değerler uluslararası gök referans sistemi (ICRS; International Celestial Reference System) tarafından belirlenmiştir.

Yıldızların ekvatoral koordinatlarından Galaktik koordinatlarına geçişte literatürde T ismi verilen bir matris kullanılır.

$$\begin{bmatrix} \cos b \cos l \\ \cos b \sin l \\ \sin b \end{bmatrix} = T \begin{bmatrix} \cos \delta \cos \alpha \\ \cos \delta \sin \alpha \\ \sin \delta \end{bmatrix} \tag{3.1}$$

Burada T matrisi koordinat sistemleri arasındaki dönüşüm matrisi olarak bilinir ve Bağıntı (3.2)'de verilmiştir.

$$T = \begin{bmatrix} \cos \theta_0 & \sin \theta_0 & 0 \\ \sin \theta_0 & -\cos \theta_0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -\sin \delta_{KGK} & 0 & \cos \delta_{KGK} \\ 0 & -1 & 0 \\ \cos \delta_{KGK} & 0 & \sin \delta_{KGK} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \delta_{KGK} & \sin \delta_{\mathrm{KGK}} & 0 \\ \sin \delta_{KGK} & -\cos \delta_{KGK} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{3.2}$$

T matrisinin hesaplanmasında $(\alpha, \delta)_{\mathrm{KGK}}$ ve θ_0 için yukarıda verilen değerler dikkate alınmıştır.

$$T = \begin{bmatrix} -0.0548755604 & -0.8734370902 & -0.4838350155 \\ +0.4941094279 & -0.4448296300 & +0.7469822445 \\ -0.8676661490 & -0.1980763734 & +0.4559837762 \end{bmatrix} \tag{3.3}$$

Yıldızların uzay hız bileşenlerinin hesaplanmasında aşağıdaki matris kullanılır:

$$\begin{bmatrix} U \\ V \\ W \end{bmatrix} = B \begin{bmatrix} \gamma \\ k\mu_\alpha cos\delta / \varpi \\ k\mu_\delta / \varpi \end{bmatrix} \tag{3.4}$$

Burada B matrisi $B = T \times A$ ve k = 4.74057'dir. Eşitlikteki A matrisi de Bağıntı (3.5)'te verilmiştir.

$$A \equiv \begin{bmatrix} \cos \alpha \cos \delta & -\sin \alpha & -\cos \alpha \sin \delta \\ \sin \alpha \cos \delta & \cos \alpha & -\sin \alpha \sin \delta \\ \sin \delta & 0 & \cos \delta \end{bmatrix} \tag{3.5}$$

Uzay hızı bileşenlerindeki belirsizliklerin hesaplanmasında istatistikte kullanılan hataların yayılımı yöntemi tercih edilmiştir. Tanımlanmış bir G fonksiyonunda belirsizliği yıldızların uzay hız bileşenlerinin hataları cinsinden aşağıda verilen bağıntıyla belirlenebilir:

$$\sigma^2_{\mathrm{G(x,y,z)}} = \left(\frac{\partial G}{\partial x}\right)^2 \sigma^2_{\mathrm{x}} + \left(\frac{\partial G}{\partial y}\right)^2 \sigma^2_{\mathrm{y}} + \left(\frac{\partial G}{\partial z}\right)^2 \sigma^2_{\mathrm{z}}. \quad (3.6)$$

Bağıntı (3.6)'daki ifadede uzay hız bileşenlerinin hatalarınının hesaplanmasında Bağıntılar (3.3) ve (3.5)'te verilen *T* ve *A* matrislerinden bir hata yayılımı gelmediği varsayılmıştır. Bu durum, günümüzde yıldızların ekvatoral koordinatları çok duyarlı hesaplanabildiği için, koordinat dönüşüm matrislerinden bir hata gelmediği anlamını taşımaktadır. Yıldızların uzay hız bileşenlerindeki belirsizlikler *Gaia* DR3 verilerindeki öz hareket bileşenleri ve trigonometrik paralaks verileriyle birlikte GALAH DR3'te alınan radyal hız hatalarından kaynaklanmaktadır. Yıldızların uzay hızı bileşenlerine ait belirsizlikler Bağıntı (3.7)'de verilen ifadeyle hesaplanmıştır.

$$\begin{bmatrix}\sigma_U^2\\ \sigma_V^2\\ \sigma_W^2\end{bmatrix} = C\begin{bmatrix}\sigma_\gamma^2\\ (k/\varpi)^2\left[\sigma_{\mu_\alpha}^2 + (\mu_\alpha \cos\delta\sigma_\varpi/\varpi)^2\right]\\ (k/\varpi)^2\left[\sigma_{\mu_\delta}^2 + (\mu_\delta\sigma_\varpi/\varpi)^2\right]\end{bmatrix} + 2\mu_\alpha\cos\delta\mu_\delta k^2\sigma_\varpi^2/\varpi^4\begin{bmatrix}b_{12}b_{13}\\ b_{22}b_{23}\\ b_{32}b_{33}\end{bmatrix} \quad (3.7)$$

Bağıntı (3.7)'de verilen *C* matrisi, $C_{\mathrm{ij}} = B_{\mathrm{ij}}^2$ ifadesiyle gösterilen *B* matrisinin elemanlarının karelerinden oluşan 3×3'lük bir matristir.

Yıldızların toplam uzay hızı (*S*) ve toplam uzay hızlarındaki belirsizliklerin (S_{ht}) hesaplanmasında Bağıntılar (3.8 ve 3.9) kullanılmıştır.

$$S = (U^2 + V^2 + W^2)^{1/2} \quad (3.8)$$

$$S_{ht} = (U_{ht}^2 + V_{ht}^2 + W_{ht}^2)^{1/2} \quad (3.9)$$

Yıldızların Galaksi merkezi etrafındaki dolanma süreleri Galaksi'mizin iç bölgesinden dış bölgesine doğru yavaşlamaktadır. Bu da yıldızların Galaksi merkezi etrafında diferansiyel bir dönme göstermelerine neden olur. Bu etkinin ortadan kaldırılmasına yönelik detaylı bir çalışma Mihalas ve Binney (1981) tarafından gerçekleştirilmiştir. Mihalas ve Binney (1981) yıldızların *U* ve *V* hızlarına yapılan diferansiyel hız düzeltmelerini Bağıntılar (3.10 ve 3.11)'de vermektedir.

$$\mathrm{d}U = \gamma\cos l - v_{\mathrm{t}}\sin l, \quad (3.10)$$

$$\mathrm{d}V = \gamma\sin l - v_{\mathrm{t}}\cos l. \quad (3.11)$$

Burada *dU* ve *dV*, *U* ve *V* uzay hız bileşenlerine diferansiyel hız düzeltmelerini, γ radyal hızı, *l* Galaktik boylamı ve V_{t} de diferansiyel dönmeden kaynaklanan teğet hızını ifade etmektedir. *W* uzay hızı bileşenine bir düzeltme uygulanmaz; çünkü diferansiyel dönme etkisi sadece Galaktik

düzlem üzerinde etkilidir. Galaktik diferansiyel dönme düzeltmesi yapmak için *dU* ve *dV* değerlerinin *U* ve *V* uzay hızlarından çıkartılması gerekmektedir. Diferansiyel dönmenin Galaktik düzlem içinde olan radyal hız ve teğet hızları Bağıntılar (3.12 ve 3.13) kullanılarak hesaplanır:

$$\gamma = A\, d \sin 2l\,, \tag{3.12}$$

$$v_t = d\,(A\cos 2l + B). \tag{3.13}$$

Bağıntılardaki *A* ve *B* katsayıları Oort sabitleri olup, sırasıyla, 14.82 ± 0.84 km/(sn/kpc) ve -12.37 ± 0.64 km/(sn/kpc) olarak Feast ve Whitelock'un (1997) çalışmasından alınmıştır.

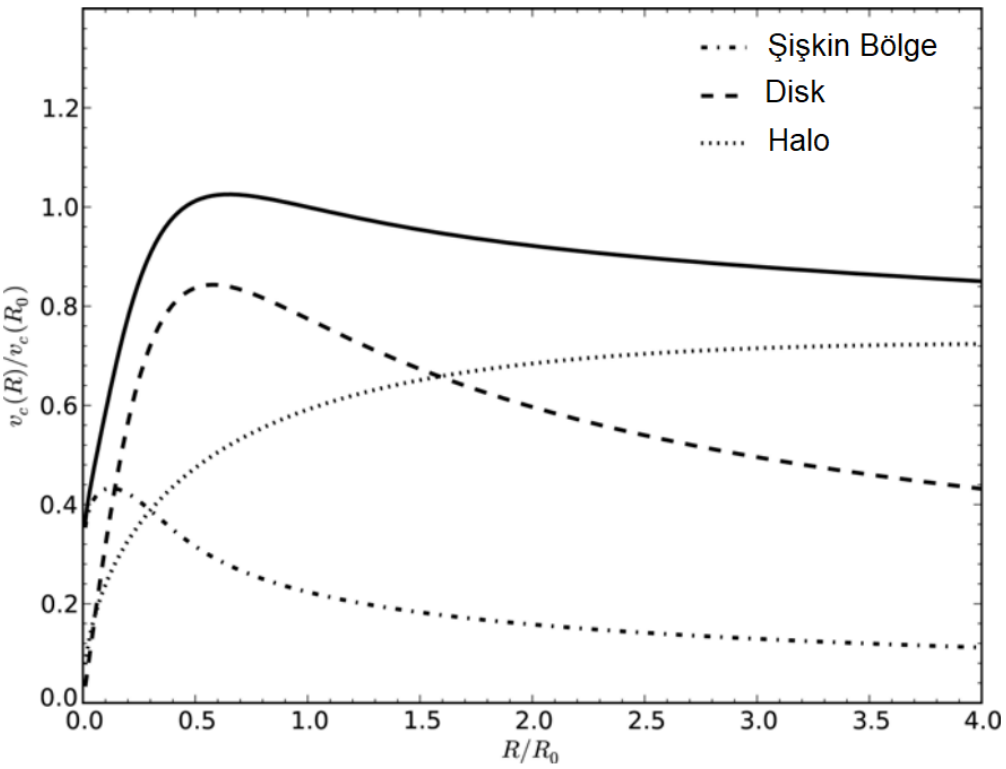
Uzay hızı bileşenlerini etkileyen bir başka yanlılık da yerel durağanlık standardıdır (LSR, Local Standart of Rest). Tayfsal gözlemler Güneş'ten yapıldığı için gözlenen yıldızların uzay hızı bileşenleri (*U, V, W*) Güneş'in uzay hızı bileşenlerini $(U, V, W)_\odot$ içermektedir. Bu kinematik yanlılığı ortadan kaldırmak için yıldızın uzay hızı bileşenlerinden Güneş'in uzay hızı bileşenlerinin çıkartılması gerekir. Tez çalışmasında LSR değerleri için Coşkunoğlu ve diğ.'nin (2011) tüm Galaktik popülasyonlar için verdiği $(U, V, W)_\odot$ = (8.83±0.24, 14.19±0.34, 6.57±0.21) km/sn değerler kullanılacaktır.

3.4. YILDIZLARIN GALAKTİK YÖRÜNGE PARAMETRELERİ

Anakol yıldızları uzun ömürlü olduklarından Galaksi merkezi etrafındaki yörünge hareketleri boyunca diğer nesnelerin çekimsel tedirginliklerinden etkilenir, böylece yıldızın uzay hızı ve Galaktik yörünge parametreleri zamanla değişir. Etkileşimler neticesinde yıldızlar doğum bölgesinden uzaklaşır ve zaman içinde Galaktik konumları değişir. Tez çalışmasında Samanyolu'nun evrim süreci, metal bolluğu gradyentleri (radyal ve dik doğrultularda) yardımıyla incelendiği için yıldızların yörünge parametrelerini belirlemek ve yörünge parametrelerinin zaman içerisindeki değişimlerini incelemek bu açıdan büyük önem arz etmektedir.

Yörünge parametreleri hesaplanırken Bovy (2015) tarafından *Python* programlama dilinde geliştirilen *galpy* kütüphanesinden yararlanılmıştır. *Galpy*, temel python bilimsel kütüphaneleri olan *scipy*, *numpy* ve *matplotlib*'i kullanır. Programın temelinde potansiyel ve yörüngeler bulunur. Bunlar sayesinde çok çeşitli potansiyeller ve onlara uygun yörüngeler hesaplanabilmektedir. Ayrıca programın yapısında çok sayıda fonksiyon bulunmaktadır. Bu fonksiyonlar ile *galpy*'nin yapısındaki temel potansiyeller özelleştirilebilir. Ayrıca

potansiyeller içerisindeki yörüngeler zamana göre integre edilip istenildiği şekilde düzenlenebilir ve yörüngelerin dağılımlarıyla elde edilebilir. *Galpy.potential* modülü, *MWPotential2014* ismiyle bilinen ve Samanyolu'nun çekimsel potansiyeli için tasarlanan, kullanımı kolay ve basit bir potansiyel içerir. *MWPotential2014* modeli Samanyolu'na dair en güncel verilerden yola çıkılarak, bu galaksiyi temsil eden dinamik etkilerin fit edilmesiyle oluşturulmuştur (Şekil 3.1). Bu özel model, düz bir dönme eğrisi ve sonsuz bir kütleyi işaret ettiğinden kaynaklar bu potansiyeli terk edemez.



Şekil 3.1: *MWPotential2014* modelinin Galaksi bileşenleri için ürettiği dönme eğrileri (Bovy, 2015). Apsis ekseni Güneş'in Galaksi merkezinden uzaklığına göre normalize edilmiş uzaklığı, ordinat ekseni Güneş'in dairesel hızına göre normalize edilmiş Galaktik merkezden uzaklığa bağlı dairesel hızını göstermektedir.

Galpy kodu içerisinde potansiyel fonksiyonlar için kullanılacak *MilkywayPotantial2014*, Galaksi'nin şişkin bileşeni için aşağıda verilen potansiyeli (Hernquist, 1990) kullanır.

$$\rho(r) = f_b \left(\frac{r_1}{r}\right)^{\alpha} \exp\left(-(r/r_c)^2\right) \tag{3.14}$$

Bağıntıda yer alan r_1 ve r_c sınır yarıçap değerlerini; A, kütle yoğunluğu içerisindeki potansiyele uygulanan genlik terimini ifade eder. Galaksi disk bileşeni için de Miyamoto ve Nagai (1975) tarafından önerilen aşağıdaki potansiyel kullanılmaktadır.

$$\Phi(R,z) = -\frac{f_d}{\sqrt{R^2+\left(a+\sqrt{z^2+b^2}\right)^2}}, \tag{3.15}$$

Burada z Galaktik düzleme dik uzaklığı, R_{GC} ise Galaksi merkezinden uzaklığı temsil etmektedir. M_d Galaksi diskinin kütlesi ve G de evrensel kütle çekim sabitidir. A_d ve b_d, sırasıyla, disk için uzunluk ve yükseklik ölçeklerini tanımlar. Navarro ve diğ. (1996) tarafından Galaksi'nin halo bileşeni için verilen potansiyel aşağıdaki gibidir:

$$\phi(r) = \frac{GM_s}{R_{GC}} \ln\left(1+\frac{R_{GC}}{r_s}\right) \tag{3.16}$$

Bağıntıda yer alan r_s ve M_s, sırasıyla, Galaktik halo için toplam kütle ve yarıçap değerleridir. Yukarıda verilen potansiyellere ait bütün parametreler Tablo 3.1'de listelenmiştir (Bovy, 2015).

Tez çalışmasında GALAH DR3 veri tabanında anakol olarak belirlenen yıldızların uzay hızları ve Galaktik yörünge parametreleri *MWPotential2014* kodu kullanılarak hesaplanmıştır. Yıldızların hassas yörünge parametrelerini elde edebilmek için Galaksi merkezi etrafındaki yörüngelerinin kapalı olması gerektiğinden, yıldızların yörüngeleri 5 Gyıl'lık bir sürede 10.000 yıllık adımlar ile oluşturulmuştur. Yıldızların Galaktik yörünge analizleri tamamlandıktan sonra yıldızların çember yörünge yarıçapı olarak bilinen rehber yarıçap (R_{Rehber}), Galaksi merkezine en uzak (R_a) ve en yakın (R_p) mesafeleriyle Galaktik düzlemden ayrılabilecekleri en büyük dik uzaklık (Z_{max}) hesaplanmıştır. Yıldızların rehber yarıçapı $R_{Rehber} = r \times V_\phi / V_c$ bağıntısıyla hesaplanır. Bağıntıdaki r yıldızın Galaktik yörüngesinin yarıçapını, V_ϕ yıldızın Galaksi merkezine göre teğet hızını ve V_c yıldızın Galaksi merkezine göre dairesel hızını ifade eder (Minchev ve diğ., 2018). Yıldızların Galaktik düzlem üzerindeki yörünge basıklıklarının (e_p) ve Galaksi merkezine ortalama uzaklıklarının (R_M) hesabı için, sırasıyla, Bağıntı (3.17) ve Bağıntı (3.18) kullanılmıştır.

$$e_p = \frac{R_a - R_p}{R_a + R_p} \tag{3.17}$$

$$R_M = \frac{R_a + R_p}{2} \tag{3.18}$$

Tablo 3.1: *MWPotential2014* potansiyelinde kullanılan parametre değerleri (Bovy, 2015).

Parametre	***MWPotential2014***	**Değer Aralığı**
R_0 (kpc)	8	…
$v_c(R_0)$ (km/sn)	220	…
f_b	0.05	…
f_d	0.60	…
f_h	0.35	…
Şişkin bölge kuvvet yasası katsayısı	-1.8	…
Şişkin bölge kesilme yarıçapı (kpc)	1.9	…
a (kpc)	3.0	…
b (pc)	280	…
Halo r_s (kpc)	16	…
σ_b (km/sn)	109	117 ± 15
F_z (R_0, 1.1 kpc) ($2\pi G M_\odot/pc^2$)	72	67 ± 6
$\Sigma_{vis}(R_0)(M_\odot/pc^2)$	53	55 ± 5
F_z yükseklik ölçeği (kpc)	3.2	2.7 ± 0.1
ρ (R_0, $z = 0$) ($M_\odot/pc^3$)	0.10	0.10 ± 0.01
$(d \ln v_c / d \ln R)\,|_{R0}$	-0.10	-0.2 ile 0
M ($r < 60$ kpc) ($10^{11}\ M_\odot$)	4.1	4.0 ± 0.7
M_b ($10^{10}\ M_\odot$)	0.5	…
M_d ($10^{10}\ M_\odot$)	6.8	…
R_d (kpc)	2.6	…
ρ_{DM} (R_0) ($M_\odot/pc^3$)	0.008	…
M_{vir} ($10^{12}\ M_\odot$)	0.8	…
r_{vir} (kpc)	245	…
v_{esc} (R_0) (km/sn)	513	…

3.5. KİMYASAL EVRİM MODELİ

Kimyasal evrim modelleri, büyük patlamadan sonra üretilen elementlerin yıldızlara dönüşümü ve yıldız evrimleri neticesinde farklı türden element üretimi sonucunda Evren'deki ağır element bolluğunun artışını ifade eden matematiksel ifadelerdir. Kimyasal süreçlerin zamana bağlı analizleri sayesinde Galaksi oluşumuna yönelik senaryoların sınanması ve farklı türden yıldızların oluşum süreçlerinin incelenmesi söz konusudur. Kimyasal evrim modellerinin

oluşturulmasında Evrendeki çoğu süreç tam anlamıyla bilinmediğinden yıldızlar oluşturmak üzere gaz ve tozdan oluşan molekül bulutunun parçalanarak yıldızlara dönüştüğü, büyük patlamadan sonra oluşan ağır elementlerin yıldızların çekirdeklerinde üretildiği ve büyük kütleli yıldızların süpernova geçirerek yıldızlararası ortamı kimyasal bakımdan zenginleştiği gibi birçok varsayım dikkate alınır. Literatürde birçok araştırmacının teorik olarak hazırladığı kimyasal evrim modeli bulunmaktadır (Chiappini ve diğ., 1997; Chiappini, 2001; Schönrich ve Binney, 2009b; Binney, 2012; Nidever ve diğ., 2014; Sanders ve Binney, 2015; Minchev ve diğ., 2015; Hayden ve diğ., 2015; Andrews ve diğ., 2017). Bunların içinde güncel olanı modellerinde kimyasal evrimin yanında Galaktik nesnelerin kinematik davranışlarını da dikkat alan ve kemo-dinamik bir model olarak üretilen *Sharma modeli*dir (Sharma ve diğ., 2020).

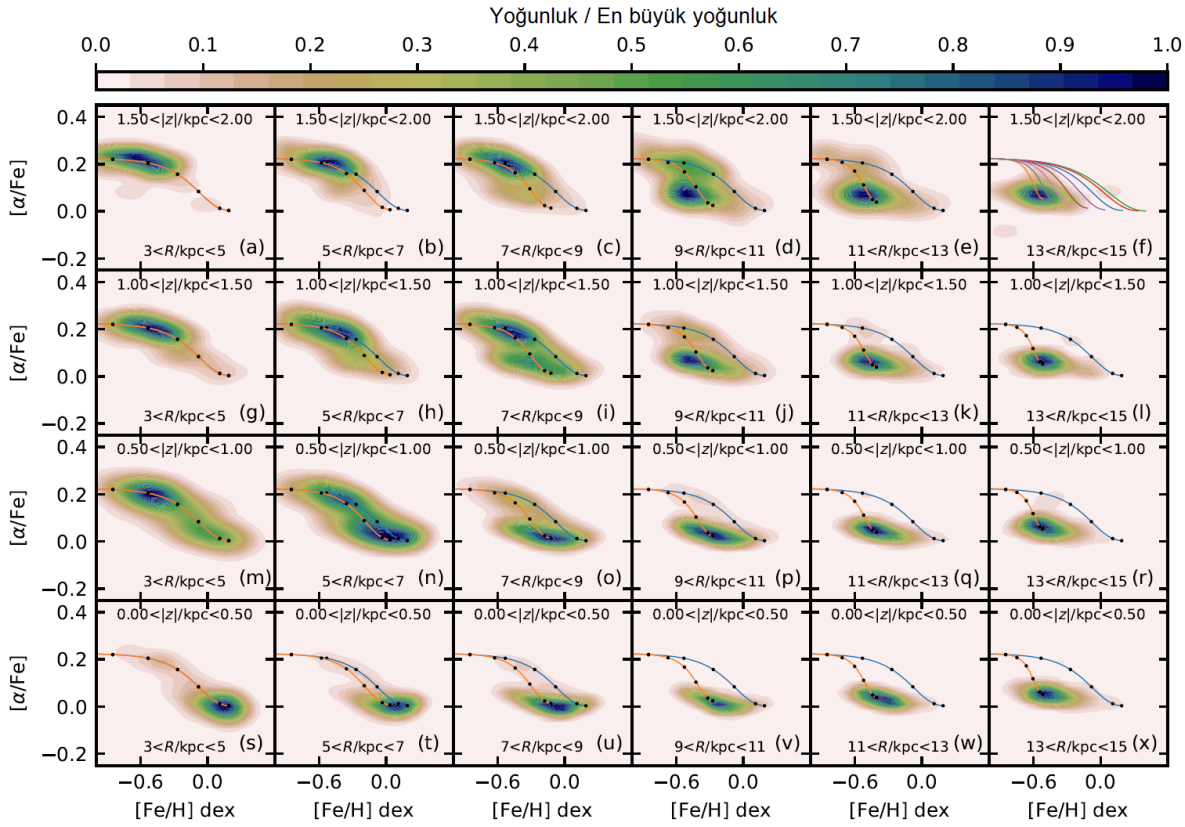
Sharma ve diğ.'nin (2020) oluşturdukları kimyasal evrim modelinde, Galaksi'deki yıldızların farklı R ve $|z|$ konumlarındaki [Fe/H] ve [α/Fe] bolluk dağılımlarının yanında yıldızların hız dağılımları, yaş ve açısal momentumlarının metal bolluklarıyla ilişiklerini de dikkate almaktadır. Modelin amacı Samanyolu'ndaki yıldızların temel astrofizik parametrelerinin farklı düzlemlerdeki ortak dağılımlarını tahmin etmektir. Tayfsal ve astrometrik gözlemler sayesinde çok sayıda yıldızın konum, hız, yaş, demir bolluğu, alfa bolluğu gibi parametrelerine ulaşılabilmektedir. Dolayısıyla aranan dağılım fonksiyonu p (x, v, τ, [Fe/H], [α/Fe]|θ)'dur, burada θ modelin serbest parametresini gösterir. Uzun bir parametre listesine sahip olan kimyasal evrim modelinin sabitleri Sharma ve diğ.'nin (2020) çalışmasında verilmiştir. Model Sanders ve Binney (2015) tarafından önerilen dağılım fonksiyon modelinin geliştirilmiş bir halidir. Sharma ve diğ.'leri (2020), Sanders ve Binney (2015) modeline yıldızların alfa element bollukları ve hız dispersiyonlarının dağılımlarını eklemişlerdir. Ayrıca Sanders ve Binney (2015) modelinde faz uzayı dağılımı ve eyleme dayalı yarı-izotermal dağıtım işlevi yerine Shu dağıtım işlevi (Shu 1969) kullanılarak model hesaplamaları sadeleştirilmiştir.

Modeldeki işlemlerin basitleştirilmesi adına Galaksi'nin asimetrik olduğu varsayılmıştır. Çubuklar ve spiral kollar gibi eksenel simetriye sahip olmayan yapıların varlığı bu kabulün bir kanıtıdır. Azimut geçiş zaman ölçeği Galaksi'nin yaşıyla karşılaştırıldığında oldukça küçüktür, bu yüzden çok genç yıldızlar dışında eksen simetrisi Samanyolu'ndaki yıldızların çoğu için iyi bir yaklaşım kabul edilebilir. Galaksi'nin asimetri kabulü nedeniyle modelde silindirik koordinatlarda (R, φ, z, v_R, v_φ ve vz) hesaplamalar gerçekleştirilmiştir.

Samanyolu'ndaki yıldızlar, Galaktik merkezin etrafındaki çember yörüngede bulunan soğuk gaz ve tozdan oluşan yıldızlararası ortamda doğarlar. Yıldızlar doğdukları gazın kimyasal ve kinematik özelliklerini içlerinde barındırır. Bu nedenle kemo-dinamik modelin temel yapı taşı doğum yarıçapı R_b ve bir grupta oluşan yıldızların τ yaşıdır. Galaksi'nin kimyasal evrimi, element bolluklarının τ ve R_b'nin bir fonksiyonu olarak belirlenir. Kemo-dinamik modelde yıldızların ortak element bolluğu dağılımı aşağıdaki bağıntılar ile ifade edilir:

$$\begin{aligned} p(\mathbf{x},\mathbf{v},\tau,[\mathrm{Fe/H}]',[\alpha/\mathrm{Fe}]') = p(\mathbf{x},\mathbf{v}|\tau,R_b)p(\tau,R_b)\times \\ \frac{\partial[\mathrm{Fe/H}](\tau,R_b)}{\partial R_b}\times \\ \mathcal{N}\left([\mathrm{Fe/H}]'|[\mathrm{Fe/H}](\tau,R_b),\sigma_{[\alpha\mathrm{Fe}]}\right)\times \\ \mathcal{N}([\alpha/\mathrm{Fe}]'|[\alpha/\mathrm{Fe}](\tau,R_b),\sigma_{[\mathrm{Fe/H}]}) \end{aligned} \tag{3.19}$$

Sharma ve diğ. (2020) oluşturdukları kemo-dinamik modelde Galaksi merkezinden ve Galaktik düzlemden farklı uzaklıklar için [α/Fe]×[Fe/H] düzleminde yıldız yaşlarıyla değişimleri incelemişlerdir. Kemo-dinamik model ile üretilen sonuçlar Şekil 3.2'de gösterilmiştir. Her bir panelde APOGEE tayfsal gökyüzü programında gözlemiş ve atmosfer model parametreleriyle çok sayıda element bolluğu ölçümü yapılan yıldızlar sayı yoğunluğuna göre işaretlenmiştir. Ayrıca her bir panelde (farklı R ve $|z|$ aralıkları için) kemo-dinamik model ile üretilen yıldız yaşları turuncu çizgi üzerinde 1, 2, 4, 6, 8, 10, 12 ve 14 Gyıl'a karşılık gelen nokta sembolüyle gösterilmiştir. Ayrıca panellerde mavi renk ile gösterilen çizgi, bir fikir vermesi adına, doğum yarıçapı R_{GC} = 4 kpc uzaklık için verilmiştir.

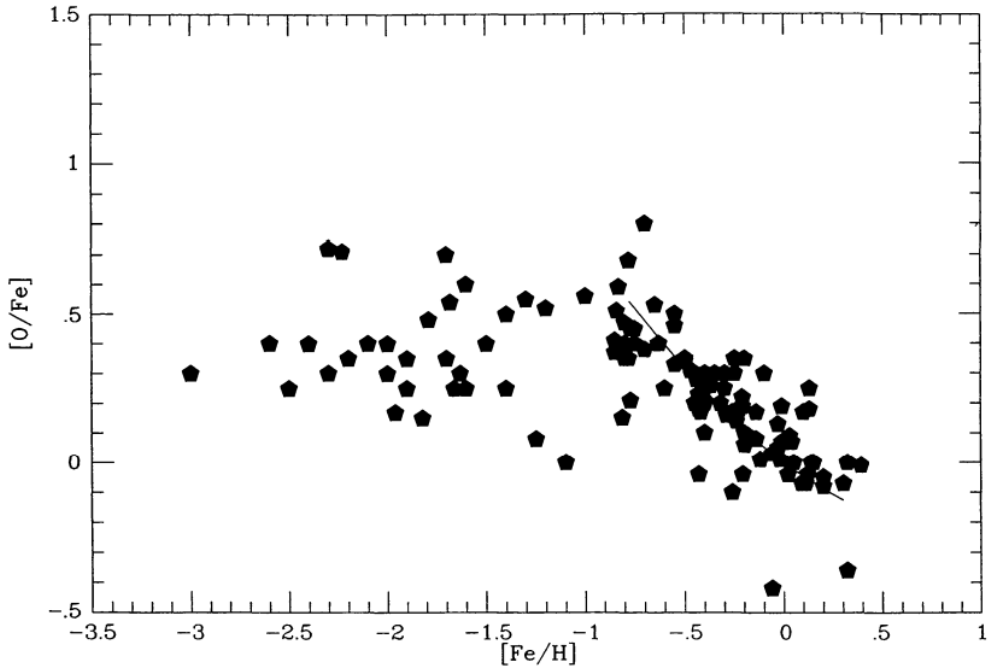


Şekil 3.2: [α/Fe] × [Fe/H] metal bolluğu düzleminde farklı *R* ve *Z* uzaklık aralıklarında bulunan APOGEE yıldızları. Paneller içindeki semboller ve çizgiler metin içinde açıklanmıştır (Sharma ve diğ., 2020).

3.6. POPÜLASYON TAYİNİ

Samanyolu'ndaki yıldızları popülasyon sınıflarına ayırmak oldukça zordur. Bu zorluk Güneş civarında veya Galaksi'nin farklı doğrultularında yapılan çalışmalarda farklılıklar içermektedir. Güneş civarında yapılan araştırmalarda trigonometrik paralaks yöntemine duyarlı uzaklık tayini ve element bolluğu yıldızın popülasyon sınıfını duyarlı belirleyebilirken (Nordström ve diğ., 2004, Holmberg ve diğ., 2007; 2009) farklı doğrultularda gerçekleştirilen gökyüzü tarama programlarında yıldızların popülasyon sınıflaması ancak yıldız sayımlarıyla kuramsal Galaksi modellerinin karşılaştırılmasıyla yapılabilmektedir (Gilmore ve Reid, 1983; Buser ve diğ., 1998; 1999; Bilir ve diğ., 2006a; 2008; Ak ve diğ., 2007; Yaz ve Karaali, 2010). Bir başka yöntem yine yakın yıldızların uzay hızlarının belirlenmesine dayalıdır (Bensby ve diğ., 2003).

Son zamanlarda teknolojideki gelişmeler odak düzlemi aletlerindeki hassasiyeti arttırmış ve bu da RAVE (Steinmetz ve diğ., 2006), APOGEE (Majewski ve diğ., 2017), GALAH (De Silva ve diğ., 2015) gibi tayfsal gökyüzü programlarının başlatılmasını sağlamıştır. Özellikle APOGEE ve GALAH gökyüzü tarama programlarındaki tayfsal çözünürlük ile S/N oranının yüksek olması farklı ışıma gücü sınıfında gözlenen yıldızların atmosfer model parametrelerinin yanı sıra tek tek elementlerin bolluk değerlerinin ölçülmesine fırsat vermiştir. Hesaplanan bolluklar için alfa türü zenginleşme gösteren C, O, Mg, Ne gibi elementlerin bulunması yıldızlar için [α/Fe] bolluğunun belirlenmesine fırsat vermiştir. Gilmore, Wyse ve Kuijken (1989) Galaksi'de farklı popülasyonlarda bulunan yıldızların [O/Fe] ve [Fe/H] bolluklarının farklı değerlerde olduğunu göstermiştir (Şekil 3.3). Günümüzde artan tayfsal çalışmalar neticesinde bir milyona yakın yıldızın bolluk değerleri ölçülmüş ve [α/Fe] × [Fe/H] düzlemi Galaktik popülasyon sınıflamasında kullanılmaya başlamıştır.

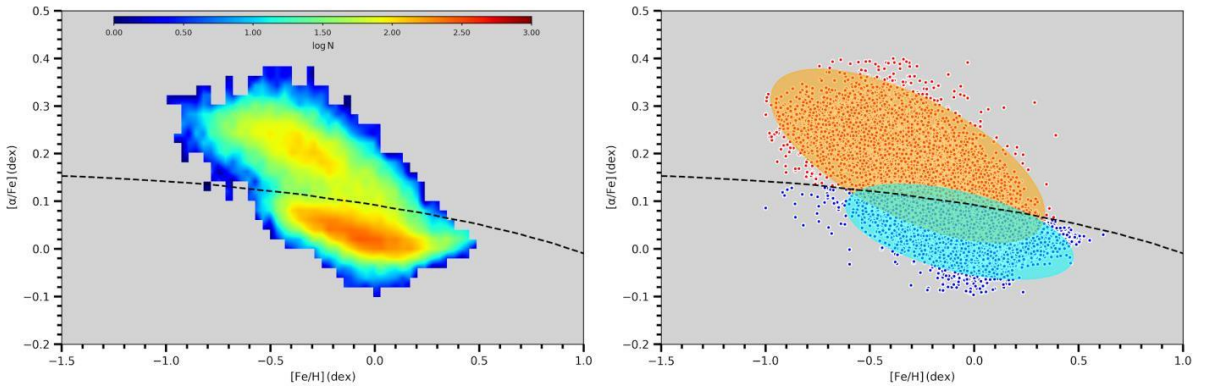


Şekil 3.3: Tayfsal analizler ile O, Fe ve H bolluğu ölçümü yapılmış yıldızların [O/Fe] × [Fe/H] düzlemindeki dağılımları (Gilmore, Wyse ve Kuijken, 1989).

Tez çalışmasında [α/Fe] × [Fe/H] düzlemi üzerinde yıldızların Galaktik popülasyon ayırımına ait ayrım çizgisini ortaya koyan Plevne ve diğ.'nin (2020) güncel çalışması dikkate alınmıştır. Plevne ve diğ. (2020) APOGEE ve GALAH tayfsal gökyüzü programındaki yıldızları kiel diyagramı üzerine işaretleyerek kırmızı yığın yıldızları seçmişlerdir. Daha sonra APOGEE ve GALAH konsorsiyumunca verilen element bolluklarını dikkate alarak seçtikleri kırmızı yığın

yıldızlarını [α/Fe]×[Fe/H] diyagramı üzerinde işaretlemişlerdir. Oluşturdukları örnekteki yıldızların popülasyon türlerini belirleyebilmek için gözetimsiz makine öğrenme algoritması olan Gauss Karışım Modelini (GMM) kullanarak yıldızları kimyasal bakımdan Galaktik popülasyon sınıflarına ayırmışlardır. Kırmızı yığın yıldızlarının GMM ile iki Galaktik popülasyona ayrımları [α/Fe] × [Fe/H] diyagramı üzerindeki Şekil 3.4'te gösterilmiştir.

Tez çalışmasında bir makine öğrenme kütüphanesi olan sklearn version 0.19.1 (Pedregosa ve diğ., 2011) kullanılarak GALAH DR3 yıldızlarına GMM uygulanmıştır. Uygulamada kullanılan iki model parametresi vardır. Grup içerisinde popülasyon sayısını belirlemek için *n_components* parametresinin değerine "2" yazılmıştır. Popülasyonların istatistiksel tanımını yapabilmek için Gauss yüzeylerinin kovaryans matrislerinin ifade edilmesinde *covariance_type* parametresine değer olarak "tam" ifadesi atanmıştır.



Şekil 3.4: Kırmızı yığın yıldızlarının [α/Fe] × [Fe/H] düzleminde dağılımları. Sol panel: Dağılım logaritmik sayı yoğunluğuna göre verilmiştir. Siyah kesikli çizgi Gauss karışım yönteminin karar sınırı çizgisini temsil eder. Sağ panel: KY yıldızlarının saçılma grafiğidir. Kırmızı ve mavi noktalar, sırasıyla, yüksek-α (kalın disk ve halo) ve düşük-α (ince disk) popülasyonlarını gösterir. Turuncu ve turkuaz elipsler kimyasal uzay için her bir Gauss'un 1σ olasılık dağılımıdır (Plevne ve diğ., 2020).

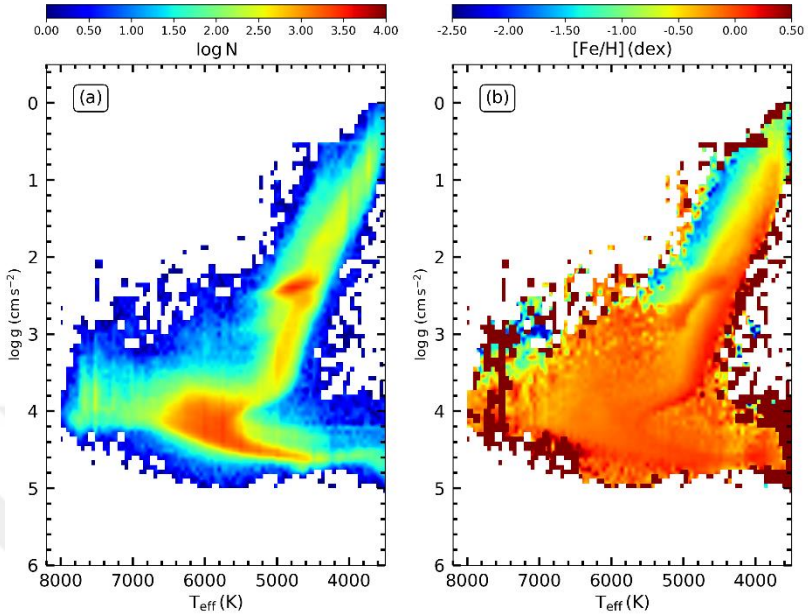
4. BULGULAR

4.1. ANAKOL YILDIZLARININ SEÇİMİ

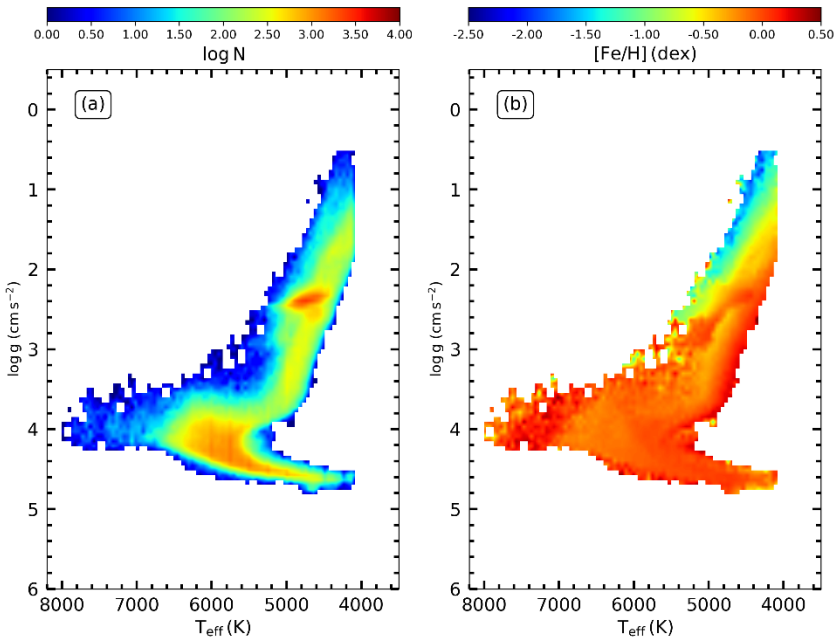
Tez çalışmasında kullanılan tayfsal veriler GALAH DR3 veri tabanından alınmıştır (Buder ve diğ. 2021). GALAH konsorsiyumundaki araştırmacılar, *Gaia* EDR3 (Gaia işbirliği, 2021) veri tabanının araştırmacıların ortak kullanımına sunulmasıyla birlikte GALAH veri tabanındaki yıldızlarının koordinat verilerini dikkate alarak *Gaia* verileriyle eşleştirilmiş ve GALAH DR3 kataloğunu güncellemiştir. GALAH DR3 kataloğunda 588,571 yıldızın ekvatoral ve Galaktik koordinatları, atmosfer model parametreleri ($T_{\rm eff}$, log g, [Fe/H] ve $v_{\rm mic}$), element bollukları (Li, C, O, Na, Al, K, Mg, Si, Fe, Ca, Ti, TiII, Sc, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Y, Ba, La, Rb, Mo, Ru, Nd, Sm, Eu), radyal hızları (γ), öz hareket bileşenleri (μ_α cos δ, μ_δ), trigonometrik paralaksları (ϖ) ve yaşları (τ) ile bu parametrelere ait belirsizlikler verilmiştir (Buder ve diğ. 2021).

GALAH DR3 kataloğundaki yıldızların ışıma gücü sınıflarını inceleyebilmek için örnekteki yıldızlar etkin sıcaklıkları ($T_{\rm eff}$) ve yüzey çekim ivmelerine (log g) göre oluşturulan HR diyagramları üzerine yıldızların sayı yoğunluğu (Şekil 4.1a) ve demir bolluğuna (Şekil 4.1b) göre işaretlenmiştir. Yıldızların sayı yoğunluğuna göre oluşturulan HR diyagramında yıldızların çok büyük bir saçılma göstermesine rağmen anakol, dönüm noktası, kırmızı dev kolu ve kırmızı yığın yıldızlarının bulunduğu bölgelerin belirgin olduğu tespit edilmiştir. Benzer durum metal bolluğuna göre oluşturulan HR diyagramında da görülmüştür. Anakol bandındaki yıldızların büyük kısmı [Fe/H] = -1 dex den daha zengin görülürken, evrimleşmiş yıldızların daha geniş bir metal bolluğu aralığında (-2 < [Fe/H] < 0.5 dex) yer aldıkları belirlenmiştir. HR diyagramları üzerindeki yıldız saçılmalarını en aza indirgemek ve daha kaliteli verilere sahip yıldızları seçebilmek için atmosfer model parametreleri ($T_{\rm eff}$, log g, [Fe/H] ve $v_{\rm mic}$) belirlenmiş, alfa element bollukları ve radyal hızları ölçülmüş, trigonometrik paralaksı $\varpi > 0$ (mas), GALAH konsorsiyumun kaliteli tayf verilerini ifade eden *flag_sp = 0*, *flag_alpha_fe = 0*, *flag_fe_h = 0* değerleriyle demir bolluğundaki hataları 0.10 dex'ten küçük ve yaş değeri hesaplanmış olanlar seçilmiştir. GALAH DR3 kataloğuna getirilen sınırlamalar sonucunda verileri hassas olan 281,143 yıldıza ulaşılmış ve bu yıldızların sayı yoğunluğu ve demir bolluğuna göre oluşturulmuş güncel HR diyagramları Şekil 4.2'de gösterilmiştir. Örnekteki

yıldızların %53'ü istatistik dışı bırakılmış ve seçilen yıldızların HR diyagramlarındaki konumlarında belirgin bir iyileşme görülmüştür.

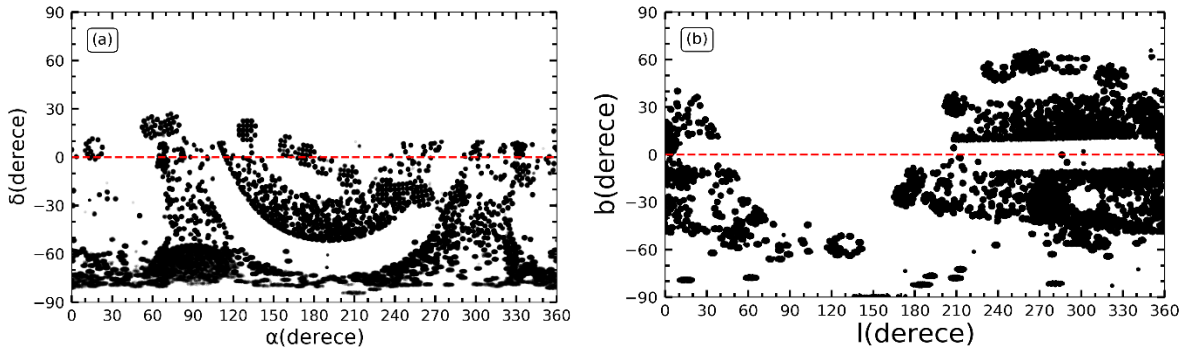


Şekil 4.1: GALAH DR3 kataloğundaki nesnelerin HR diyagramları: (a) yıldız sayı yoğunluğuna ve (b) demir bolluklarına göre renklendirilmiştir.



Şekil 4.2: GALAH DR3 kataloğuna getirilen sınırlamalar sonucu oluşturulan HR diyagramları: (a) yıldız sayı yoğunluğuna ve (b) demir bolluklarına göre renklendirilmiştir.

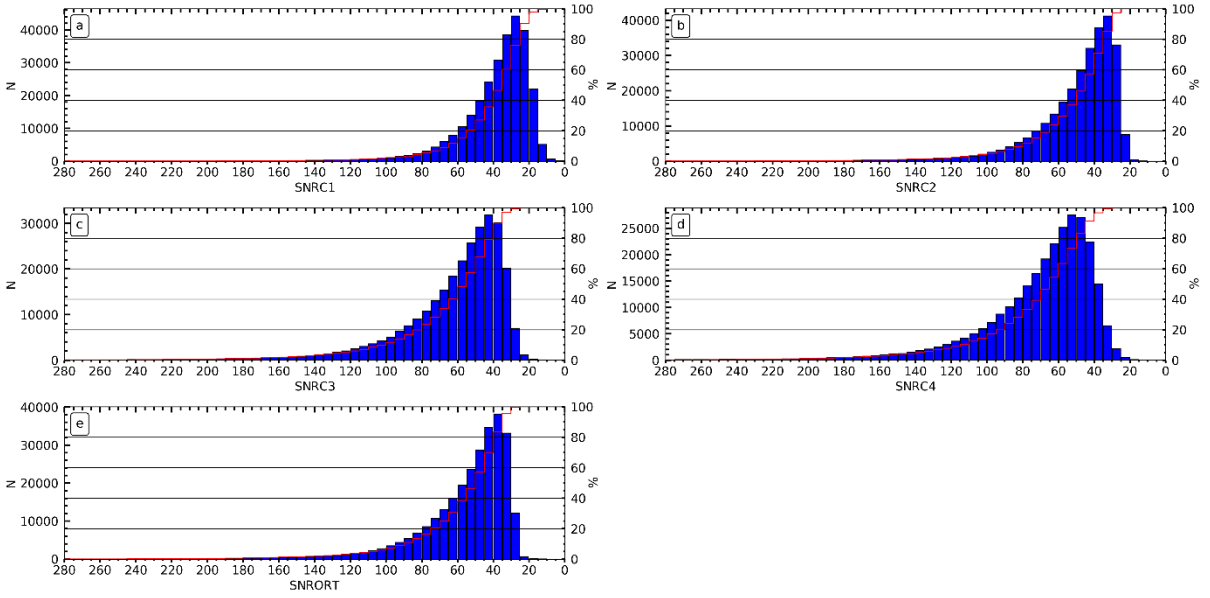
Tayfsal ve astrometrik verileri duyarlı olan 281,143 yıldızın ekvatoral (a) ve Galaktik koordinat (b) sistemlerindeki konumları Şekil 4.3'te gösterilmiştir. GALAH verileri Güney yarı küreden gözlendiği için dik açıklıkları 30 dereceden büyük kuzeysel yıldızlar tarama programında gözlenememiştir. Ayrıca sağ açıklığı yaklaşık 90 ile 300 derece aralığında görülen büyük boşluk ekvatoral koordinat sisteminde Galaktik düzleme karşılık gelmektedir. Yıldızlararası ortamın etkin olduğu Galaktik düzlem civarı GALAH tayfsal tarama programı kapsamında olmadığından konsorsiyum tarafından gözlenmemektedir. Ayrıca ekvatoral koordinat sisteminde dairesel parçalar biçiminde görülen bölgeler K2-HERMES alt grup çalışmasına ait olup ötegezegen çalışmaları için gözlenmektedir (Stello ve diğ., 2017). GALAH DR3 verilerinin Galaktik koordinat sistemindeki konumları incelendiğinde (Şekil 4.3b), Galaktik enlemi $|b|<10^{o}$ olan yıldızların tarama programı çerçevesinde incelenmediği görülmektedir. Ekvatoral koordinat sistemindeki durumun aksine hem kuzeysel hem de güneysel yıldızların Galaktik yarıkürede bulunduğu tespit edilmiştir. Bu durum iki koordinat sistemi arasındaki yaklaşık 63^{o}'lik farktan kaynaklanmaktadır. Ayrıca K2-HERMES alanları da belirgin bir şekilde görülmektedir.



Şekil 4.3: Veri kalitesi sınırlamasıyla elde edilen 281,143 yıldızın ekvatoral ve Galaktik koordinat sistemindeki konumları.

Yıldız tayflarının analizden elde edilen atmosfer model parametrelerinin duyarlığında bir başka etken de incelenen yıldız tayflarının S/N oranlarıdır. Bu oranın büyük olması analizlerden elde edilecek bulguların daha hassas tayin edilmesine olanak verir. GALAH tayfları mavi (4718-4903 Å), yeşil (5649-5873 Å), kırmızı (6481-6739 Å) ve kızılötesi (7590-7890 Å) olmak üzere dört filtrede CCD kameralar ile alınmaktadır. Dalgaboyu aralıkları farklı olduğundan her bir CCD filtredeki S/N oranı farklıdır. Tez çalışmasında en uygun S/N oranını belirleyebilmek için seçilen GALAH yıldızlarının farklı filtrelerdeki S/N oranlarının histogramlarıyla birlikte dört filtredeki ortalama S/N oranının histogramı incelenmiştir (Şekil 4.4). Mavi, yeşil, kırmızı ve

kızılötesi filtrelerdeki S/N'nin mod değerleri, sırasıyla, 27.5, 33.5, 42.5 ve 52.5 olarak hesaplanmıştır. Tüm aralıklarda mod değerine karşılık gelen yıldız sayısının birikimli toplamının tüm örneğe oranları da, sırasıyla, 75, 85, 80 ve 85'dir. Tüm verilerin birleştirilmesiyle elde edilen ortalama S/N değeri 35'tir ve bu değere karşılık gelen yıldız sayısının birikimli toplamının tüm örneğe oranı da %86.5'dir. Bu bulgu tez çalışmasında hassas verilerin elde edileceği değer olarak kabul edilmiş ve çalışmada incelenecek yıldız sayısı 235,202 olmuştur.



Şekil 4.4: 281,143 yıldızın dört filtrede alınmış tayflarına ait S/N histogramları (panel a-d). Son paneldeki (e) histogram dört filtrede ölçülmüş S/N değerlerinin ortalaması alınarak oluşturulmuş histogramı göstermektedir. Histogramlarda görülen kırmızı çizgi en büyük S/N değerinden itibaren yıldızların birikimli toplamını, sağ ordinat eksenleri de bu toplamların yüzdesini göstermektedir.

GALAH DR3 verileri içinde anakol yıldızlarını seçebilmek için Bölüm 3.2'de bahsedilen Bilir ve diğ.'nin (2020) yöntemi kullanılmıştır. Bunun için GALAH DR3 yıldızları metal bolluğu Bilir ve diğ.'nin (2020) verdiği 10 metal bolluğu grubuna ayrılmıştır. Her bir metal bolluğundaki yıldızlar etkin sıcaklıkları ve yüzey çekim ivme değerleri dikkate alınarak log g × $T_{\rm eff}$ diyagramına işaretlenmiştir. Metal bolluğu değerine uygun olarak PARSEC yıldız evrim yollarından (Bressan ve diğ., 2012) hesaplanan ZAMS ve TAMS eğrileri de log g × $T_{\rm eff}$ diyagramına eklenerek yıldızların ışıma gücü sınıfları belirlenmiştir (Şekil 4.5). Panelde ZAMS ile TAMS arasında kalan yıldızlar anakol, TAMS ile log g > 3.5 değeri arasında bulunanlar alt dev ve log g < 3.5 olanlar da dev yıldız olarak sınıflanmıştır. Bu sınıflama sonucunda farklı

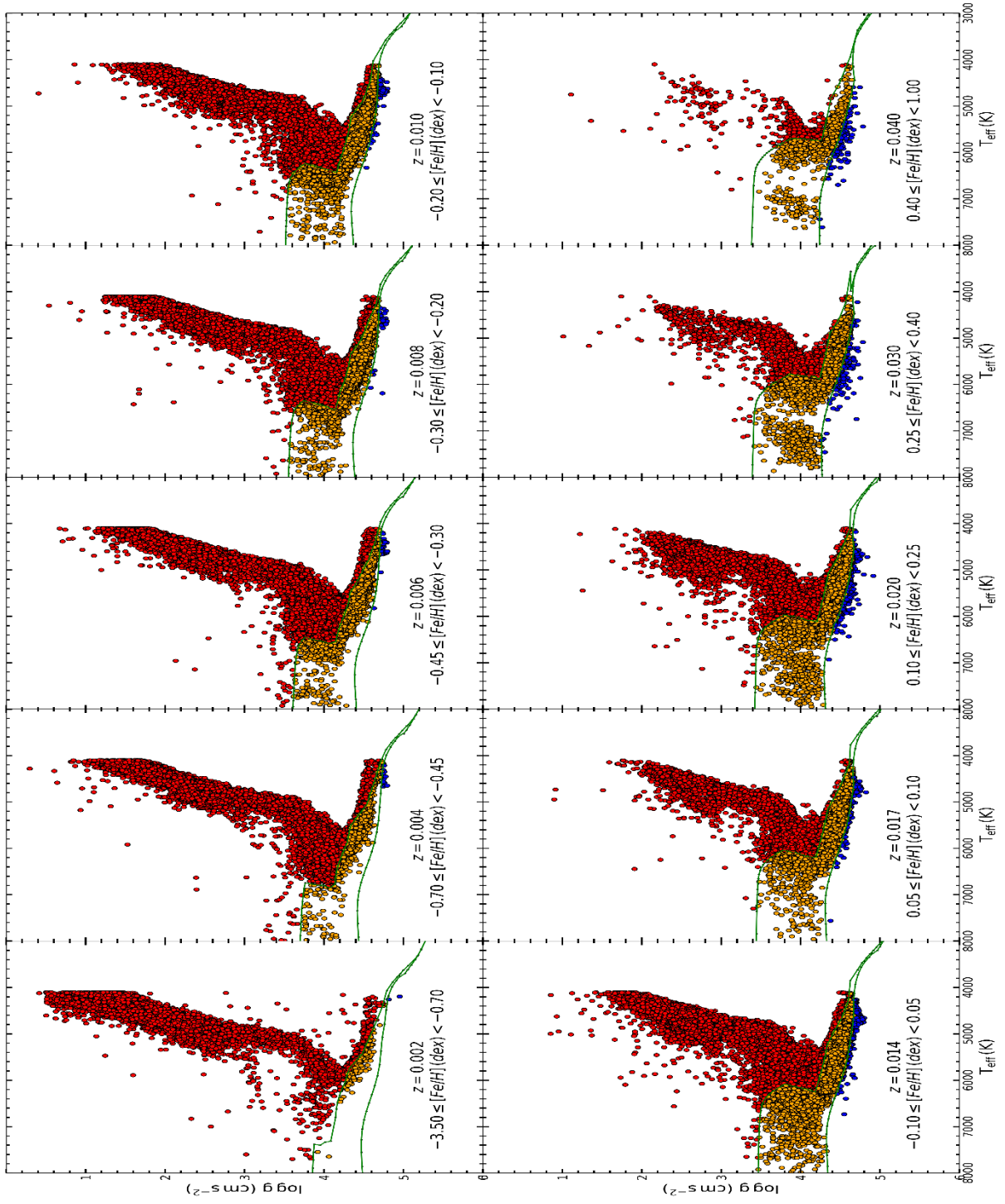
metal bolluğu aralıklarında bulunan anakol ve evrimleşmiş (alt dev+dev) yıldız sayılarıyla ZAMS eğrisinin altında kalarak sınıflanamayan (istatistik dışı) yıldızların sayısı Tablo 4.1'de listelenmiştir. Analiz sonucunda 235,202 yıldızın 68,651'i anakol, 165,817'si evrimleşmiş yıldız olup 734'ü de ışıma gücü sınıfı belirlenemediği için istatistik dışı bırakılmıştır. Tez çalışmasında anakol yıldızları kullanılacağı için örnekteki yıldız sayısı 68,651 olarak güncellenmiştir.

Tablo 4.1: GALAH DR3'deki 235,202 yıldızın Bilir ve diğ.'nin (2020) geliştirdiği ışıma gücü sınıfı belirleme yöntemine göre metal bolluğu gruplarına ayrılmış anakol, evrimleşmiş ve istatistik dışı yıldızlarının sayı dağılımları.

Metal Bolluğu Aralığı (dex)	Anakol Yıldızları	Evrimleşmiş Yıldızlar	İstatistik Dışı Yıldızlar	Toplam
-3.50 < [Fe/H] ≤ -0.70	247	8,458	2	8.707
-0.70 < [Fe/H] ≤ -0.45	2,233	22,153	16	24.402
-0.45 < [Fe/H] ≤ -0.30	5,148	27,542	36	32.726
-0.30 < [Fe/H] ≤ -0.20	7,084	23,614	43	30.741
-0.20 < [Fe/H] ≤ -0.10	11,040	25,730	65	36.835
-0.10 < [Fe/H] ≤ +0.05	20,482	33,085	211	53.778
+0.05 < [Fe/H] ≤ +0.10	5,534	7,822	80	13.436
+0.10 < [Fe/H] ≤ +0.25	13,217	10,767	143	24.127
+0.25 < [Fe/H] ≤ +0.40	3,611	5,123	89	8.823
+0.40 < [Fe/H] ≤ +1.00	585	993	49	1.627
TOPLAM	**68,651**	**165,817**	**734**	**235,202**

4.2. ANAKOL YILDIZLARININ ASTROMETRİSİ VE RADYAL HIZLARI

Seçilen anakol yıldızlarının astrometrik verileri *Gaia* EDR3 (Gaia işbirliği, 2021) kataloğundan alınmıştır. Bu katalogda yıldızların ekvatoral ve Galaktik koordinatları dışında trigonometrik paralakslarıyla öz hareket bileşenleri ve bu ölçümlere ait hatalar verilmiştir. Tez çalışmasında yıldızların kinematik ve Galaktik dinamik yörünge hesaplamaları yapıldığından, astrometrik parametrelerin hatalarına ait histogramlar oluşturularak parametre hatalarının mertebeleri incelenmiştir. *Gaia* EDR3 kataloğunda sadece parlak yıldızların (G < 12 kadir) radyal hız verileri bulunduğundan, mevcut veriler içinde homojenliği sağlamak amacıyla radyal hız verileri GALAH DR3 kataloğundan alınmıştır.

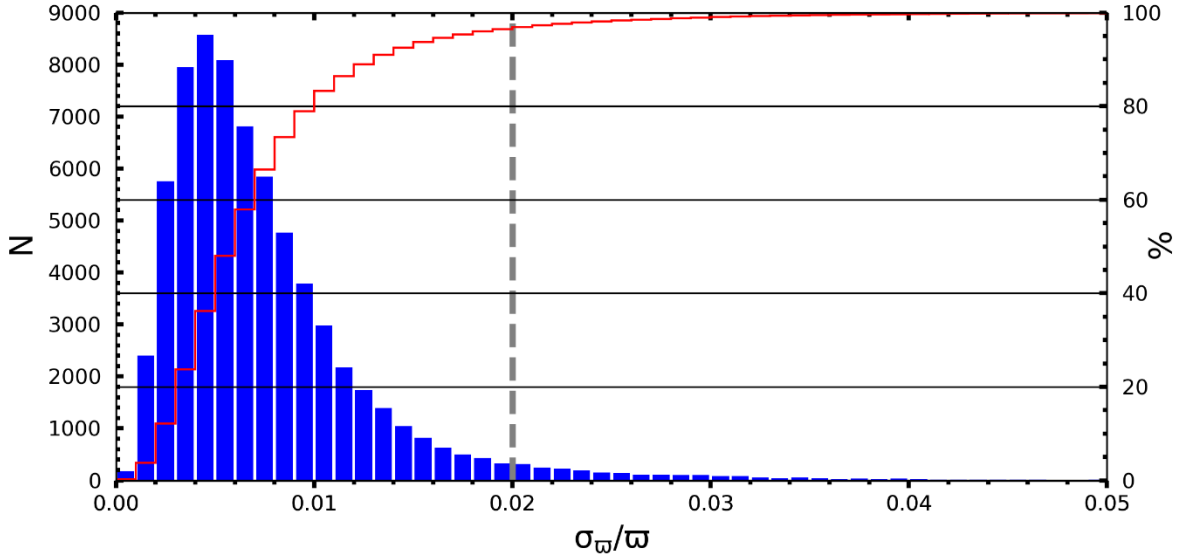


Şekil 4.5: Farklı metal bolluğu aralıklarındaki yıldızların HR diyagramları. Diyagramlardaki turuncu noktalar anakol yıldızlarını, kırmızı noktalar evrimleşmiş yıldızları ve mavi noktalar ışıma gücü sınıfı belirlenememiş yıldızları ve eğriler de ZAMS ve TAMS sınırlarını göstermektedir.

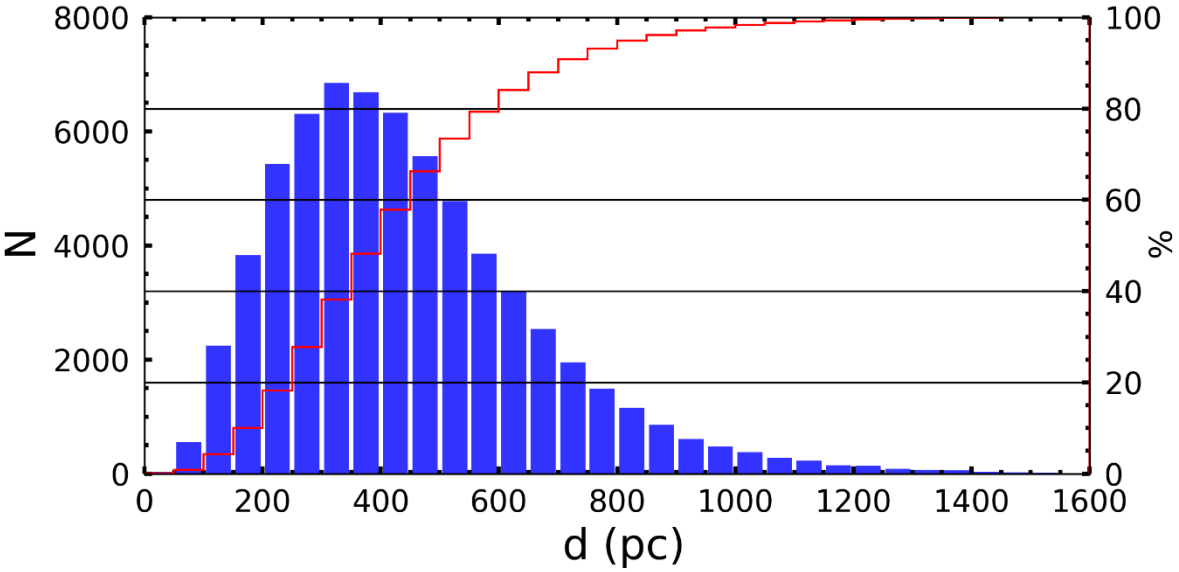
4.2.1. Uzaklıklar

Anakol yıldızlarının trigonometrik paralaks ölçümleri hatalarıyla birlikte *Gaia* EDR3 (Gaia işbirliği, 2021) kataloğundan alınmıştır. Yıldızların Güneş'e uzaklıklarının hesaplanmasında d(pc) = 1000/ϖ (mas) bağıntısı kullanılmıştır. Anakol yıldızlarının uzaklıklarına ait belirsizlikler rölatif paralaks hatalarından belirlenmiş ve bu belirsizliklerin histogramı oluşturulmuştur (Şekil 4.6). Histogramdaki anakol yıldızlarının rölatif paralaks hataları $0 < \sigma_{\varpi}/\varpi \leq 0.05$ aralığında bulunduğu tespit edilmiştir. Kinematik hesaplamalarda uzaklıktan gelen hataları en aza indirebilmek için anakol yıldızlarının rölatif paralaks hatalarına $\sigma_{\varpi}/\varpi < 0.02$ sınırlaması getirilmiştir. Bu şekilde anakol yıldızlarının %96.5'i kinematik ve dinamik yörünge analizlerinde kullanılmak üzere seçilmiştir. Anakol yıldızlarına getirilen son sınırlamayla örnek sayısı 66,220 olmuştur. Son sınırlamayla birlikte örnekteki anakol yıldızlarının uzaklık histogramı Şekil 4.7'te gösterilmiştir. Tez çalışmasında kullanılacak anakol yıldızlarının d = 1.6 kpc'e kadar uzandığı ve yıldızların medyan uzaklığının yaklaşık 400 pc olduğu tespit edilmiştir.

Rölatif paralaks hatalarına getirilen sınırlamayla birlikte parametreleri duyarlı şekilde hesaplanmış 66,220 anakol yıldızının Güneş civarındaki dağılımlarını inceleyebilmek için yıldızların Güneş merkezli kartezyen koordinat sistemindeki uzaklıkları Bağıntılar (4.1-4.3)'de verilen ifadeler ile hesaplanmıştır:



Şekil 4.6: Anakol yıldızlarının rölatif paralaks hatalarının histogramı. Kırmızı çizgi yıldızların birikimli toplamını ve gri kesikli çizgi rölatif paralaks hatalarına getirilen sınırlamayı göstermektedir.



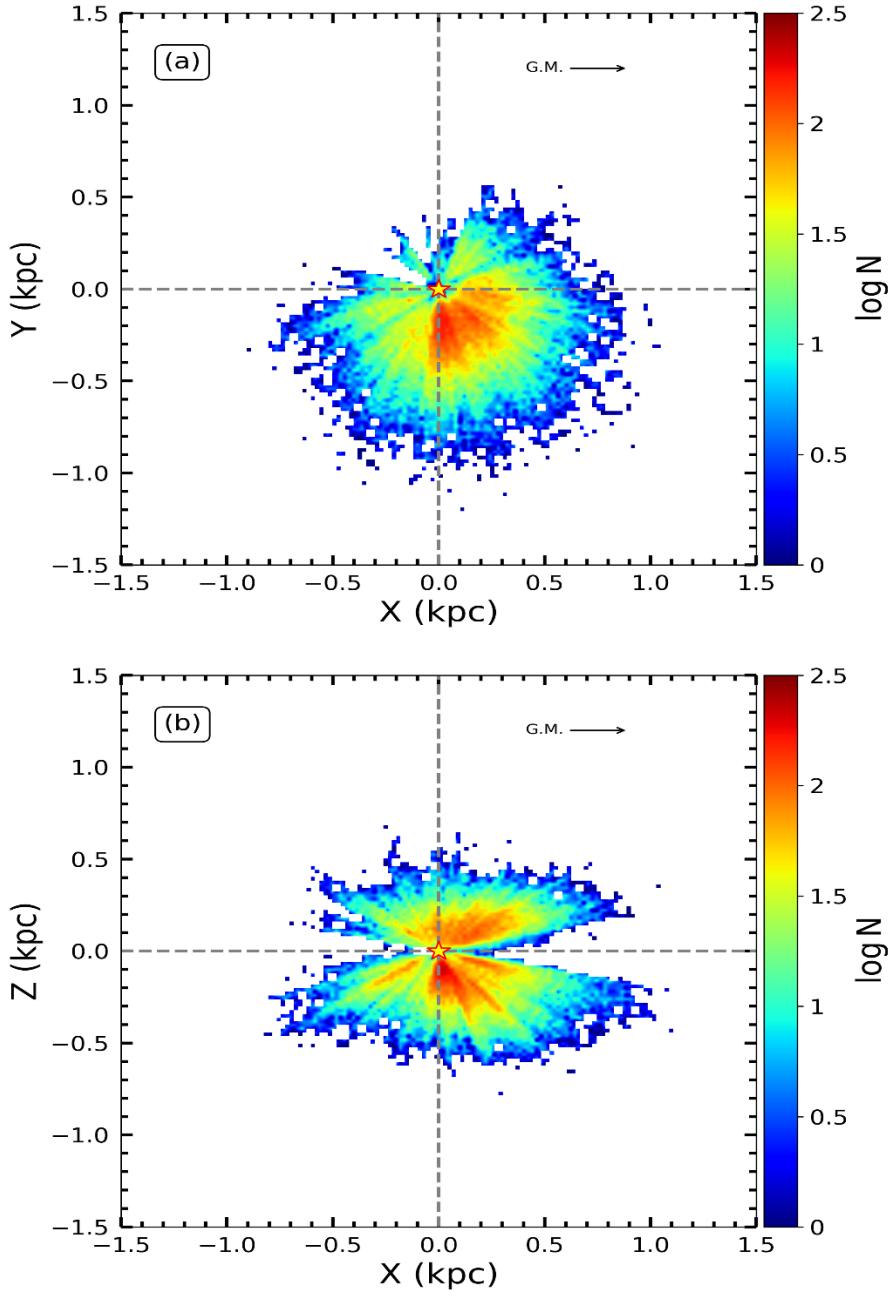
Şekil 4.7: Anakol yıldızlarının uzaklık histogramı. Kırmızı çizgi yıldızların birikimli toplamını göstermektedir.

$$X = d \cos b \cos l \tag{4.1}$$

$$Y = d \cos b \sin l \tag{4.2}$$

$$Z = d \sin b \tag{4.3}$$

Bu bağıntılarda kullanılan d yıldızın Güneş'e uzaklığını, l ve b, sırasıyla, yıldızın Galaktik boylam ve enlem ifade etmektedir. X Galaksi merkezi doğrultusu, Y Güneş'in dönme doğrultusu ve Z de Galaktik düzlemden kuzey Galaktik kutup doğrultusu yönünde ölçülen uzaklıktır. Anakol yıldızlarının $Y \times X$ ve $Z \times X$ düzlemlerindeki konumları yıldız sayı yoğunluklarına göre Şekil 4.8'de gösterilmiştir. Anakol yıldızlarının Galaktik düzlem üzerindeki konumlarının gösterildiği Şekil 4.8a incelendiğinde yıldızların büyük kısmı üçüncü ve dördüncü çeyrekte toplanmışken, ikinci çeyrekteki yıldız sayısının çok az olduğu görülmektedir. Yıldızların Galaktik düzleme dik doğrultudaki dağılımlarının gösterildiği Şekil 4.8b'de anakol yıldızlarının Güney Galaktik yarıkürede daha çok bulunduğu tespit edilmiştir. Yıldızların X ve Y uzaklıkları incelendiğinde Güneş'ten 1 kpc uzaklığa, Galaktik düzlemden de 0.5 kpc uzaklığa kadar erişebildikleri tespit edilmiştir. Bilindiği gibi GALAH gökyüzü taraması Dünya'nın Güney yarıküresinden gerçekleştirildiği için gözlemlerde belli bir yanlılık olacağı aşikardır. Bu durumu daha iyi ortaya koyabilmek için yıldızların X, Y ve Z uzaklıklarının medyan değerleri hesaplanmış ve bu değerlerin, sırasıyla, 100 pc, -210 pc ve -100 pc olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.8: 66,220 anakol yıldızının (a) (Y×X) ve (b) (Z×X) düzlemlerindeki uzay dağılımları. Kesikli çizgilerin kesişim noktasında Güneş bulunmaktadır. Diyagramlardaki (G.M.) ifadesi Galaksi merkezini göstermektedir. Renklendirme yıldız sayı yoğunluğuna göre yapılmıştır.

Medyan uzaklık değerlerinin sıfır değerinden farklı hesaplanması GALAH verilerindeki seçim etkisini ortaya koymaktadır. Uzaklık hesaplamalarında elde edilen bulgular üzerinde inceleme yapılan örneğin simetrik bir dağılım göstermemekle birlikte örnekteki yıldızların Güneş'ten 1 kpc uzaklığa erişebildikleri tespit edilmiştir.

Anakol yıldızlarının Galaksi merkezinden uzaklıklarının hesaplanmasında Bağıntılar (4.4-4.5)'te verilen ifadeler kullanılmıştır.

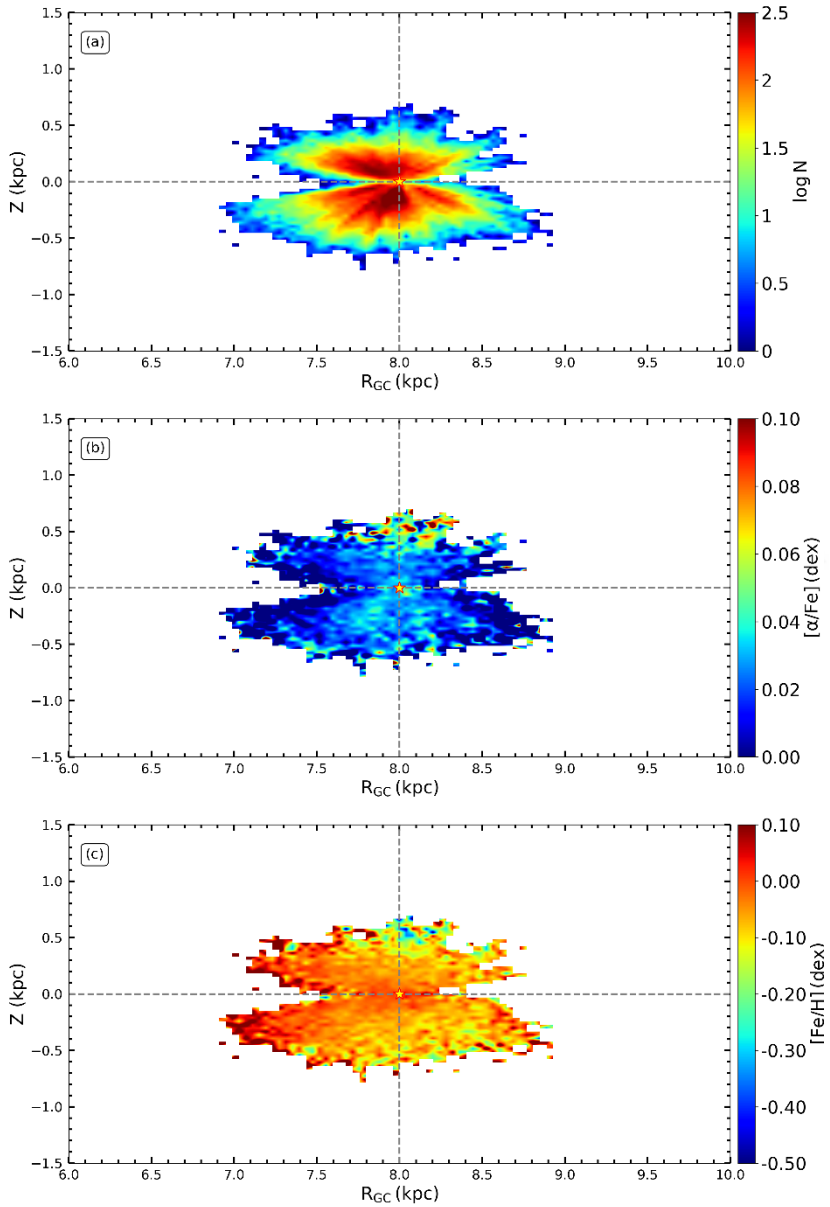
$$x = (R_0^2 + d^2 \cos^2 b - 2R_0 d \cos l \cos b)^{\frac{1}{2}} \tag{4.4}$$

$$R_{\mathrm{GC}} = (x^2 + Z^2)^{1/2} \tag{4.5}$$

Burada x yıldızın Galaksi merkezinden uzaklığının (R_{GC}) Galaktik düzlemdeki iz düşüm mesafesini, R_0 Güneş'in Galaksi merkezine uzaklığını, d yıldızın Güneş'e uzaklığını, l ve b yıldızın Galaktik koordinatlarını, R_{GC} yıldızın Galaksi merkezine uzaklığını ve Z de yıldızın Bağıntı (4.3)'te verilen Galaktik düzlemden dik uzaklığını ifade etmektedir. Tez çalışmasında Güneş'in Galaksi merkezine uzaklığı R_0 = 8 kpc olarak alınmıştır (Majewski, 1993). Tez çalışmasında anakol yıldızlarından itibaren radyal metal bolluğu gradyenti inceleceği için yıldızların Z×R düzlemindeki uzay dağılımları da dikkate alınmıştır (Şekil 4.9). Şekil üzerinde bu düzlem yıldız sayı yoğunluğuna (Şekil 4.8a), [α/Fe] (Şekil 4.8b) ve [Fe/H] bolluğuna (Şekil 4.8c) göre ayrıntılı olarak incelenmiştir.

Yıldızların bugünkü konumlarına göre hesaplanacak radyal metal bolluğu gradyentinde yıldızların Z×R düzlemindeki dağılımlarının incelenmesi önemlidir (Şekil 4.9). Anakol yıldızları Galaksi merkezinden $7 < R_{\mathrm{GC}} < 9$ kpc aralığında ve Galaktik düzlemden $|Z| < 0.5$ kpc içinde yer almaktadır (Şekil 4.9a). Aynı diyagramın [α/Fe] bolluğuna göre renklendirilmiş paneli incelendiğinde Galaktik düzlemden $|Z| < 0.5$ kpc uzaklık aralığındaki yıldızların [α/Fe] bolluk değerlerinin Güneş bolluğunda olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.9b). Galaktik düzlemden en uzakta yer alan yıldızların ise [α/Fe] bollukları Güneş'e göre yaklaşık 0.10 dex fazladır. Anakol yıldızlarının demir bolluklarına göre renklendirilmiş Z×R düzlemindeki dağılımları incelendiğinde (Şekil 4.9c), Galaksi merkezine yakın olan yıldızların demir bolluklarının fazla, Galaksi merkezine en uzakta bulunan yıldızların ise demir bolluklarının fakir olduğu görülmektedir. Benzer durum Galaktik düzlemden dik doğrultudaki uzaklıklarda da belirgindir. Galaktik düzlemden uzaklaştıkça metal bolluğu değerleri Güneş bolluk değerlerine göre

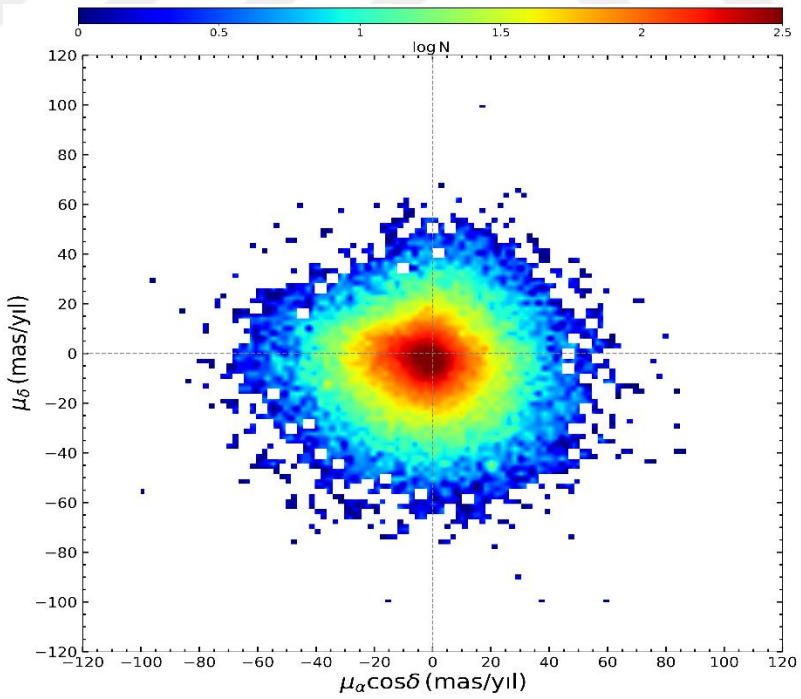
azalmaktadır. Örnekteki anakol yıldızlarının Galaksi merkezine göre dar bir uzaklık aralığında ($7 < R_{GC} < 9$ kpc) yer almalarına karşın, yapılan bu öncül analizler GALAH DR3 verileri kullanılarak Galaksi diskinde yıldızların bugünkü konumlarına göre metal bolluğu gradyetlerinin hesaplanabileceğini gösteren ip uçlarını içermektedir.



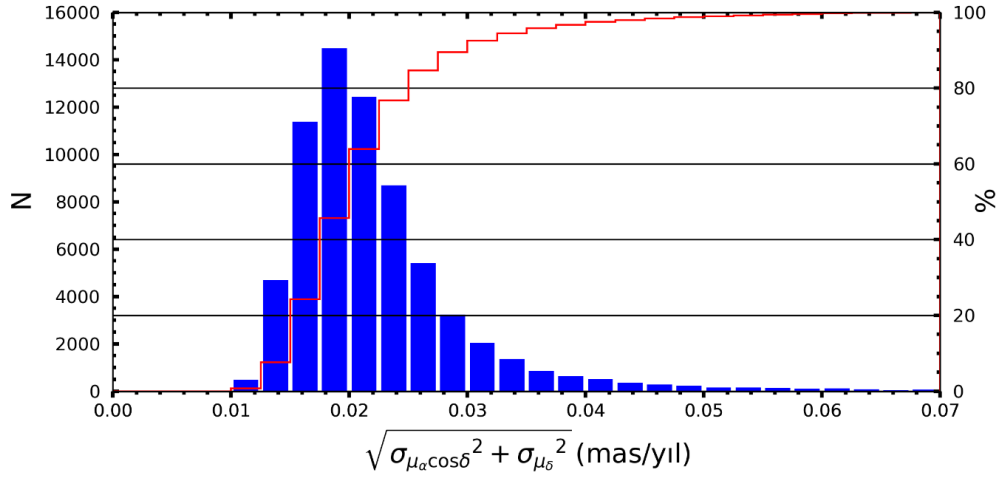
Şekil 4.9: 66,220 anakol yıldızının $Z \times R$ düzlemlerindeki uzay dağılımları. (a) Yıldız sayı yoğunluğuna, (b) [α/Fe] ve (c) [Fe/H] bolluklarına göre renklendirilmiştir. Renk ölçekleri panellerin sağ tarafında gösterilmiştir. Kesikli çizgilerin kesişim noktasında Güneş bulunmaktadır.

4.2.2. Öz Hareket Bileşenleri

Tez çalışmasında anakol yıldızlarının kinematik ve dinamik yörünge analizleri incelendiğinden, yıldızların yeterince duyarlı hesaplanmış öz hareket bileşenlerinin olması gerekmektedir. GALAH DR3'ten seçilen anakol yıldızlarının öz hareket bileşenleri *Gaia* EDR3 (Gaia işbirliği, 2021) kataloğundan alınmıştır. Öz hareket bileşenlerinin ($\mu_\alpha \cos\delta$, μ_δ) dağılımları Şekil 4.10'da gösterilmiştir. Anakol yıldızlarının öz hareket bileşenlerinin dağılımını incelediğimizde, düzlem üzerinde hemen hemen simetrik bir dağılım gösterdiği tespit edilmiştir. Her iki öz hareket bileşeninin gökyüzündeki yıllık değişim değerleri -80 mas ile +80 mas aralığındadır. Anakol yıldızlarının öz hareket bileşenlerindeki duyarlılığı belirlemek için bileşenlerdeki hata yayımları dikkate alınmış ve bu hataların frekansa dağılımları oluşturulmuştur (Şekil 4.11). Histogramdaki veriler en küçük öz hareket hatalarından en büyük değerlere doğru birikimli olarak toplanmış ve şekil üzerinde kırmızı çizgiyle gösterilmiştir. Örnekteki 66,220 anakol yıldızının toplam öz hareket hatasının medyan değeri 0.02 mas/yıl olarak hesaplanmıştır.



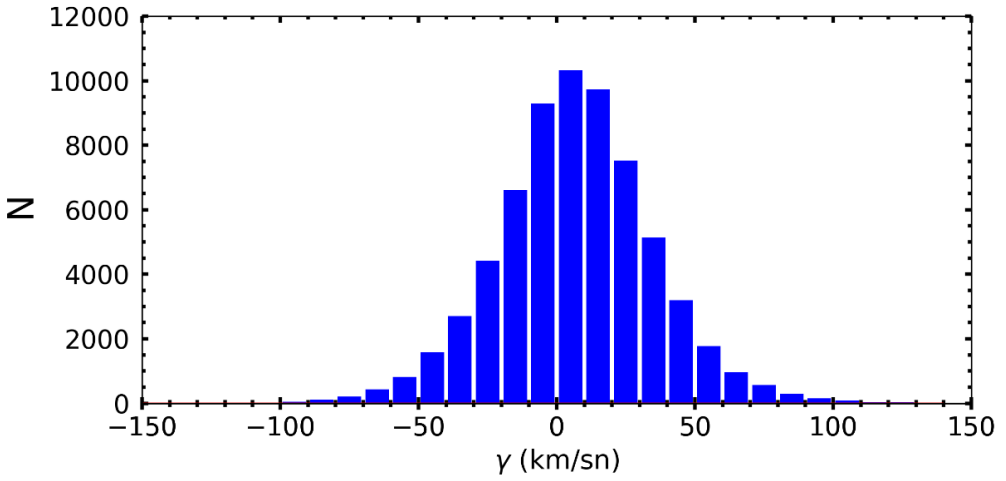
Şekil 4.10: 66,220 anakol yıldızının *Gaia* EDR3 kataloğundan alınan öz hareket verilerinin $\mu_\delta \times \mu_\alpha \cos\delta$ düzlemi üzerindeki dağılımı. Şekil üzerindeki renklendirme yıldız sayı yoğunluğuna göre yapılmıştır. Renk ölçeği şeklin üst panelinde gösterilmiştir.



Şekil 4.11: 66,220 anakol yıldızının *Gaia* EDR3 kataloğundan alınan öz hareket bileşenlerine ait toplam hata dağılımı (mavi çubuklar) ve hataların birikimli toplamı (kırmızı çizgi). Panelin sağ dik ekseninde örneğin yüzdesel değişimi gösterilmiştir.

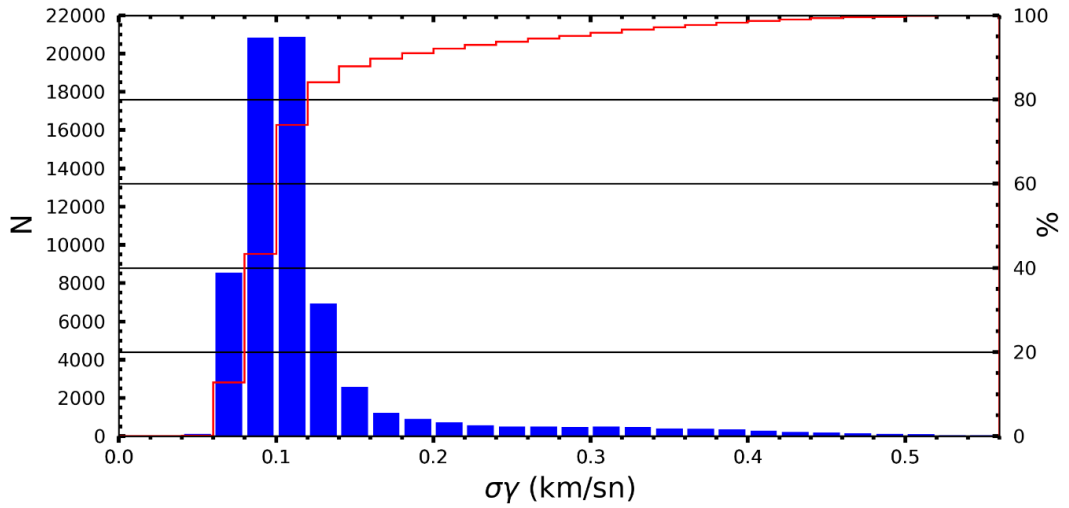
4.2.3. Radyal Hızlar

Tez çalışmasında radyal hız verileri GALAH DR3 kataloğundan sağlanmış olup radyal hız verilerinin histogramı Şekil 4.12'de gösterilmiştir. Anakol yıldızların radyal hız verileri -100 < γ < 110 km/sn aralığındadır. Dağılımın medyan değeri 6.53 km/sn'dir. Radyal hız verilerinin pozitif değerde, yani incelenen GALAH yıldızlarının Güneş'den uzaklaşıyormuş gibi görünmesinin nedeni tayfsal gökyüzü tarama programındaki yıldızların büyük çoğunluğunun III. ve IV. Galaktik çeyreklerde bulunmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 4.12: GALAH DR3'deki anakol yıldızlarının radyal hızlarına ait frekans dağılımı.

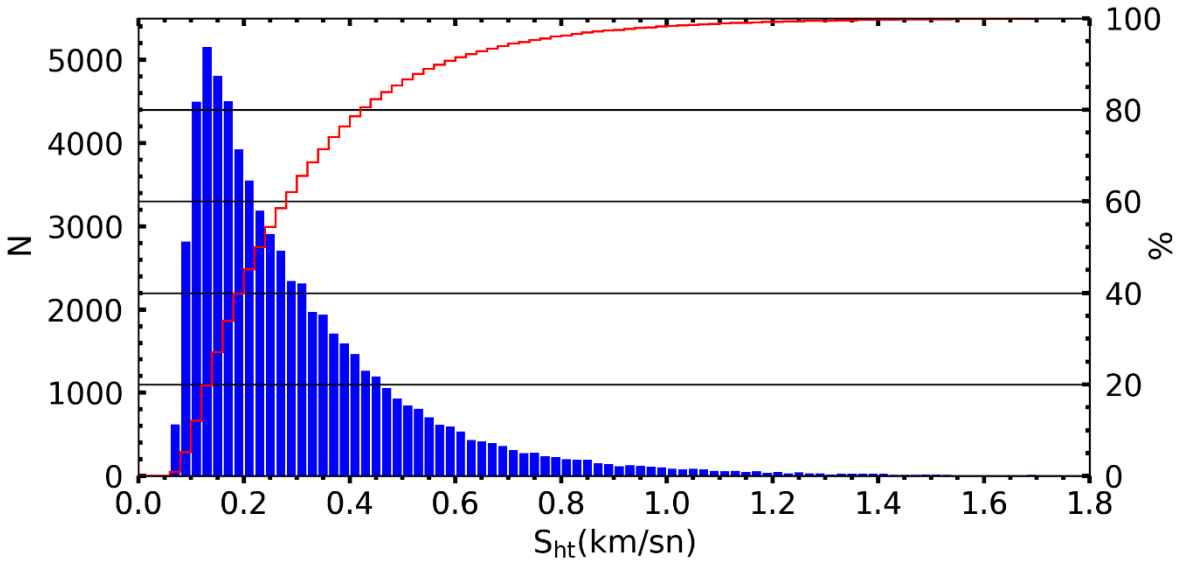
Çalışmada radyal hız verilerine ait belirsizlikler Şekil 4.13'deki histogram ile gösterilmiştir. Hızlardaki hataların 0.6 km/sn'ye kadar uzandığı fakat en büyük değere yaklaşık 0.1 km/sn'de ulaştığı tespit edilmiştir. Radyal hız hatalarına ait medyan değer de 0.1 km/sn olup dağılımın hemen hemen Gauss benzeri olduğu görülmektedir.



Şekil 4.13: GALAH DR3'teki anakol yıldızlarının radyal hız hatalarına ait frekans dağılımı (mavi çubuklar) ve bu dağılımın birikimli toplamı (kırmızı çizgi). Panelin sağ dik ekseninde örneğin yüzdesel değişimi gösterilmiştir.

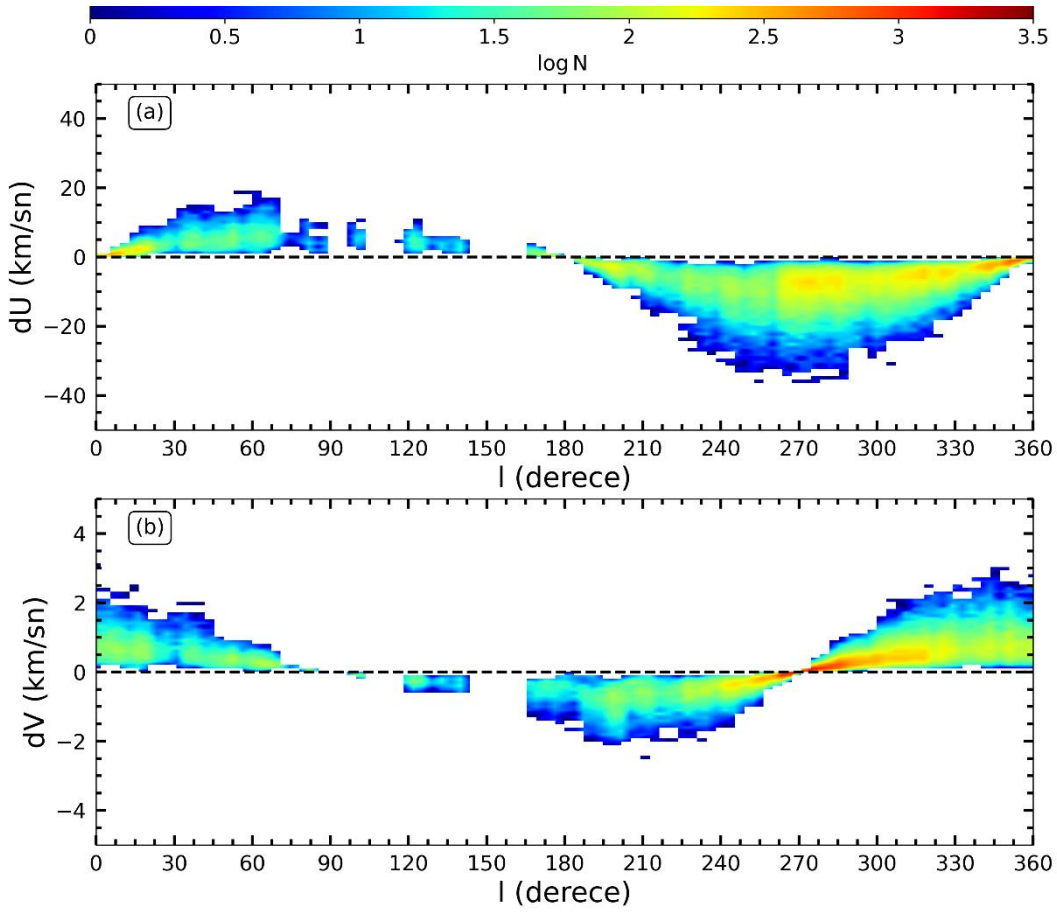
4.3. ANAKOL YILDIZLARININ UZAY HIZLARI

Anakol yıldızlarının uzay hızı bileşenleri Johnson ve Soderblom (1987) tarafından geliştirilen ve Bölüm 3.3'te detayları verilen yöntem ile hesaplanmıştır. Yıldızların uzay hız bileşenlerinin hesaplanabilmesi için incelenen bir nesnenin ekvatoral koordinatları, öz hareket bileşenleri, trigonometrik paralaks ve radyal hız verileriyle bu parametrelerin belirsizliklerinin bilinmesi gerekmektedir. Yıldızların astrometrik verileri (α, δ, $\mu_\alpha \cos\delta$, μ_δ, ϖ) *Gaia* EDR3 kataloğundan, radyal hız verileri de GALAH DR3 kataloğundan alınmıştır. Yıldızların U, V ve W uzay hız bileşenleri ve bu bileşenlerin belirsizlikleri Bağıntılar (3.1-3.7) kullanılarak hesaplanmıştır. Yıldızların toplam uzay hızı ve bu hıza ait belirsizliklerinin tayin edilmesinde Bağıntılar (3.8-3.9) kullanılmıştır. 66,220 anakol yıldızının toplam uzay hız hatalarına ait histogram Şekil 4.14'te gösterilmiştir. Toplam uzay hız hatalarının $0 < S_{\text{hata}} < 1.8$ km/sn aralığında ve medyan hız hata değerinin de 0.24 km/sn olduğu hesaplanmıştır. Dağılımın standart sapması 0.23 km/sn'dir. Bu bulgular uzay hız hatalarının oldukça küçük ve duyarlı hesaplandığını göstermektedir. Bu nedenle örnekteki anakol yıldızları için uzay hız hataları dikkate alınarak bir sınırlama getirilmemiştir.



Şekil 4.14: Anakol yıldızlarının toplam uzay hız hatalarının (S_{ht}) dağılımı (mavi çubuklar) ve bu dağılımın birikimli toplamı (kırmızı çizgi). Panelin sağ dik ekseninde örneğin yüzdesel değişimi gösterilmiştir.

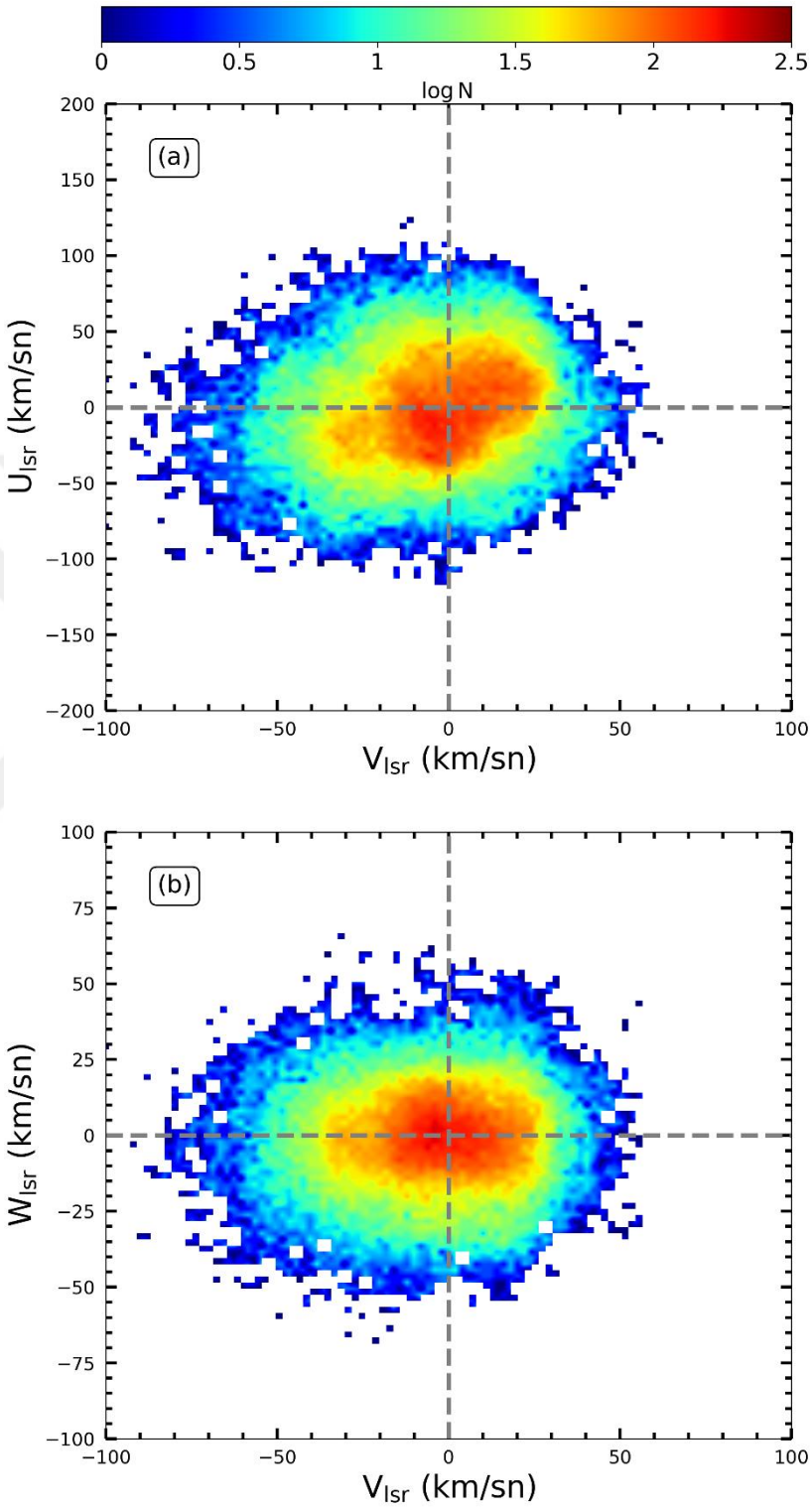
Anakol yıldızları için hesaplanmış uzay hız bileşenleri Bölüm 3.3'te bahsedildiği gibi bazı yanlılıklar içermektedir. Bunlardan ilki diferansiyel dönme düzeltmesidir. Tez çalışmasında incelenen yıldızlar rölatif olarak Güneş'e yakın olsalar bile U ve V uzay hız bileşenlerine diferansiyel dönmeden kaynaklanan bir hız düzeltmesinin yapılması gerekmektedir. Diferansiyel dönme düzeltmeleri (dU, dV) Bağıntılar (3.10-3.13) kullanılarak hesaplanmış ve U ve V uzay hız bileşenlerinden bu değerler çıkartılarak söz konusu yanlılıktan arındırılmıştır. Diferansiyel dönme düzeltmelerinin Galaktik boylam ile değişimi Şekil 4.15'te gösterilmiştir. Diferansiyel dönme etkisi, Şekil 4.15'te 10°'lik Galaktik boylam aralıklarına göre ortalamaları hesaplanarak gösterilmiştir. Bu yöntem ile hesaplanan U ve V uzay hız bileşenlerinin diferansiyel düzeltme değerleri, sırasıyla, $-47.34 < dU < 21.21$ ve $-2.63 < dV < 3.14$ km/sn aralıklarında değişmektedir. Şekilden de görüleceği gibi, diferansiyel dönmeden kaynaklanan etki en fazla Galaksi merkezi doğrultusundaki U uzay hızı bileşenindedir. Şekil 4.15a'dan Samanyolu'nun I. ve II. çeyreklerindeki U uzay hızı bileşeni için hesaplanan en büyük ortalama düzeltme değeri dU = 19 km/sn iken, III. ve IV. çeyrekler için bu değer dU = -36 km/sn'dir. V uzay hızı bileşeni için de benzer bir analiz yapılmıştır. Şekil 4.15b'den görüleceği gibi Samanyolu'nun I. ve IV çeyrekleri için en büyük ortalama düzeltme dV = 3 km/sn iken, II. ve III. çeyreklerde bu değer dV = -2.5 km/sn'ye azalmaktadır.



Şekil 4.15: GALAH DR3'ten seçilen 66,220 anakol yıldızının *U* ve *V* uzay hız bileşenlerine uygulanan ortalama (a) *dU* ve (b) *dV* diferansiyel dönme düzeltme değerlerinin Galaktik boylam ile değişimi. Renklendirme yıldız sayı yoğunluğuna göre yapılmıştır.

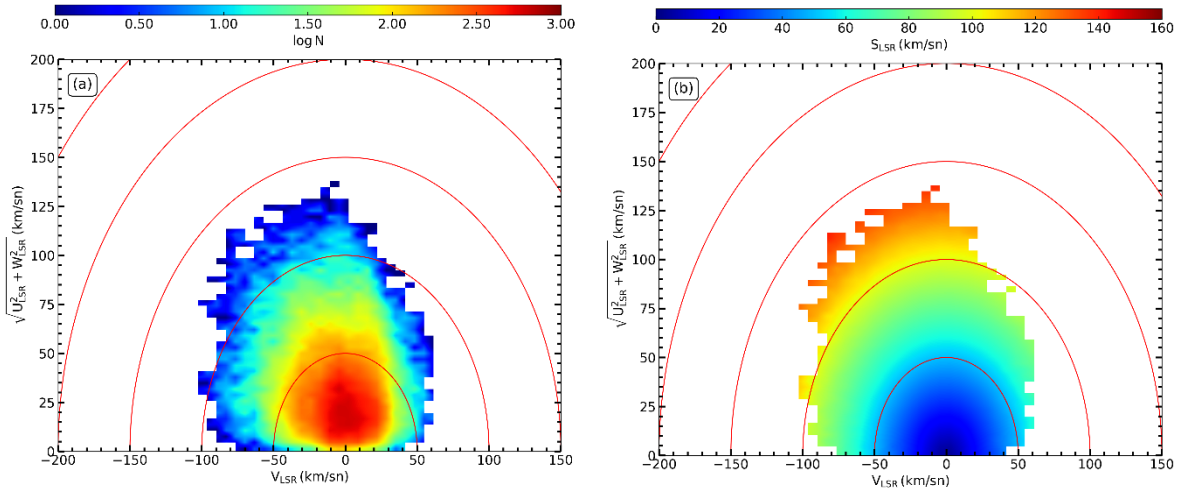
GALAH DR3'ten seçilen anakol yıldızlarının uzay hız bileşenlerini etkileyen ikinci yanlılık, uzay hız bileşenlerinde Güneş'in uzay hız bileşen değerlerinin de bulunmasından kaynaklanır. Bu etkinin arındırılması için Bölüm 3.3'te bahsedilen LSR düzeltmelerinin yapılması gerekir. Tez çalışmasında LSR düzeltmesi için Coşkunoğlu ve diğ.'nin (2011) tüm Galaktik popülasyonlar için hesapladığı $(U, V, W)_{\odot}$ = (8.83±0.24, 14.19±0.34, 6.57±0.21) km/sn değerleri kullanılmış ve 66,220 anakol yıldızının *U*, *V* ve *W* uzay hızı bileşenlerinden bu LSR değerleri çıkartılarak bilinen tüm hız yanlılıklarından arındırılmıştır.

62,220 anakol yıldızının Johnson ve Soderblom'un (1987) algoritması kullanılarak hesaplanan *U*, *V* ve *W* uzay hız bileşenlerinin $U \times V$ ve $W \times V$ düzlemlerindeki hız dağılımları yıldız sayı yoğunluğuna göre Şekil 4.16'da gösterilmiştir. Diyagramlardaki anakol yıldızlarının hız bileşenleri $-125 < U < +120$, $-100 < V < +65$ ve $-70 < W < +70$ km/sn aralıklarında değişmektedir.



Şekil 4.16: 66,220 anakol yıldızının uzay hız bileşenlerinin $U \times V$ (a) ve $W \times V$ (b) hız-hız düzlemlerindeki dağılımları. Yıldızlar sayı yoğunluğuna göre renklendirilmiş olup renk ölçeği panelin üstünde verilmiştir.

Anakol yıldızlarının uzay hız bileşenlerinin hesaplanmasından sonra belirlenecek bir başka bulgu da yıldızların Galaktik popülasyon tipleridir. Kinematik parametreler dikkate alınarak yapılan popülasyon ayrımında Toomre diyagramı kullanılır (Norris ve Ryan, 1989). Toomre diyagramı yıldızın V_{LSR} ve $\sqrt{U_{LSR}^2 + W_{LSR}^2}$ uzay hızlarına göre çizilen bir enerji diyagramıdır. Tez çalışmasında 66,220 anakol yıldızın Toomre diyagramı sayı yoğunluğuna (Şekil 4.16a) ve toplam uzay hızlarına (Şekil 4.16b) göre çizilmiştir.

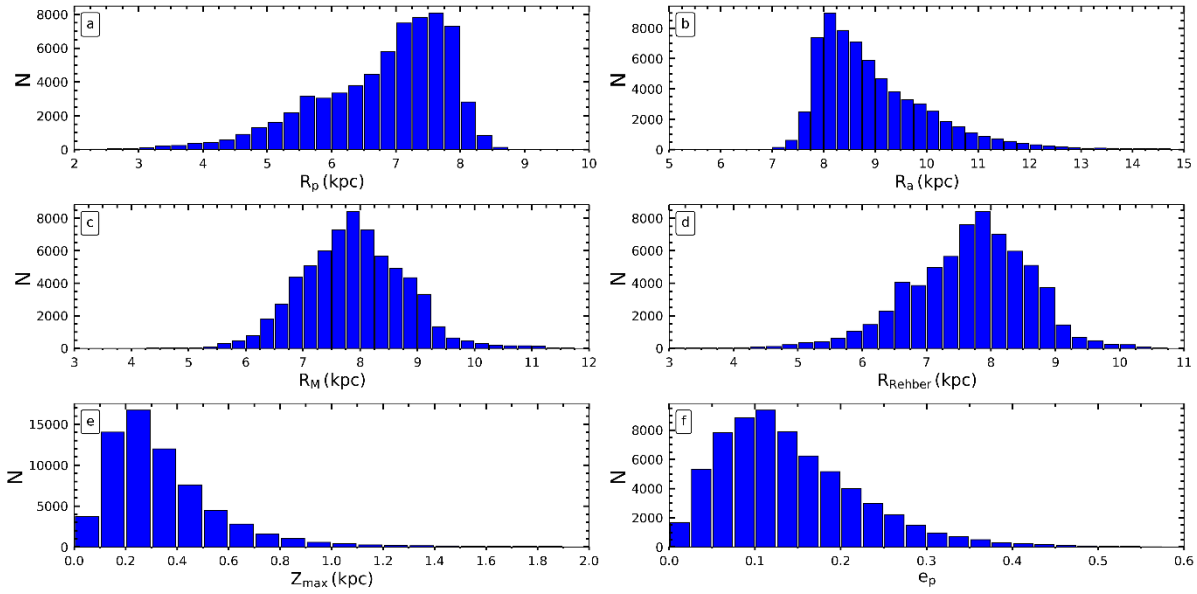


Şekil 4.17: Seçilen anakol yıldızlarına ait Toomre diyagramı. Kırmızı daireler sırasıyla 50, 100, 150, 200 ve 250 km/sn'lik toplam uzay hızı değerlerini göstermektedir.

Yıldızların sayı yoğunluğa göre oluşturulan Toomre diyagramında (Şekil 4.17a) yıldızların büyük kısmının 50 km/sn dairesinin içinde toplandığı, buna karşın 150 km/sn dairesini aşmadığı görülmektedir. Bu durum Şekil 4.17b ile birlikte ele alındığında örnekteki yıldızların toplam uzay hızı ve açısal momentum bakımından Güneş civarını iyi temsil ettiği anlaşılmaktadır. Anakol yıldızlarının Toomre diyagramı üzerinde toplam uzay hızlarına (S_{LSR}) göre renklendirilmiş görüntüsü incelendiğinde ise yıldızların toplam uzay hızlarının $0 < S_{LSR} < 160$ km/sn aralığında bulunduğu tespit edilmiştir. Yıldızların kinematik ve kimyasal verilerinden itibaren Galaktik popülasyonlarını tayin eden Benbsy ve Feltzing (2010), ince disk, kalın disk ve halo sınıflarını ifade eden S_{LSR} aralıklarını, sırasıyla, $0 < S_{LSR} \leq 70$, $70 < S_{LSR} \leq 180$ ve $S_{LSR} > 180$ km/sn vermektedir. Benbsy ve Feltzing'in (2010) toplam uzay hızlarına göre yaptığı sınıflama dikkate alındığında tez çalışmasındaki anakol yıldızlarının %90,11'inin (59,674) ince disk ve %9,89'unun (6,546) kalın disk popülasyonuna ait olduğu görülmektedir. Çalışmada toplam uzay hızı S_{LSR} =180 km/sn'den daha büyük anakol yıldızı bulunmadığından örnek içerisinde halo yıldızı tespit edilememiştir.

4.4. ANAKOL YILDIZLARININ GALAKTİK YÖRÜNGE PARAMETRELERİ

Tez çalışmasında anakol yıldızlarının Galaktik yörünge parametrelerinin hesaplanmasında kullanılan yöntemler Bölüm 3.4'te verilmiştir. Anakol yıldızlarının Galaktik yörünge parametrelerinin hesaplanmasında *galpy* (Bovy, 2015) kütüphanesi kullanılmıştır. *Galpy* kodunda anakol yıldızların ekvatoral koordinatları, uzaklıkları, radyal hızları ve öz hareket bileşenlerine ait veriler bir dosyada toplanarak koda girdi parametreleri olarak sunulmuştur. Hesaplamalar sonucunda 66,200 anakol yıldızının çember yörünge yarıçapı olarak bilinen rehber yarıçap (R_{Rehber}), Galaksi merkezine en uzak (R_{a}) ve en yakın (R_{p}) mesafeleriyle Galaktik düzlemden ayrılabilecekleri en büyük dik uzaklıklar (Z_{max}) hesaplanmıştır. Yıldızların Galaktik düzlem üzerindeki yörünge basıklığının (e_{p}) ve Galaksi merkezinden ortalama uzaklıklarının (R_{M}) hesapları için, sırasıyla, Bağıntı (3.17) ve Bağıntı (3.18) kullanılmıştır. Anakol yıldızların Galaktik yörünge parametrelerine ait frekans dağılımları Şekil 4.18'de gösterilmiştir.



Şekil 4.18: 66,220 anakol yıldızlının *galpy* koduyla hesaplanan Galaktik yörünge parametrelerinin histogramları: (a) R_{p}, (b) R_{a}, (c) R_{M}, (d) R_{Rehber}, (e) Z_{max} ve (f) e_{p}.

GALAH DR3'ten seçilen 66,200 anakol yıldızının Galaktik yörünge parametrelerine ait histogramlar incelendiğinde, yıldızların $2.08 < R_{\mathrm{p}} < 8.88$, $6.79 < R_{\mathrm{a}} < 14.98$, $4.03 < R_{\mathrm{M}} < 11.78$, $3.42 < R_{\mathrm{Rehber}} < 11.82$, $0 < Z_{\mathrm{max}} < 9.82$ kpc ve $0 < e_{\mathrm{p}} < 0.99$ aralıklarında bulundukları görülmüştür. R_{p}, R_{a}, R_M, R_{Rehber}, Z_{max} ve e_p yörünge parametrelerinin medyan değerleri, sırasıyla, 7.05 kpc, 8.69 kpc, 7.88 kpc, 7.76 kpc, 0.29 kpc ve 0.13'tür. Tez çalışmasının hedefi anakol yıldızlarını kinematik ve kimyasal bakımdan incelemek ve metal bolluğu gradyentlerini

hesaplamak olduğundan, bu araştırmanın Galaktik yörünge parametreleri de dikkate alınarak hesaplanmasının, teze ait bulguların daha duyarlı olacağını göstermektedir.

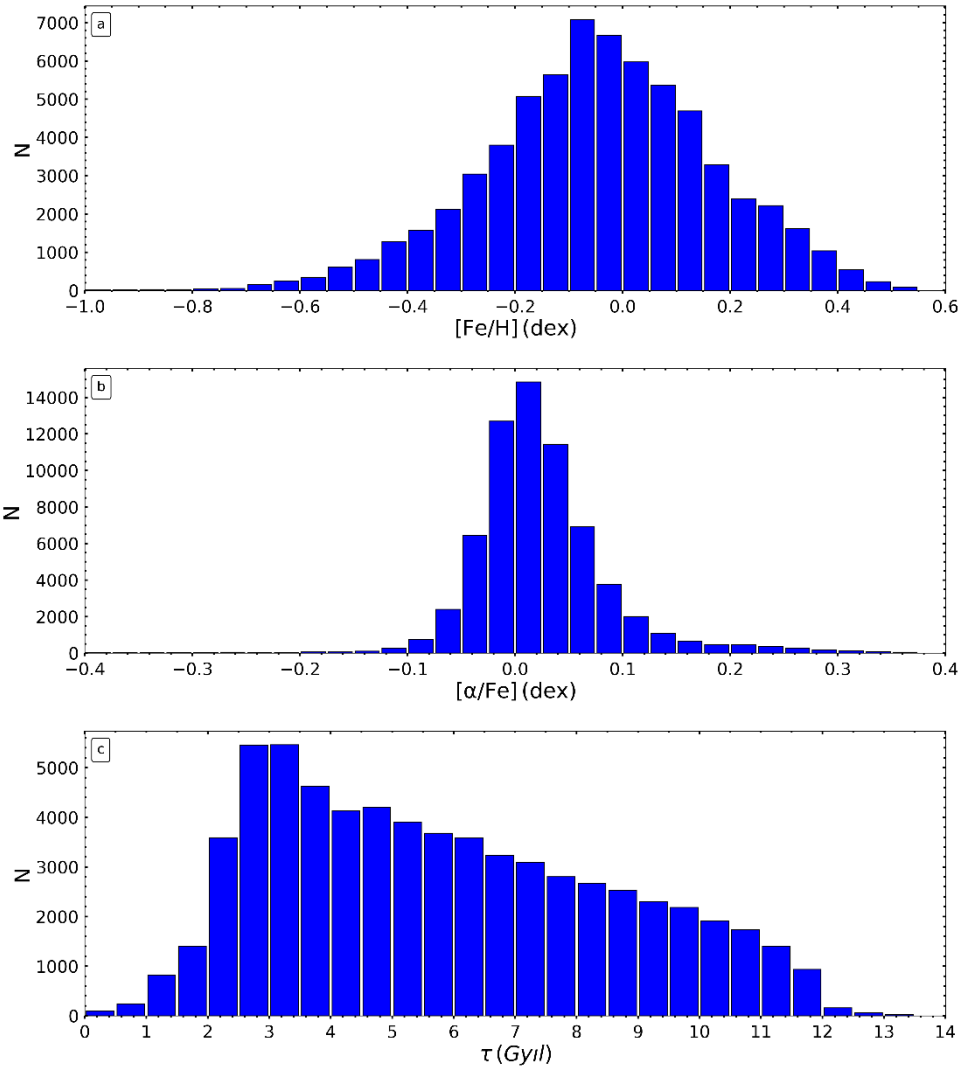
4.5. ANAKOL YILDIZLARININ METAL BOLLUKLARI VE YAŞLARI

Galaksi diskinin kemo-dinamik modeller ile sınanmasında incelenen Galaktik nesnelerin metal bolluğu ve uzaklıklarının önemli bir yeri vardır. Özellikle son yıllarda *Gaia* uydu verilerinden elde edilen astrometrik veriler yıldızların uzaklık tayinlerini oldukça duyarlı hale getirmiştir. Yıldızların temel astrofizik parametreleri ve element bolluklarına yönelik çalışmalar ise yer tabanlı büyük teleskoplar ve bu teleskopların odak düzlemlerindeki gelişmiş alıcılar ile gerçekleştirilmektedir. Tez çalışmasında anakol yıldızlarının atmosfer model parametreleri GALAH DR3 veri tabanından sağlanmıştır. GALAH tayfsal gökyüzü taramasında, Bölüm 2.3.1'de bahsedildiği gibi, yıldızların metal bolluğu yanında 30'a yakın elemente ait bolluk değerleri de verilmiştir. Bu elementlerin bir kısmı helyum elementinin yanmasıyla oluşan ve alfa element olarak bilinen daha ağır elementleri içermektedir. GALAH konsorsiyumu yıldızların alfa element bolluklarını hesaplayıp bu element bolluklarının aritmetik ortalaması olarak [α/Fe] bolluğu vermektedir. Tez çalışmasında demir bolluğu ([Fe/H]) yanında alfa-element ([α/Fe]) bolluklarına dayalı metal bolluğu gradyent çalışması yapıldığından 66,220 anakol yıldızın demir (Şekil 4.19a) ve alfa element (Şekil 4.19b) bolluklarının dağılımları da incelenmiştir. Anakol yıldızlarının demir bolluklarının $-1 < [Fe/H] < 0.6$ dex aralığında, alfa-element bolluklarının da $-0.4 < [\alpha/Fe] < 0.4$ dex aralığındadır. Örnekteki yıldızların demir ve alfa element bolluklarının medyan değerleri ve standart sapma değerleri, sırasıyla, -0.04 ± 0.22 ve 0.02 ± 0.08 dex'tir. Anakol yıldızlarının Galaksi merkezinden uzaklıkları ve metal/alfa element bolluklarındaki değişim aralığı dikkate alındığında tez çalışmasında hedeflenen metal bolluğu gradyent hesaplarının yapılabilirliği görünmektedir.

GALAH DR3'teki yıldızların yaş tayinleri GALAH konsorsiyumu tarafından hesaplanmış ve ana katalogdan farklı bir listeyle (GALAH_DR3_VAC_ages_v2.fits) GALAH web sitesinde sunulmuştur[8]. GALAH DR3'teki yıldızların yaş tayini Sharma ve diğ.'nin (2018) tarafından *Bayes Yıldız Parametre Tayini* (BSTEP; the Bayesian Stellar Parameter Estimation) ismi verilen bir kod ile hesaplanmıştır. BSTEP kodu, yıldızların gözlemsel parametrelerini PARSEC eş-yaş eğrileriyle (Bressan ve diğ., 2012) karşılaştırılarak başta yaş olmak üzere kütle ve uzaklık

[8] https://www.galah-survey.org/dr3/the_catalogues/#ages-masses-distances-and-other-parameters-estimated-by-bstep

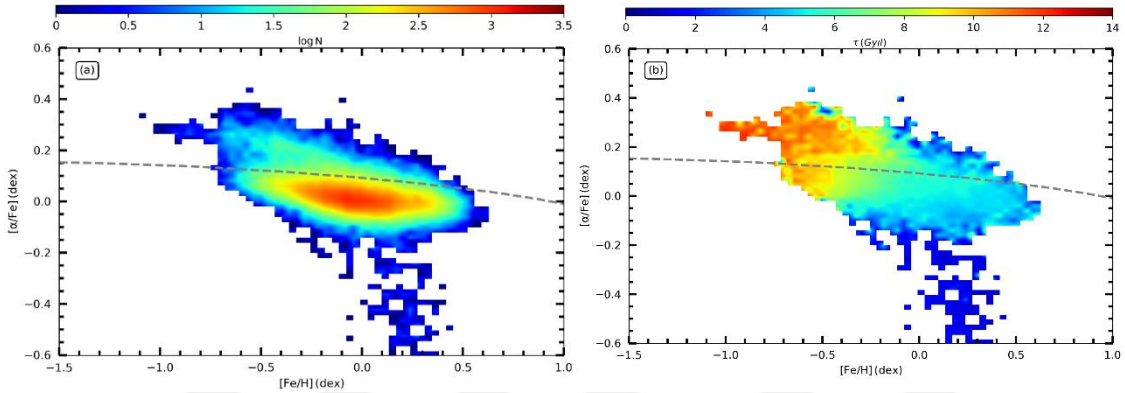
gibi temel parametrelerini oldukça duyarlı belirleyebilmektedir. Tez çalışmasında belirlenen 66,200 anakol yıldızının BSTEP koduyla hesaplanmış yaşları Şekil 4.19c'de gösterilmiştir. Örnekteki anakol yıldızları $0 < \tau < 13.5$ Gyıl aralığında bulunmakta olup örnekteki yıldızların medyan yaşı 5.39±2.75 Gyıl olarak hesaplanmıştır. Tez çalışmasında gerçekleştirilecek metal bolluğu gradyent analizlerinde yıldızların BSTEP koduyla hesaplanmış yaş değerleri de dikkate alınmış ve elde edilen bulgular bu açıdan da değerlendirilmiştir.



Şekil 4.19: 66,220 yıldızın demir bolluğu (a), alfa element bolluğu (b) ve yaş (c) histogramları.

4.6. ANAKOL YILDIZLARININ GALAKTİK POPÜLASYON TÜRLERİ

Anakol yıldızlarının Galaktik popülasyon sınıflarının belirlenmesi Bölüm 3.5'te verilen kimyasal element bolluklarına göre gerçekleştirilmiştir. Tez çalışmasında APOGEE tayfsal gökyüzü tarama programında kırmızı yığın yıldızlarının alfa ve demir bolluklarının [α/Fe] × [Fe/H] düzlemi üzerinde GGM modeliyle ayrım yapan Plevne ve diğ.'nin (2020) gözlemsel olarak oluşturduğu eğri kullanılmıştır. 66,220 anakol yıldızın [α/Fe] × [Fe/H] düzlemi üzerinde yıldız sayı yoğunluğuna ve yaşlara göre sınıflanmış gösterimi Şekil 4.20'de gösterilmiştir.



Şekil 4.20: 66,220 anakol yıldızının (a) sayı yoğunluklarına ve (b) yaşlarına göre [α/Fe] × [Fe/H] düzlemi üzerindeki konumları. Kesikli çizgi popülasyon ayrımında kullanılan sınırı göstermektedir.

Örnekteki yıldızların sayı yıldız yoğunluğuna göre oluşturulmuş diyagramında anakol yıldızlarının büyük kısmının alfa element bolluğuna göre fakir, demir bolluğuna göre zengin bir bölgede bulunduğu görülmektedir. Plevne ve diğ.'nin (2020) yıldız popülasyon sınıflaması için kullandığı eğri dikkate alındığında ayrım çizgisine göre alfa-bolluğu açısından fakir ve zengin anakol yıldızlarının sayısı, sırasıyla, 60,461 ve 5,759'dir. Bu bulgu örnekteki anakol yıldızlarının %91,3'ünün ince disk, %8,7'sinin de kalın disk ve halo popülasyonuna üye olduğunu göstermektedir. Bu bulgu, Bölüm 4.3'de bahsedildiği gibi, 66,220 anakol yıldızına Bensby ve Feltzing'in (2010) popülasyon sınıflarının oluşturulmasında kullandığı kinematik kriterlerin uygulanmasıyla örnekteki yıldızların %90,11'inin ince diske %9,89'unun kalın disk ve halo popülasyonuna ait olduğu bulgusuyla oldukça uyumludur. İncelenen anakol yıldızları Güneş civarında bulundukları için örnekteki yıldızların büyük kısmının ince disk popülasyonuna üye olması beklenen bir durumdur. Yıldızların Galaktik popülasyon gruplarına üyeliklerinin sınanmasında dikkate alınan bir başka unsur da yaşlarıdır. Kimyasal bolluklarına göre ince disk olarak sınıflanan yıldızların yaşları incelendiğinde (Şekil 4.20b) yaşları 10 Gyıl'a

ulaşan yıldızların bulunduğu görülmektedir. Genç ince disk anakol yıldızlarının metalce zengin, alfa bolluğu açısından fakir, yaşlı olanların ise metalce fakir, alfa element bollukları açısından da zengin olduğu tespit edilmiştir. Bu bulgu ince disk popülasyonunu ifade eden değerler ile uyumludur (Cox, 2000). Benzer durum GGM modeliyle kalın disk yıldızı olarak sınıflanan 5,759 anakol yıldızı için de geçerlidir. Örnekteki kalın disk yıldızlarının metalce fakir olanları, alfa element bolluğu açısından zengin olup yaşları 9 ile 12 Gyıl aralığında bulunmaktadır. Metalce zengin ve popülasyon ayrım sınırında bulunan 1,231 kalın disk yıldızının medyan yaşının ise 4.48±2.81 Gyıl olduğu tespit edilmiştir. Bu nesnelerin ince disk ile kalın disk arasında geçiş nesneleri olma ihtimali yüksektir. Bensby ve Feltzing (2010) ve Nissen (2004) ince disk ile kalın disk arasındaki geçiş yapan yıldızların toplam uzay hızını $50 < S_{LSR} < 70$ km/sn aralığında vermektedir. Araştırmacılar tarafından önerilen bu hız aralığındaki anakol yıldızlarının sayısı 408 olarak tespit edilmiş olup metalce zengin kalın disk yıldızlarının %33'ünün geçiş sınıfı yıldızlar olduğunu göstermektedir. Geriye kalan %67'lik kısmı oluşturan metalce zengin anakol yıldızlarının ise popülasyon ayrımı sınırı yakınlarında bulunan yaşlı ince disk yıldızları olma ihtimali yüksektir.

4.7 ANAKOL YILDIZLARININ METAL BOLLUĞU BOLLUĞU GRADYENTLERİ

Tez çalışmasında GALAH DR3 kataloğundan seçilmiş 66,220 anakol yıldızı kullanılarak, Samanyolu diskinde metal bolluğu gradyentleri araştırılmıştır. GALAH DR3 kataloğundaki yıldızların metal bollukları optik bölgede alınan yüksek çözünürlüklü tayfların analizlerinden elde edilirken, metal bolluğu gradyent hesapları için kullanılacak uzaklıklar iki farklı yöntem ile belirlenmiştir. İlk yöntem yıldızların bugünkü konumlarına (R_{GC} ve Z) dayalıyken, diğer yöntem yıldızların Galaktik yörünge parametrelerinden (R_{Rehber} ve Z_{max}) elde edilmiştir. Anakol yıldızları kullanılarak belirlenen metal bolluğu gradyentleri Galaksi merkezine göre radyal ve Galaktik düzleme dik doğrultular için hesaplanmıştır.

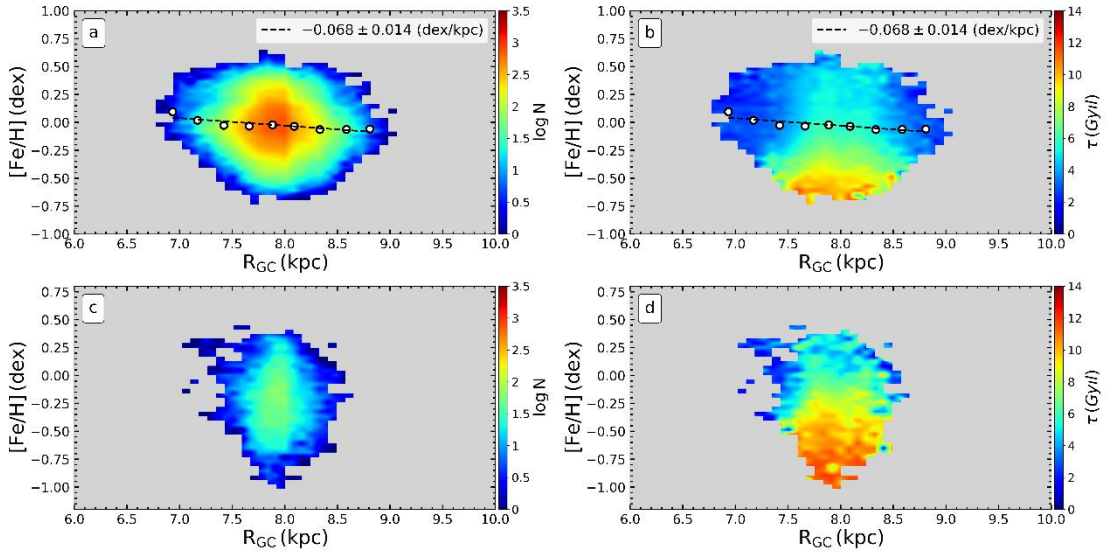
4.7.1. Yıldızların Bugünkü Konumlarına Göre

Anakol yıldızlarının radyal metal bolluğu gradyentlerinin hesaplanması için kullanılacak olan bugünkü konumları ile Galaktik merkez arasındaki uzaklık (R_{GC}), Bölüm 4.2.1'de verilen (4.5) bağıntısıyla belirlenmiştir. Metal bolluğu gradyentlerinin araştırılması yıldızların popülasyon türleri, Bölüm 4.6'da bahsedilen, yıldız sayı yoğunlukları ve yaşları dikkate alınarak incelenmiştir. Metal bolluğu gradyentlerinin belirlenmesinde [Fe/H] = $a \times uzaklık + b$ biçiminde

doğrusal bir fit kullanılmıştır. Örnekteki anakol yıldızlarının bugünkü konumlarına göre Galaktik düzlemden dik doğrultudaki uzaklıkları $|Z| < 0.5$ kpc ile sınırlı kaldığından (bakınız Şekil 4.8b) dikey doğrultuda metal bolluğu gradyentinin hassas bir şekilde hesaplanmasına imkan vermemiştir. Bu nedenle yıldızların bugünkü konumlarına göre Galaktik düzleme dik doğrultuda bir metal bolluğu gradyent araştırması yapılmamıştır.

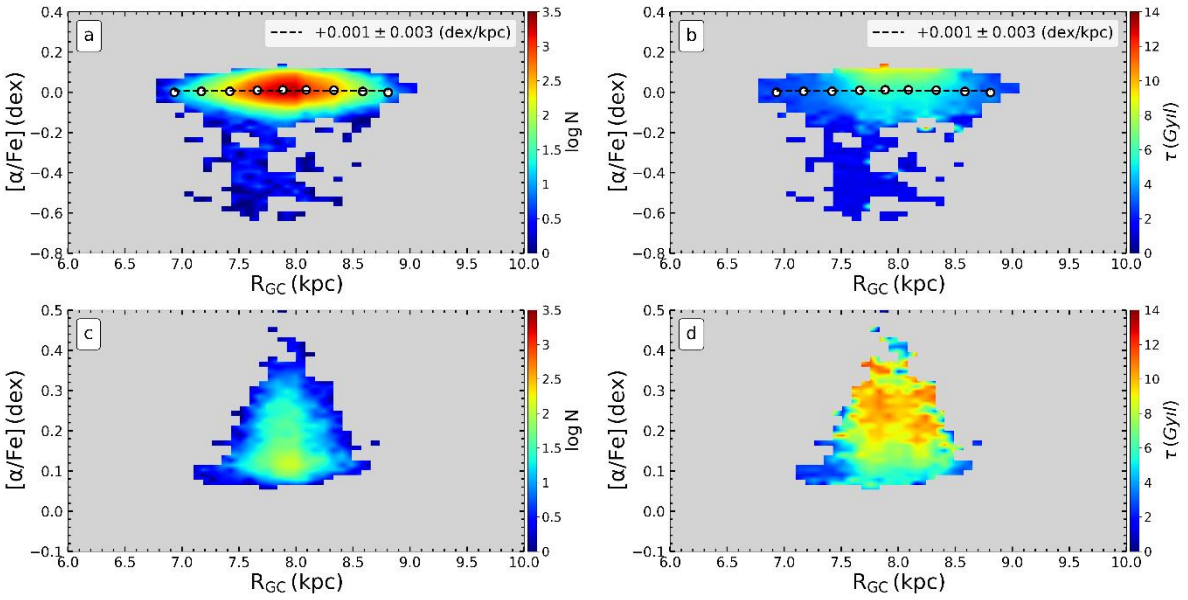
Kimyasal verilerine göre ayrımı yapılan ince disk anakol yıldızlarının Galaksi merkezine göre radyal doğrultudaki metal bolluğu değişimi yıldız sayı yoğunluğuna ve yaşa bağlı olarak Şekil 4.21a-b'de gösterilmiştir. Örnekteki 60,461 ince disk anakol yıldızların Galaksi merkezine göre $7 < R_{GC} < 9$ kpc uzaklık aralığında, metal bolluklarının da $-0.75 <$ [Fe/H] < 0.60 dex aralığında bulundukları tespit edilmiştir. [Fe/H] $\times R_{GC}$ düzlemi üzerindeki yıldızlardan hassas radyal metal bolluğu gradyentini elde edebilmek için yıldızlar dokuz uzaklık aralığına ayrılarak yıldızların medyan uzaklık (R_{GC}) ve medyan metal bollukları ([Fe/H]) hesaplanmış ve bu veriler Şekil 4.21a-b'de beyaz daire sembolüyle gösterilmiştir. Ağırlıklandırılmış bu noktalardan doğrusal bir fit geçirilerek d[Fe/H]/dR_{GC}= -0.068±0.014 dex/kpc'lik bir radyal metal bolluğu gradyenti hesaplanmıştır (Şekil 4.21a-b). İnce disk anakol yıldızları için [Fe/H] $\times R_{GC}$ düzlemi üzerinde yaşa bağlı değişimi de Şekil 4.21b'de gösterilmiştir. Diyagramda metalce zengin yıldızların $4 < \tau < 6$ Gyıl yaş aralığında olduğu, metalce fakir yıldızların ise 8 Gyıl'dan daha yaşlı olduğu görülmüştür. Bu değişim literatürde ince disk popülasyonunu ifade eden parametreler ile uyumludur. Bu da Galaksi diskinde radyal bir metal bolluğu gradyentinin bulunduğunu gösteren önemli bir delildir.

Örnekteki 5,759 kalın disk/halo anakol yıldızının Galaksi merkezine göre $7 < R_{GC} < 8.65$ kpc'lik uzaklık aralığında, metal bolluklarının $-1.05 <$ [Fe/H] < 0.45 dex (Şekil 4.21c) ve yaşlarının da $2 < \tau < 12$ Gyıl (Şekil 4.21d) aralığında bulunduğu tespit edilmiştir. Kalın disk/halo yıldızlarının [Fe/H] $\times R_{GC}$ düzlemi üzerindeki sayı yoğunlukları incelendiğinde, istatistik bakımdan yıldızların Galaksi merkezine göre $7.6 < R_{GC} < 8.2$ kpc uzaklık aralığında yoğunlaştıkları görülmüştür. Kalın disk/halo yıldızları Galaksi merkezine göre $\Delta R_{GC} = 0.6$ kpc'lik dar bir uzaklık aralığı gösterdiklerinden tez çalışmasında alfa elementleri bakımından zengin yıldız grubunun radyal metal bolluğu gradyenti hesaplanmamıştır.



Şekil 4.21: Popülasyon sınıflarına ayrılmış ince disk (a-b) ve kalın disk/halo (c-d) anakol yıldızlarının [Fe/H] × R_{GC} düzlemi üzerindeki yıldız sayı yoğunluğuna (a-c) ve yıldız yaşlarına (b-d) göre dağılımları. Panellerde daire sembolü ağırlıklandırılmış verileri, sürekli çizgi de bu verilere uygulanan doğrusal fiti göstermektedir.

İnce disk ve kalın disk/halo yıldızlarının alfa element bolluklarının Galaksi merkezine uzaklıklarına göre incelenmesi Şekil 4.22'de gösterilmiştir. Yıldızların alfa element bollukları demir bolluklarına göre daha sığ bir aralıkta yer almaktadır. 60,461 ince disk anakol yıldızın [α/Fe] × R_{GC} düzlemi üzerinde hassas radyal metal bolluğu gradyentini elde edebilmek için yıldızlar dokuz uzaklık aralığına ayrılarak, yıldızların medyan uzaklık (R_{GC}) ve medyan [α/Fe] değerleri hesaplanmıştır. Ağırlıklandırılmış bu noktalardan doğrusal bir fit geçirilerek d[α/Fe]/dR_{GC}= +0.001±0.003dex/kpc'lik çok zayıf bir radyal alfa element bolluğu gradyenti hesaplanmıştır (Şekil 4.22a-b). İnce disk anakol yıldızlarının yaşlarına göre yapılan sınıflamasında alfa-element bolluğu küçük (-0.6 < [α/Fe] < 0 dex) olan yıldızların genç (2 < τ < 6 Gyıl), alfa-element bolluğu zengin olanların ise ([α/Fe] > 0 dex) yaşlı yıldızlardan (6 < τ < 10 Gyıl) oluştuğu görülmektedir. 5,759 kalın disk/halo yıldızının [α/Fe] × R_{GC} düzlemi üzerindeki dağılımları yıldız sayı yoğunluğuna ve yaşa göre Şekil 4.22c-d'de gösterilmiştir. Yıldızların Galaksi merkezine uzaklıklarının dar bir aralıkta yer aldığı (Şekil 4.22c) ve alfa element bollukları bakımından fakir yıldızlardan zengin yıldızlara gidildikçe yıldız yaşlarının da arttığı görülmektedir (Şekil 4.22d). Örnekteki alfaca zengin yıldızların dar bir uzaklık aralığında bulunmaları nedeniyle, tez çalışmasında bu yıldızlar için radyal alfa element bolluğu gradyenti hesaplanamamıştır.



Şekil 4.22: Popülasyon sınıflarına ayrılmış ince disk (a-b) ve kalın disk/halo (c-d) anakol yıldızlarının [α/Fe] × R_{GC} düzlemi üzerindeki yıldız sayı yoğunluğuna (a-c) ve yıldız yaşlarına (b-d) göre dağılımları. Panellerde daire sembolü ağırlıklandırılmış verileri, sürekli çizgi de bu verilere uygulanan doğrusal fiti göstermektedir.

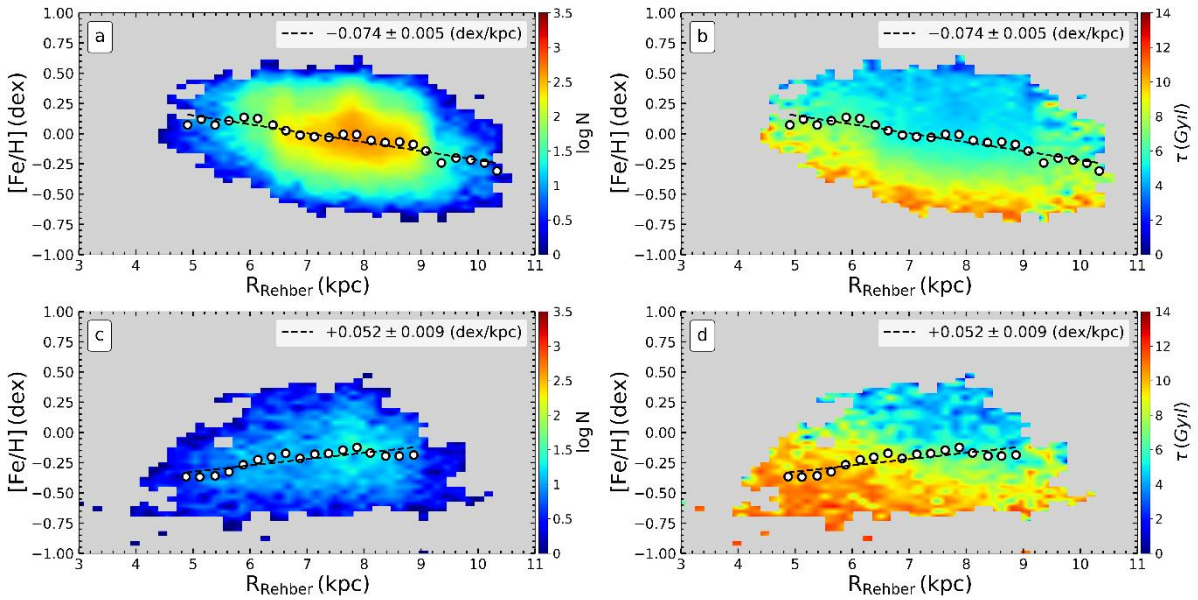
4.7.2 Yıldızların Galaktik Yörünge Parametrelerine Göre

Tez çalışmasında yıldızların *galpy* kodu yoluyla hesaplanmış Galaktik yörünge parametreleri ince disk ve kalın disk/halo anakol yıldızlarının metal bolluğu gradyent hesaplamalarında kullanılmıştır. Yıldızların Galaksi merkezine uzaklıkları için rehber yarıçapları (R_{Rehber}) dikkate alınmış ve metal bolluğu gradyent hesaplamaları demir ve alfa element bolluklarına göre ayrı ayrı incelenmiştir. Yıldızların rehber yarıçaplarının metal bolluğu gradyent hesaplamalarında kullanılması örnekteki farklı popülasyonlarda bulunan anakol yıldızlarının Galaksi merkezine göre daha geniş bir uzaklık aralığında bulunmalarını sağlamıştır. Yıldızlar anakoldaki nükleer evrimleri boyunca atmosferlerini ağır elementler bakımından kirletmedikleri için, oluştukları molekül bulutunun kimyasal özelliklerini yansıtırlar. Yıldızların Galaktik yörünge parametrelerinin dikkate alınarak metal bolluğu gradyentlerinin hesaplanması, Bölüm 4.7.1'de elde edilen sonuçlara göre daha duyarlı bulguların ortaya çıkmasını sağlamıştır.

4.7.2.1 Demir Bolluğuna Göre

Örnekteki ince disk anakol yıldızlarının rehber yarıçap (R_{Rehber}) uzaklıklarıyla metal bollukları ([Fe/H]) arasındaki değişim yıldız sayı yoğunluğuna ve yaşa bağlı olarak Şekil 4.23a-b'de

gösterilmiştir. 60,461 ince disk anakol yıldızının Galaksi merkezine göre uzaklıkları 4.4 < R_{Rehber} < 10.6 kpc, metal bollukları ise -0.75 < [Fe/H] < 0.60 dex aralığında bulunmaktadır. [Fe/H] × R_{Rehber} düzlemi üzerindeki yıldızlardan hassas radyal metal bolluğu gradyenti elde edebilmek için, yıldızlar 23 uzaklık aralığına ayrılarak anakol yıldızlarının medyan uzaklık (R_{Rehber}) ve medyan metal bollukları ([Fe/H]) hesaplanmış ve bu veriler Şekil 4.23a-b'de beyaz daire sembolüyle gösterilmiştir. Ağırlıklandırılmış bu noktalardan doğrusal bir fit geçirilerek d[Fe/H]/dR_{Rehber}= -0.074±0.005 dex/kpc'lik bir radyal metal bolluğu gradyenti hesaplanmıştır (Şekil 4.23a-b). İnce disk anakol yıldızının [Fe/H] × R_{Rehber} düzlemi üzerindeki yaşa bağlı değişimi de Şekil 4.23b'de gösterilmiştir. Diyagramda metalce zengin yıldızların 2 < τ < 6 Gyıl yaş aralığında bulunduğu, metalce fakir yıldızların ise 6 Gyıl'dan daha yaşlı olduğu görülmüştür. Bu değişim literatürde ince disk popülasyonunu ifade eden parametreler ile oldukça uyumludur (Marsakov ve diğ., 2011). Bu da Galaksi diskinde güçlü bir radyal metal bolluğu gradyentinin bulunduğunu gösteren önemli bir delildir.



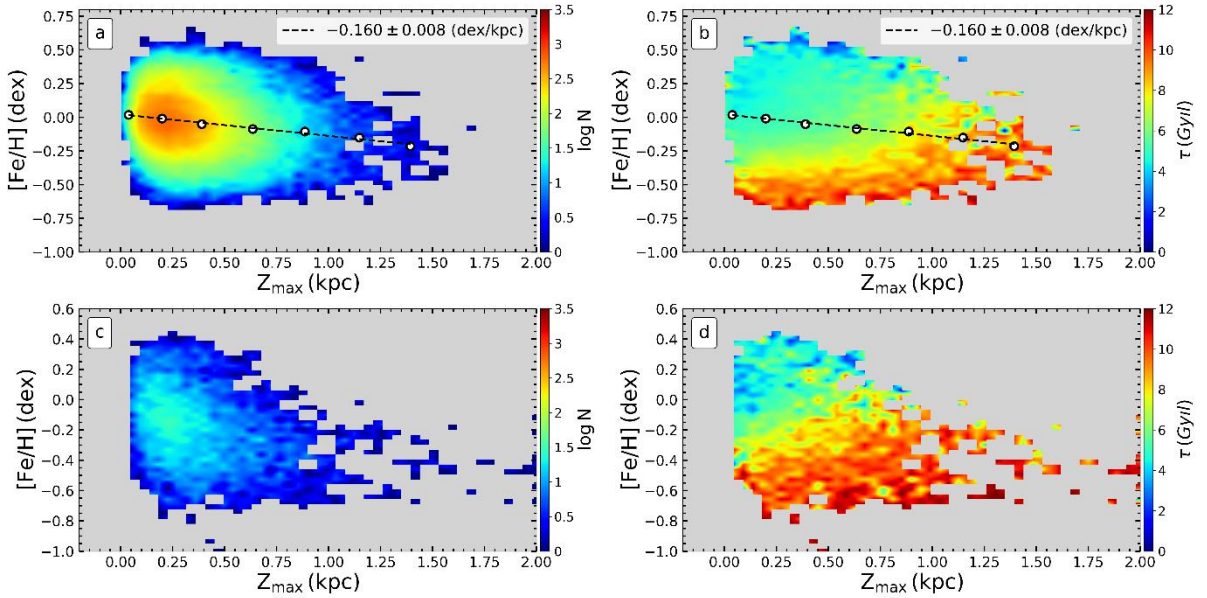
Şekil 4.23: Popülasyon sınıflarına ayrılmış ince disk (a-b) ve kalın disk/halo (c-d) anakol yıldızının [Fe/H] × R_{Rehber} düzlemi üzerindeki yıldız sayı yoğunluğuna, (a-c) ve yıldız yaşlarına (b-d) göre dağılımları. Panellerde daire sembolü ağırlıklandırılmış verileri, sürekli çizgi de bu verilere uygulanan doğrusal fiti göstermektedir.

5,759 kalın disk/halo anakol yıldızının rehber yarıçap uzaklıklarının 3 < R_{Rehber} < 10.3 kpc, metal bolluklarının -1 < [Fe/H] < 0.5 dex (Şekil 4.23c) ve yaşlarının da 4 < τ < 12 Gyıl (Şekil 4.23d) aralığında bulundukları tespit edilmiştir. Metalce zengin yıldızların [Fe/H] × R_{Rehber} düzlemi üzerindeki sayı yoğunlukları incelendiğinde gradyent hesaplaması yapılabilecek

düzeyde oldukları tespit edilmiş ve bu düzlem üzerinde 250 pc'lik uzaklık adımları içinde yıldızların medyan uzaklık ve metal bollukları belirlenmiştir. Ağırlıklandırılmış noktalar üzerinden doğrusal fit geçirilerek d[Fe/H]/dR_{Rehber}= +0.052±0.009 dex/kpc'lik bir radyal metal bolluğu gradyenti hesaplanmıştır (Şekil 4.23c-d). [Fe/H] × R_{Rehber} düzlemi üzerinde kalın disk/halo yıldızlarının metal bolluklarının yaşa bağlı değişimleri incelendiğinde (Şekil 4.23d), zengin metal bolluklarında bulunan anakol yıldızlarının göreceli olarak genç (τ < 6 Gyıl), metalce fakir olanların ise göreceli olarak yaşlı (τ > 6 Gyıl) oldukları görülmüştür. Ayrıca, metalce fakir kalın disk yıldızlarının Galaksi merkezine yakın (R_{Rehber} < 7 kpc), metalce zengin olanlarının ise Güneş civarında ve Güneş çemberinin dışında yer aldıkları tespit edilmiştir.

Tez çalışmasındaki ince disk anakol yıldızlarının metal bolluklarının ([Fe/H]) Galaktik düzlemden dik doğrultudaki uzaklıklarıyla (Z_{max}) değişimi yıldız sayı yoğunluğuna ve yıldız yaşına bağlı olarak Şekil 4.24a-b'de gösterilmiştir. İnce disk yıldızlarının Galaktik düzlemden dik uzaklıkları 0 < Z_{max} < 1.75 kpc, metal bollukları ise -0.75 < [Fe/H] < 0.60 dex aralığında bulunmaktadır. [Fe/H] × Z_{max} düzlemi üzerindeki ince disk yıldızlarından Galaktik düzleme dik doğrultuda bir metal bolluğu gradyenti elde edebilmek için örnekteki yıldızlar yedi uzaklık aralığına ayrılarak, her bir aralıkta yıldızların medyan $\langle Z_{\mathrm{max}} \rangle$ ve medyan $\langle$[Fe/H]$\rangle$ değerleri hesaplanmış ve bu veriler Şekil 4.24a-b'de beyaz daire sembolüyle gösterilmiştir. Ağırlıklandırılmış bu noktalardan doğrusal bir fit geçirilerek d[Fe/H]/dZ_{max}= -0.160±0.008 dex/kpc'lik bir metal bolluğu gradyenti hesaplanmıştır (Şekil 4.24a-b). Diyagramda metalce zengin yıldızların 2 < τ < 6 Gyıl yaş aralığında bulunduğu, metalce fakir yıldızların ise 6 Gyıl'dan daha yaşlı oldukları görülmüştür.

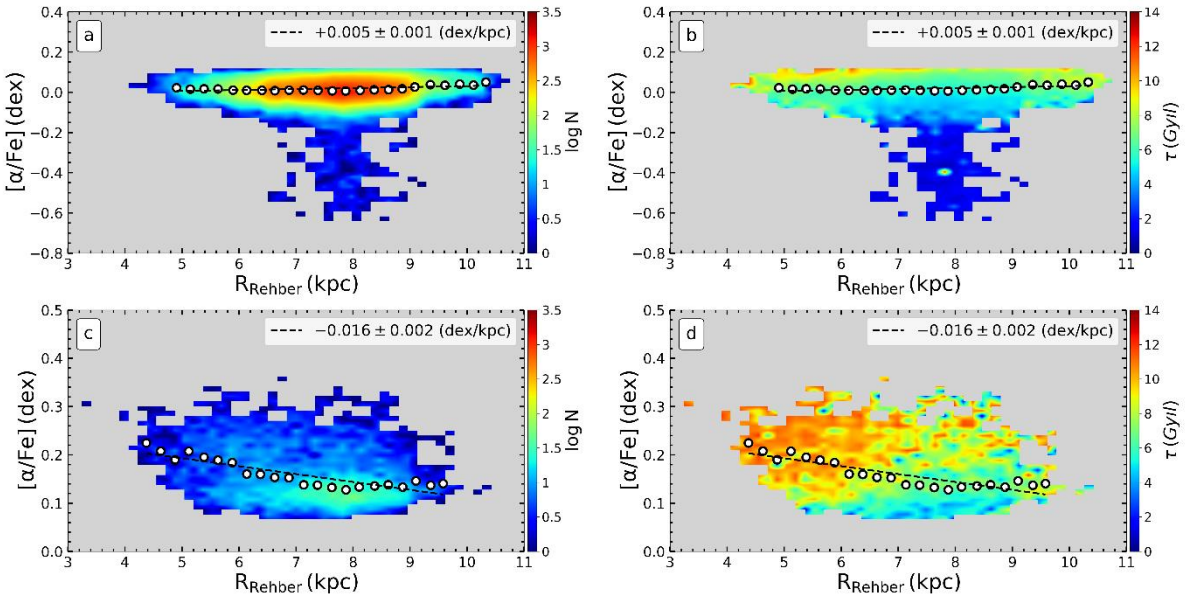
Kalın disk/halo yıldızlarının Galaktik düzlemden dik doğrultudaki uzaklıklarının 0 < Z_{max} < 2 kpc aralığında değiştiği, metal bolluklarının -1 < [Fe/H] < 0.5 dex (Şekil 4.24c) aralığında ve yaşlarının da 5 < τ <12 Gyıl (Şekil 4.24d) aralığında bulunduğu tespit edilmiştir. Kalın disk/halo yıldızlarının [Fe/H] × Z_{max} düzlemindeki yıldız sayı yoğunlukları incelendiğinde, Galaktik düzlemden dik doğrultuda bir metal bolluğu gradyentinin hesaplanmasına yetecek miktarda yıldız olmadığı görülmüştür.



Şekil 4.24: Popülasyon sınıflarına ayrılmış ince disk (a-b) ve kalın disk/halo (c-d) anakol yıldızlarının [Fe/H] × Z_{max} düzlemi üzerinde yıldız sayı yoğunluğuna (a-c), ve yıldız yaşlarına (b-d) göre dağılımları. Panellerde daire sembolü ağırlıklandırılmış verileri, sürekli çizgi de bu verilere uygulanan doğrusal fiti göstermektedir.

4.7.2.2 Alfa Element Bolluğuna Göre

Örnekteki ince disk anakol yıldızlarının alfa element bolluklarının ([α/Fe]) rehber yarıçap (R_{Rehber}) uzaklıklarıyla değişimi yıldız sayı yoğunluğuna ve yaşa bağlı olarak Şekil 4.25a-b'de gösterilmiştir. 60,461 ince disk anakol yıldızının Galaksi merkezine göre uzaklıkları $4.4 < R_{Rehber} < 10.6$ kpc, alfa element bollukları $-0.65 < [\alpha/Fe] < 0.15$ dex aralığında bulunmaktadır. [α/Fe] × R_{Rehber} düzlemi üzerindeki yıldızlardan hassas radyal metal bolluğu gradyenti elde edebilmek için yıldızlar 23 uzaklık aralığına ayrılarak anakol yıldızlarının medyan $\langle R_{Rehber} \rangle$ ve medyan $\langle [\alpha/Fe] \rangle$ değerleri hesaplanmış ve bu veriler Şekil 4.25a-b'de beyaz daire sembolüyle gösterilmiştir. Ağırlıklandırılmış bu noktalardan doğrusal bir fit geçirilerek $d[\alpha/Fe]/dR_{Rehber}$= +0.005±0.001 dex/kpc'lik zayıf bir radyal metal bolluğu gradyenti hesaplanmıştır (Şekil 4.25a-b). İnce disk anakol yıldızlarının [α/Fe] × R_{Rehber} düzlemi üzerinde yaşa bağlı değişimi de Şekil 4.25b'de gösterilmiştir. Diyagramda alfa elementleri bakımından zengin yıldızların $6 < \tau < 10$ Gyıl yaş aralığında olduğu, alfa elementleri bakımından fakir yıldızların ise 6 Gyıl'dan daha genç olduğu görülmüştür.



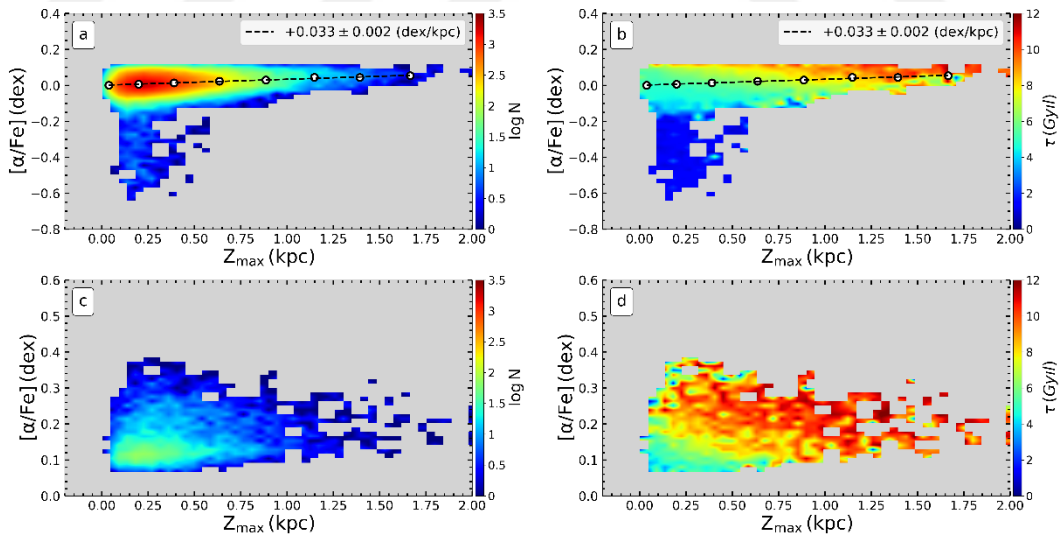
Şekil 4.25: Popülasyon sınıflarına ayrılmış ince disk (a-b) ve kalın disk/halo (c-d) anakol yıldızlarının [α/Fe] × R_{Rehber} düzlemi üzerindeki yıldız sayı yoğunluğuna (a-c), ve yıldız yaşlarına (b-d) göre dağılımları. Panellerde daire sembolü ağırlıklandırılmış verileri, sürekli çizgi de bu verilere uygulanan doğrusal fiti göstermektedir.

Kalın disk/halo anakol yıldızlarının rehber yarıçap uzaklıklarının $3 < R_{Rehber} < 10.6$ kpc, alfa element bolluklarının $0.08 <$ [α/Fe] < 0.35 dex (Şekil 4.25c) ve yaşlarının da $5 < \tau < 12$ Gyıl (Şekil 4.25d) aralığında bulunduğu tespit edilmiştir. Alfa elementleri bakımından zengin yıldızların [α/Fe] × R_{Rehber} düzlemi üzerindeki sayı yoğunlukları incelendiğinde, alfa bolluğu gradyent hesaplaması yapılabilecek sayıda oldukları belirlenmiş ve yıldızlar için bu düzlem üzerinde 250 pc'lik uzaklık adımları içinde medyan uzaklık ve alfa element bollukları hesaplanmıştır. Ağırlıklandırılmış noktalar üzerinden doğrusal fit geçirilerek d[α/Fe]/dR_{Rehber}= -0.016±0.002 dex/kpc'lik bir radyal metal bolluğu gradyenti hesaplanmıştır (Şekil 4.25c-d). [α/Fe] × R_{Rehber} düzlemi üzerinde kalın disk/halo yıldızlarının yaşa bağlı alfa element bolluk değişimleri incelendiğinde (Şekil 4.25d), zengin alfa element bolluklarında bulunan anakol yıldızlarının göreceli olarak yaşlı ($\tau > 6$ Gyıl), alfa elementleri bakımından fakir olanların ise göreceli olarak genç ($\tau < 6$ Gyıl) oldukları görülmektedir.

Tez çalışmasındaki ince disk anakol yıldızlarının alfa element bolluklarının ([α/Fe]) Galaktik düzlemden dik doğrultudaki uzaklıklarıyla (Z_{max}) değişimi yıldız sayı yoğunluğuna ve yıldız yaşına bağlı olarak Şekil 4.26a-b'de gösterilmiştir. İnce disk yıldızlarının Galaktik düzlemden dik uzaklıkları $0 < Z_{max} < 1.75$ kpc, alfa element bollukları $-0.65 <$ [α/Fe] < 0.15 dex aralığında

bulunmaktadır. [α/Fe] × Z_{max} düzlemi üzerindeki ince disk yıldızlarından Galaktik düzleme dik doğrultuda bir metal bolluğu gradyenti elde edebilmek için örnekteki yıldızlar sekiz uzaklık aralığına ayrılarak her bir aralıkta yıldızlarının medyan ⟨Z_{max}⟩ ve medyan ⟨[Fe/H] değerleri hesaplanmış ve bu veriler Şekil 4.26a-b'de beyaz daire sembolüyle gösterilmiştir. Ağırlıklandırılmış bu noktalardan doğrusal bir fit geçirilerek d[α/Fe]/dZ_{max}= +0.033±0.002 dex/kpc'lik bir metal bolluğu gradyenti hesaplanmıştır (Şekil 4.26a-b). Diyagramda alfa elementleri bakımından zengin yıldızların 5 < τ < 12 Gyıl yaş aralığında olduğu, alfa elementleri bakımından fakir yıldızların ise 5 Gyıl'dan daha yaşlı olduğu görülmüştür.

Kalın disk/halo yıldızlarının Galaktik düzlemden dik doğrultudaki uzaklıkları 0 < Z_{max} < 2 kpc, alfa element bolluklarının 0.08 < [α/Fe] < 0.38 dex (Şekil 4.26c) ve yaşlarının da 5 < τ < 12 Gyıl (Şekil 4.26d) aralığında bulunduğu tespit edilmiştir. Kalın disk/halo yıldızlarının [α/Fe] × Z_{max} düzlemindeki yıldız sayı yoğunlukları incelendiğinde, yıldız sayılarının Galaktik düzlemden dik doğrultuda bir metal bolluğu gradyentinin hesaplanmasına yetecek miktarda olmadığı görülmüştür. Bu nedenle Galaktik düzleme dik doğrultuda bir metal bolluğu gradyent hesaplaması yapılmamıştır.

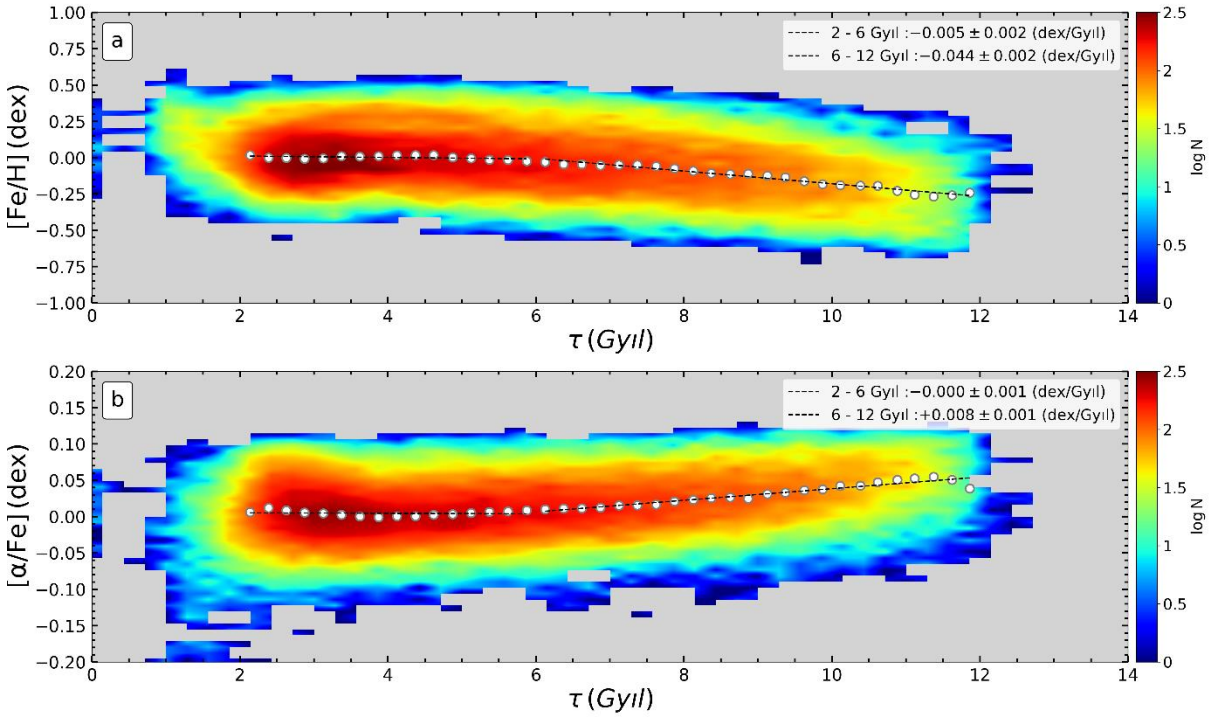


Şekil 4.26: Popülasyon sınıflarına ayrılmış ince disk (a-b) ve kalın disk/halo (c-d) anakol yıldızının [α/Fe] × Z_{max} düzlemi üzerindeki yıldız sayı yoğunluğuna (a-c), ve yıldız yaşlarına (b-d) göre dağılımları. Panellerde daire sembolü ağırlıklandırılmış verileri, sürekli çizgi de bu verilere uygulanan doğrusal fiti göstermektedir.

4.7.3 Yıldızların Yaşlarına Göre

Tez çalışmasında yıldız örneğinin büyük kısmını oluşturan ince disk popülasyonundaki anakol yıldızları için yaş – metal bolluğu ilişkisi araştırılmıştır. Bu amaç doğrultusunda 60,461 anakol yıldızının demir ve alfa element bolluklarıyla BSTEP algoritmasıyla hesaplanan yaşları [Fe/H]×τ ve [α/Fe]×τ düzlemleri üzerinde incelenmiştir (Şekil 4.27a-b). Örnekteki ince disk anakol yıldızlarının yaşlarının $0 < \tau < 12.5$ Gyıl ve demir bolluklarının da $-0.75 <$ [Fe/H] < 0.60 dex aralığında değiştiği tespit edilmiştir. Anakol yıldızlarının [Fe/H]×τ düzlemi üzerinde yıldız sayı yoğunluğuna göre renklendirilmiş şekli incelendiğinde ince disk yıldız yaşlarının $2 < \tau < 11$ Gyıl aralığında yoğun olduğu görülmüştür. Yıldız yaşlarının artmasıyla demir bolluğu değerlerinin 6 Gyıl'a kadar sabit kaldığı görülmüş ve daha yaşlı yıldızlara gidildikçe yıldızların demir bolluğunda zayıf bir azalma tespit edilmiştir. Bu durumu daha detaylı analiz edebilmek için $2 < \tau \leq 12$ Gyıl yaş aralığındaki ince disk anakol yıldızları $\Delta\tau = 250$ Myıl'lık yaş adımları dikkat alınarak, grupların medyan yaş ve metal bolluğu değerleri hesaplanmıştır. Ağırlıklandırılmış bu veriler Şekil 4.27a'da beyaz daire sembolleriyle gösterilmiştir. Yaş aralığı $2 < \tau \leq 6$ Gyıl ve $6 < \tau \leq 12$ Gyıl aralıklarındaki ağırlıklandırılmış noktalara doğrusal fitler uygulanmış ve d[Fe/H]$/d\tau$ = -0.005±0.002 ve d[Fe/H]$/d\tau$ = -0.044±0.002 dex/Gyıl değerleri elde edilmiştir. Bu bulgu ince disk yıldızlarının günümüzden 6 Gyıl öncesine kadar metal bolluğunun yaş ile hemen hemen değişmediğini, belirgin farklılığının ise 6 Gyıl'dan daha yaşlı yıldızlarda görüldüğünü ifade etmektedir. Yani 6 Gyıl'dan daha yaşlı yıldızlara gidildikçe ortalama metal bolluğu değerlerinde her 1 Gyıl'da 0.044 dex'lik bir fakirleşmenin olduğunu göstermektedir.

İnce disk anakol yıldızlarının alfa element bolluklarının yaşları ile değişimi Şekil 4.27b'de gösterilmiştir. Benzer analizler [α/Fe] × τ düzlemleri üzerindeki ince disk yıldızları için de gerçekleştirilmiştir. Yaşları $2 < \tau \leq 6$ Gyıl ve $6 < \tau \leq 12$ Gyıl aralıklarındaki yıldızlara doğrusal fitler uygulanmış ve sırasıyla d[α/Fe]$/d\tau$ = -0.000±0.001 ve d[α/Fe]$/d\tau$ = +0.008±0.001 dex/Gyıl değerleri elde edilmiştir. 6 Gyıl'dan genç ince disk yıldızlarının artan yaş ile alfa element bolluklarında bir değişmiş görülmezken, 6 Gyıl'dan yaşlı olanlarda alfa element bolluğunun yıldız yaşlarıyla birlikte arttığı tespit edilmiştir.



Şekil 4.27: Örnekteki 60,461 ince disk anakol yıldızının [Fe/H] × τ (a) ve [α/Fe] × τ (b) düzlemlerinde yıldız sayı yoğunluklarına göre oluşturulmuş dağılımları. Panellerde daire sembolü ağırlıklandırılmış verileri, sürekli çizgi de bu verilere uygulanan doğrusal fiti göstermektedir.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu yüksek lisans tez çalışmasında, GALAH DR3 kataloğundaki (Buder ve diğ., 2021) anakol yıldızlarının uzay hızları ve Galaktik yörünge parametreleri hesaplanmış ve GALAH DR3 kataloğundaki demir ve alfa element bollukları dikkate alınarak Galaksi merkezine göre radyal ve Galaktik düzleme dik doğrultularda metal bolluğu gradyentleri araştırılmıştır.

Tez çalışmasında metal bolluğu gradyent araştırması için anakol yıldızları tercih edilmiştir. Anakol yıldızlarının atmosferleri oluştukları molekül bulutunun izlerini taşır. Yıldızların iç yapıları dikkate alındığında bir yıldızın merkezi bölgesinde yoğun ve sıcak bir radyatif çekirdek bulunur. Yıldız zarfında ise geniş bir radyasyon bölgesi ve bu bölgenin üstünde de dar bir konveksiyon bölgesi yer alır. Konvektif bölgenin sığ oluşu nedeniyle gaz akımlarıyla yıldızın iç kısımda bulunan daha ağır elementlerin gaz akımlarıyla yıldız yüzeyine karışmaları söz konusu değildir. Ayrıca orta ve küçük kütleli yıldızlar uzun ömürlü olduklarından Galaksinin oluşumundan beri anakol aşamasında bulunabilirler. Bu özelliklerinden dolayı orta ve küçük kütleli anakol yıldızları Galaksi diskinin kimyasal evriminin araştırılmasında kullanılan önemli nesnelerdendir.

GALAH DR3'te sunulan veriler elektromanyetik tayfın optik dalga boylarında yüksek çözünürlüklü (R ~ 28,000) tayflardan elde edilmiş olup, farklı ışıma gücü sınıfında bulunan yıldızlar için verilmektedir (Buder ve diğ., 2021). Yıldızların atmosfer model parametreleri, radyal hızları ve yaklaşık 30 elemente ait bollukları içeren katalog, güncel *Gaia* EDR3 veri tabanındaki (Gaia işbirliği, 2021) öz hareket ve trigonometrik paralaks gibi astrometrik veriler ile eşleştirilerek, araştırmacıların Samanyolu galaksisinin kinematik ve kimyasal evriminin araştırılmasına hazır hale getirilmiştir. Tez çalışmasında GALAH DR3 kataloğundaki kaliteli verileri seçebilmek için GALAH konsorsiyumunun araştırmacılara önerdiği ölçütler ile birlikte, demir bolluğu hatalarına ($[Fe/H]_{hata} \leq 0.10$ dex), trigonometrik paralaks verilerine (ϖ>0 mas) ve yıldız tayflarındaki S/N oranına ($\langle S/N \rangle$>35) sınırlamalar getirilerek 235,202 yıldız seçilmiştir. Yıldızların ışıma gücü sınıflarının belirlenmesinde Bilir ve diğ.'nin (2020) yöntemi uygulanmış ve örnek içinden 68,651 anakol yıldızı belirlenmiştir. Son olarak örnekteki yıldızların rölatif paralaks hatalarına 0.02 sınırlaması getirilerek anakol yıldız sayısı 66,220 olmuştur.

66,220 anakol yıldızının uzaklıkları incelendiğinde Güneş'ten 1,600 pc'ye kadar ulaştıkları tespit edilmiştir. Tez çalışmasındaki anakol yıldızlarının Galaksi merkezine ötelenmesi durumunda, yıldızların Galaksi merkezine uzaklıklarının $6.7 < R_{GC} < 9.1$ kpc ve Galaktik düzlemden dik uzaklıklarının ise $|Z| \leq 0.5$ kpc uzaklık aralığında bulunduğu tespit edilmiştir. Bu bulgular tez çalışmasında hedeflenen metal bolluğu gradyent hesaplamaları için yeterli değildir. Bu nedenle örnekteki anakol yıldızlarının *galpy* koduyla (Bovy, 2015) hesaplanmış Galaktik yörünge parametreleri dikkate alınmıştır. 66,220 anakol yıldızının rehber yarıçapları ve Galaktik düzlemden ayrılabilecekleri dik uzaklıklarının aralıkları da, sırasıyla, $4.5 < R_{GC} < 10.6$ kpc ve $|Z_{max}| \leq 2$ kpc olarak hesaplanmıştır. Galaktik yörünge parametrelerinden hesaplanan uzaklıklar dikkate alındığında metal bolluğu gradyentlerinin duyarlı bir şekilde hesaplanabileceği görülmüştür.

Tez çalışmasında anakol yıldızlarının uzay hızı bileşenleriyle bu bileşenlerin belirsizlikleri Johnson ve Soderblom'un (1987) algoritması yardımıyla hesaplanmıştır. Yıldızların uzay hız hesaplamalarında Galaktik diferansiyel dönme ve LSR düzeltmeleri dikkate alınmış ve uzay hız bileşenleri bilinen tüm yanlılıklardan arındırılmıştır. Anakol yıldızları için hesaplanan toplam uzay hız belirsizliklerinin 1.8 km/sn'ye kadar uzandığı tespit edilmiştir. Hızdaki belirsizliklerin çok küçük olması nedeniyle yıldızların uzay hız hatalarına bir sınırlama getirilmemiştir.

GALAH DR3 kataloğundan seçilen anakol yıldızlarının Galaktik yörünge parametreleri *galpy* kütüphanesi içindeki *MWPotential2014* kodu kullanılarak hesaplanmıştır. Galaktik yörünge parametrelerinin hesaplamalarında anakol yıldızlarının ekvatoral koordinatları, öz hareket bileşenleri, uzaklıkları ve radyal hızları girdi parametreleri olarak kullanılmıştır. Yıldızların duyarlı yörünge parametrelerinin elde edilebilmesi ve kapalı bir yörünge oluşturabilmeleri için yıldızlar 5 Gyıl boyunca Galaksi merkezi etrafında 10,000 yıllık adımlar ile döndürülmüştür. Bu sayede 66,220 anakol yıldızının Galaktik düzlemden ulaşabildikleri en büyük uzaklık, Galaksi merkezine en yakın ve uzak mesafeleri ve bu uzaklıkların ortalamaları, rehber yarıçapları ve Galaktik düzlem üzerindeki yörünge basıklıkları belirlenmiştir. Hesaplamalar sonucunda anakol yıldızlarının kinematik ve dinamik yörünge parametreleri tez çalışmasındaki analizlere uygun hale getirilmiştir.

Anakol yıldızlarının Galaktik popülasyon ayrımında Plevne ve diğ.'nin (2020) [α/Fe]×[Fe/H] kimyasal bolluk düzleminde belirledikleri sınır çizgisi dikkate alınmıştır. Bu ayrım çizgisi kullanılarak GALAH DR3'te anakol yıldızı olarak sınıflandırılan yıldızlar alfa bolluğu açısından fakir (ince disk) ve zengin (kalın disk/halo) olarak sınıflandırılmıştır. Popülasyon ayrım analizine göre 60,461 ince disk ve 5,759 kalın disk/halo anakol yıldızı bulunmaktadır. Bu bulgu örnekteki anakol yıldızların %91,3'ünün ince disk, %8,7'sinin de kalın disk ve halo popülasyonuna üye olduğunu göstermektedir. Bensby ve Feltzing'in (2010) popülasyon sınıflarının oluşturulmasında kullandığı kinematik kriterlerin tez çalışmasındaki anakol yıldızlarına uygulanmasıyla örnekteki yıldızların %90,11'nin ince disk ve %9,89'nun da kalın disk/halo popülasyonuna ait olduğu belirlenmiştir. Kimyasal ve kinematik kritere göre oluşturulan Galaktik popülasyon sınıflarına üye yıldızların yüzdelerinin birbiriyle oldukça uyumlu olduğu görülmüştür.

5.1. ANAKOL YILDIZLARININ METAL BOLLUĞU GRADYENTLERİ

Tez çalışmasında GALAH DR3'ten seçilen anakol yıldızları kullanılarak metal bolluğu gradyentleri, Galaksi merkezine göre radyal doğrultuda ve Galaktik düzleme dik doğrultuda araştırılmıştır. Metal bolluğu gradyentlerinin hesaplamasında iki farklı element bolluğu ([Fe/H] ve [α/Fe]), üç farklı uzaklık (R_{GC}, R_{Rehber} ve Z_{max}) kullanılmıştır. Ayrıca metal bolluğu – uzaklık düzlemlerinde incelenen yıldızlar sayı yoğunluğuna ve yaşa göre renklendirilmiştir. Metal bolluğu gradyentlerinin hesaplanmasında seçilen uzaklık aralıklarına göre yıldızların element bolluklarının ve uzaklıklarının medyan değerleri alınarak gruplandırılmıştır. Ardından bu gruplandırılmış veriler üzerinden doğrusal fitler geçirilmiştir. Fitlerin eğimi incelenen örneğin metal bolluğu gradyenti olarak alınmıştır. Metal bolluğu gradyentleri yıldızların popülasyon türleri dikkate alınarak iki farklı element bolluğu ve üç farklı uzaklık yöntemine göre hesaplanmış ve tez çalışmasında elde edilen bulgular Tablo 5.1'de listelenmiştir. Örnekteki kalın disk/halo yıldızlarının sayısı farklı uzaklık yöntemlerinde istatistik bakımdan yeterli olmadığından [Fe/H] × R_{GC}, [Fe/H] × Z_{max}, [α/Fe] × R_{GC} ve [α/Fe] × Z_{max} düzlemlerinde metal bolluğu gradyentleri hesaplanmamıştır.

Literatürde anakol yıldızlarından hesaplanmış metal bolluğu gradyent değerleri araştırılmış ve derlenerek Tablo 5.2'de listelenmiştir.

Tablo 5.1: Popülasyon türlerine ayrılmış 66,220 anakol yıldızının iki farklı element bolluğu ve üç farklı uzaklık yöntemine göre hesaplanmış metal bolluğu gradyent değerleri.

Popülasyon	d **[Fe/H]**/dR_{GC} **(dex/kpc)**	d **[Fe/H]**/ dR_{Rehber} **(dex/kpc)**	d**[Fe/H]**/Z_{max} **(dex/kpc)**
İnce disk	-0.068±0.014	-0.074±0.005	-0.160±0.008
Kalın disk/Halo	---	+0.052 ± 0.009	---
	d **[α/Fe]**/ dR_{GC} **(dex/kpc)**	d**[α/Fe]**/dR_{Rehber} **(dex/kpc)**	d**[α/Fe]**/Z_{max} **(dex/kpc)**
İnce disk	+0.001±0.003	+0.005±0.001	+0.033±0.002
Kalın disk/Halo	---	-0.016±0.002	---

Tablo 5.2: Literatürde anakol yıldızlarından hesaplanmış metal bolluğu gradyent değerleri. R_{GC} ve Z yıldızların bugünkü konumlarını, R_{Rehber} ve Z_{max} Galaktik yörünge parametrelerini ifade etmektedir. Gradyent değerleri dex/kpc'tir.

Yazar	d**[Fe/H]**/dR_{GC}	**Açıklama**	**Bibliyografik Kod**
Liang ve diğ. (2019)	-0.0173±0.0028	$R_{GC} < 13.09$	2019ApJ…887..193L
	-0.0475±0.0015	$R_{GC} \geq 13.09$	
Recio-Blanco ve diğ. (2014)	-0.058±0.008	İnce disk [M/H]	2014A&A...567A...5R
	+0.006±0.008	Kalın disk [M/H]	
Mikolaitis ve diğ. (2014)	-0.044±0.009	Ana ince disk	2014A&A...572A..33M
	-0.028±0.018	Temiz ince disk	
	+0.008±0.007	Ana kalın disk	
	+0.008±0.007	Temiz kalın disk	
Boeche ve diğ. (2013)	-0.029±0.011	$7.6<R_{GC}<8.3$	2013A&A...559A..59B
Carrell ve diğ. (2012)	+0.015±0.005	$0.5<\|Z\|<1.0$ eş-yaş yöntemi	2012AJ....144..185C
	+0.017±0.005	$0.5<\|Z\|<1.0$ fotometrik yöntem	
Karataş ve Klement (2012)	-0.07±0.01	$0<Z_{max}<5$	2012NewA...17...22K
Allende Prieto ve diğ. (2006)	0	$1<\|Z\|\leq3$	2006ApJ...636..804A
Yazar	d**[α/Fe]**/dR_{GC}	**Açıklama**	**Bibliyografik Kod**
Liang ve diğ. (2019)	0.0030±0.0002	$7.84 < R_{GC} < 15.84$	2019ApJ…887..193L
Yazar	d**[Fe/H]**/dR_{Rehber}	**Açıklama**	**Bibliyografik Kod**
Plevne ve diğ. (2015)	-0.083±0.030	$0< Z_{max} \leq0.5$ [Fe/H]	2015PASA...32...43P
	-0.065±0.039	$0.5< Z_{max} \leq0.8$ [Fe/H]	
	-0.062±0.018	$0< Z_{max} \leq0.5$ [M/H]	
	-0.055±0.045	$0.5< Z_{max} \leq0.8$ [M/H]	
Boeche ve diğ. (2013)	-0.065±0.003	$0< Z_{max} \leq0.4$	2013A&A...559A..59B
	-0.059±0.006	$0.4< Z_{max} \leq0.8$	
	+0.006±0.015	$Z_{max}>0.8$	

Literatürde anakol yıldızlarının bugünkü konumuna göre hesaplanmış metal bolluğu gradyentleri incelendiğinde, $0 < d[Fe/H]/dR_{GC} < 0.058$ dex/kpc aralığında verildiği tespit edilmiştir. Tez çalışmasında ince disk anakol yıldızlarından itibaren metal bolluğu gradyenti $d[Fe/H]/dR_{GC} = 0.068 \pm 0.014$ dex/kpc olarak hesaplanmıştır. Bu değer, literatürde verilen en büyük gradyent değerinden (Recio-Blanco ve diğ., 2014) de büyüktür. Recio-Blanco ve diğ., (2014) *Gaia*-ESO tayfsal gökyüzü tarama programı çerçevesinde 1,016 FGK tayf türündeki anakol yıldızlarının GIRAFFE tayfçekerinden alınmış yüksek çözünürlüklü tayflarını analiz ederek metal bolluğu gradyetini 0.058±0.008 dex/kpc olarak hesaplamıştır. Bu değer tez çalışmasında ince disk yıldızları için verilen $d[Fe/H]/dR_{GC} = 0.068 \pm 0.014$ dex/kpc değerine yakındır.

Tez çalışmasında ince disk yıldızları için rehber yarıçaplar kullanılarak hesaplanmış metal bolluğu gradyent değerine bakıldığında, literatürde Plevne ve diğ.,'nin (2015) sonuçlarıyla oldukça uyumlu olduğu görülmüştür. Plevne ve diğ. (2015) RAVE DR4 kataloğundaki anakol yıldızlarının metal bollukları [Fe/H] ile rehber yarıçap (R_{Rehber}) uzaklıklarını kullanarak Galaksi merkezine göre radyal metal bolluğu gradyentlerini hesaplamıştır. Analizlerinde ince disk yıldızlarını $0 < Z_{max} \leq 0.5$ ve $0.5 < Z_{max} \leq 0.8$ kpc uzaklık aralıklarına ayırarak metal bolluğu gradyetlerini $d[Fe/H]/dR_{Rehber} = -0.083 \pm 0.030$ ve $d[Fe/H]/dR_{Rehber} = -0.065 \pm 0.039$ dex/kpc olarak vermiştir. Ayrıca Boeche ve diğ., (2013) RAVE tayfsal gökyüzü programındaki 19,962 anakol yıldızını analiz ederek $0 < Z_{max} \leq 0.4$ kpc uzaklık aralıklarındaki ince disk popülasyonu için radyal metal bolluğu gradyentini $d[Fe/H]/dR_{Rehber} = -0.065 \pm 0.003$ dex/kpc vermiştir. Bu değerler tez çalışmasında ince disk anakol yıldızları için hesaplanan -0.074±0.005 dex/kpc değeriyle oldukça uyumludur.

Tez çalışmasında ince disk anakol yıldızları için hesaplanan alfa element bolluğu gradyent değeri $d[\alpha/Fe]/dR_{GC} = +0.001 \pm 0.003$ dex/kpc olarak belirlenmiştir. Bu metal bolluğu gradyenti APOGEE ve LAMOST tayfsal gökyüzü tarama programındaki anakol yıldızlarını inceleyen Liang ve diğ.'nin (2019) verdiği $d[\alpha/Fe]/dR_{GC} = +0.0030 \pm 0.0002$ dex/kpc değeri ile uyumludur.

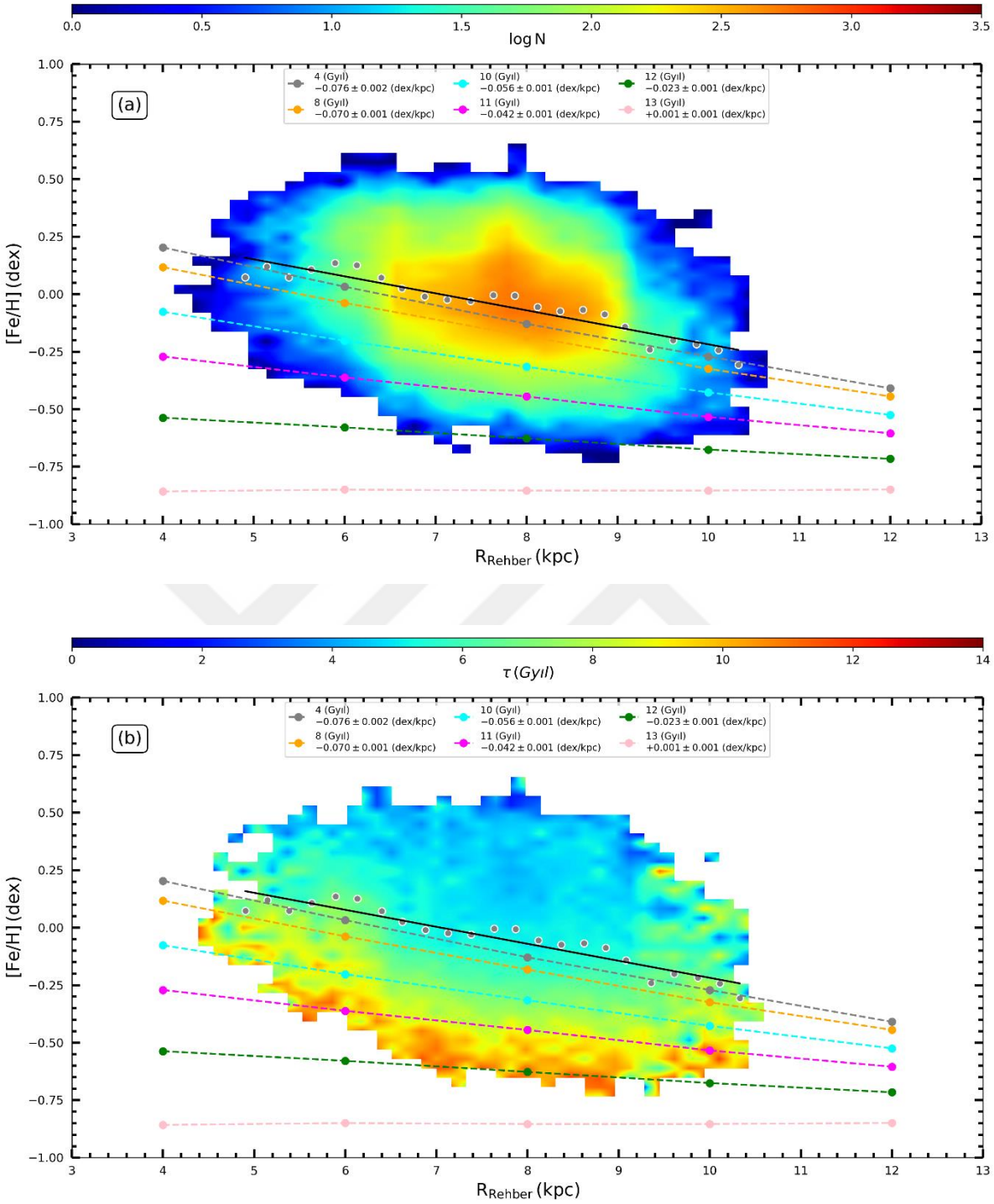
Sonuç olarak, tez çalışmasında farklı kıstaslar altındaki anakol yıldızlarından hesaplanan metal bolluğu gradyent değerlerinin literatürde verilen sonuçlar ile uyumlu olduğu görülmüştür. Tez

çalışmasında tayfsal ve astrometrik verileri homojen olan çok sayıda anakol yıldızı kullanıldığı için elde edilen metal bolluğu gradyentlerinin duyarlı olduğu söylenebilir.

5.2. KEMODİNAMİK MODEL KARŞILAŞTIRMASI

Tez çalışmasında elde edilen radyal metal bolluğu gradyentleri, Sharma ve diğ.,'nin (2020) Samanyolu Galaksi'si için üretmiş oldukları kemo-dimanik modellerden ulaşılan metal bolluğu gradyentleriyle karşılaştırılmıştır. Sharma ve diğ., (2020) oluşturdukları kemo-dinamik modelde (bakınız Bölüm 3.5) Galaksi merkezinden ve Galaktik düzlemden farklı uzaklıklar için [α/Fe]×[Fe/H] düzleminde yıldız yaşlarıyla metal bolluğu gradyentlerinin değişimlerini incelemişlerdir. Tez çalışmasında Sharma ve diğ.,'nin (2020) kemo-dinamik modelinden Güneş çemberini kapsayan ($7 < R_{GC} < 9$ kpc ve $0 < |Z| < 0.50$ kpc) uzaklık aralığında 4, 8, 10, 11, 12 ve 13 Gyıl'a karşılık gelen demir bolluğu ve Galaksi merkezine uzaklıklar derlenmiş ve bu veriler [α/Fe]×[Fe/H] düzlemine yıldız yaşlarının bir fonksiyonu olarak çizilmiştir (Şekil 5.1). Ayrıca [α/Fe]×[Fe/H] düzlemi üzerinde ince disk anakol yıldızlarının ağırlıklandırılmış verileriyle birlikte, yıldız sayı yoğunluklarına (Şekil 5.1a) ve yıldız yaşlarına (Şekil 5.1b) göre renklendirilmiş verileri gösterilmiştir. Ağırlıklandırılmış veriler üzerinden doğrusal bir fit geçirilerek ince disk anakol yıldızları için $d[\mathrm{Fe/H}]/dR_{\mathrm{Rehber}}$ = -0.074±0.002 dex/kpc olarak hesaplanmıştır. Yıldızların sayı yoğunluğu ve yaşları dikkate alındığında, Sharma ve diğ.,'nin (2020) kemo-dinamik modelinden t = 4 Gyıl için hesaplanan radyal metal bolluğu gradyent değerinin (-0.076±0.002 dex) bu tez kapsamında hesaplanan değer ile oldukça iyi bir uyum sağladığı görülmüştür.

Sonuç olarak, Güneş civarındaki anakol yıldızlarının güncel ve duyarlı verilerden hesaplanan metal bolluğu gradyentlerinin kuramsal modellerden üretilenler ile uyumlu olduğu bu tez çalışmasında gösterilmiştir. Bu tez çalışması farklı ışıma gücündeki diğer yıldız gruplarına uygulanarak Güneş civarının ötesindeki bölgeler için üretilen kemo-dinamik modellerin sınanması gerekliliğini ortaya koymaktadır.



Şekil 5.1: İnce disk anakol yıldızlarından hesaplanan radyal metal bolluğu gradyenti ve Sharma ve diğ.'nin (2020) Güneş civarı için yıldız yaşlarının fonksiyonu olarak üretilen kemo-dinamik model sonuçlarına ait gradyent değerleri. Panellerde daire sembolü ağırlıklandırılmış verileri, siyah çizgi tez çalışmasında hesaplanan doğrusal fiti, kesikli çizgiler de farklı yaşlardaki model fitlerini göstermektedir.

KAYNAKLAR

Ak, S., Bilir, S., Karaali, S., Buser, R., 2007, Estimation of Galactic Model Parameters with the Sloan Digital Sky Survey and the Metallicity Distribution in Two Fields in the Anti-centre Direction of the Galaxy, *Astronomische Nachrichten*, 328, 169.

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, 1.

Alcock, C., Allsman, R. A., Alves, D. R., ve diğ., 2000, The MACHO Project: Microlensing Optical Depth Toward the Galactic Bulge from Difference Image Analysis, *The Astrophysical Journal*, 541, 734-766.

Allende Prieto, C., Beers, T. C., Wilhelm, R., Newberg, H. J., Rockosi, C. M., Yanny, B., Lee, Y. S., 2006, A Spectroscopic Study of the Ancient Milky Way: F- and G-Type Stars in the Third Data Release of the Sloan Digital Sky Survey, *The Astrophysical Journal*, 636, 804-820.

Andrews, B. H., Weinberg, D. H., Schönrich, R., Johnson, J. A., 2017, Inflow, Outflow, Yields, and Stellar Population Mixing in Chemical Evolution Models, *The Astrophysical Journal*, 835, 224, 30.

Baade, W., 1944, The Resolution of Messier 32, NGC 205, and the Central Region of the Andromeda Nebula, *Astrophysical Journal*, 100, 137.

Beeckmans, F., 1980, The Astrometry Satellite Hipparcos, *ESA J.*, 4, 15 – 30.

Bensby, T., ve Feltzing, S., 2010, The Galactic Thin and Thick Disks in the Context of Galaxy Formation, *Chemical Abundances in the Universe: Connecting First Stars to Planets, Proceedings of the International Astronomical Union, IAU Symposium*, 265, 300-303.

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.

Bilir, S., Karaali, S., Ak, S., Yaz, E., Hamzaoğlu, E., 2006a, Galactic Longitude Dependent Galactic Model Parameters, *New Astronomy*, 12, 234-245.

Bilir, S., Karaali, S., Gilmore, G., 2006b, Investigation of the ELAIS Field by Vega Photometry: Absolute Magnitude-Dependent Galactic Model Parameters, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 366, 1295-1309.

Bilir, S., Cabrera-Lavers, A., Karaali, S., Ak, S., Yaz, E., López-Corredoira, M., 2008, Estimation of Galactic Model Parameters in High Latitudes with SDSS, *Publications of the Astronomical Society of Australia*, 25, 69-84.

Bilir, S., Alan, N., Güçtekin, S., ve diğ., 2020, Bridging the Ultraviolet and Optical Regions: Transformation Equations between GALEX and UBV Photometric Systems, *Publications of the Astronomical Society of Australia,* 37, article id. e022.

Binney, J., 2012, The Milky Way Galaxy, *Astronomy and Astrophysics,* Volume II. Edited by Oddbjørn Engvold, Rolf Stabell, Bozena Czerny and John Lattanzio. ISBN 978-1-84826-373-4.

Binney, J., Merrifield M., 1998, Galactic Astronomy / James Binney and Michael Merrifield. Princeton, NJ: *Princeton University Press*.

Bird, J. C., Kazantzidis, S., Weinberg, D. H., 2012, Radial Mixing in Galactic Discs: The Effects of Disc Structure and Satellite Bombardment, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 420, 913-925.

Blitz, L., Spergel, D. N., 1991, Direct Evidence for a Bar at the Galactic Center, *Astrophysical Journal*, 379, 631.

Boeche, C., Siebert, A., Piffl, T., ve diğ., 2013, Chemical Gradients in the Milky Way from the RAVE Data. I. Dwarf Stars, *Astronomy and Astrophysics*, 559, id.A59, 12.

Bovy, J., 2015, galpy: A Python Library for Galactic Dynamics, *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 216, article id. 29, 27.

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.

Buder, S., Asplund, M., Duong, Ly., ve diğ., 2018, The GALAH Survey: Second Data Release, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 478, 4513-4552.

Buder, S., Sharma, S., Kos, J., ve diğ., 2021, The GALAH+ Survey: Third Data Release, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 506, 150-201.

Buser, R., Rong, J., Karaali, S., 1998, The New Basel High-Latitude Field Star Survey of the Galaxy. I. General Introduction, Methodology and First Analysis, *Astronomy and Astrophysics*, 331, 934-948.

Buser, R., Rong, J., Karaali, S., 1999, The New Basel High-Latitude Field Star Survey of the Galaxy. II. The Thick Disk Component: Density Structure, Luminosity Function, and Metallicity Distribution, *Astronomy and Astrophysics*, 348, 98-112.

Buser, R., The Formation and Early Evolution of the Milky Way Galaxy, 2000, *Science*, 287, 69-74.

Cabrera-Lavers, A., Garzón, F., Hammersley, P. L., 2005, The Thick Disc Component of the Galaxy from Near Infrared Colour-Magnitude Diagrams, *Astronomy and Astrophysics*, 433, 173-183.

Cabrera-Lavers, A., Hammersley, P. L., González-Fernández, C., López-Corredoira, M., Garzón, F., Mahoney, T. J., 2007, Tracing the Long Bar with Red-Clump Giants, *Astronomy and Astrophysics*, 465, 825-838.

Carrell, K., Chen, Y., Zhao, G., 2012, Metallicity Gradients of Thick Disk Dwarf Stars, *The Astronomical Journal*, 144, article id. 185, 9.

Chen, B., Stoughton, C., Smith, J. A., ve diğ., 2001, Stellar Population Studies with the SDSS. I. The Vertical Distribution of Stars in the Milky Way, *The Astrophysical Journal*, 553, 184-197.

Chen, Y., Bressan, A., Girardi, L., ve diğ., 2015, PARSEC Evolutionary Tracks of Massive Stars up to 350 $M_{\odot}$ at Metallicities $0.0001 \leq Z \leq 0.04$, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 452, 1068-1080.

Chiappini, C., 2001, The Formation and Evolution of the Milk Way, *American Scientist*, 89, 6, 506.

Chiappini, C., Matteucci, F., Gratton, R., 1997, The Chemical Evolution of the Galaxy: The Two-Infall Model, *The Astrophysical Journal*, 477, 765-780.

Clarkson, W.I., Sahu, K. C., Anderson, J., ve diğ., 2011, The First Detection of Blue Straggler Stars in the Milky Way Bulge, *The Astrophysical Journal*, 735, article id. 37, 10.

Clausen, K., Wills, R.D., 1989, Overview of the Hipparcos Satellite, The HIPPARCOS Mission. Pre-Launch Status. Vol. I: *The Hipparcos Satellite*, Edited by M.A.C. Perryman (Scientific Coordinator), H. Hassan (Project Manager), et al. European Space Agency, Paris, ESA SP-1111., p.43

Clausen, K. F., Perryman, M. A. C., 1990, The Hipparcos Mission, *Acta Astronautica*, 22, 229-248.

Comparetta, J., Quillen, A. C., 2012, Stellar Migration by Short Lived Density Peaks Arising from Interference of Spiral Density Waves in an N-body Simulation, eprint arXiv:1207.5753

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, 2000. Editedy by Arthur N. Cox.* ISBN: 0387987460

Çelebi, M., 2018, F-G Tayf Türü Anakol Yıldızları İçin Yeni Fotometrik Metal Bolluğu ve Mutlak Parlaklık Kalibrasyonları, *İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek lisans tezi.

De Silva, G. M., Freeman, K. C., Bland-Hawthorn, J., ve diğ., 2015, The GALAH Survey: Scientific Motivation, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 449, 2604-2617.

de Vaucouleurs, G., 1964, Comparison Of HI Spiral Pattern With Optical Structure of other Galaxies, *The Galaxy and the Magellanic Clouds, Proceedings of the International Astronomical Union Symposium*, Edited by Frank J. Kerr. International Astronomical Union. Symposium, Australian Academy of Science, Canberra, 20, 88.

Djorgovski, S. G., Mahabal, A. A., Drake, A. J., ve diğ., 2012, Exploring the Time Domain with Synoptic Sky Surveys, *New Horizons in Time-Domain Astronomy*, Proceedings of the International Astronomical Union, IAU Symposium, 285, 141-146.

Dwek, E., Arendt, R. G., Hauser, M. G., ve diğ., 1995, Morphology, Near-infrared Luminosity, and Mass of the Galactic Bulge from COBE DIRBE Observations, *Astrophysical Journal*, 445, 716.

Eggen, O.J., Lynden-Bell, D., Sandage, A.R., 1962, Evidence from the Motions of Old Stars That the Galaxy Collapsed, *Astrophysical Journal*, 136, 748-766.

Feast, M., Whitelock, P., 1997, Galactic Kinematics of Cepheids from HIPPARCOS Proper Motions, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 291, 683-693.

Freeman, K., Bland-Hawthorn, J., 2002, The New Galaxy: Signatures of Its Formation, *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 40, 487-537.

Gaia işbirliği, Brown, A. G. A., Vallenari, A., Prusti, T., ve diğ., 2016a, Gaia Data Release 1. Summary of the Astrometric, Photometric, and Survey Properties, *Astronomy and Astrophysics*, 595, id.A2, 23.

Gaia işbirliği, Prusti, T., de Bruijne, J. H. J., Brown, A. G. A., ve diğ., 2016b, The Gaia Mission, *Astronomy and Astrophysics*, 595, id.A1, 36.

Gaia işbirliği, Brown, A. G. A., Vallenari, A., Prusti, T., ve diğ., 2018, Gaia Data Release 2. Summary of the Contents and Survey Properties, *Astronomy and Astrophysics*, 616, id.A1, 22.

Gaia işbirliği, Smart, R. L., Sarro, L. M., Rybizki, J. ve diğ., 2021, VizieR Online Data Catalog: Gaia EDR3 (Gaia Collaboration, 2020), VizieR On-line Data Catalog: I/350.

Gallart C., Bernard E. J., Brook C. B., Ruiz-Lara T., Cassisi S., ve diğ., 2019, The Evolutionary History of the Milky Way Discs and Halo from Gaia DR2 Colour-Magnitude Diagram Fitting, *Nature Astronomy*, 407.

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., Kuijken, K., 1989, Kinematics, Chemistry, and Structure of the Galaxy, *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 27, 555-627.

Habing, H. J., Sevenster, M.N., Messineo, M., ve diğ., 2006, The Distribution of Maser Stars in the Inner Milky Way: The Effect of a Weak, Rotating Bar, *Astronomy and Astrophysics*, 458, 151-162.

Hartwick, F. D. A., 1987, The Structure of the Galactic Halo, in the Galaxy, *NATO ASI,* EDS Gilmore, G., Carswell, R. (Dordrecht: Reidel), 281-290.

Hayden, M. R., Bovy, J., Holtzman, J. A., ve diğ., 2015, Chemical Cartography with APOGEE: Metallicity Distribution Functions and the Chemical Structure of the Milky Way Disk, *The Astrophysical Journal*, 808, article id. 132, 18.

Haywood, M., 2008, Radial Mixing and the Transition between the Thick and Thin Galactic Discs, *Monthly Notices of Royal Astronomical Society*, 388, 1175.

Helmi, A., 2020, Streams, Substructures, and the Early History of the Milky Way, *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 58, 205-256.

Hernquist, L., 1990, An Analytical Model for Spherical Galaxies and Bulges, *Astrophysical Journal*, 356, 359.

Holmberg, J., Nordström, B., Andersen, J., 2007, The Geneva-Copenhagen Survey of the Solar Neighbourhood II. New uvby Calibrations and Rediscussion of Stellar Ages, the G Dwarf Problem, Age-Metallicity Diagram, and Heating Mechanisms of the Disk, *Astronomy and Astrophysics*, 475, 519-537.

Holmberg, J., Nordström, B., Andersen, J., 2009, The Geneva-Copenhagen Survey of the Solar Neighbourhood. III. Improved Distances, Ages, and Kinematics, *Astronomy and Astrophysics,* 501, 941-947.

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.

Jordi, C., Gebran, M., Carrasco, J. M., ve diğ., 2010, Gaia Broad Band Photometry, *Astronomy and Astrophysics*, 523, id.A48, 14.

Jurić, M., Ivezić, Ž., Brooks, A., ve diğ., 2008, The Milky Way Tomography with SDSS. I. Stellar Number Density Distribution, *The Astrophysical Journal*, 673, 864-914.

Kalirai, J. S., Beaton, R. L., Geha, M. C., Gilbert, K. M., Guhathakurta, P., Kirby, E. N., Majewski, S. R., Ostheimer, J. C., Patterson, R. J., Wolf, J., 2012, The Observed Properties of Dwarf Galaxies in and Around the Local Group, *The Astronomical Journal*, 144, 4.

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., Yaz, E., ve diğ., 2007, Volume-Limited Dependent Galactic Model Parameters, *Publications of the Astronomical Society of Australia*, 24, 208-219.

Karataş, Y., Klement, R. J., 2012, Kinematics of Stellar Populations with RAVE Data, *New Astronomy*, 17, 22-33.

Kuijken, K., Rich, R. M., 2002, Hubble Space Telescope WFPC2 Proper Motions in Two Bulge Fields: Kinematics and Stellar Population of the Galactic Bulge, *The Astronomical Journal*, 124, 2054-2066.

Lee, Y. S., Beers, T. C., An, D., ve diğ., 2011, Formation and Evolution of the Disk System of the Milky Way: [α/Fe] Ratios and Kinematics of the SEGUE G-dwarf Sample, *The Astrophysical Journal*, 738, 187.

Liang, X., Zhao, J., Chen, Y., 2019, Elemental Abundance Distributions in the (R, Vϕ) Plane with LAMOST DR5 and Gaia DR2, *The Astrophysical Journal*, 887, 2.

Licquia, T., Newman, J., 2015, Does the Milky Way Lie on the Tully-Fisher Relation?, *American Astronomical Society, AAS Meeting #225*, id.102.01.

Maihara, T., Oda, N., Sugiyama, T., Okuda, H., 1978, 2.4-Micron Observation of the Galaxy and the Galactic Structure, *Publications of the Astronomical Society of Japan*, 30, 1-20.

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.

Majewski, S. R., 1993, Galactic Structure Surveys and the Evolution of the Milky Way, *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 31, 575-638.

Marsakov, V. A., Koval, V. V., Borkova, T. V., Shapovalov, M. V., 2011, The Age-Metallicity Relation in the Thin Disk of the Galaxy, *Astronomy Reports*, 55, 667-682.

Martell, S. L., Sharma, S., Buder, S., ve diğ., 2017, The GALAH Survey: Observational Overview and Gaia DR1 Companion, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 465, 3203-3219.

Michalik, D., Lindegren, L., Hobbs, D., 2015, The Tycho-Gaia Astrometric Solution. How to Get 2.5 Million Parallaxes with Less Than One Year of Gaia Data, *Astronomy and Astrophysics*, 574, id.A115, 8.

Mihalas, D., Binney, J., 1981, Galactic Astronomy. Structure and Kinematics, *San Francisco: Freeman*, 2nd ed.

Mikolaitis, Š., Hill, V., Recio-Blanco, A., ve diğ., 2014, The Gaia-ESO Survey: The Chemical Structure of the Galactic Discs from the First Internal Data Release, *Astronomy and Astrophysics*, 572, id.A33, 22.

Minchev, I., Quillen, A. C., 2006, Radial Heating of a Galactic Disc by Multiple Spiral Density Waves, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 368, 623-636.

Minchev, I., Famaey, B., 2010, Radial Mixing in the Milky Way Disk Caused by Spiral-Bar Resonance Overlap, American Astronomical Society, AAS Meeting #215, id.607.01; *Bulletin of the American Astronomical Society,* 36, 1138.

Minchev, I., Nordhaus, J., Quillen, A. C., 2011, New Method for Determining the Milky Way Bar Pattern Speed, *Memorie della Societa Astronomica Italiana Supplement,* 18, 189.

Minchev, I., Chiappini, C., Martig, M., 2013, Chemodynamical Evolution of the Milky Way Disk. I. The Solar Vicinity, *Astronomy and Astrophysics*, 558, id.A9, 25.

Minchev, I., Martig, M., Streich, D., ve diğ., 2015, On the Formation of Galactic Thick Disks, *The Astrophysical Journal Letters*, 804, article id. L9, 5.

Minchev, I., Anders, F., Recio-Blanco, A., ve diğ., 2018, Estimating Stellar Birth Radii and the Time Evolution of Milky Way's ISM Metallicity Gradient, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 481, 645-1657.

Miyamoto, M., Nagai, R., 1975, Three-Dimensional Models for the Distribution of Mass in Galaxies., *Publications of the Astronomical Society of Japan*, 27, 533-543.

Moitinho, A., Krone-Martins, A., Savietto, H., ve diğ., 2017, Gaia Data Release 1. The Archive Visualisation Service, *Astronomy and Astrophysics*, 605, id.A52, 16.

Navarro, Julio F., Frenk, Carlos S., White, Simon D. M., 1996, The Structure of Cold Dark Matter Halos, *Astrophysical Journal*, 462, 563-575.

Ness, M., Hogg, D. W., Rix, H-W., ve diğ., 2015, The Cannon, *American Astronomical Society,* AAS Meeting #225, id.302.07.

Nidever, D. L., Bovy, J., Bird, J. C., 2014, Tracing Chemical Evolution Over the Extent of the Milky Way's Disk with APOGEE Red Clump Stars, *The Astrophysical Journal*, 796, article id. 38, 16.

Nissen, P. E., 2004, Thin and Thick Galactic Disks, *Origin and Evolution of the Elements, from the Carnegie Observatories Centennial Symposia. Published by Cambridge University Press, as part of the Carnegie Observatories Astrophysics Series. Edited by A. McWilliam and M. Rauch,* 154.

Nordström, B., Mayor, M., Andersen, J., 2004, The Geneva-Copenhagen Survey of the Solar Neighbourhood. Ages, Metallicities, and Kinematic Properties of ∼14 000 F and G Dwarfs, *Astronomy and Astrophysics*, 418, 989-1019.

Norris, J. E., Ryan, S. G., 1989, Population Studies. VII. On the Use of UBV Data for Kinematically Selected Samples to Determine the Dependence of Kinematics on Abundance, *Astrophysical Journal*, 340, 739.

Ortolani, S, Renzini, A, Gilmozzi, R, Marconi, G, Barbuy, B., ve diğ., 1995, Near-Coeval Formation of the Galactic Bulge and Halo Inferred from Globular Cluster Ages, *Nature*, 377, 701.

Pedregosa, F., Varoquaux, G., Gramfort, A., Vincent, M., 2011, Scikit-learn: Machine Learning in Python, *Journal of Machine Learning Research*, 12.

Perryman, M. A. C., 1991, Hipparcos: Revised Mission Overview, *Advances in Space Research*, 11, 15-23.

Piskunov, N., Valenti, J.A., 2017, Spectroscopy Made Easy: Evolution, *Astronomy and Astrophysics*, 597, id.A16, 10.

Plevne, O., Ak, T., Karaali, S., Bilir, S., Ak, S., Bostancı, Z. F., 2015, Local Stellar Kinematics from RAVE Data-VI. Metallicity Gradients Based on the F-G Main-Sequence Stars, *Publications of the Astronomical Society of Australia*, 32, 043.

Plevne, O., Önal, T. Ö., Bilir S., Seabroke, G. M., 2020, Multiwavelength Absolute Magnitudes and Colors of Red Clump Stars in the Gaia Era, *The Astrophysical Journal*, 893, id.108, 21.

Posti L., Helmi A., 2019, Mass and Shape of the Milky Way's Dark Matter Halo With Globular Clusters from Gaia and Hubble, *Astronomy and Astrophysics*, 621, A56.

Quillen, A. C., Minchev, I., Bland-Hawthorn, J., Haywood, M., 2009, Radial Mixing in the Outer Milky Way Disc Caused by an Orbiting Satellite, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 397, 1599-1606.

Recio-Blanco, A., de Laverny, P., Kordopatis, ve diğ., 2014, The Gaia-ESO Survey: The Galactic Thick to Thin Disc Transition, *Astronomy and Astrophysics*, 567, 21.

Reid, M. J., Menten K. M., Brunthaler, A., ve diğ., 2019, Trigonometric Parallaxes of High-Mass Star-Forming Regions: Our View of the Milky Way, *The Astrophysical Journal*, 885, article id. 131, 18.

Robin, A. C., Haywood, M., Creze, M., Ojha, D. K., Bienayme, O., 1996, The Thick Disc of the Galaxy: Sequel of a Merging Event, *Astronomy and Astrophysics*, 305, 125-134.

Robin A. C., Marshall, D. J., Schultheis, M., Reyle, C., 2012, Stellar Populations in the Milky Way Bulge Region: Towards Solving the Galactic Bulge and Bar Shapes Using 2MASS Data, *Astronomy and Astrophysics*, 538, id.A106, 14.

Roškar, R., Debattista, V. P., Quinn, T. R., Stinson, G. S., Wadsley, J., 2008, Riding the Spiral Waves: Implications of Stellar Migration for the Properties of Galactic Disks, *The Astrophysical Journal Letters*, 684, L79.

Sanders, J. L., Binney, J., 2015, Extended Distribution Functions for our Galaxy, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 449, 3479-3502.

Sartoretti, P., Cropper, M., Panuzzo, P., ve diğ., 2018, Gaia Data Release 2. Processing the Spectroscopic Data, *Astronomy and Astrophysics*, 616, id.A6, 25.

Schönrich, R., Binney, J., 2009a, Chemical Evolution with Radial Mixing, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 396, 203-222.

Schönrich, R., Binney, J., 2009b, Origin and Structure of the Galactic Disc(s), *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 399, 1145-1156.

Searle, L., Zinn, R., 1978, Compositions of Halo Clusters and the Formation of the Galactic Halo, *Astrophysical Journal*, 225, 357-379.

Sellwood, J. A., Binney, J. J., 2002, Radial Mixing in Galactic Discs, *Monthly Notice of the Royal Astronomical Society*, 336, 785-796.

Shapley, H., 1917, The Dimensions of a Globular Cluster, *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 29, 172, 245.

Sharma S., Stello, D., Buder, S., ve diğ., 2018, The TESS-HERMES Survey Data Release 1: High-Resolution Spectroscopy of the TESS Southern Continuous Viewing Zone, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 473, 2004-2019.

Sharma, S., Hayden, M. R., Bland-Hawthorn, J., 2020, Chemical Enrichment and Radial Migration in the Galactic Disk - the Origin of the [α/Fe] Double Sequence, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 507, 5882-5901.

Shen, J., Zheng, X. W., 2020, The Bar and Spiral Arms in the Milky Way: Structure and Kinematics, *Research in Astronomy and Astrophysics*, 20, 10.

Shu, F., H., 1969, Models of Partially Relaxed Stellar Disks, *Astrophysical Journal*, 158, 505.

Siegel, M. H., Majewski, S. R., Reid, I. N., Thompson, I. B., 2002, Star Counts Redivivus. IV. Density Laws through Photometric Parallaxes, *The Astrophysical Journal*, 578, 151-175.

Steinmetz, M., Zwitter, T., Siebert, A., ve diğ., 2006, The RAdial Velocity Experiment (RAVE): First Data Release, *Astronomical Journal*, 132, 4.

Stello, D., Zinn, J., Elsworth, Y., ve diğ., 2017, The K2 Galactic Archaeology Program Data Release. I. Asteroseismic Results from Campaign 1, *The Astrophysical Journal*, 835, article id. 83, 20.

Tang, J., Bressan, A., Rosenfield P., ve diğ., 2014, New PARSEC Evolutionary Tracks of Massive Stars at Low Metallicity: Testing Canonical Stellar Evolution in Nearby Star-Forming Dwarf Galaxies, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 445, 4287-4305.

Trumpler, R., J., 1930, Absorption of Light in the Galactic System, *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 42, 214-227.

Valenti E., Zoccali M., Renzini A., ve diğ., 2013, Stellar Ages Through the Corners of the Boxy Bulge, *Astronomy and Astrophysics*, 559, id.A98, 10.

Valenti, E., Zoccali, M., Gonzalez, A. O., ve diğ., 2016, Stellar Density Profile and Mass of the Milky Way Bulge from VVV data, *Astronomy and Astrophysics*, 587, id.L6, 4.

Vivas, A. K., Zinn, R., Gallart, C., 2006, Structure of the Halo of the Milky Way, *Third International Meeting of Dynamic Astronomy in Latin America (Eds. Carlos Abad, Ángel Bongiovanni, & Yaneth Guillén) Revista Mexicana de Astronomía y Astrofísica (Serie de Conferencias)*, 25, 37-40.

Watkins, L. L., van der Marel, R. P., Sohn S. T., Evans, N. W., 2019, Evidence for an Intermediate-Mass Milky Way from Gaia DR2 Halo Globular Cluster Motions, *The Astrophysical Journal*, 873, article id. 118, 13.

Weiland, J. L., Arendt, R. G., Berriman, G.B., ve diğ., 1994, COBE Diffuse Background Experiment Observations of the Galactic Bulge, *Astrophysical Journal Letters*, 425, L81.

Wyse, R. F. G., Gilmore, G., 1989, Is the Galaxy Round, *Comments on Astrophysics*, 13, 135.

Yaz, E., Karaali, S., 2010, Estimation of Galactic Model Parameters and Metalicity Distribution in Intermediate Latitudes with SDSS, *New Astronomy*, 15, 234-246.

Zoccali, M., Renzini, A., Ortolani, S., ve diğ., 2003, Age and Metallicity Distribution of the Galactic Bulge from Extensive Optical and Near-IR Stellar Photometry, *Astronomy and Astrophysics*, 399, 931-956.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Furkan AKBABA
Doğum Yeri	
Doğum Tarihi	Tarih girmek için tıklayın veya dokunun.
Uyruğu	❒ T.C. ❒ Diğer:
E-Posta Adresi	
Web Adresi	

Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Fakülte	Fen Fakültesi
Bölümü	Astronomi ve Uzay Bilimleri
Mezuniyet Yılı	27.06.2018

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

Makale ve Bildiriler
Akbaba F., Peletier R., 2016, X-Shooter Tayf Kütüphanesinde Sönümleme Düzeltmesi, *Ulusal Astronomi Kongresi*, Poster Akbaba F., 2021, GALAH ve Gaia Verileriyle Metal Bolluğu Gradyent Araştırması, *Ege Üniversitesi Gözlemevi 2. Çalıştayı*, Bildiri