T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Yüksek Lisans Tezi

YEREL DURAĞANLIK STANDARDININ FARKLI PARAMETRELER İLE TAYİNİ

Murat TAŞ

Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı

Astronomi ve Uzay Bilimleri Programı

DANIŞMAN
Prof. Dr. Selçuk BİLİR

Ocak, 2023

İSTANBUL

Bu çalışma, 16.01.2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı, Astronomi ve Uzay Bilimleri Programında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Prof. Dr. Selçuk BİLİR(Danışman)
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi

Doç. Dr. Esma YAZ GÖKÇE
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi

Dr. Öğr. Üyesi Ayşegül F. YELKENCİ
İstanbul Kültür 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

Yüksek lisans tez çalışmamda verdiği değerli yorumlar için tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Selçuk Bilir'e teşekkürü bir borç bilirim.

Tezimin hazırlık sürecinin tüm aşamalarında psikolojik desteğini esirgemeyen aileme varlıkları için teşekkür ederim.

Ocak 2023 Murat TAŞ

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ ..... **iv**
İÇİNDEKİLER ..... **v**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **vii**
TABLO LİSTESİ ..... **xi**
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ ..... **xii**
ÖZET ..... **xv**
SUMMARY ..... **xvii**
1. GİRİŞ **1**
2. GENEL KISIMLAR **5**
2.1. GALAKTİK POPÜLASYONLAR 5
2.2. GÜNEŞ KOMŞULUĞU VE YEREL DURAĞANLIK STANDARDI 9
2.3. GALAH GÖKYÜZÜ TARAMASI 11
2.4. *GAIA* UYDUSU 15
3. MALZEME VE YÖNTEM **18**
3.1. VERİLER 18
3.2. YILDIZLARIN UZAKLIKLARI 18
3.3. YILDIZLARIN UZAY HIZLARI 19
3.4. YILDIZLARIN DİNAMİK YÖRÜNGE PARAMETRELERİ 22
3.5. YILDIZLARIN GALAKTİK POPÜLASYONLARI 25
3.5.1. Kimyasal Uzayda Galaktik Popülasyonlar 25
3.5.2. Dinamik Özelliklerine Göre Galaktik Popülasyonlar 26
3.5.3. Yıldız Yaşlarına Göre Galaktik Popülasyon Ayrımı 27
4. BULGULAR **29**
4.1. ANAKOL ÖRNEĞİNİN BELİRLENMESİ 33
4.2. ANAKOL YILDIZLARININ ASTROMETRİK ÖZELLİKLERİ 33
4.3. ANAKOL YILDIZLARININ TAYFSAL ÖZELLİKLERİ 39
4.4. ANAKOL YILDIZLARININ KİNEMATİK ÖZELLİKLERİ 41
4.5. ANAKOL YILDIZLARININ YÖRÜNGE ÖZELLİKLERİ 42
4.6. ANAKOL YILDIZLARININ YAŞLARI 44
4.7. YEREL DURAĞANLIK STANDARDI 45

4.7.1. Genel Sınırlamalar İle Belirlenen Alt-Örneklerden LSR Tayini.....45
4.7.2. Uzaklığa Göre Sınırlanan Anakol Alt-Örneklerinden LSR Tayini 55
4.7.3. Kimyaya Göre Sınırlandırılan Anakol Alt-Örneklerinden LSR Tayini 60
4.7.4. Yörüngeye Göre Sınırlandırılan Anakol Alt-Örneklerinden LSR Tayini 65
4.7.5. Tayf Türüne Göre Sınırlandırılan Anakol Alt-Örneklerinden LSR Tayini.....70
5. TARTIŞMA VE SONUÇ 76
KAYNAKLAR.....84
ÖZGEÇMİŞ 92

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1: Samanyolu'nun başlıca bileşenleri (şişkin bölge, disk ve halo) ile Galaktik yıldız popülasyonlarının (Pop I ve Pop II yıldızları) konumları. 7

Şekil 2.2: Samanyolu'nun üstten görüntüsü. Spiral kollar ve Galaktik çubukların Galaktik boylama göre durumu. 8

Şekil 2.3: Anglo-Avustralya teleskobu (solda) ve HERMES tayf çekeri (sağda). 12

Şekil 2.4: GALAH DR3 kaynaklarının Galaktik koordinatlardaki dağılımı. Kaynaklar GALAH DR3 Evre-1 kapsamında yürütülen tüm projelere göre renklendirilmiştir. Buna göre mavi renk Evre-1'in ana kaynaklarını, turuncu sönük kaynakları, yeşil K2-HERMES alanlarını, kırmızı TESS-HERMES alanlarını ve mor diğer HERMES gözlemlerini temsil etmektedir. 15

Şekil 2.5: *Gaia* uydusu. Yeşil ve pembe ışınlar *Gaia* gözlemlerinin eş-zamanlı olarak iki farklı teleskop ile yapıldığını temsil eder. 16

Şekil 2.6: Güneş'ten itibaren 100 pc içerisinde bulunan yaklaşık 40,000 yıldızın *Gaia* EDR3 kataloğundaki duyarlı özhareket verileri kullanılarak oluşturulan projeksiyon. 17

Şekil 3.1: Bir yıldızın *U, V, W* uzay hızı bileşenleri ve yıldız ile Güneş'in Galaksi merkezine uzaklıklarının şematik gösterimi.[7] 19

Şekil 3.2: *MWPotential2014* modelinde Galaktik bileşenleri temsil eden dönme eğrileri. Burada tüm galaksi, şişkin bölge, disk ve halo, sırasıyla, düz, noktalı-kesikli, kesikli ve noktalı eğrilerle temsil edilmiştir.[8] 23

Şekil 4.1: GALAH DR3 kataloğuna getirilen sınırlamalarla seçilen 217,767 yıldızların logaritmik sayı yoğunluğuna göre oluşturulmuş Kiel diyagramı. [9].....30

Şekil 4.2: GALAH DR3 anakol örnekleminin ekvatoral koordinatlarının dağılımı.[10] 31

Şekil 4.3: GALAH DR3 anakol örnekleminin Galaktik koordinatlarının dağılımı. 11 32

Şekil 4.4: GALAH DR3 anakol örneğinin SNR histogramı. 12 32

Şekil 4.5: GALAH DR3'ten seçilen 217,767 yıldızın -3.5 < [Fe/H] (dex) < 1 metal bolluğu aralığındaki 10 alt aralıkta yer alan yıldızların Kiel diyagramları. Mavi, yeşil ve pembe noktalar sırasıyla anakol, evrimleşmiş ve istatistik dışı yıldızları gösterirken, kırmızı kesikli çizgiler ZAMS ve TAMS sınırlarını temsil etmektedir. ZAMS ve TAMS eğrilerinin belirlendiği ağır element değeri (Z) ve her bir diyagramın metal bolluğu aralığı ilgili diyagramın sol üst köşesinde verilmiştir.[13] 34

Şekil 4.6: Özhareket ($\mu_\delta \times \mu_\alpha.\cos\delta$) düzleminde 93,357 anakol yıldızının dağılımı. Diyagram logaritmik yıldız sayı yoğunluğuna göre sağ üstte verilen renk ölçeğine göre renklendirilmiştir.[14] 35

Şekil 4.7: 93,357 anakol yıldızının toplam özhareket hata histogramı. Mavi çubuklar hataların histogramını, kırmızı düz çizgiler yıldız sayısının artan özhareket değeriyle birikimli artışı gösterirken, bu artışın yüzdesel değişimi de ikinci y-ekseninde gösterilmiştir. *h* alt indisi ilgili parametrenin hatası anlamına gelmektedir. [15] 36

Şekil 4.8: 93,357 anakol yıldızının rölatif paralaks hata histogramı. 38

Şekil 4.9: 93,357 anakol yıldızının uzaklık histogramı. 38

Şekil 4.10: Anakol yıldızlarının *X* - *Y* ve *X* - *Z* helyosentrik uzaklık bileşenlerinin dağılımları. Her bir panel logaritmik yıldız sayısına göre renk kodlamalı olarak oluşturulmuştur. Siyah kesikli yatay ve dikey çizgiler Güneş'in konumunu temsil etmektedir. (*X, Y, Z*) = (0, 0, 0) Güneş'in konumunu temsil etmektedir. Galaktik merkez ise her iki panelde + *X* doğrultusundadır. [17] 38

Şekil 4.11: 93,357 anakol yıldızının radyal hız (sol panel) ve radyal hız hata (sağ panel) histogramları. 40

Şekil 4.12: 93,357 anakol yıldızının metal bolluğu histogramı. [18].....40

Şekil 4.13: 93,357 anakol yıldızının alfa element bolluk histogramı. 40

Şekil 4.14: 93,357 anakol yıldızının toplam uzay hata histogramı. 42

Şekil 4.15: *U* ve *V* uzay hız bileşenlerine uygulanan diferansiyel dönme düzeltmelerinin Galaktik boylama (*l*) göre değişimleri. $dU \times l$ (üst panel) ve $dV \times l$ *(alt panel).* Veriler logaritmik yıldız sayı yoğunluğuna göre renklendirilmiştir. Renk değişim ölçeği her panelin sağ üst köşesinde belirtilmiştir. 42

Şekil 4.16: 93,357 anakol yıldızının *MWPotential2014* modeline göre hesaplanan yörüngelerinde yıldızların Galaktik düzeleme dik doğrultuda çıkabilecekleri en büyük yüksekliklerin histogramı. 43

Şekil 4.17: 93,357 anakol yıldızının *MWPotential2014* modeline göre hesaplanan yörünge basıklıklarının histogramı. 44

Şekil 4.18: 93,357 anakol yıldızının *BSTEP* koduyla hesaplanan yaş histogramı. 45

Şekil 4.19: 93,357 anakol yıldızının *U, V* ve *W* uzay hızı bileşenlerinin frekans dağılımları. Kırmızı, yeşil ve mavi çubuklar sırasıyla *U, V* ve *W* uzay hızı bileşenlerini ve turkuaz düz çizgiler ise dağılımlara geçirilen Gauss fitlerini temsil etmektedirler. Dağılımların medyan değerleri sağ üst köşede, yıldız sayıları ve alt-örnek koşulları da sol üst köşede belirtilmiştir. 46

Şekil 4.20: Güneş'ten itibaren $d \leq 100$ pc mesafedeki yıldızların uzay hızı bileşenlerinin histogramları. 47

Şekil 4.21: Güneş'ten itibaren $d \leq 500$ pc mesafedeki yıldızların uzay hızı bileşenlerinin histogramları. 47

Şekil 4.22: Yaşları 1 Gyıl'dan küçük ve eşit olan yıldızların uzay hızı bileşenlerinin histogramları. 48

Şekil 4.23: Yaşları 5 Gyıl'dan küçük ve eşit olan yıldızların uzay hızı bileşenlerinin histogramları. 49

Şekil 4.24: Yaşları 10 Gyıl'dan küçük ve eşit olan yıldızların uzay hızı bileşenlerinin histogramları. 49

Şekil 4.25: GMM'ye göre [α/Fe] × [Fe/H] düzleminde belirlenen kimyasal ince disk ve kalın disk popülasyonları. Veriler logaritmik yıldız sayın yoğunluklarına göre renklendirilmiş ve ölçek sağ üst köşede verilmiştir. Gri kesikli çizgi, GMM ayrım çizgisini temsil etmektedir. 50

Şekil 4.26: GMM'ye göre [α/Fe] × [Fe/H] düzleminde belirlenen kimyasal ince disk yıldızlarının uzay hızı bileşenlerinin histogramları. 51

Şekil 4.27: $z_{max} \leq 100$ pc mesafede bulunan ince disk yıldızlarının uzay hızı bileşenlerinin histogramları. 52

Şekil 4.28: $z_{max} \leq 500$ pc mesafede bulunan ince disk yıldızlarının uzay hızı bileşenlerinin histogramları. 52

Şekil 4.29: Yörünge basıklığı $e \leq 0.2$ olan anakol yıldızlarının uzay hızı bileşenlerinin histogramları. 53

Şekil 4.30: F tayf türündeki 24,024 anakol yıldızının uzay hızı bileşenlerinin histogramları. 55

Şekil 4.31: G tayf türündeki 51,592 anakol yıldızının uzay hızı bileşenlerinin histogramları. 55

Şekil 4.32: K tayf türündeki 17,035 anakol yıldızının uzay hızı bileşenlerinin histogramı. 55

Şekil 4.33: $d \leq 100$ pc ve $d \leq 500$ pc anakol yıldız alt-örneklerinin $\tau \leq 1$ Gyıl ve $\tau \leq 5$ Gyıl sınırlarına göre uzay hızı bileşenlerinin histogramları. 58

Şekil 4.34: $d \leq 100$ ve $d \leq 500$ pc anakol yıldız alt-örneklerinin $e \leq 0.1$ ve $e \leq 0.5$ sınırlarına göre uzay hızı bileşenlerinin histogramları. 59

Şekil 4.35: $0 <$ [α/Fe] (dex) ≤ 0.15 (üst panel) ve [α/Fe] (dex) ≤ 0 alfa element bolluğu aralığındaki kimyasal ince disk yıldızlarına ait uzay hızı bileşenlerinin histogramları. 61

Şekil 4.36: $0 <$ [α/Fe] (dex) ≤ 0.15 alfa element bolluğu aralığında $\tau \leq 1$ Gyıl (üst panel) ve $\tau \leq 5$ Gyıl (alt panel) yaş sınırlamasıyla oluşturulan anakol yıldız alt-örneklerine ait uzay hızı bileşenlerinin histogramları. 62

Şekil 4.37: $0 < [\alpha/Fe]$ (dex) ≤ 0.15 alfa element bolluğu aralığında $e \leq 0.1$ (üst panel) ve $e \leq 0.5$ (alt panel) yörünge basıklığı sınırlamasıyla oluşturulan anakol yıldız alt-örneklerine ait uzay hızı bileşenlerinin histogramları. 63

Şekil 4.38: $[\alpha/Fe]$ (dex) ≤ 0 alfa element bolluğu aralığında $\tau \leq 1$ Gyıl (üst panel) ve $\tau \leq 5$ Gyıl (alt panel) yaş sınırlamasıyla oluşturulan anakol yıldız alt-örneklerine ait uzay hızı bileşenlerinin histogramları. 64

Şekil 4.39: $[\alpha/Fe]$ (dex) ≤ 0 alfa element bolluğu aralığında $e \leq 0.1$ (üst panel) ve $e \leq 0.5$ (alt panel) yörünge basıklığı sınırlamasıyla oluşturulan anakol yıldız alt-örneklerine ait uzay hızı bileşenlerinin histogramları. 65

Şekil 4.40: $z_{max} \leq 100$ pc olan anakol yıldızlarının $\tau \leq 1$Gyıl (üst panel) ve $\tau \leq 5$ Gyıl (alt panel) yaş sınırlamasıyla oluşturulan uzay hızı bileşenlerinin histogramları. 66

Şekil 4.41: $z_{max} \leq 500$ pc olan anakol yıldızlarının $\tau \leq 1$ Gyıl (üst panel) ve $\tau \leq 5$ Gyıl (alt panel) yaş sınırlamasıyla oluşturulan uzay hızı bileşenlerinin histogramları. 67

Şekil 4.42: $z_{max} \leq 100$ pc olan anakol yıldızlarının $e \leq 0.1$ (üst panel) ve $e \leq 0.5$ (alt panel) yörünge basıklığı sınırlamasıyla oluşturulan uzay hızı bileşenlerinin histogramları. 69

Şekil 4.43: $z_{max} \leq 100$ pc olan anakol yıldızlarının $e \leq 0.1$ (üst panel) ve $e \leq 0.5$ (alt panel) yörünge basıklığı sınırlamasıyla oluşturulan uzay hızı bileşenlerinin histogramları. 69

Şekil 4.44: F tayf türü olan anakol yıldızlarının $\tau \leq 1$ Gyıl (üst panel) ve $\tau \leq 5$ Gyıl (alt panel) yaş sınırlamasıyla oluşturulan uzay hızı bileşenlerinin histogramları. 70

Şekil 4.45: G tayf türü olan anakol yıldızlarının $\tau \leq 1$ Gyıl (üst panel) ve $\tau \leq 5$ Gyıl (alt panel) yaş sınırlamasıyla oluşturulan uzay hızı bileşenlerinin histogramları. 71

Şekil 4.46: K tayf türü olan anakol yıldızlarının $\tau \leq 1$ Gyıl (üst panel) ve $\tau \leq 5$ Gyıl (alt panel) yaş sınırlamasıyla oluşturulan uzay hızı bileşenlerinin histogramları. 72

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 3.1: *MWPotential2014* potansiyel modelinin Galaktik bileşenlere ait değerlerle birlikte detaylı dökümü.....24

Tablo 4.1: Çeşitli parametrelere getirilen sınırlamlar ile belirlenen anakol alt-örneklerinden tayin edilen LSR değerleri.[2] Kolonlar soldan sağa doğru sırayla veriye getirilen sınırlama, yıldız sayısı (N), sırasıyla, $U_\odot$, $V_\odot$ ve $W_\odot$ medyan uzay hız ve hatalarıyla standart sapma (σ) değerleri verilmiştir. 54

Tablo 4.2: Uzaklık (d), kimya ([α/Fe]), yörünge (z_{max}) ve tayf türüne (F, G, K) göre oluşturulan anakol örneklerinin yıldız yaşı (τ) değerlerine göre sınırlandırılarak tayin edilen LSR değerleri ve hataları. Kolonlar soldan sağa doğru sırayla veriye getirilen sınırlama, yaş (τ), yıldız sayısı (N), sırasıyla, $U_\odot$, $V_\odot$ ve $W_\odot$ medyan uzay

Tablo 4.3: Uzaklık (d), kimya ([α/Fe]), yörünge (z_{max}) ve tayf türüne (F, G, K) göre oluşturulan anakol örneklerinin Galaksi düzlemine paralel doğrultudaki yörünge basıklığı (e) değerlerine göre sınırlandırılarak tayin edilen LSR değerleri ve hataları. Kolonlar soldan sağa doğru sırayla veriye getirilen sınırlama, yaş (τ), yıldız sayısı (N), sırasıyla, $U_\odot$, $V_\odot$ ve $W_\odot$ medyan uzay hızı bileşenleri ve standart sapma (σ) değerleri verilmiştir. 75

Tablo 5.1: Uzaklık (d), kimya ([α/Fe]) ve yörünge (z_{max}) sınırlamalarına göre oluşturulan anakol alt-örneklerinin $0 < e \leq 0.1$ aralığındaki yıldızlardan tayin edilen LSR değerleri. 79

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler **Açıklama**

′ : Yay dakikası
″ : Yay saniyesi
° : Derece
γ : Radyal hız
ϖ : *Gaia* trigonometrik paralaksı
Σ : Yerel görünür yüzey yoğunluğu
θ_0 : Durum açısı
[Fe/H] : Metal ya da demir bolluğu
[α/Fe] : Alfa element bolluğu
≈ : Yaklaşık sembolü
α : Rektasansyon (sağ açıklık)
δ : Deklinasyon (dik açıklık)
Å : Angström
A, B : Oort sabiti
a_d : Galaktik diskin uzunluk ölçeği
b : Galaktik enlem
b_d : Galaktik diskin yükseklik ölçeği
d : Yıldızların Güneş'e uzaklığı
d_p : Yıldızın Galaktik düzlem üzerindeki izdüşüm uzaklığı
dU : *U* uzay hızı bileşenine uygulanan diferansiyel dönme düzeltmesi
dV : *V* uzay hızı bileşenine uygulanan diferansiyel dönme düzeltmesi
e : Galaktik düzlemindeki yörünge basıklığı
Fe : Demir elementi
Fz : Güneş çemberinin dikey kuvveti
γ_{hata} : Radyal hız hatası
G : Evrensel çekim sabiti
g : Yüzey çekim ivmesi
H : Hidrojen elementi
K : Kelvin
K : Uzay hızı hesabında kullanılan bir sabit
l : Galaktik boylam
λ : Dalgaboyu
L_X : Açısal momentumun x-eksenindeki bileşeni
L_Y : Açısal momentumun y-eksenindeki bileşeni
L_Z : Açısal momentumun z-eksenindeki bileşeni
log *g* : Yüzey çekim ivmesi
μ : Özhareket
$\mu_\alpha \cos\delta$: Rektasansyondaki özhareket bileşeni
μ_δ : Deklinasyondaki özhareket bileşeni
M_d : Disk kütlesi
$M_\odot$: Güneş'in kütlesi

M_r : Galaksinin toplam kütlesi
M_s : Sferoidin kütlesi
N : Yıldız sayısı
$\Phi(R_{gc}, Z)$: İnce disk potansiyeli
Φ_{disk}, : Disk bileşeninin Galaktik potansiyeli
Φ_{halo} : Halo bileşeninin Galaktik potansiyeli
r_S : Sferoidin yarıçapı
R : Galaksi merkezinden radyal uzaklık
R_a : Apogalaktik uzaklık
R_d : Miyamoto-Nagai modelindeki disk uzunluk değeri
R_p : Perigalaktik uzaklık
R_e : Etkin yarıçap
R_{GC} : Galaksi merkezine olan uzaklık
R_o : Güneş'in Galaksi merkezine uzaklığı
ρ_{DM} : Yerel karanlık madde yoğunluğu
σ : Dispersiyon
σ_b : Baade penceresindeki hız dispersiyonu
$\sigma_U, \sigma_V, \sigma_W, \sigma_S$: *U, V, W* uzay hız bileşenleriyle *S* toplam uzay hız dispersiyonları
σ_ϖ / ϖ : Rölatif paralaks hatası
S : Toplam uzay hızı
S_{hata} : Toplam uzay hızı hatası
SBb : Çubuklu spiral galaksi
τ : Yıldız yaşı
T_{eff} : Etkin sıcaklık
U, V, W : Uzay hızı bileşenleri
U_{hata} : *U* uzay hızı bileşenindeki hata
V_{hata} : *V* uzay hızı bileşenindeki hata
V_o : Güneş'in Galaksi merkezi etrafında dönme hızı
V_T : Teğet hız
W_{hata} : *W* uzay hızı bileşenindeki hata
X : Galaksi merkezine doğru ölçülen konum vektörü
Y : Galaksinin dönme doğrultusundaki konum vektörü
Z : Galaksi düzlemine dik uzaklık
z_{max} : Bir yıldızın Galaktik düzlemden ulaşabileceği en büyük dik uzaklık

Kısaltmalar **Açıklama**

AAT : Anglo-Australia Telescope
2dF : Two Degree Field
APOGEE : The Apache Point Observatory Galactic Evolution Experiment
BSTEP : Bayesian Stellar Parameter Estimation
CCD : Yük Bağlaşımlı Aygıt (*İng. Charge Coupled Device*)
dex : dekaekponansiyel
DR : Veri Sürümü (*İng. Data Release*)
EDR : Erken Veri Sürümü (*İng. Early Data Release*)
FSR : Fundamental Standard of Rest
FWHM : Yarı maksimumdaki eşdeğer genişlik
G : G tayf türü yıldız
Gaia : Global Astrometric Interferometer for Astrophysics
GALAH : GALactic Archaeology with HERMES
GES : *Gaia*-ESO Survey
GMM : Gaussyen Karışım Modeli
Gyıl : Milyar yıl
HERMES : Yüksek Etkinlikli Çözünürlüğü olan Mercator Echelle Tayfçekeri (*İng. High-Efficiency Resolution Mercator Echelle Spectrograph*)
HI : Nötral Hidrojen
HII : Bir Kere İyonize Olmuş Hidrojen
HIPPARCOS: HIgh Precision PARallax COllecting Satellite
HR : Hertzsprung-Russell
K : K tayf türü yıldız
K2 : Kepler 2
KGK : Kuzey Galaktik Kutup
km/sn : Kilometre bölü saniye
kpc : Kilo parsek
LAMOST : The Large Sky Area Multi-Object Fibre Spectroscopic Telescope
LSR : Local Standard of Rest
mas : Miliyay saniyesi
PARSEC : Padova TRieste Stellar Evolution Code
pc : Parsek
POP : Popülasyon
RAVE : RAdial Velocity Experiment
S/N : Sinyal / Gürültü oranı
SME : Spectroscopy Made Easy
TAMS : Terminal Age Main Sequence
TESS : The Transiting Exoplanet Survey Satellite
WISE : Wide-field Infrared Survey Explorer
YSO : Genç Yıldızımsı Cisim (*İng. Young Stellar Object*)
ZAMS : Zero Age Main Sequence

ÖZET

YEREL DURAĞANLIK STANDARDININ FARKLI PARAMETRELER İLE TAYİNİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Murat TAŞ

İstanbul Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. Selçuk BİLiR

Güneş'in LSR değerlerinin iyi bilinmesi Galaktik yapı ve evrim çalışmalarında uzun süredir tartışma konusu olan bir takım soruların yanıtlanabilmesi açısından önemlidir. Yüksek lisans tez çalışması kapsamında yüksek çözünürlük ve yüksek sinyal-gürültü oranına sahip GALAH DR3 tayfsal gökyüzü taraması verileri ile yüksek duyarlılıklı *Gaia* EDR3 astrometri verilerinin birlikte analiz edilmesiyle 93,357 anakol yıldızı tespit edilmiştir. LSR tayini için olabilecek en genç ve ince diski iyi temsil eden kinematik özelliklere sahip alt-örnekleri elde edebilmek için yıldızlar uzaklık, kimya, yörünge ve tayf türüne ait özelliklerine göre sınırlandırılmıştır. Ayrıca, yıldızların yaşı ve yörüngesel basıklıklar değerlerine de ek sınırlamalar getirilerek oluşturulan daha duyarlı alt-örneklerle Güneş için çeşitli LSR değerleri hesaplanmıştır. Çalışmada yaşa sınırlama getirilince U, yıldız yörüngesinin Galaktik düzleme dik doğrultuda erişebileceği en büyük dik uzaklığa sınırlama getirilince W ve yıldızların Galaktik düzleme paralel yörüngesel basıklığına sınırlama getirildiğinde V uzay hızı bileşenlerinin LSR tayini için örnekleri duyarlı hale getirdiği sonucuna varılmıştır.

Bu tez çalışması varolan literatür çalışmalarından farklı olarak, yüksek çözünürlük ve yüksek sinyal gürültü oranlı tayf verileri, şimdiye kadar ki en yüksek duyarlılığa sahip astrometri verileri içermesi ve verilerin yaş, kimya, kinematik ve yörünge parametreleri dikkate alınarak detaylı bir analiz edilmesinden dolayı üstünlükler içermektedir.

Ocak 2023, 110 sayfa.

Anahtar kelimeler: Galaksi, Disk, İnce disk, Anakol yıldızları, Güneş, LSR

SUMMARY

DETERMINATION OF LOCAL STANDARD OF REST WITH DIFFERENT PARAMETERS

M.Sc. THESIS

Murat TAŞ

İstanbul University

Institute of Graduate Studies in Sciences

Department of Astronomy and Space Sciences

Supervisor : Prof. Dr. SelçuK BİLİR

It is important to know the LSR values of the Sun well in order to answer some questions that have been the subject of debate for a long time in galactic structure and evolution studies. Within the scope of this MSc thesis, 93,357 main-sequence stars were determined by analyzing the high resolution and high signal-to-noise GALAH DR3 spectral survey data and highly precise *Gaia* EDR3 astrometry survey data together. In order to obtain subsamples with the kinematic features that best represent the young stellar population possible and thin disk for LSR determination, LSR values for the Sun were calculated by constraining the distance, chemistry, orbit and spectral characteristics of the stars, and also to obtain more precise LSR values sub-samples further constrained on stellar age and orbital eccentricity of the sample stars. In the study, it has been shown that U velocity components depends on age, W velocity components depends on z_{max} and V velocity components depends on orbital eccentricity.

Unlike existing literature studies, this thesis study has advantages because it contains spectral data with high resolution and high signal-to-noise ratio, astrometry data with the highest

sensitivity ever, and a detailed analysis of the data by considering age, chemistry, kinematics and orbital parameters of the sample stars.

January 2023, 110 pages.

Keywords: Galaxy, Disc, Thin Disc, Main sequence stars, Sun, LSR

1. GİRİŞ

Modern aletli gökbilimin doğuşuyla birlikte gökyüzüyle ilgili binlerce yıldır süre gelen bilgi birikimimiz birkaç yüzyıl içerisinde o zamana kadar ki en hızlı ilerleme hızına ulaştı; özellikle 2000'li yıllardan sonra bu durum bir patlamaya dönüştü ve çok disiplinli gerçekleştirilen işbirlikleriyle hızla gelişmeye devam ediyor.

Yirminci yüzyılın ilk yarısında Walter Baade'ın spiral galaksilerin merkezi kısımlarında ve eliptik galaksilerdeki nesneleri popülasyon II ve Galaksimizdeki Güneş civarında bulunan yıldızları (ki bunlar disk yıldızlarıdır) popülasyon I olarak tanımlamasıyla tüm galaksilerin temsilcisi olarak Samanyolu'nun yapısını yıldızlarının özelliklerini inceleyebileceğimizi göstermiştir. Bu tespitin devamında astronomlar Galaksimizin genel olarak belirlenen şişkin bölge, disk ve halo bileşenlerini yıldız verileri üzerinden ayrıştırabilmek için yıldızların özelliklerine çeşitli sınırlamalar getirmeyi deneyerek bu bileşenleri birbirinden ayırmayı denemişlerdir. Yıldızların kinematik, kimya, yaş ve yörünge özelliklerinin hiç biri tek başına Galaktik popülasyonları ayırmak için mutlak bir kriter olmasa her bir yöntem ana popülasyonu tespit etmedeki yapılan analize göre yeterli doğrulukta sonuçlar verebilmektedir. Bununla beraber, bu ayrımın yapılamamasının fiziksel bir sebebi de vardır. Galaktik popülasyonların kendi içinde alt popülasyonlara ayrılırlar. Öyle ki diski oluşturan iki ana bileşen ince disk ve kalın disk arasında ve disk ile halonun arasında belirgin bir ayrım bölgesi olmamasıdır. Böylelikle, sınır bölgelerde her iki popülasyonun özelliklerini gösterebilen geçiş cisimleri ayrımın sağlıklı ve mutlak olabilmesinin önüne geçmektedir (Bland-Hawthorn ve Gerhard, 2016).

Zaman içerisinde Galaksinin düzenli gibi görünen yapısını sağlayan bozucu etkilerin yıldızların yörünge hareketlerini kütle çekimsel etkiler ile nasıl yönettiğini ve Galaksi boyutlarının çok ötesine geçen yıldız akıntıları, baloncuklar, uydu galaksilerin keşfi gibi oluşumlar keşfedilmiş; ancak her keşif daha fazla soruya sebep olmuştur. Her ne kadar Galaksinin devasa bir kütleçekimsel yapı olduğu bilinse de gelişmiş gözlemsel teknikler ve yeni nesil teknolojiler geçmişin kabaca çizilmiş sınırlarını geliştirmekte bazılarını silip yenilerini oluşturmaktadır. Gözlemsel veri almaya başlayan her gözlem kampanyası akabinde

analiz edebileceğimizden fazla veri üretmeye devam ediyor. Öte yandan analizi yapılan verilerden açığa çıkan detaylar Evren algımızı ince ince işliyor.

Samanyolu ve akabinde Evrenle ilgili diğer tüm gözlemleri Güneş'in merkezde olduğu bir referans sistemi üzerinden yapıyoruz. Bu durum bir takım özel koşulları da beraberinde getiriyor. Bu özel koşullar tamamen Güneş'imizin Galaksi diskine gömülü halde bulunan bir yıldız olmasından kaynaklanmaktadır. Güneş ve civarında incelediğimiz yıldızların tümü Güneş'in komşusu olan yıldızlardır. Evren ile ilgili bilinenler de bu deseni takip ederler. Bunun anlamı Güneş ve civarından itibaren Galaksimizin dış kısımlarına oradan da diğer galaksileri incelemeye devam ettikçe elde edilen verilerin güvenilirliği de mesafeyle azalmaktadır. Galaktik yapı çalışmaları açısından Güneş'ten itibaren 200 pc mesafeye Güneş komşuluğu ve 2000 pc mesafeye ise genişletilmiş Güneş civarı demek bir gelenek olmuştur. Günümüzde en duyarlı astrometrik, fotometrik, tayfsal ve sismolojik veriler 2000 pc'lik bu uzay hacmini dolduran gök cisimleri (yıldız, gezegen, bulutsu, sıkı cisimler vb.) için elde edilmektedir. Günümüz koşullarında incelenen nesne sayısı ise ne tür veri elde edildiğine göre büyük farklılıklar göstermektedir. Tayfsal ve astrometrik verileri milyar ile milyon yıldız mertebelerinde elde edebilirken, tayfsal veriler yüzbinlerce parlak yıldız mertebesinde, sismolojik veriler ise birkaç bin yıldızdan elde edilmiştir. Güneş civarındaki nesnelerin bu kadar yoğun incelenebilmesi beraberinde Güneş merkezli gözlemler ile ilgili net bir referans sistemi oturtulmasını gerekli kılmıştır. Özellikle nesnelere Güneş'in bulunduğu konumdan baktığımız için ama aynı zamanda hem Güneş'in hem de diğer tüm yıldızların (nesnelerin) kendine ait Galaksi merkezi etrafında bir hareketi olduğu için gözlenen yıldız hareketlerine göre incelemeler yapılırken bir takım düzenlemelere ihtiyaç duyar. İncelenecek yıldız örneği için gerekli astrometrik, fotometrik ve tayfsal parametreler mevcutsa söz konusu yıldızların uzay hareketleri ve uzun bir zaman ölçeği için oluşturulmuş yörünge hareketleri hesaplanabilir. Teorik olarak oluşturan eğriler ile gözlem verileri çakıştırılarak evrimsel süreçleri hakkında bilgiler elde edilir. Yıldızların uzay hareketlerini iki boyutlu olarak temsil eden radyal hız ve özhareket bileşenlerine ait veriler kullanılarak Galaktik dönme eğrisi oluşturulur. Bu eğriye bakıldığında özellikle disk yıldızlarının Galaktik merkez civarında yer alan şişkin bölge yıldızlarından farklı olarak Kepleryen hareket değil, diferansiyel dönme yaptıkları ve Galaktik dolanım hızlarının 220 (±50) km/sn civarında değiştiği tespit edilmiştir (Bovy ve diğ., 2012b). Bunun yansıması olarak, gök cisimlerinin Galaktik konumlarının Güneş'in önünde ya da arkasında olmalarına bağlı olan hareketleri incelenirken onların ileride

ya da geride kalmalarına sebep olur. Yıldızların diferansiyel dönme yapmalarından kaynaklanan bu etki uzay hızlarına uygulanan Galaktik boylam, teğet ve radyal hızlara bağlı düzeltme eşitlikleriyle giderilmektedir (Mihalas ve Binney, 1981). Bu durum yıldızların Galaksi merkezi doğrultusundaki hareket bileşenini düzenler. Öte yandan, Güneş dahil tüm disk yıldızları Galaksi diskine paralel olarak, Galaksi merkezine uzanan doğrultuya dik olan hız vektörleriyle dolanımlarını gerçekleştirirler. Bu durum Güneş merkezli gözlemlerde bir diğer önemli düzeltmenin uygulanmasını gerektirir. Söz konusu düzeltme Yerel Durağanlık Standardı ya da İngilizce adıyla Local Standard of Rest yani kısaca LSR'dir. LSR, Güneş'in Galaksi merkezine uzaklığıyla aynı konumda bulunan hayali bir kusursuz çember yörüngenin ortalama hızı olarak tanımlanır. Tanımın kapsamı dengede bulunan simetrik bir Galaktik potansiyeldir. LSR'nin duyarlı tayini Güneş merkezli analizler için önemli olsa da diğer bir açıdan değerlendirildiğinde Galaktik yapı ve evrimin anlaşılmasında ve Galaktik kütlenin belirlenmesini sağlayan parametrelerin tayininde gereklidir (Bland-Hawthorn ve Gerhard, 2016).

LSR'nin tayininde yıldızların uzay hareketlerinin üç boyutlu bileşenleri dikkate alınır. Uzay hızı bileşenleri bir yıldızın Galaksi diskine paralel ve dik hız vektörleridir. Farklı özellikteki yıldız örneklerinden yapılan çalışmalar LSR tayininde üç bileşenden ikisini küçük farklılıklarla da olsa belli bir değer aralığına sınırlayabilmişken, Galaktik düzleme paralel hız bileşenlerinden biri örnek ya da sınırlamalar değiştikçe çok farklı değerler de bulunduğu tespit edilmiştir. *V* hızı olarak bilinen bu değerin en duyarlı tayini için literatürdeki çaba devam etmektedir.

Duyarlı kinematik parametre tayinine ihtiyaç duyan LSR tayin çalışmaları, son 15 yıl içerisinde önemli teknolojik gelişmelerin meyvesi olarak karşımıza çıkan tayfsal gökyüzü tarama programları (GALAH, APOGEE, LAMOST, RAVE, GES vb.) ve şimdiye kadar ki en büyük uzay hacminde en duyarlı astrometrik (ve hatta orta çözünürlüklü tayfsal) veri elde edilen *Gaia* uydusu sayesinde önemli ilerlemeler kaydetmiştir. LSR tayininde gerekli duyarlılığı ve veri bütünlüğü elde edilmesi bu duyarlı tayfsal ve astrometrik tarama programlarıyla mümkün olmuştur. Bu yüksek lisans tezi kapsamında yüksek çözünürlük ve yüksek sinyal/gürültü değerlerine sahip GALAH DR3 tayfsal gökyüzü taraması verileriyle *Gaia* EDR3 kataloğunda verilen duyarlı astrometri verileri birlikte kullanılmıştır.

Bu yüksek lisans tez çalışmasında GALAH DR3 kataloğundan anakol yıldız olarak belirlenen yıldızların astrometrik ve tayfsal özellikleri kullanılarak kinematik ve yörünge parametreleri hesaplanmıştır. Gözlemsel verilerden türetilen çeşitli element bolluk oranlarıyla yıldız yaşlarına getirilen sınırlamalarla oluşturulan alt-örneklerden çok sayıda LSR değeri hesaplanmıştır. Tez içeriği şu şekilde özetlenebilir: İkinci kısmında tez konusuyla ilgili teorik bilgilere ek olarak kullanılan gökyüzü tarama programları tanıtılmış; üçüncü kısımda tez çalışmasını mümkün kılan analiz yöntemlerinin teorisinden bahsedilmiş; dördüncü kısımda farklı örneklerden hesaplanan LSR değerlerine ait bulgular verilmiş; ve son kısımda bulgular yapılan hem iç hem de literatür çalışmalarıyla karşılaştırılarak tartışılmıştır.

2. GENEL KISIMLAR

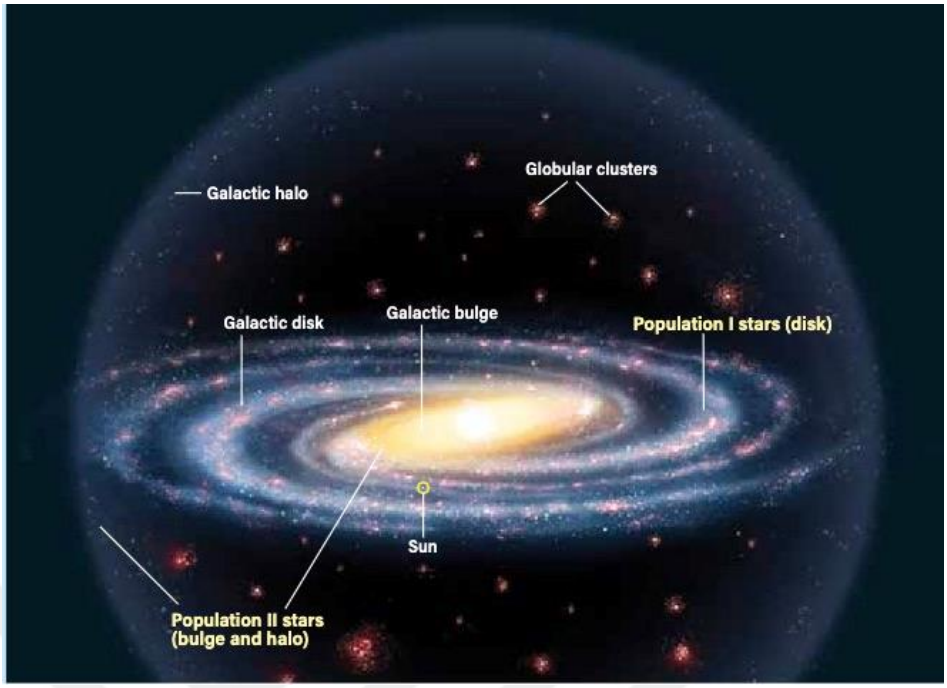
2.1. GALAKTİK POPÜLASYONLAR

Galaktik popülasyonlar konusundaki ilk çalışma M31 galaksisini inceleyen Baade'nin (1944) bu galakside iki ayrı yıldız popülasyonu olduğunu fark etmesiyle başlar. Baade, M31 galaksisinin farklı bölgelerini temsil eden yıldızları gözlemlemiş ve bunların Hertzsprung – Russell (HR) diyagramlarını incelemiştir. Yaptığı incelemede M31 galaksi diskinin HR diyagramının Galaksimizde gözlenen açık kümelere benzediğini öte yandan M31'in şişkin bölgesine ait HR diyagramının ise küresel kümelerinkine benzediğini görmüştür. Baade sayesinde yıldızlar Galaktik konumlarına göre sınıflandırılmıştır. Galaksimizin yapısının anlaşılmasında "yıldız popülasyonu" kavramı kullanılır. Buna göre Galaksimizin farklı bileşenlerinde farklı yıldız popülasyonları baskın halde bulunur. Bu popülasyonlar, uzay dağılımları, kinematik, kimyasal ve yaş bakımından farklı karakteristiklere sahiptirler. Buna göre, halo ve şişkin bölge yıldızları Pop I (yani yaşlı, metalce fakir), disk yıldızları ise Pop II (ince disk için) olarak Baade tarafından sınıflandırılmıştır. Daha sonra diskin ikinci bir ana bileşeni olduğu keşfedilince buna "kalın disk" adı verilmiştir (Gilmore ve Reid, 1983). Bu disk bileşeninin yıldızları "ara Pop II" olarak sınıflandırılmıştır. Buradaki baskın yıldız popülasyonu ince disk yıldızlarına göre daha yaşlı, haloya göre daha genç ve ince diske göre metalce daha fakir, haloya göre metalce daha zengin yıldızlardır. Pop II yıldızları her ne kadar metalce fakir olsalar da Evren'in oluştuğu zamanlardaki yıldızlara kıyasla metalce zengindirler. Bu yüzden 1978 yılında astronomlar Pop III yıldızlarını da listeye eklemişlerdir. Pop III yıldızları, Evren oluştuktan sonra oluşan ilk yıldızları temsil eder. Bu yıldızların yapısında hidrojen, helyum ve az miktarda lityum ve berilyum olduğu düşünülmektedir; yani hiç metal yoktur. Bir başka deyişle, kimyasal geri dönüşüme girmemiş yıldızlardır. Tüm bu tespitlerle birlikte, günümüzde Galaktik popülasyonları oluşturan yıldızları tek tip bir sınıflama yaparak belirgin bir şekilde ayırt edilememektedir.

Galaksiler görünür ve karanlık maddenin bir birleşiminden oluşurlar. Galaksilerin görünür maddesi yıldızlar, gaz ve tozdur. Kozmik takvime bakıldığında galaksilerin ilk oluşumunun büyük patlamadan itibaren ~ 1 Gyıl zamanında başladığı düşünülmektedir. İlkel galaksi bulutundan düzgün şekilli bir galaksinin oluşması milyarlarca yıl sürer. İlkel galaksi

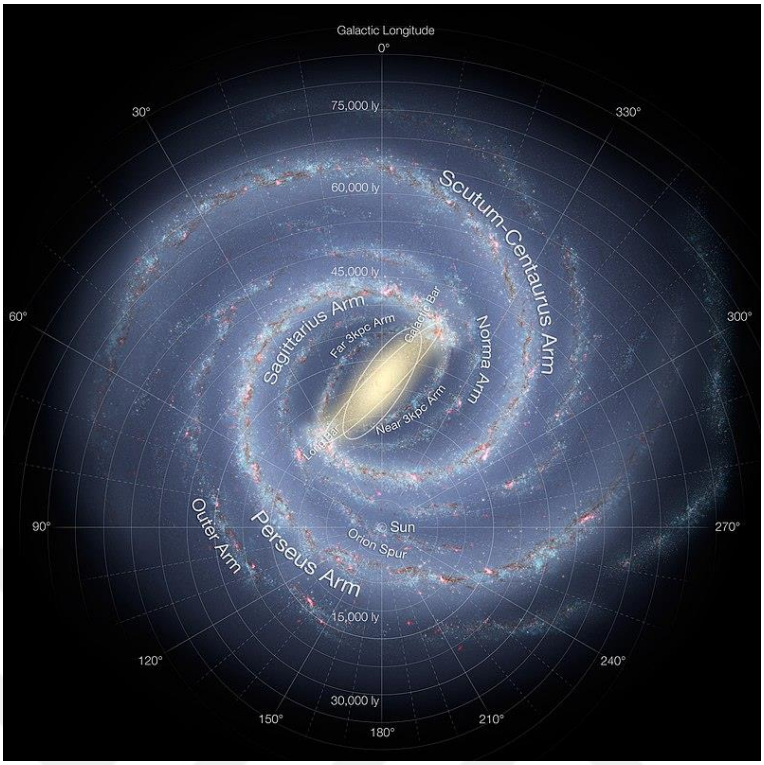
bulutlarının metalce son derece fakir oldukları varsayılır. Bu bulutlar dinamik dengeye ulaşıp bilinen anlamda bir galaksiye dönüşürken galaksinin yapısındaki gazın farklı kütlelerdeki yıldızlara dönüşümü bu kimyasal yapıyı değiştirecek olayların tetiklenmesini sağlar. İlkel galaksi bulutunun merkezi süper kütleli bir karadeliğin etrafında yığışırken yıldızlar da evrimleşerek ya mevcut gazın kimyasını değiştirerek tekrar ortama salarlar ya da bu gazı kimyası bozulmadan milyarlarca yıl hapsederler. Bu durum galaksinin dinamik evrimi esnasında buna eşlik eden bir kimyasal evrim olduğuna işaret eder. Bu durum ilk kez 1957 yılında yapılan Vatikan sempozyumunda Samanyolu'nun oluşumunun kimyasal evrimle de ilişkili olduğunu gösteren bilimsel kanıtlar çerçevesinde kabul edilmiştir.

Galaksimiz Hubble sınıflamasına göre büyük, çubuklu, spiral kolları çok sarılı olmayan, sönük şişkin bölgeli bir spiral galaksidir. Bu tanımlamaya göre SBb türündedir (Binney ve Merrifield, 1998). Galaksimiz Samanyolu, örnek bir disk galaksisidir. İçten dışa üç ana bileşeni vardır: *şişkin bölge*; *disk* ve *halo*. Galaksi diskleri bir galaksiyi oluşturan baryonik maddenin en baskın olduğu bileşendir (Şekil 2.1). Galaksimizin disk çapı ~30000 pc ve kalınlığı ~300 pc'tir (Bland-Hawthorn ve Gerard, 2016). Kütlesi Güneş civarındaki *Hipparcos* verileri kullanılarak $(7.5\pm2)\times10^{11}\ M_{\odot}$ olarak hesaplanmıştır (Dehnen ve Binney, 1998). Disk yıldız popülasyonlarına ait hız dispersiyonlarının zaman ile artar (Strömberg, 1925; Wielen, 1977). Bu da disk yıldızlarının yaşlandıkça daha büyük hız dispersiyonuna sahip olmasına neden olur. Sonuç olarak, içten dışa doğru gidildikçe tüm doğrultularda disk yıldızlarının yaşı da artma eğilimindedir. Samanyolu diskinde bükülmeler olduğu ve bunun çekim alanında kararsızlıklara yol açan uydu galaksilerden kaynaklanıyor olduğu düşülmektedir.



Şekil 2.1: Samanyolu'nun başlıca bileşenleri (şişkin bölge, disk ve halo) ile Galaktik yıldız popülasyonlarının (Pop I ve Pop II yıldızları) konumları.

İnce disk, galaksilerde merkezi şişkin bölgeyi saran disk bileşeni olup galaksi fotoğraflarında genellikle keskin sınırlarıyla görülen yapıdır. Galaksimizdeki yıldızların %85'i bu bileşende bulunur. İnce diskin yükseklik ölçeği 250 - 400 pc (bkz. Bilir ve diğ., 2006), ortalama demir bolluğu [Fe/H] = -0.2 dex ve ortalama alfa element bolluğu da [α/Fe] = 0.0 dex'tir. Disk yıldızlarının yaşları geniş bir aralıkta değişir. İnce diskte yapısında nötral hidrojen bulutları, karbonmonoksit ve diğer molekül bulutları, iyonize hidrojen bölgeleri, ilkel yıldızlar, O ve B tayf türlerindeki yıldızlar, süperdev yıldızlar, OB oymakları, açık yıldız kümeleri ve Tip I sefeitleri gibi metalce zengin ve genç yapıların bulunduğu spiral kollar yer alır. Genç nesnelerin yükseklik ölçekleri 100 ile 125 pc aralığında değişir (Marshall ve diğ., 2006). Samanyolu'nun dört ana spiral kolu olduğu tespit edilmiştir: *Perseus, Sagittarius, Centaurus ve Cygnus* kollarıdır (bkz. Şekil 2.2; Camargo, Bonatto ve Bica, 2015).



Şekil 2.2: Samanyolu'nun üstten görüntüsü. Spiral kollar ve Galaktik çubukların Galaktik boylama göre durumu.

Galaksimizin disk bileşeninin iki ana yapısından bir diğeri Galaktik kalın disktir. İnce diski saran kabarık ve belli belirsiz bu yapı ilk kez Gilmore ve Reid'in (1983) güney Galaktik kutup doğrultusundaki yıldızların fotometrik olarak yaptığı yıldız sayımı incelenmesinin sonucu olarak tespit edilmiştir. Bu bileşendeki yıldızlar, ince disktekilerden yaş, kimya ve kinematik özellikleri bakımından farklı bir popülasyondan oluşmuşlardır (Chiba ve Beers 2000; Gilmore ve diğ., 2002; Soubiran ve diğ., 2003; Majewski 1993). Kalın diskin ne tür mekanizmalarla oluştuğu en popüler araştırma konularından biridir. Kalın disk ince disk ile halo popülasyonları arasında yer alan bir disk bölgesi olduğundan bu bileşenin diskin mi bir parçası ya da halo ile disk arasında bir geçiş bölgesi mi olduğu da literatürde geniş kapsamlı incelenmiştir (Edvardsson ve diğ., 1993; Bartasiute, 1995; Fuhrmann, 1998; Nissen, 2003; Recio-Blanco ve diğ., 2014; Hawkins ve diğ., 2015). Kalın diskin yükseklik ölçeği 1.5 kpc olarak belirlenmiştir. Literatürde kalın disk yıldızları ara Pop II olarak sınıflandırılan yaşlı yıldızlardır (12 Gyıl). Buna uygun olarak kalın diskte geç tayf türünden (K, M) anakol yıldızları, RR Lyrae ve Mira türü değişenler gibi yaşlı yıldız popülasyonları, beyaz cüceler, gezegenimsi bulutsular ve küresel kümeler yer alır. Kalın diskin ortalama metal bolluğu -0.6 dex ve dönme hızı ortalama 40 km/sn'dir.

Kimyasal olarak ince ve kalın disk yıldızlarının alfa element bolluklarının demir bolluğuna göre oranlandığı parametrenin dağılımına bakılarak kabaca ayrıştırılabilmiştir (Bensby ve diğ., 2010; Bovy ve diğ., 2012a) Kalın disk alfa element bollukları bakımından incelendiğinde ince diske göre daha zengindir.

Galaksi fotoğraflarında görünür olmayan bileşen olan halonun büyük uzaklıklara kadar gittiği düşünülmektedir. Samanyolu'nun en yaşlı ve metalce (sırasıyla 13 Gyıl ve -1.5 dex) en fakir bileşenidir. Galaksinin en yaşlı yapıları küresel kümeler, RR Lyrae değişenleri ve metalce fakir anakol yıldızları haloda bulunurlar. Galaksi merkezinden 8 kpc mesafeye kadar olan bölge iç halo, bunun ötesinde kalan bölgeye dış halo denir. Halodaki yıldız kütlesi tüm galaksidekinin %1'i kadardır. Bu bileşene ait yıldızlar çok yavaş dönerler ve Galaksi etrafındaki basık yörüngelerde hareket ederler (Ruchti, 2010)

2.2. GÜNEŞ KOMŞULUĞU VE YEREL DURAĞANLIK STANDARDI

Galaksimizdeki tüm nesneler hareketlerini Galaksi merkezine etrafında gerçekleştirirler. Galaksi merkezine göre yıldızların bu hareketlerinin incelemesi Galaksiyi bir bütün olarak araştırırken kullanılabilir. Hatta bu hareket Fundamental Standard of Rest (FSR) yani temel durağanlık standardı olarak tanımlanır. Bununla birlikte Güneş civarı söz konusu olduğunda FSR yerine yerel durağanlık standardı (LSR) tercih edilir. LSR, Güneş'in Galaksi merkezine göre konumunda tanımlanan kusursuz bir çember yörüngedeki hayali ortalama hızı temsil eden bir referans sistemidir. Burada Galaksinin dinamik dengede olduğu ve büyük ölçekli pertürbasyon kaynaklarının etkilerinin ihmal edildiği varsayılır. LSR her ne kadar Güneş'in bulunduğu konum itibariyle tanımlanmış olsa da Güneş'i temsil etmemektedir. Disk yıldızlarının çoğunluğunun yörüngesi çembere yakın olsa da belirli bir yörünge basıklığına sahiptir. Bu yıldızlardan biri de Güneş'tir. Dolayısıyla Güneş, LSR tayini için ideal değildir ve LSR'ye göre düzeltilmelidir. Güneş'in hareketini ortaya koymak için uzun süreli astrometri gözlemlerinden özhareket bileşenleri ve tayf gözlemlerinden de radyal hız elde edilebilir.

Durağan haldeki bir referans sisteminde Güneş'in hızı $V_{\odot}$ ve bir yıldızın çizgisel hızı V olsun. Bu hızlar üzere belirli bir yıldız popülasyonundaki yıldızların uzay hızı bileşenleriyle Güneş'in uzay hızı bileşenleri arasındaki farkların ortalaması sıfır olmalıdır.

Radyal hız (γ), bir yıldızın gözlemcinin görüm doğrultusuna dik doğrultuda hareketini temsil eden hız bileşenidir. Bu durumda radyal hız, Güneş'in hızının Güneş'i yıldıza bağlayan vektörüyle aradaki açıya göre hesaplanabilir. Eğer yıldızın radyal hız değeri negatif değere sahipse yaklaşıyor, pozitif değeri varsa uzaklaşıyor denir. Bir yıldızın ya da yıldız popülasyonunun hareket yönü Güneş'in ortalama hızıyla aynı yöndeyse bu hareket *apeks* (Perseus takım yıldızı; (*l , b)* = (56°.24, 22°.54), zıt yönlü ise *antapeks* (Canis Majoris takım yıldızı; (*l , b)* = (58°.87, 17°.72) denir.

Özhareket (μ), bir yıldızın zemindeki sabit kabul edilen gök cisimlerine göre Güneş'e rölatif olarak uzayda yaptığı harekettir. Genelde bu hareket yıl(lar) mertebesinde Galaksideki nesneler için ölçülebilmektedir. Özhareket, özetle, yıldız hareketinin gökküre üzerindeki izdüşümüdür. İki bileşenden oluşur. Ekvatoral koordinatlara bağlı olan özhareket $\mu_\alpha \cos\delta$ ve μ_δ bileşenlerinden oluşur. Toplam özhareket bu bileşenlerin karelerinin toplamının karekökü̈ne eşittir. Bir yıldızın ya da bir yıldız topluluğunun ortalama özhareketi apeks ve antapeks doğrultularında sıfır değerini alır. Öte yandan, Güneş doğrultusuna dik doğrultudaysa bu durumda özhareket en büyük değeri olur. Bir yıldızın uzay hızı (*S*), radyal hız ve öz hareket arasında $S = \sqrt{\gamma^2 + (4.74.\mu.d)^2}$ ilişkisi bulunmaktadır.

Yıldızların uzay hızlarına göre tayin edilen LSR, Galaktik yapı ve evrim çalışmaları bakımından önemli bir yere sahiptir. Kinematik parametre tayini yapılan gözlemsel parametreler aynı zamanda Galaktik popülsyonları temsil eden potansiyel fonksiyonlarıyla birlikte çalıştırıldığında yörünge parametreleri hesaplanabilir. Bu sayede Galaktik popülasyon değişimleri ve yörünge basıklığı ilişkisi incelenebilir. LSR tayininde *U, V* ve *W* olarak adlandırılan Galaktik düzleme paralel ancak birbirine dik ve Galaktik düzleme dik uzay hızı bileşenlerine ihtiyaç duyulur. Bu bileşenlerden *U* ve *W* hız bileşenlerinin aldığı değerlerin farklı yıldız popülasyonlarına ya da YSOlar, HI ve HII bulutları gibi kaynaklar ile yapılan analizlerde çok farklı değerlere sahip olmadıkları görülürken, *V* hız bileşeni için örnek değiştikçe elde edilen değerlerde bir tutarlılık elde edilmemiştir. Bunun asimetrik sürüklenme hız olarak bilinen ve seçilen yıldız popülasyonuna bağlı olarak ampirik bir formül ile tanımlanan doğrusal bir ilişkiden çıkarılabileceği düşünülmektedir. Strömberg'in (1946) geliştirdiği bu ilişki kullanılarak varsayılan yıldız popülasyonunun asimetrik sürüklenme hızı hız dispersiyonuna bağlı olarak hesaplanabilir. Bu ilişkiden ortaya çıkan dağılıma geçirilen

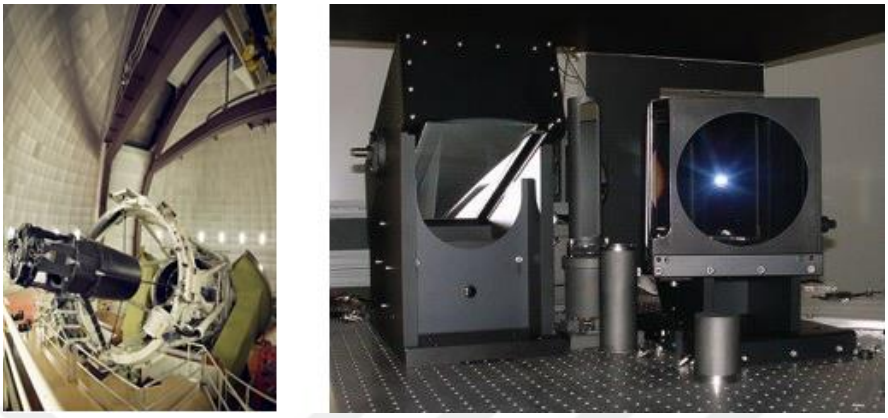
dairesel fit seçilen yıldız popülasyonuna ait çember yörüngede hız dispersiyonunun sıfıra eşit olduğu haldeki *V* hızını verir.

2.3. GALAH GÖKYÜZÜ TARAMASI

HERMES ile Galaktik Arkeoloji anlamına gelen GALAH gökyüzü taraması Galaksinin kimyasal çalışmaları açısından önemli bir tayfsal gökyüzü tarama programıdır (De Silva ve diğ., 2015). Galaksilerin oluşumu ve evrimi, modern astrofiziğin göze çarpan büyük problemlerinden biridir. Galaktik arkeolojinin amacı, erken Samanyolu'nun kayıp yıldız altyapısını yeniden oluşturmak dolayısıyla onun oluşumu ve evriminin detaylanmış fiziksel bir resmini elde etmektir. Bu amaçla tasarlanmış olan GALAH tarama programında, yüksek çözünürlük ve yüksek sinyal-gürültü oranına sahip HERMES tayfçekeriyle (Şekil 2.3, sağ panel) donatılmış olan 3.9 metre ayna çaplı ve ekvatoral kurgulu Anglo-Avustralya Teleskobu (AAT) kullanılmıştır (Şekil 2.3, sol panel). AAT, Avustralya'nın Siding Spring Gözlemevi'ndeki teleskoplardan biridir.

Yüksek etkinliği olan ve yüksek çözünürlüklü Mercator Echelle Tayfçekeri'nin kısaltması olan HERMES tayf çekeri hafif elementlerden ağır nötron yakalayan elementlere kadar geniş bir yelpazedeki kimyasal element çizgilerini elde etmek üzere tasarlanmış, dört optik dalgaboyu bandında 400 gök cisminin eş zamanlı tayfın oluşturulmasını mümkün kılan fiber beslemeli bir alettir. 4,700 ile 7,900 Å dalgaboyu aralığında aralarında yaklaşık 100 nm bulunan, iç içe geçmeyen dört tayfsal banda sahiptir: 4,715 – 4,900 Å (mavi), 5,649 – 5,873 Å (yeşil), 6,478 – 6,737 Å (kırmızı), 7,585 – 7,887 Å (kızılötesi). Bu bantlar nükleosentez süreçleriyle üretilen mümkün olduğunca çok sayıda elementin bolluk oranlarının ölçülebilmesi için seçilmiştir. HERMES, 28,000 ve 50,000 olan iki çözünürlük modu bulunmaktadır. Yüksek çözünürlük modu için bir maske kullanılır ancak bu durum %50 ışık kaybına da neden olmaktadır. Tayfçekerin yapısında tek bir ışın paralelleştirici ve dört VPH şebekesi ve kamerası ile iki renk ışın ayırıcıyla ayrılmış bantlara sahiptir. Her bir kamera 4×4K E2V CCD detektöre sahiptir. HERMES'te iki derece alan konumlayıcı olarak bilinen bir robot ile kullanılır. Bu robot, gökyüzünde 2°'lik çap içinde herhangi bir yerde bulunan 392'den fazla gök cisminin eş zamanlı tayfını ölçer. Her bir fiber, 2″.1 bir çapa sahiptir. 2dF bir geniş alan düzelticiye, bir atmosferik dispersiyon dengeleyiciye ve gökyüzünde 0″.3

gören, optik fiberleri konumlandıran bir robot kızağa sahiptir. Böylece, bir alan gözlenirken bir sonraki bölge de gözleme hazırlanabilmektedir.



Şekil 2.3: Anglo-Avustralya teleskobu (solda) ve HERMES tayf çekeri (sağda).

Birçok elementin üstündeki yıldız bolluğu deseni yıldızların oluşumundan kaynaklanan gazın kimyasal durumunu yansıtır ve yıldız DNA profili gibidir. Kimyasal etiketleme olarak bilinen bir teknik olan yıldız kimyasının incelenmesinden artık dağılmış olan ortak yıldız yapıtaşı kalıntısına ait yıldızlar ve dış galaksilerden yığışarak gelmiş olan yıldızlar belirlenebilir. Böylece GALAH taramasında hassas radyal hızları ve bir milyon yıldız için yıldız başına 27 farklı kimyasal elementin (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) bollukları elde edilebilmektedir (Buder ve diğ., 2018). Hem dev hem cüce yıldızların içinde ana nükleosentez süreçlerini temsil eden bu element bollukları tek tek yıldızların kimyasal olarak etiketlenmesini mümkün kılacaktır Gözlemsel GALAH tayfları, SME ve CANNON kodları kullanılarak sentetik tayflar ile eşleştirilirler. Bu eşleştirmelerle her bir yıldızın radyal hızları ve atmosfer model parametreleri (etkin sıcaklık, yüzey çekim ivmesi, mikrotürbülans hızı ve element bolluk oranları) tayin edilir. GALAH taramasıyla oluşturulan veri setleri Galaksinin oluşum ve evriminin kapsamlı bir görünümünü sağlayacak olup Galaksinin içindeki yıldız oluşumunun tarihini, birleşme olaylarının düzenliliğini ve zaman ile yıldız dinamiğindeki değişiklikleri araştırılnasına katkı verir.

GALAH tayfsal gökyüzü tarama programı verileri GALAH konsorsiyumunun önceden belirlediği zamanlarda aralıklı olarak gezegendeki diğer araştırmacıların kullanımına açılmaktadır. Şimdiye kadar üç veri sürümü yapılmıştır. Birinci veri sürümü (DR1; Martell ve diğ., 2017) 2014 ile 2016 yılları arasında gözlemlenen 200,000 civarı sayıdaki yıldızın radyal hızları, atmosfer model parametreleri, uzaklık modülleri ve renk artığı hesaplamalarını içerir.

İkinci veri sürümü (DR2; Buder ve diğ., 2018) kapsamında 342,862 yıldızın tayfsal verileri (radyal hız ile atmosfer model parametreleri) *Gaia* DR2 uydu verileriyle eşleştirilerek kullanıma sunulmuştur. Verilerin hazır eşleştirilmiş olarak verilmesi Galaktik arkeoloji çalışmalarına bir ivme kazandırmak amacıyla verilmiştir. Üçüncü veri sürümü (DR3; Buder ve diğ., 2021) tıpkı DR2'dekine benzer olarak *Gaia* EDR3 astrometri ve fotometri verileriyle eşleştirilerek 588,571 yıldızın verisini içermektedir.

GALAH tayfsal gökyüzü taramasının üçüncü veri sürümü (DR3), çoğunluğu yakın uzayda bulunan 588,571 yıldıza ait 678,423 tek boyutlu tayf ölçümlerinden elde edilen radyal hız, atmosfer model parametreleri ve çok sayıda elementin bolluk oranlarını içerir. Bu sürümdeki veriler Kasım 2013 ile Şubat 2019 tarihleri arasında Anglo-Avustralya Teleskobu'na takılı olan HERMES tayfçekeriyle yapılan gözlemlerden elde edilmiştir. GALAH DR3 kataloğuyla ilgili teknik ve bilimsel ön analizler Buder ve diğ.'nin (2021) çalışmasında detaylı anlatılmıştır.

GALAH DR3 kataloğundaki 588,571 yıldıza ait verilerin % 65'i cüce, %34'ü dev ve %1'i sınıflandırılmamış yıldızlardan oluşur. Katalogdaki yıldızlar ile ilgili yapılan ön analizlere göre güvenilir kimyasal bolluk oranlarına ve yaş parametrelerine sahip yıldızların %62.5'i genç ve düşük-[α/Fe], %8.8'i genç ve yüksek-[α/Fe], %26.9'u yaşlı yıldızlar, %1.8'i de metalce fakir [Fe/H] < -1 dex. Ayrıca kinematik hesaplamalara dayanarak örneğin %4'ü halo yıldızı olarak tespit edilmiştir.

GALAH DR3 kataloğunda birden fazla programdan gelen veriler birleştirilmiştir. Yapısında GALAH Evre-1 (476,863 tayf), K2-HERMES (112,943 tayf), TESS-HERMES (34,263 tayf) araştırmaları, 75'ten fazla yıldız kümesinin (54,354 tayf) gözlemlerine ek olarak, GALAH ile ilişkili projeler kapsamında şişkin bölgeye ait gözlemler bulunur.

Bir önceki veri sürümü olan GALAH DR2 ile karşılaştırıldığında, bu veri sürümünde *Gaia* DR2 (Gaia İşbirliği, 2016) ve 2MASS (Cutri ve diğ., 2003) gökyüzü taramalarından gelen astrometrik ve fotometrik veriler ile tayfsal analiz yöntemi geliştirilmiştir. Böylece yıldızların yüzey kütle çekim ivmelerini daha iyi belirlenmiş böylece tayflardaki dejenerasyonluklar kırılmıştır.

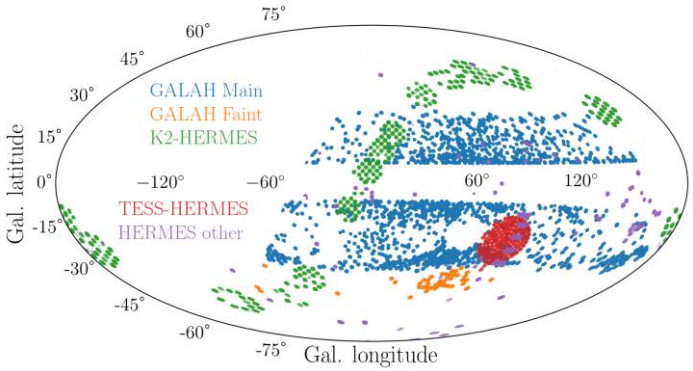
Katalogdaki tüm yıldızlar için şu büyüklükler verilmiştir: HERMES tayfçekerinin dört dalgaboyu bölgesi boyunca indirgenmiş tek boyutlu tayflar; Güneş-merkezli radyal hızlar; yıldız parametreleri (etkin sıcaklık, yüzey çekim ivmesi, demir bolluğu, mikrotürbülans hızı, çizgi genişleme hızı); genel olarak α-element bollukları ve yıldız başına 30 kadar elementin bollukları. Bunlar Li, C, O gibi hafif elementler, Na, Al, K gibi tek-atom numaralı elementler, Mg, Si, Ca, Ti (ve Ti II) gibi α-elementleri, Sc, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn gibi demir-tepe elementleri, Y, Ba, La, Rb, Mo, Ru, Nd, Sm gibi hafif ve ağır yavaş nötron yakalama elementleri ve Eu gibi hızlı nötron yakalama elementidir. Ana GALAH DR3 kataloğuna ek olarak birkaç katma değerli alt-katalog da bu veri sürümünde kullanıma hazırlanmıştır. Bu kataloglarda yaş, kütle, uzaklık tahminleri, Galaktik yörünge özellikleri, harmanlanmış radyal hız ölçümleri, çift yıldız olasılıkları bulunmaktadır.. Başlangıç noktası Galaksi merkezinde olan Galaktik koordinatlardaki GALAH DR3'ün gökyüzünde kapsadığı bölge Şekil 2.4'te gösterilmiştir. Burada Galaktik düzlemden uzak olacak şekilde seçilen GALAH Evre-1 hedefleri (mavi: ana; turuncu: soluk); K2-HERMES takip gözlemlerinin hedefleri (yeşil); TESS-HERMES gözlemleri (kırmızı); GALAH ile ilgili diğer projeler (mor).

GALAH DR3 kataloğunda her yıldız tekil olarak yer almakta ve yıldızlara ait veriler genel olarak radyal hız, yıldız parametreleri ve kimyasal bolluk olarak gruplanabilir. Ayrıca *Gaia*, 2MASS ve *WISE* kataloglarından gelen önemli miktarda veri içermektedir. Bunun dışında kullanıcılara sunulan ek kataloglar şunlardır:

- GALAH DR3'teki her bir yıldız için *Gaia* EDR3 verileri
- Yıldız yaşları, kütleler, uzaklıklar ve *BSTEP* ile elde edilen diğer parametreler
- Galaktik kinematik ve dinamik veri
- Harmanlanmış radyal hız ölçümleri
- FGK çift yıldız sistemleri

GALAH DR2'den GALAH DR3'e geçilirken veri indirgemede iki önemli iyileştirme yapılmıştır. Bunlardan en önemlisi ark çizgilerinin bulunmadığı yeşil ve kırmızı CCD'lerin kenarlarında dalgaboyu çözümü yeniden düzenlenmiştir. Bu durum tayf çözümlemesi yapılırken ortalama çözümden sapmalar tespit edildiğinde pikselden dalgaboyuna dönüşümünü tanımlayan polinomun sabitlenmesiyle başarılmıştır. Buna ek olarak analiz yöntemlerinde de iki başlıca değişiklik yapılmıştır. Bunlardan ilki tayfsal bozulmaları kırmak için *Gaia* DR2'den gelen astrometrik veriler kullanılmıştır. Bunun sonucu olarak GALAH

DR2'de bulunan yaklaşık 5,000 yıldız GALAH DR3'te yer alamamıştır. Bir diğer önemli farklılık da GALAH DR3'te tüm yıldız parametreleri ve element bolluğu tespiti için *Spectroscopy Made Easy* programı (Piskunov ve Valenti, 2017) kullanılmıştır. Aşağıda GALAH DR2 (üst paneller) ve GALAH DR3 (alt paneller, bu sürüm) karşılaştırması verilmiştir. Düz açık mavi arka plan tüm ölçümleri gösterirken, renk haritası her noktadaki işaretlenmemiş ölçümlerin sayısını göstermektedir.

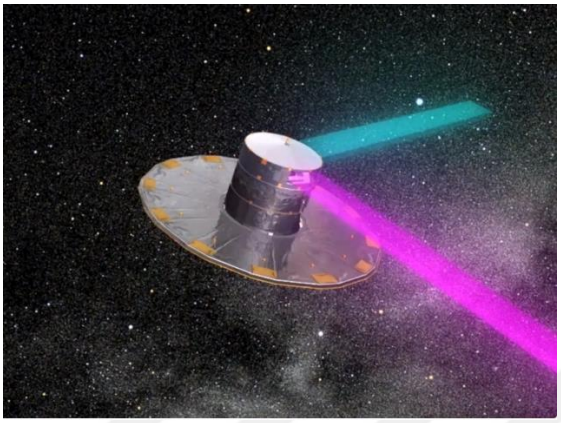


Şekil 2.4: GALAH DR3 kaynaklarının Galaktik koordinatlardaki dağılımı. Kaynaklar GALAH DR3 Evre-1 kapsamında yürütülen tüm projelere göre renklendirilmiştir. Buna göre mavi renk Evre-1'in ana kaynaklarını, turuncu sönük kaynakları, yeşil K2-HERMES alanlarını, kırmızı TESS-HERMES alanlarını ve mor diğer HERMES gözlemlerini temsil etmektedir.

2.4. *GAIA* UYDUSU

Gaia uzay teleskobu, öncelikli amacı görünen parlaklığı *G* bandında 20^{m}'e kadar olan tüm gök cisimlerinin konum, özhareket, trigonometrik paralaks, parlaklık ve radyal hızlarını büyük bir duyarlılıkla belirlemektir. Global Astrometric Interferometer for Astrophysics kelimelerinden bulunan bir akronim olarak projeye *Gaia* adı verilmiştir. Farklı tür gözlemlerin yapılabilmesiyle farklı kökene sahip gök cisimlerin keşfedilmesi hedeflenmiştir. Çok sayıda asteroitler, öte-gezegenler, kahverengi cüceler, değişen yıldızlar ve hatta kuazarları gözlemlemek *Gaia* gözlem programı kapsamında yer almaktadır. *Gaia* eş-zamanlı olacak şekilde astrometrik, fotometrik ve tayfsal gözlem yapabilme kapasitesine sahiptir. Bugüne kadar DR1, DR2, EDR3 ve DR3 olmak üzere üç temel ve bir öncül veri sürümü yapılmıştır. Yüksek lisans tez çalışmasında *Gaia* EDR3 verileri kullanılmıştır. Early Data Release 3 anlamına gelen EDR3 kataloğunda *Gaia* uydusuyla 25 Temmuz 2014 ile 28 Mayıs 2017 tarihleri arasında yapılan gözlemlerden elde edilen veriler yayımlanmıştır. *Gaia* gözlemleri TCB sistemini kullanır; yani zaman koordinatı ortak kütle merkezine dayalıdır. *Gaia* EDR3 kataloğunda astrometri ve fotometri verilerinin duyarlılığı önceki kataloglara

göre arttırılmıştır. Ayrıca özhareketlerin artan duyarlılığı sayesinde kinematik çalışmalar için çok önemli olan faz uzayında oluşan alt yapıların tespiti daha mümkün olmuştur (Gaia İşbirliği, 2021)

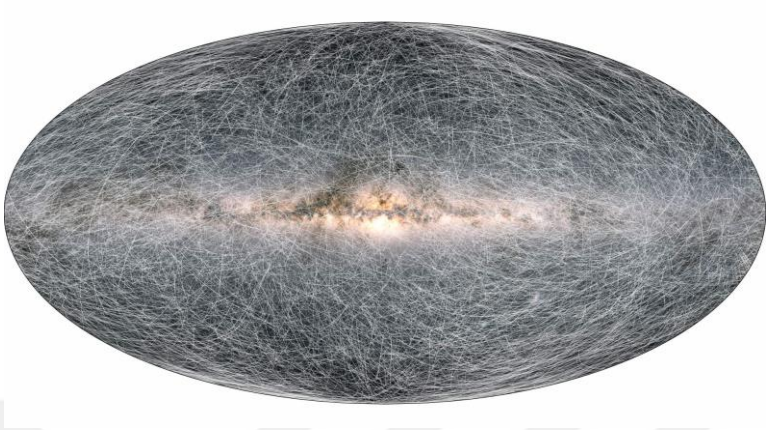


Şekil 2.5: *Gaia* uydusu. Yeşil ve pembe ışınlar *Gaia* gözlemlerinin eş-zamanlı olarak iki farklı teleskop ile yapıldığını temsil eder.

Benzer şekilde, *Gaia* EDR3'te fotometri *Gaia* DR2'den daha iyidir. Bu nedenle G, G_{BP} ve G_{RP} için tek bir geçiş bandının artık %1 seviyesinin üzerinde hiçbir sistematik hata olmadan tüm büyüklük ve renk aralığı üzerinde kullanılabilirdir. Böylece *Gaia* EDR3, kaynak parlaklığı, renk ve gökyüzü bakımından önceki sürümlerden daha homojendir. *Gaia* EDR3 kataloğunda $G = 12^m$ ve $G = 17^m$ arasında bulunan tüm kaynakları içerir. Katalogta toplamda 1,811,709,771 kaynağa ait gözlemsel veri bulunmaktadır.

Bu veri sürümünde 6-parametreli çözümle yapılan 585,416,709 gök cismi vardır. Bu parametrelerin belirsizlikleri, 5-parametreli çözümlerden daha düşük hassasiyetli bulunmuştur. 2-parametreli çözümü yapılan 343,964,953 kaynak vardır. Bunların konumlarındaki belirsizlikler 1-3 mas civarındadır. Fakat bu belirsizlikler aynı zamanda G bandı parlaklık sınırına göre de değişmektedir. Konum belirsizlikleri, $G < 15^m$ için 0.01-0.02 mas, $G = 17^m$ için 0.05 mas, $G = 20^m$'de 0.4 mas ve $G = 21^m$'de 1 mas'tır. Paralaks belirsizlikleri, $G < 15^m$ için 0.02-0.03 mas, $G = 17^m$ için 0.07 mas, $G = 20^m$ için 0.5 mas ve $G = 21^m$ için 1.3 mas'tır. Özhareket belirsizlikleri, $G < 15^m$ için 0.02-0.03 mas/ yıl, $G = 17^m$ için 0.07 mas/yıl, $G = 20^m$ için 0.5 mas/yıl ve $G = 21^m$ için 1.4 mas/yıl'dır. Bu veri sürümünde sistematik hatalar, önceki sürümlere kıyasla genel olarak daha düşüktür. Özellikle özhareket değerlerindeki duyarlılığın arttığı *Gaia* EDR3 gözlemlerine dayanarak gelecek 400,000 yıl

içerisinde Güneş'ten itibaren 100 pc içerisindeki 40,000 yıldızın uzay hareketlerine dair bir projeksiyon Şekil 2.6'da gösterilmiştir.



Şekil 2.6: Güneş'ten itibaren 100 pc içerisinde bulunan yaklaşık 40,000 yıldızın *Gaia* EDR3 kataloğundaki duyarlı özhareket verileri kullanılarak oluşturulan projeksiyon.

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. VERİLER

Bu yüksek lisans tez çalışmasında F, G ve K tayf türlerinden anakol yıldızlarının yüksek çözünürlük ve yüksek sinyal-gürültü oranlı tayfları kullanılarak son derece duyarlı elde edilen radyal hızları, atmosfer model parametreleri, metal ve α-element bollukları GALAH DR3 (Buder ve diğ., 2021) kataloğundan; şimdiye kadarki en duyarlı astrometrik ölçümler yapılarak elde edilen ekvatoral koordinat, özhareket bileşenleri ve trigonometrik paralaksları *Gaia* DR3 (Gaia İşbirliği, 2021) kataloğundan alınmıştır. Bunlara ek olarak yıldızların yaş değerleri GALAH DR3'ün değer eklenmiş (value-added) kataloğundan derlenmiştir.

3.2. YILDIZLARIN UZAKLIKLARI

Yıldızların uzaklıkları *Gaia* EDR3 taramasından alınan duyarlı trigonometrik paralaksların d = 1000 / ϖ bağıntısıyla elde edilmiştir. Buradan yola çıkarak tezde kullanılan FGK tayf türündeki anakol yıldızlarının Güneş merkezli uzaklıkları aşağıdaki bağıntılar ile hesaplanmıştır:

$$X = d.\cos b.\cos l$$

$$Y = d.\cos b.\sin l \tag{3.1}$$

$$Z = d.\sin b$$

Burada l,b yıldızların sırasıyla Galaktik boylam ve enlemini X, Galaksi merkezi doğrultusunda; Y, Galaktik dönme doğrultusunda ve Z, kuzey Galaktik kutup doğrultusunda ölçülen kartezyen uzaklıklarını gösterir.

Tez çalışmasında kullanılacak bir diğer parametre de yıldızların Galaksi merkezine olan uzaklıklarıdır. Bu mesafe biri radyal (R) diğeri (Z) doğrultusundaki iki uzaklık sayesinde hesaplanır.

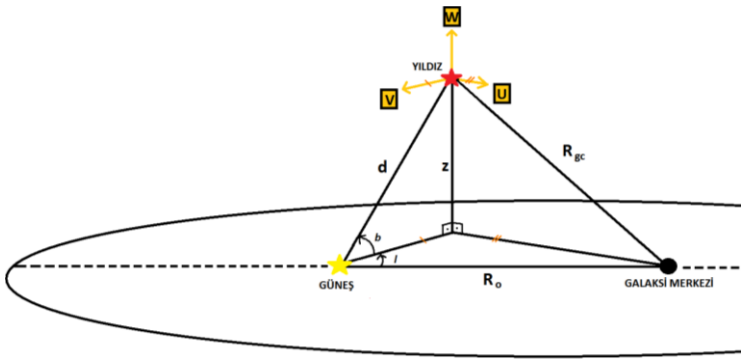
$$R_{\mathrm{GC}} = \sqrt{R^2 + Z^2} \tag{3.2}$$

$$R = \sqrt{r^2 + R_o^2 - 2rR_o\cos l} \tag{3.3}$$

Burada r yıldızın Güneş'e olan uzaklığı ve R_o da Güneş'in Galaksi merkezine olan uzaklığıdır. Bu değer 8 kpc olarak alınmıştır (Bovy ve diğ., 2012b).

3.3. YILDIZLARIN UZAY HIZLARI

Tez çalışmasında kullanılan anakol yıldızlarının uzay hızı bileşenleri ve bu bileşenlerin hatalarının hesaplanabilmesi için helyosentrik koordinatlar, radyal hız, özhareket bileşenleri ve trigonometrik paralakslar bilinmelidir. Uzay hızı bileşenleri, Johnson ve Soderblom'un (1987) çalışmalarında sunulan algoritmadaki dönüşüm matrisleri kullanılarak hesaplanmıştır. Bu yöntemde Uluslararası Göksel Referans Sistemi'nde tanımlanan J2000 epoğu kullanılmıştır. Dönüşüm matrislerinde yapılan hesaplamalarda sağ-el kuralı uygulandığından dolayı *U*, *V*, *W* uzay hızı bileşenlerinin Güneş'e göre yön ve işaretleri de buna uygun olarak düzenlenmiştir. Bu durumda *U*, Galaksi merkezine doğru (l = 0°, b = 0°); *V*, Galaksinin dönme doğrultusunda (l = 90°, b = 0°) ve *W*, Kuzey Galaktik kutup doğrultusunda (b = 90°) pozitif değerlidir. Şekil 3.1'de bir yıldızın Galaktik yörüngesi üzerinde sağ-el kuralına göre uzay hızı bileşenlerinin yönelimleri şematik olarak gösterilmiştir. Bu hesaplamalarda Güneş'in Galaksi merkezi etrafındaki dönüş hızı V_0 = 220 km/sn olarak kabul edilmiştir (Bovy ve diğ., 2012b).



Şekil 3.1: Bir yıldızın *U*, *V*, *W* uzay hızı bileşenleri ve yıldız ile Güneş'in Galaksi merkezine uzaklıklarının şematik gösterimi.

Uzay hızı bileşenleri aşağıda verilen temel matris ile hesaplanır:

$$\begin{pmatrix} U \\ V \\ W \end{pmatrix} = B.\begin{pmatrix} \gamma \\ K\frac{\mu_\alpha \cos\delta}{\varpi} \\ K\frac{\mu_\delta}{\varpi} \end{pmatrix} \tag{3.4}$$

Burada K = 4.74057; ϖ, trigonometrik paralaks; $\mu_\alpha \cos\delta$ ve μ_δ özhareket bileşenleri ve γ, radyal hızdır. *B, T* dönüşüm matrisi ile *A* koordinat matrislerinin skaler çarpımı olarak tanımlanmış bir matristir.

$$B = T.A, \tag{3.5}$$

A ve *T* matrisleri, sırasıyla, aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

$$A = \begin{pmatrix} \cos\alpha\cos\delta & -\sin\alpha & -\cos\alpha\sin\delta \\ \sin\alpha\cos\delta & \cos\alpha & -\sin\alpha\sin\delta \\ \sin\delta & 0 & \cos\delta \end{pmatrix}. \tag{3.6}$$

Burada α ve δ, yıldızın ekvatoral koordinatlarıdır.

$$T = \begin{pmatrix} \cos\theta_o & \sin\theta_o & 0 \\ \sin\theta_o & -\cos\theta_o & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} -\sin\delta_{KGK} & 0 & \cos\delta_{KGK} \\ 0 & -1 & 0 \\ \cos\delta_{KGK} & 0 & \sin\delta_{KGK} \end{pmatrix}\begin{pmatrix} \cos\delta_{KGK} & \sin\alpha_{KGK} & 0 \\ \sin\alpha_{KGK} & -\cos\delta_{KGK} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \tag{3.7}$$

T matrisinde verilen α_{KGK} = 192°.25 ve δ_{KGK} = 27°.4, kuzey Galaktik kutbun ekvatoral koordinatları ve θ_o = 123° ise Kuzey Gök kutbunun (KGK), sıfır Galaktik enlemi ile kuzey Galaktik kutbu kesen yarı dairenin durum açısıdır. Bu değerler, Johnson ve Soderblom'un (1987) çalışmasında verilen değerler olup doktora tezinde *Hipparcos* ile yapılan duyarlı astrometrik ölçümlerden hesaplanan α_{KGK} ve δ_{KGK} değerleri kullanılarak *T* matrisine uygulanmıştır: α_{KGK} = 192°.85948 ve δ_{KGK} = 27°.12825.

$$T = \begin{bmatrix} -0.0548755604 & -0.8734370902 & -0.4838350155 \\ +0.4941094279 & -0.4448296300 & +0.7469822445 \\ -0.8676661490 & -0.1980763734 & +0.4559837762 \end{bmatrix}. \tag{3.8}$$

Galaksimizdeki yıldızların yörüngesel dönme hızları, Galaksinin iç kısımlarından dışına doğru yavaşladığından yıldızlar farklı hızlarda hareket ederler ve buna *diferansiyel dönme* denir. Anakol yıldızları için diferansiyel dönme düzeltmesi hesaplanarak, yıldızların uzay hızı bileşenlerinden çıkartılmıştır. Bu düzeltme yapılmadığı takdirde, Güneş'e göre hızlarda yıldızların Galaktik koordinatlarına bağlı olarak sistematik hatalar görülür. Bunun nedeni, bir

yıldızın Güneş'e göre uzay hareketi ölçüldüğünde hesaplanan göreceli hızın, yıldızın Galaksi merkezine göre bulunduğu noktadaki Galaktik dönmeden bağımsız olmamasıdır. İncelenen anakol yıldızları büyük bir uzay hacmi içinde yer aldığı için diferansiyel dönme yıldızların kinematiğini etkilemektedir. Diferansiyel dönme yalnızca Galaktik düzlemde etkili olduğundan *U* ve *V* uzay hızı bileşenlerine düzeltmeler uygulanmalıdır. Bunun için Mihalas ve Binney'in (1981) eşitlikleri kullanılır:

$$dU = \gamma.\cos l - V_{\mathrm{T}}.\sin l \ . \tag{3.9}$$

$$dV = \gamma.\sin l + V_{\mathrm{T}}.\cos l \ . \tag{3.10}$$

Burada *dU* ve *dV,* sırasıyla *U* ve *V* uzay hızlarına uygulanan diferansiyel dönme düzeltmeleri, γ ve V_T de, sırasıyla, Galaktik diferansiyel dönmeden kaynaklanan radyal hız ve teğet hızdır. Şu şekilde ifade edilirler:

$$\gamma = A.d_{\mathrm{p}}.\sin 2l \ . \tag{3.11}$$

$$V_T = A.d_{\mathrm{p}}.\cos 2l + B.d_{\mathrm{p}} \ . \tag{3.12}$$

Eşitliklerde verilen, *A* ve *B*, Oort sabitleri için Mihalas ve Binney'in (1981) verdiği değerler kullanılır: *A* = 14.8 km/s/kpc ve *B* = -12.4 km/s/kpc. Burada d_{p} düzlemdeki izdüşüm uzaklığıdır ve $d_{\mathrm{p}} = d.\cos b$ eşitliğiyle hesaplanır. Ayrıca *d*, yıldız ile Güneş arasındaki uzaklıktır. *l* ve *b* ise, sırasıyla, Galaktik boylam ve Galaktik enlemdir.

Yıldızların uzay hızı bileşenlerinin hesabında kullanılan *T* ve *A* matrisleri nesnenin koordinatlarına duyarlı olduğundan ve koordinatlardan gelen hatanın olmadığı ve yalnızca radyal hız (γ), özhareket bileşenleri ($\mu_\alpha.\cos\delta$, μ_δ), ve uzaklık (*d*) parametrelerinden kaynaklanan rastgele ve bağımsız hatalar olduğu kabul edilmiştir. Bu durumda, uzay hızlarındaki belirsizlikler Johnson ve Soderblom'un (1987) algoritması kullanılarak parametre hatalarının yayılımlarından hesaplanmıştır. Bunun için her bir parametreden gelen hata (3.13) bağıntısındaki fonksiyon ile belirlenmiş ve (3.14) bağıntısına yerleştirilmiştir:

$$\sigma^2_{F(x,y,z)} = \left(\frac{\partial F}{\partial x}\right)^2 \sigma_{\mathrm{x}}^2 + \left(\frac{\partial F}{\partial y}\right)^2 \sigma_{\mathrm{y}}^2 + \left(\frac{\partial F}{\partial z}\right)^2 \sigma_{\mathrm{z}}^2 \ . \tag{3.13}$$

$$\begin{bmatrix}\sigma_U^2\\ \sigma_V^2\\ \sigma_W^2\end{bmatrix} = C\begin{bmatrix}\sigma_\gamma^2\\ (k/\pi)^2\left[\sigma_{\mu_\alpha}^2 + (\mu_\alpha\sigma_\pi/\pi)^2\right]\\ (k/\pi)^2\left[\sigma_{\mu_\delta}^2 + (\mu_\delta\sigma_\pi/\pi)^2\right]\end{bmatrix} + 2\mu_\alpha\mu_\delta k^2\sigma_\pi^2/\pi^4\begin{bmatrix}b_{12}b_{13}\\ b_{22}b_{23}\\ b_{32}b_{33}\end{bmatrix} \quad . \tag{3.14}$$

Burada σ, dispersiyon olup hangi hesaplama parametresine ait olduğu alt simgelerle gösterilmiştir. İfadeye çarpan olarak gelen *C* ise (3.15) bağıntısında tanımlanan *B* matrisinin karesi alınarak elde edilmiştir:

$$C_{ij} = B_{ij}^2 \, . \tag{3.15}$$

Yıldızların toplam uzay hızı (*S*) ve toplam uzay hızlarındaki belirsizlik (S_{hata}), sırasıyla, uzay hızı bileşenlerinin ve her bir uzay hızı bileşeninin hataları (U_{hata}, V_{hata}, W_{hata}), hataların yayılma prensibine göre, (3.16) ve (3.17) bağıntılarıyla hesaplanmıştır:

$$S = (U^2 + V^2 + W^2)^{1/2} \, . \tag{3.16}$$

$$S_{hata} = (U_{hata}^2 + V_{hata}^2 + W_{hata}^2)^{1/2}. \tag{3.17}$$

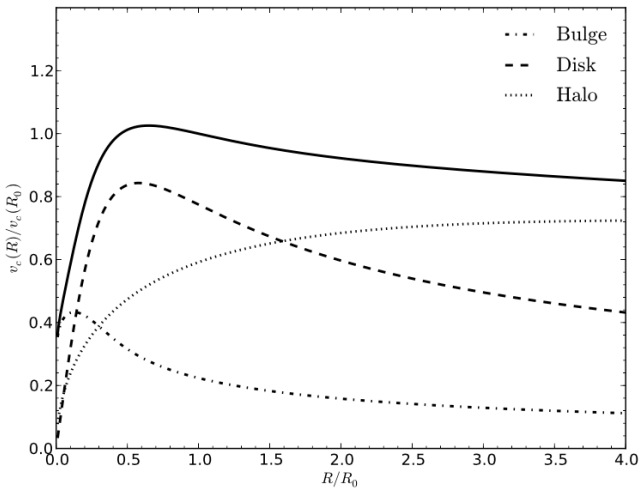
3.4. YILDIZLARIN DİNAMİK YÖRÜNGE PARAMETRELERİ

Yüksek lisans tezinde incelenen anakol yıldızlarının Galaktik yörünge parametreleri *galpy* (Bovy, 2015) kütüphanesi kullanılarak hesaplanmıştır. *Galpy* programı *scipy*, *numpy* ve *matplotlib* gibi python kütüphaneleri ile birlikte çalışır. Bu programla incelenen gök cisimlerinin potansiyel ve yörünge nesneleri hesaplanabilmektedir. *Galpy* ile gök cismi yörüngeleri çeşitli özel koşullarla şekillendirilmiş yörüngelerin elde edilmesini mümkün kılan modüllere sahiptir: *galpy.potential*, *galpy.orbit*, *galpy.actionAngle*, *galpy.df*, *galpy.util*. Bu programla gerçek ya da sentetik olarak türetilmiş herhangi bir nesnenin yörünge parametreleri türetilebilir. Bunun için nesnelere ait astrometrik ve tayfsal veriler gereklidir. *Galpy.potential* modülü kullanılarak seçilen özel bir yörünge için hesaplama yapılabilir. Özellikle Evrendeki diğer tüm galaksilerden çok daha iyi bildiğimiz Samanyolu için çekimsel potansiyel özellikleri en güncel bilimsel verilerle donatılarak *MWPotential2014* modelinde toplanmıştır (bkz. Tablo 3.1). *MWPotential2014* ile çizilen Galaksimizin tamamı ve bileşenleri olan şişkin bölge, disk ve haloyu temsil eden dönme eğrileri Şekil 3.2'de verilmiştir. Modelde disk bileşeni bir Miyamoto-Nagai (1975) potansiyeli (ϕ_{disk}) ile temsil edilmiştir:

$$\phi_{\mathrm{disk}}(R_{\mathrm{GC}}, Z) = -\frac{GM_{\mathrm{d}}}{\sqrt{R_{\mathrm{gc}}^2+\left(a_{\mathrm{d}}+\sqrt{Z^2+b_{\mathrm{d}}^2}\right)^2}}\,. \tag{3.18}$$

Burada R_{GC}, Z, G, M_{d}, a_{d} ve b_{d}, sırasıyla, o bileşendeki yıldızların Galaksi merkezine olan uzaklıkları, Galaksi düzlemine dik uzaklıkları, evrensel çekim sabiti, disk kütlesi, Galaksi diskinin uzunluk ve yükseklik ölçekleridir. Modelde halo bileşeni, Navarro, Frenk ve White (1996) potansiyeli (ϕ_{halo}) ile temsil edilmiştir:

$$\phi_{\mathrm{halo}}(r) = -\frac{GM_{\mathrm{s}}}{R_{\mathrm{gc}}}\ln\left(1+\frac{R_{\mathrm{gc}}}{r_{\mathrm{s}}}\right) \quad . \tag{3.19}$$



Şekil 3.2: *MWPotential2014* modelinde Galaktik bileşenleri temsil eden dönme eğrileri. Burada tüm galaksi, şişkin bölge, disk ve halo, sırasıyla, düz, noktalı-kesikli, kesikli ve noktalı eğrilerle temsil edilmiştir.

Burada M_{S}, halo için varsayılan sferoidin kütlesi ve r_{S}, bu sferoidin yarıçapıdır. Tanımlanan bu potansiyeller şu verilere fit edilmiştir.

Şişkin bölge için Baade penceresindeki hız dispersiyonu, σ_b = 117 ± 15 km/sn'dir. Galaktik düzlemden 1.1 kpc ötede Güneş çemberinin dikey kuvveti $|F_Z|$ = 67 ± 6 ($2\pi.G.M_\odot/pc^2$) ve Zhang ve diğ.'ne (2013) göre yerel görünür yüzey yoğunluğu Σ = 55 ± 5 $M_\odot/pc^2$'dir. Bu uzaklıktaki dikey kuvvet ölçümleri Bovy ve diğ.'den (2013) alınmıştır. Clemens (1985) ve McClure-Griffiths ve Dickey'nin (2007) terminal hız ölçümleri kullanılmıştır. Holmberg ve Flynn'in (2000) Güneş komşuluğu için orta düzlem yoğunluk ölçümü: R_o, Z = 0.10 ± 0.01 $M_\odot/pc^3$. Bovy ve diğ.'deki (2012c) dönme eğrisinin logaritmik eğimi üzerine sınırlama getirilmiştir.

Galaksinin 60 kpc'e kadar uzanan kısmındaki toplam kütlenin ölçümü Xue ve diğ.'den (2008) alınmıştır ve değeri, $M_r < 60$ kpc $= 4.007 \times 10^{11}\ M_\odot$'tir.

MWPotential2014'te Güneş'in Galaksi merkezine olan uzaklığı, $R_o = 8$ kpc; Güneş'in Galaksi merkezi etrafındaki dairesel hızı $V_o = 220$ km/sn olarak alınmıştır (Bovy ve diğ., 2012b). *MWPotential2014*'ün genel özellikleri Tablo 3.1'de listelenmiştir. Bu tabloya bakıldığında Galaksiyi oluşturan üç temel bileşenin kütleleri ve halonun virial özellikleri görülmektedir. Miyamoto-Nagai disk yoğunluğuna fit edilen yaklaşık uzunluk ölçeği R_d'dir. Yerel karanlık madde yoğunluğu $\rho_{DM} = 0.008\ M_\odot/pc^3$ ise (örneğin Bovy ve Tremaine, 2012a; Zhang ve diğ., 2013; Piffl ve diğ., 2014) kaçış hızıyla (Smith ve diğ., 2014) uyum içerisindedir. *MWPotential2014* potansiyeli hesap yaparken Galaktik merkezde olduğu tespit edilmiş olan süper kütleli bir karadelik dahil edilmemiştir.

Tablo 3.1: *MWPotential2014* potansiyel modelinin Galaktik bileşenlere ait değerlerle birlikte detaylı dökümü.

	Parametre	Değer	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	güç kanunu katsayısı	-1.8	-
	kesilme yarıçapı (kpc)	1.9	-
	a (kpc)	3.0	-
	b (pc)	280	-
Halo	r_s (kpc)	16	-
	σ_b (km/sn)	109	117 ± 15
	$F_Z.(R_0,1.1\text{kpc}).(2\pi G M_\odot\ pc^{-2})$	72	67± 6
	$\Sigma_{vis}(R_0)$ ($M_\odot\ pc^{-3}$)	53	55± 5
	F_Z uzunluk ölçeği (kpc)	3.2	2.7±0.1
	$\rho\ (R_0,z=0)$ ($M_\odot/pc^3$)	0.10	0.10±0.01
	$(\ln v_c / \ln R)\|_{Ro}$	-0.10	-0.2 – 0
	$M(r < 60$ kpc) ($10^{11}\ M_\odot$)	4.1	4.0±0.7
Disk	M_b ($10^{10}\ M_\odot$)	0.5	-
	M_d ($10^{10}\ M_\odot$)	6.8	-
	R_d (kpc)	2.6	-
	ρ_{DM} (R_o) ($M_\odot$ / pc^3)	0.008	-
	M_{vir} ($10^{12}\ M_\odot$)	0.8	-
	r_{vir} (kpc)	245	-
	Yoğunlaşma	15.3	-
	v_{esc} (R_0) (km/sn)	513	-

MWPotential2014 koduyla hesaplanan yıldız yörünge parametreleri aşağıdaki gibi listelenebilir: Galaksi düzleminden dik doğrultuda yıldız yörüngesinin ulaştığı en büyük yükseklik (z_{max}), yıldızın yörüngesinde Galaksi merkezine en uzak olduğu (R_a) ve en yakın (R_p) olduğu mesafeler, yıldızların yörüngesel açısal momentumunun helyosentrik kartezyen koordinatlardaki bileşenleri (L_X, L_Y, L_Z).

3.5. YILDIZLARIN GALAKTİK POPÜLASYONLARI

3.5.1. Kimyasal Uzayda Galaktik Popülasyonlar

Galaktik astronomi araştırmaları tayfsal gözlemlerdeki kalitenin artmasıyla kimyasal özelliklerine bakarak da yıldızların Galaktik popülasyonlara ayrılabileceğini ortaya koymuştur. Galaksimizin oluşum senaryoları incelendiğinde, İkili Çökme Modeli (Chiappini, Matteucci ve Graton, 1997) halo ve şişkin bölge yıldızları 2 Gyıl gibi bir ilk çökme süreciyle hızlıca oluşmuşlardır. Bu oluşum süreci esnasında Galaksimizin çok sayıda hızlı evrimleşebilen yıldızları çekirdek çökmeli Tip II süpernova patlamalarıyla yıldızlararası ortamı hem demir hem de alfa elementleri bakımından zenginleştirir. Bu süreçte Galaksimiz uydu galaksilerini gerek yutma, gerekse gaz çalma yoluyla yapısına büyük miktarda madde kazandırır. Bu maddelerle 2 Gyıl'dan sonra ikinci çökme bir çökme süreci başlar ve bu süreç diğerine göre oldukça yavaş ilerler. Süreç esnasında ortamda her ne kadar yeni bir gaz birikmesi olsa da diğerine göre ortamda Tip II süpernovası üreten yıldızların etkinliği oldukça azalır. Sürecin nispeten uzun olması yaklaşık bir milyar yıllık bir süreç gerektiren termonükleer Tip Ia süpernovalarını baskın kılar. Tip Ia süpernovaları yıldızlararası ortamı demir elementi bakımından zenginleştirir. İkinci çökme sürecinin bir diğer etkisi de Galaksi diskinin oluşum hiyerarşisine dair önemli bir öngörüde bulunmasıdır. Buna göre Galaksi diski çökme süreçleriyle merkezi kısma yığışan gazın, Galaksinin dönmesiyle içten dışa doğru genişleyerek yani dışa doğru büyüyerek oluşmuş olmasıdır. Böyle bir sürecin Galaksi diskinin kimyasal olarak içten dışa doğru bir gradyente neden olması beklenir. Öyle ki Galaksi diskinde iç kısımlardan dış kısımlara gidildiğinde demir (metal) bolluklarının azalması gereklidir. Benzer şekilde iç kısımlardan dış kısımlara gidildiğinde ise alfa element bolluklarının da artması gereklidir. Buradan yola çıkarak alfa ve demir bolluk oranlarının kimyasal olarak Galaksimiz yıldızlarının ince disk, kalın disk ve halo popülasyonlarına ayrılabileceği "içten dışa doğru oluşum" senaryosu kapsamında mümkün görülmüştür

(Kepner, 1999). Yıldızların alfa element bolluklarının demir elementine bolluklarıyla oranlandığı [α/Fe] ile genel olarak bir yıldızın metal bolluğu göstergesi kabul edilen demir element bolluğunun hidrojen element bolluğuna oranlandığı [Fe/H] parametrelerinin oluşturduğu kimyasal uzayda gelişmiş istatistiksel yöntemler kullanılarak yıldızların ince disk, kalın disk ve halo popülasyonlarına ayrıştırılabilmektedir (Nissen ve Schuster, 2010). Bu ayrımın temelinde ince disk, kalın disk ve halo popülasyonlarına ait yıldızların [α/Fe] ve [Fe/H] oranlarındaki davranış biçimi yatmaktadır. İnce diskten, kalın diske ve kalın diskten halo popülasyonuna doğru gidildikçe yıldızlar [Fe/H] bakımından fakirleşmekteyken, [α/Fe] bakımından zenginleşirler. Bu durum Galaksimizin oluşum teorilerinin en önemli gözlemsel delilidir.

Bu yüksek lisans tez çalışmasında yıldızların kimyasal uzayda sınıflandırılmasında Gaussyen karışım modeli (GMM) kullanılmıştır. Bu model bir makine öğrenme algoritması olarak veriyi tercih edilen sayıda Gauss düzlemiyle fit eder. Sınıflandırmayı yaparken her bir Gaussyen düzelmedeki olasılığı hesaplar. GMM'in uygulanmasında bir python kütüphanesi olan *scikit-learn* (Pedregosa ve diğ., 2011) kullanılmıştır. Model parametreleri şu şekilde tanımlanır: *n-components,* parametre girilen sınıf sayısını belirler ki bu sayı tezde 2'dir. *covariance_type*, her bir sınıf atanırken kullanılan Gaussyen yüzeyin kovaryans matrisini tanımlar ki bu da *Full* olarak seçilmiştir. Bunun nedeni her bir düzleminin ayrı birer kovaryans matrisi olmasıdır. Bununla beraber bu düzlemler birbiriyle kesişirler. Bu işlemin uygulanmasıyla verilen örnek istatistiksel olarak iki gruba ayrılmaktadır.

3.5.2. Dinamik Özelliklerine Göre Galaktik Popülasyonlar

Yıldızların yörüngelerini temsil eden parametrelerden yörünge basıklığı ve yıldız yörüngesinin Galaktik düzlemden dik doğrultuda uzaklaştığı en büyük konum değeri dikkate alınarak yıldızların (e, z_{max}) diyagramı oluşturulduğunda yıldızların ortalama yörünge basıklığı değerlerinin artan dik uzaklıklar ile kayma gösterdiği tespit edilmiştir (bkz. Önal Taş ve diğ., 2016). Galaksi diski yıldızların bulunduğu dik doğrultuya göre yaş, kimya ve kinematik özellikleri bakımından farklılık gösteren ince ve kalın disk olarak tanımlı alt bileşenlerden oluşur. Ayrıca özellikle Galaksi diskinin içerisinde gömülü halde bulunan spiral kollar, çubuk(lar), dev molekül bulutları yıldız yörüngelerinin etkilenmesine ve zaman içerisinde radyal ve hatta dikey doğrultulara etki eden yörüngesel özelliklerin değişimine neden olabilen büyük ölçekli çekimsel pertürbasyon kaynaklarını yapısında barındırır. Yıldız

popülasyonlarının ayrılmasında tercih edilen bu yöntemler ile ince ve kalın diskte bulunan yıldızların hem Galaksi düzleminden dik doğrultuda uzaklaştıkça nasıl bir değişim gösterdikleri hem de pertürbasyon kaynaklarının etkisiyle yörüngelerinde meydana gelen değişimin yansımaları takip edilebilmektedir. Bu etkiler yıldız yörüngelerinin rehber yarıçaplarının değişimine neden olan radyal göç yaparak yörünge basıklıklarının artmasına, yıldız yörüngelerinin Galaktik düzleme dik doğrultudaki yüksekliklerinin değişmesine, radyal karışımlara ve alevlenme, bükülme gibi olaylara neden olabilmektedir. Bu amaçla dinamik özelliklere göre anakol alt-örnekleri oluşturulurken z_{max}, e ve her ikisinin kombinasyonundan oluşan alt-örnekler de kullanılmıştır.

3.5.3. Yıldız Yaşlarına Göre Galaktik Popülasyon Ayrımı

Galaksimizin bileşenleri dikkate alındığında her bir bileşeni temsil eden ortalama yıldız yaşları ve yıldız yaşlarının değişim aralıkları farklılık göstermektedir. Galaksimizin en yaşlı bileşenleri olan şişkin bölge ve halo yıldızlarının ortalama yaşı 12 Gyıl mertebesindedir. Galaksimizin en genç bileşeni olan ince disk yıldızlarının yaşları $0 < \tau$ (Gyıl) < 10 aralığında değişir. İnce diskin ortalama yaşı ise $4 < \langle\tau\rangle$ (Gyıl) < 6 aralığındadır. Kalın disk bileşenindeki yıldızların yaşları da geniş bir aralıkta değişse de ortalama yıldız yaşı 8 ile 10 Gyıl arasındadır (Bland-Hawthorn ve Gerhard, 2016). Böylelikle Galaksi diskinden daha büyük uzaklıklara doğru gidildikçe yıldız yaşları artar. Yüksek lisans tez çalışmasında yıldızların Galaktik popülasyonlarını belirlemede GALAH DR3 veri-eklemeli kataloğundan alınan yıldız yaşlarına göre 1, 5 ve 10 Gyıl yaşlarındaki alt-örnekler tercih edilmiştir. 1 Gyıl en genç ve pertürbasyon kaynaklarından en az etkilenen anakol yıldız popülasyonunu, 5 Gyıl Güneş ile benzer yaştaki yıldız popülasyonunu ve 10 Gyıl ise Galaksi diskindeki en yaşlı yıldız popülasyonlarının hesaba katıldığı durumları temsil eder.

3.6. LSR TAYİNİ

Yüksek lisans tezinde farklı anakol alt-örnekleri için LSR tayinleri yapılırken her bir uzay hızı bileşeninin frekans dağılımları oluşturulmuş, ardından bu dağılımları Gauss fitleri yerleştirilerek her bir fitin medyan değeri ve dağılımın yarı maksimumdaki eşdeğer genişlikleri dikkate alınarak LSR değerleri belirlenmiştir. Her bir uzay hızı bileşeninin standart sapması alınmış ve Gauss fitinin yarı maksimumdaki eşdeğer genişlikleri (FWHM) aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

$$FWHM = 2.553 \times \sigma_i \tag{3.20}$$

Uzay hızı bileşenlerinin standart hataları (s_{ht}) ise şu şekilde hesaplanmıştır:

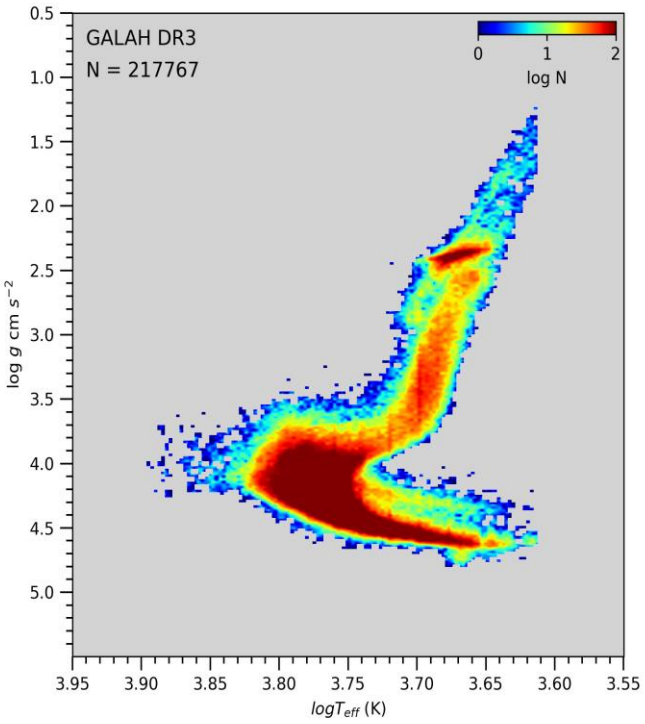
$$s_{hata} = \frac{\sigma_i}{\sqrt{N}} \tag{3.21}$$

Burada i, her bir uzay bileşenini temsil eden bir indis ve N de yıldız sayısıdır.

4. BULGULAR

Yüksek lisans tez çalışmasının ana veri kaynağı tayfsal bir katalog olan GALAH DR3 (Buder ve diğ., 2021) kataloğudur. Bu katalogda farklı ışıma gücü sınıflarından 588,464 yıldıza ait 312 tür bilimsel ve teknik veri bulunmaktadır. Tayfsal bir katalog olarak GALAH DR3'te (GALAH_DR3_main_allstar_v2.fits) ana veri türü radyal hız (γ) ve başta demir elementinin hidrojene göre bolluk oranı [Fe/H] ile alfa elementlerinin demire bolluk oranı [α/Fe] olmak üzere 30 civarında elementin duyarlı bolluk oranları yer almaktadır. Çalışmanın duyarlılığı açısından astrometrik veriler *Gaia* EDR3 kataloğundan alınacak şekilde her iki kataloğa ait verilerin birleştirildiği değer-eklemeli GALAH DR3 kataloğu tercih edilmiştir. *Gaia* EDR3 kataloğunda çalışmada kullanılan yıldızların kinematik ve dinamik parametrelerinin hesaplanmasını mümkün kılan beş temel astrometrik büyüklük şimdiye kadar mümkün olan en yüksek duyarlılıkla verilmiştir. Buradan yıldızların ekvatoral koordinatları (α, δ), özhareket bileşenleri (μ_α.cosδ, μ_δ), trigonometrik paralaks (ϖ) ve bu parametrelerin hataları alınmıştır. Çalışmada kullanılacak olan anakol yıldızlarının seçiminde yıldızların GALAH DR3 kataloğunda verilen etkin sıcaklık ($T_{\rm eff}$) ve yüzey çekim ivmesi (log g) parametreleri kullanılarak oluşturulan Kiel diyagramından (Şekil 4.1) yararlanılmıştır. Şekil 4.1 elde edilmeden önce verilere bir takım temizlik kriterleri uygulanmıştır: (i) *snr_c3_iraf >30*, (ii) *flag_sp=0* ve (iii) *flag_fe_h=0* olma durumu. Bu kriterler bilimsel çalışmalarda kullanmak için duyarlı tayfsal özelliği olan verilere ulaşmak açısından GALAH ekibi tarafından önerilmişlerdir. Kriterlerden, (i) sinyal-gürültü oranı kalitesinin 30 ve üzeri olmasını, (ii) tayflardan yıldız parametrelerinin türetilmesi sürecinde herhangi bir sorun yaşanmayan kaynakları ve (iii) metal bolluğu değerlerinin belirlenmesinde herhangi bir sorun yaşanmayan kaynakları temsil eder. Bunlara ek olarak, çoklu girişlerin teke indirilmesi, yıldızların radyal hızına ait geçerli bir değer olması ($\gamma \geq 0$ km/sn), trigonometrik paralakslarının pozitif olması ($\varpi > 0$), [α/Fe] değerlerinin bulunması ve metal bolluğu hatalarının 0.1 dex değerinden daha küçük olması kriterleri uygulanmıştır. Çalışmada astrometrik veriler *Gaia* EDR3 kataloğundan alınmıştır. Özellikle astrometrik açıdan Güneş civarını en iyi temsil eden ve aynı zamanda istatistiksel açıdan güvenilirliği olan bir veri setine ulaşabilmek için yıldızların

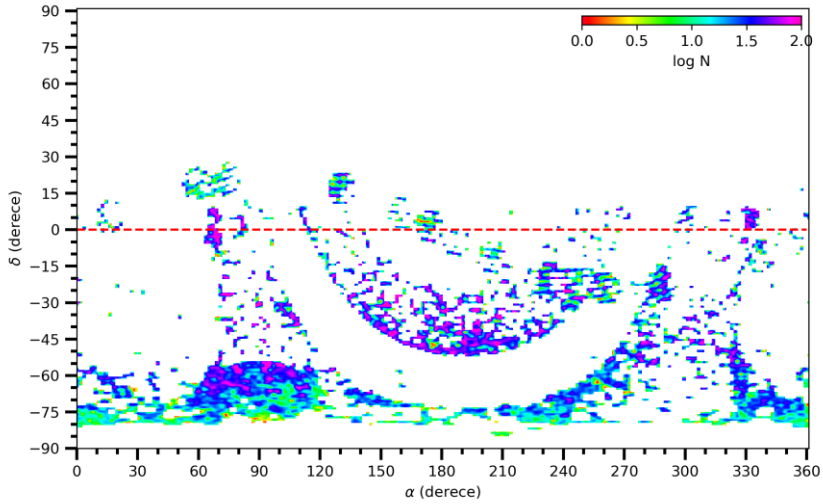
doğru uzaklıklarda olması önemlidir. Bu uzaklığın en önemli kalite göstergesi de gözlemsel bir parametre olan trigonometrik paralaks (ϖ) değerlerinin hatasına oranlanmasıyla seçilir. Hatanın, değere oranlanmasıyla elde edilen büyüklük rölatif paralaks hatası (σ_{ϖ}/ϖ) olarak bilinen bir yanlılığa işaret eder. Rölatif paralaks hatası ne kadar düşük seçilirse, hesaplanan uzaklıklar üzerindeki yanlılığın etkisi de büyük oranda azalır. Bu nedenle çalışmada $\sigma_{\varpi}/\varpi \leq 0.02$ seçilerek en uygun veri setine ulaşılmaya çalışılmıştır. Tüm bu sınırlamaların ardından 217,767 yıldıza ulaşılmıştır. Bu yıldızlara ait Kiel diyagramı yıldız sayı yoğunluğuna göre çizilerek Şekil 4.1'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1: GALAH DR3 kataloğuna getirilen sınırlamalarla seçilen 217,767 yıldızların logaritmik sayı yoğunluğuna göre oluşturulmuş Kiel diyagramı.

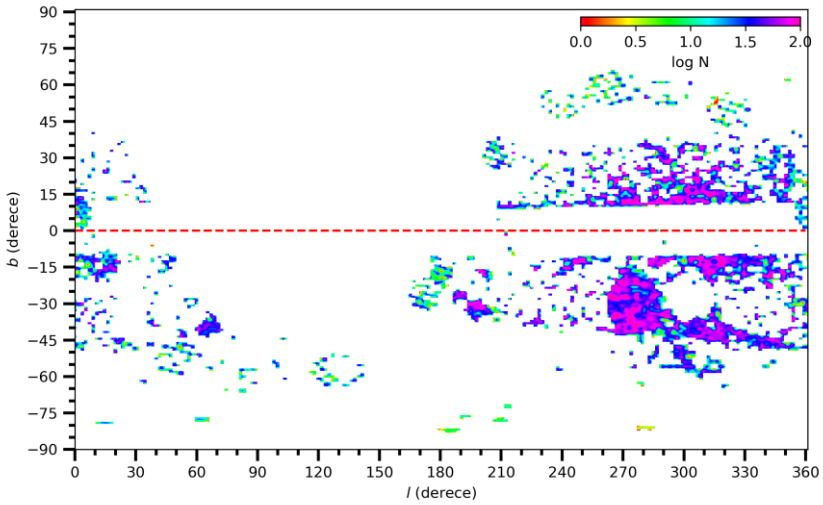
Şekil 4.1 incelendiğinde yıldızların hidrostatik dengede bulunduğu iki önemli bölge dikkati çekmektedir. Bunlar merkezi kısımları koyu kırmızı renkle temsil edilen anakol ve kırmızı yığın bölgeleridir. Bu bölgelerdeki yıldızlar çekirdeklerinde, sırasıyla, kararlı hidrojen ve kararlı helyum yanma reaksiyonları yaparlar. Şekildeki bir diğer belirgin yapı da Şekil 4.1'de anakola göre hemen hemen dik doğrultuda yükselen bir kol olarak görülen kırmızı dev koludur. Ayrıca anakol ile kırmızı dev kollarını birbirine bağlayan yatay doğrultuda kıvrılarak uzanan alt dev kolu da şekilde görülebilmektedir.

GALAH DR3 kataloğundan belirlenen 217,767 anakol yıldızının göksel ekvatoral (α, δ) ve Galaktik koordinatlardaki (*l*, *b*) dağılımları Şekil 4.2'de gösterilmektedir. GALAH güney yarı küre ağırlıklı tayf gözlemleri yapan bir tarama programıdır. GALAH konsorsiyumu optik bölge tayflarının yıldızlararası tozdan çok etkileneceğinden dolayı Galaktik düzlem doğrultusunda gözlem yapmama kararı almıştır. Şekil 4.2 dikkatli incelendiğinde δ ± 30° dik açıklık aralığında ve özellikle pozitif dik açıklık değerlerinde belirgin olarak görülen yuvarlak tarama alanları dikkati çekmektedir. Bu yerler K2-HERMES öte gezegen taramasının yapıldığı bölgelerdir (Stello ve diğ., 2017).



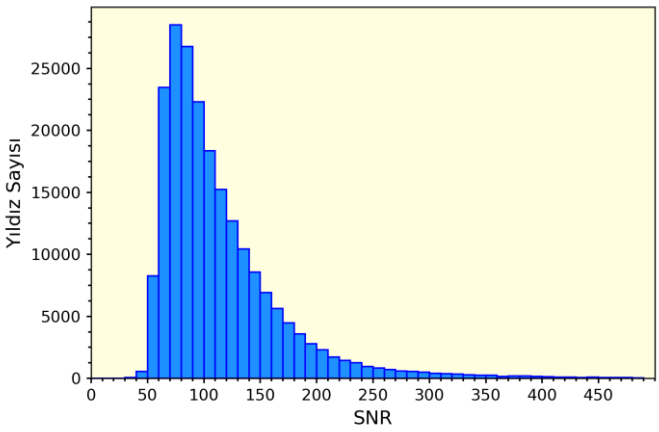
Şekil 4.2: GALAH DR3 anakol örnekleminin ekvatoral koordinatlarının dağılımı.

GALAH DR3 yıldızlarının Galaktik enlem ve boylama göre dağılımları Şekil 4.3'te verilmiştir. Şekil incelendiğinde, GALAH'ın Galaktik enlemi $|b|<10°$'nin altında kalan bölgelerde oldukça az gözlem yaptığı görülmektedir. Yıldızların dağılımına bakıldığında güney yarıküreden yapılan gözlemlerde özellikle Galaktik kuzey ve güney yarımkürelere ait yıldızların gözlemlendiği görülmektedir. Bu durum göksel ekvatoral koordinat sistemiyle Galaktik koordinat sistemi arasındaki 63°'lik açısal farktan kaynaklanmaktadır. Ayrıca, $0 < l\ (°) < 180$ aralığında K2-HERMES alanları güney Galaktik yarımkürede, $180 < l\ (°) < 360$ aralığında ise kuzey Galaktik yarımkürede olacak şekilde $-60 < b\ (°) < 60$ Galaktik enlem aralığında yine dairesel yapılar olarak dikkat çekmektedir.



Şekil 4.3: GALAH DR3 anakol örnekleminin Galaktik koordinatlarının dağılımı.

GALAH DR3 kataloğundaki 217,767 yıldız için çizilen sinyal-gürültü-oranı (SNR) histogramı Şekil 4.4'te gösterilmiştir. Şekle bakıldığında yıldız örneğinin SNR frekansları 40 ile 500 arasında yer almaktadır. Örneğin medyan SNR değeri 98.43 ve standart sapması 67 olarak hesaplanmıştır.



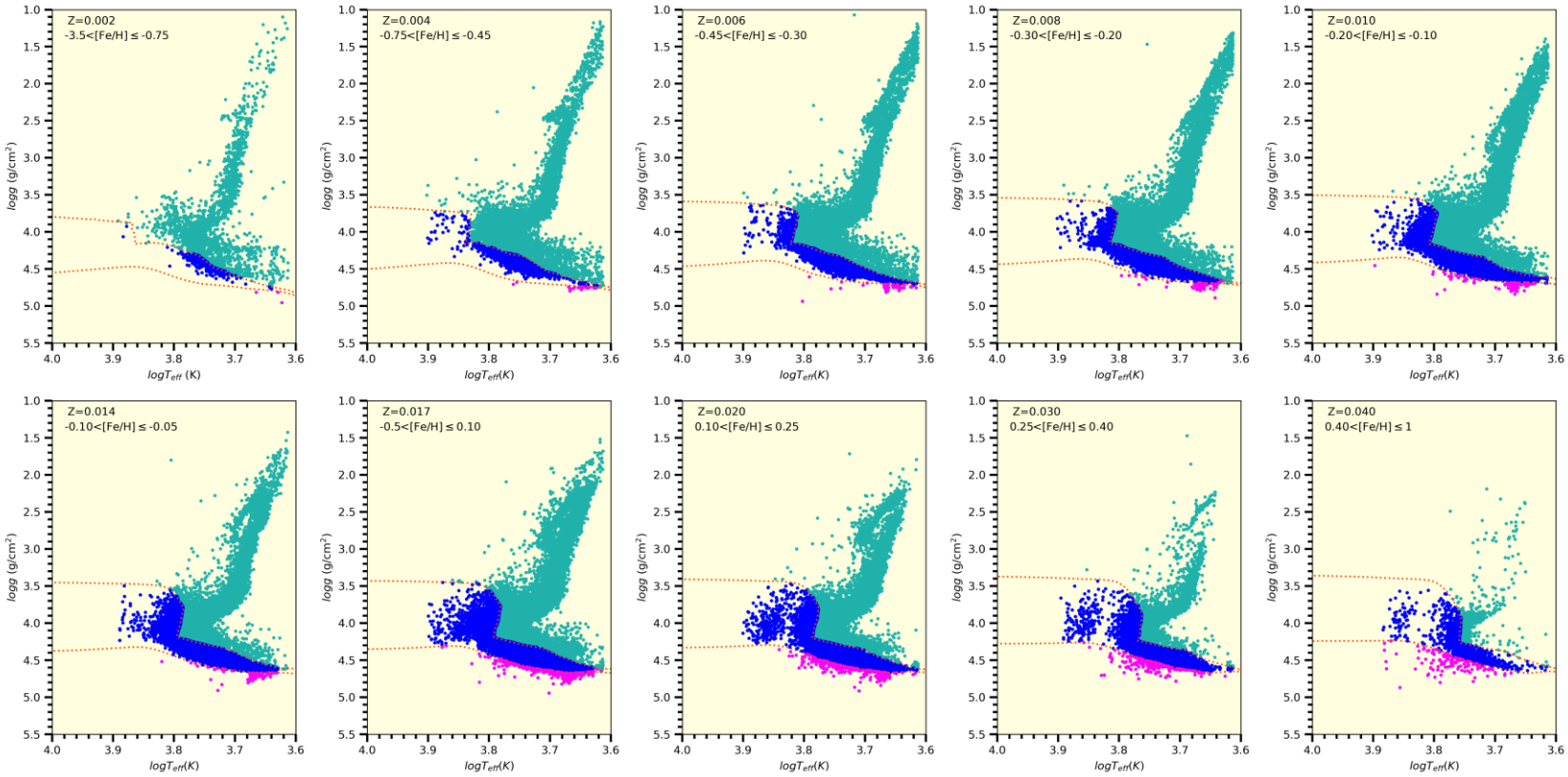
Şekil 4.4: GALAH DR3 anakol örneğinin SNR histogramı.

4.1. ANAKOL ÖRNEĞİNİN BELİRLENMESİ

GALAH DR3 kataloğundan belirlenen 217,767 yıldız arasından anakol popülasyonunun belirlenmesinde yıldızlar öncelikle Kiel diyagramına yerleştirilmişlerdir. Daha sonra Bilir ve diğ.'nin (2020) uyguladığı bir yöntem ile yıldız örneği -3.5 < [Fe/H] (dex) < 1 metal bolluğu aralığında 10 alt-aralığa ayrılmış ve her bir aralığı en iyi temsil eden sıfır yaş (ZAMS) ve terminal yaş (TAMS) eğrileri PARSEC evrim yollarından (Bressan ve diğ., 2012) belirlenmiştir. Buna göre, ZAMS ve TAMS eğrileri arasında kalan yıldızlar "anakol", TAMS eğrisi üzerinde kalanlar "evrimleşmiş" ve ZAMS eğrisinin altında kalan yıldızlar ışıma gücü sınıfları belirlenemediğinde dolayı "istatistik dışı" olarak sınıflandırılmıştır. Burada evrimleşmiş yıldızlar alt dev ve dev aşamasındaki yıldızlar olup log g = 3.5 değerinde göre birbirlerinden ayrılmaktadırlar. TAMS ile log g < 3.5 arasındaki yıldızlar alt dev ve log g > 3.5 olanlar ise dev sınıfındadırlar. Şekil 4.5'te metal bolluğu aralıklarına uygun olarak çizilen Kiel diyagramı görülmektedir. Diyagramda anakol yıldızları mavi, evrimleşmiş yıldızlar yeşil ve istatistik dışı kalan yıldızlar pembe noktalarla temsil edilirken ZAMS ve TAMS sınırları kırmızı kesikli çizgiler ile gösterilmiştir. On metal bolluğu aralığından anakol olarak seçilen yıldızların birleşimi LSR tayini çalışmasında kullanılmak üzere seçilmiştir. Bu analiz sonucunda 93,357 yıldızın anakol yıldızı olduğu tespit edilmiştir. Geriye 122,931 evrimleşmiş ve 1,479 istatistik dışı yıldız kalmıştır.

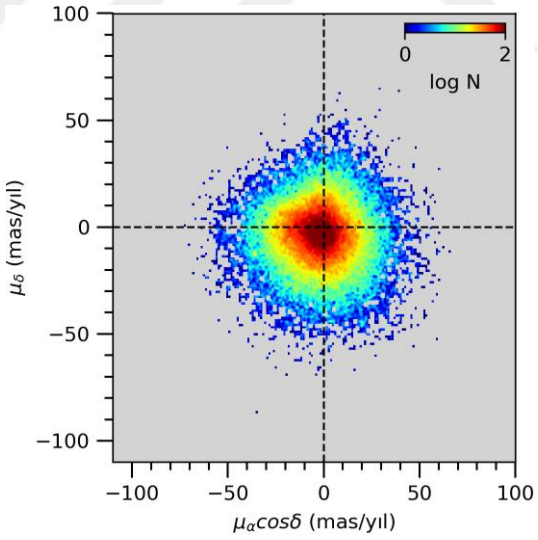
4.2. ANAKOL YILDIZLARININ ASTROMETRİK ÖZELLİKLERİ

GALAH DR3 kataloğundan belirlenen 93,357 anakol yıldızının astrometrik özellikleri *Gaia* EDR3 (Gaia İşbirliği, 2021) kataloğu değerleri kullanılarak incelenmiştir. *Gaia* EDR3 kataloğu, GALAH DR3 kataloğuyla önceden eşleştirilmiş olarak kullanıma açıldığından ayrıca bir eşleştirme yapılmamıştır. *Gaia* kataloğunda verilen ekvatoral koordinatlar, Galaktik koordinatlar, özhareket bileşenleri ve trigonometrik paralaks değerleri anakol yıldızlarının astrometrik parametreleri olarak çalışmaya dahil edilmiştir. Bununla beraber, *Gaia* EDR3 kataloğunda orta çözünürlüklü yıldız tayflarından hesaplanan radyal hız değerleri verilmişse de bu veriler *G* bandında 12. kadirden daha parlak yıldızları kapsadığından örneğimizin tamamı için değerleri içermemektedir.



Şekil 4.5: GALAH DR3'ten seçilen 217,767 yıldızın -3.5 < [Fe/H] (dex) < 1 metal bolluğu aralığındaki 10 alt aralıkta yer alan yıldızların Kiel diyagramları. Mavi, yeşil ve pembe noktalar sırasıyla anakol, evrimleşmiş ve istatistik dışı yıldızları gösterirken, kırmızı kesikli çizgiler ZAMS ve TAMS sınırlarını temsil etmektedir. ZAMS ve TAMS eğrilerinin belirlendiği ağır element değeri (Z) ve her bir diyagramın metal bolluğu aralığı ilgili diyagramın sol üst köşesinde verilmiştir.

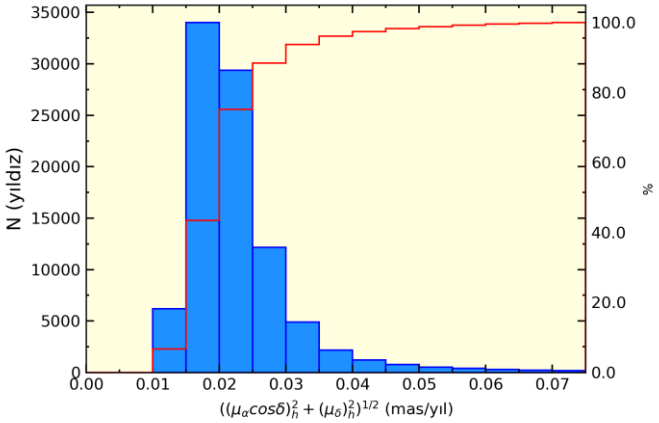
Tez çalışmasında yıldızlar için radyal hız ve metal bolluğu ([Fe/H]) ile alfa element bolluk oranları ([α/Fe]) yüksek çözünürlüklü GALAH tayflarından türetilen değerler alınmıştır. Anakol olarak belirlenen 93,357 yıldızın koordinat düzlemlerindeki dağılımları tüm GALAH yıldızlarıyla birlikte Şekil 4.2 ve 4.3'te gösterilmiştir. Çalışmada yıldızların uzay hızı bileşenleri ve yörünge parametrelerinin hesabında gerekli olan önemli bir parametre de özharekettir. Özhareket bileşenlerinin dağılımları Şekil 4.6'da verilmiştir. Şekle bakıldığında özhareket bileşenlerinin simetriğe yakın bir dağılım sergiledikleri görülmektedir. Özhareket bileşenlerinin yıllık değişimi -80 < Δμ (mas/yıl) < +80 aralığındadır. Şekil 4.7'de özhareket bileşenin hatalarının histogramı görülmektedir. Burada histogramı mavi çubuklarla, yıldız sayısının artan hatayla birikimli artışı kırmızı düz çizgilerle gösterilmiştir. Birikimli artışın hangi yıldız sayısı yüzdeliğine denk geldiği histogramın sağ tarafındaki ikinci dik eksenle verilmiştir. Şekil 4.7 - 4.9, 4.11, 4.14 ve 4.18'de renklendirme açıklamaları ilgili oldukları büyüklüğe göre bir miktar değişiklik gösterse de aynıdır. Histogramda özhareket hatalarının yıllık 0.07 mas'tan daha küçük olduğu görülmektedir. Yıldızların toplam özhareket hatasının medyan değeri 0.021 mas/yıl hesaplanmıştır.



Şekil 4.6: Özhareket (μδ×μα.cosδ) düzleminde 93,357 anakol yıldızının dağılımı. Diyagram logaritmik yıldız sayı yoğunluğuna göre sağ üstte verilen renk ölçeğine göre renklendirilmiştir.

Bu yüksek lisans tezinde en temel parametrelerden biri *Gaia* EDR3 kataloğundan gelen trigonometrik paralaks değeridir. Trigonometrik paralakslar çok sayıda gözlem sonucunda yüksek duyarlılık ile elde edilmiş olsalar da duyarlı kinematik ve dinamik yörünge parametrelerinin hesaplanabilmesi için dikkate alınması gereken önemli bir oran vardır. Bu

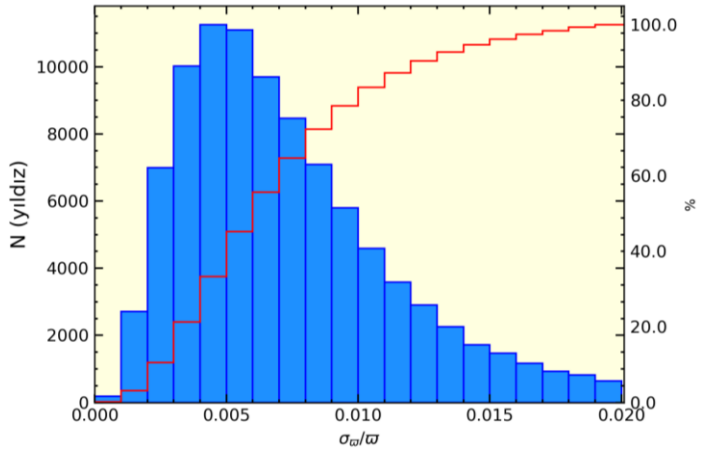
oran, trigonometrik paralakslar üzerindeki belirsizliklerde meydana gelen sistematik yanlılıklardan uzak durmak için gereklidir. Çalışmada paralaks hatasının, paralaksın kendisine oranı (σ_{ϖ} / ϖ), yani rölatif paralaks hatası parametresi dikkate alınarak 0.02 değerine eşit ve daha küçük olan yıldızlar GALAH DR3 kataloğundan alınmıştır. Bu değer oldukça küçük olup LSR hesaplamalarında hem Güneş civarını en iyi temsil eden yıldızların seçilmesini mümkün kılmış hem de çalışmanın istatistiksel duyarlılığını arttırmıştır. Rölatif paralaks hatası histogramı Şekil 4.8'de görülmektedir. Seçilen örneğin medyan rölatif paralaks hatası 0.006 olarak hesaplanmıştır.



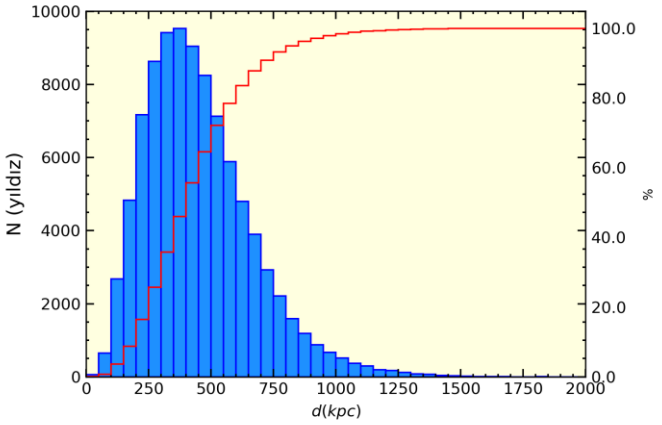
Şekil 4.7: 93,357 anakol yıldızının toplam özhareket hata histogramı. Mavi çubuklar hataların histogramını, kırmızı düz çizgiler yıldız sayısının artan özhareket değeriyle birikimli artışı gösterirken, bu artışın yüzdesel değişimi de ikinci y-ekseninde gösterilmiştir. *h* alt indisi ilgili parametrenin hatası anlamına gelmektedir.

Anakol yıldızlarının uzaklıkları *Gaia* trigonometrik paralaksları kullanılarak Bölüm 3.2'de anlatılan yöntem ile hesaplanmıştır. Buna göre Şekil 4.9'da anakol yıldız örneğinin uzaklık histogramı verilmiştir. Şekil 4.9 incelendiğinde anakol yıldızlarının yaklaşık 2 kpc uzaklığa kadar uzandıkları görülse de medyan uzaklık değeri 0.42 kpc bulunmuştur. Yıldızların uzaklık ve Galaktik koordinat bileşenleri bilindiğinden helyosentrik uzaklık bileşenleri Bölüm 3.2'de verilen formüller ile hesaplanmıştır. Anakol yıldızlarının bu koordinat bileşenlerindeki dağılımları Şekil 4.10'da gösterilen *X*-*Y* ve *X*-*Z* diyagramlarda görülmektedir. Bu diyagrama göre yıldızların *X*, *Y* ve *Z*'deki uzanımları sırasıyla (-1.10, 1.32), (-1.74, 0.85) ve (-1.25, 0.94) kpc'dir. *X*, *Y* ve *Z* koordinatlarının medyan değerleri ise, sırasıyla, 0.11, -0.22 ve. -0.10 kpc olarak hesaplanmıştır. Yıldızların *Y* ve *Z* koordinatlarında negatif değerlerde bulunması GALAH gözlemlerinin güney yarıküreden yapılmasından kaynaklanan bir yanlılıktır. 93,357 yıldızın *X* - *Y* düzlemindeki dağılımları yıldız örneğine Galaktik düzlemine göre üstten

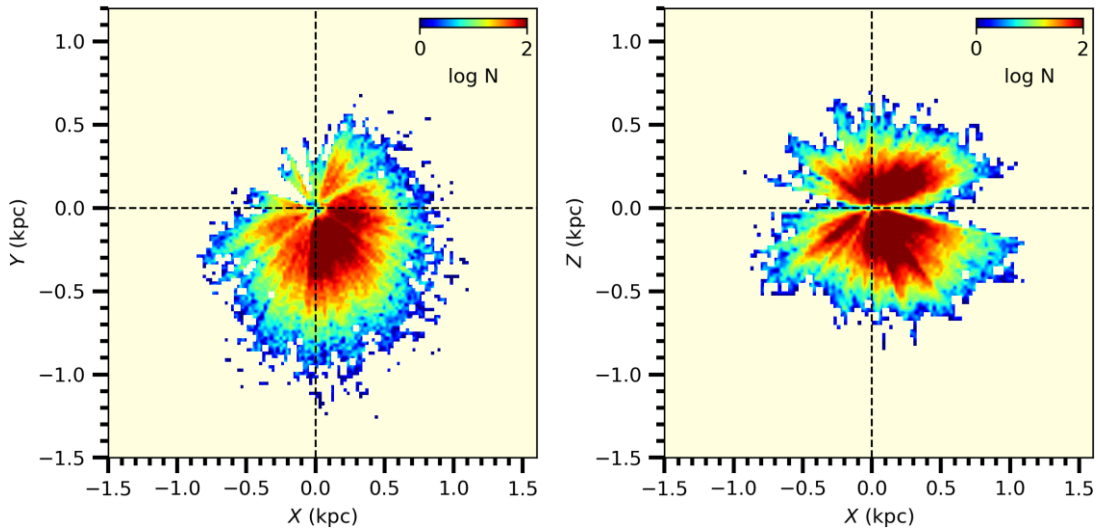
bakılmasını mümkün kılmıştır ve bu resmin merkezinde Güneş bulunmaktadır. Bu durumda yıldızların Galaktik çeyreklerde (yani 90 derecelik dilimlerde) nasıl değiştiklerini izlenebilir. Şekil 4.10'un sağ paneline göre yıldız örneği ikinci Galaktik çeyrekten çok az yıldızı içerir. Örneğin büyük kısmı üçüncü ve dördüncü Galaktik çeyreklerde bulunan yıldızlardan oluşmuştur. Yıldızların X - Z düzlemindeki dağılımı, yıldız örneğine Galaktik düzleme göre yandan bakılmasını mümkün kılmıştır. Bu durumda $Z = 0$ çizgisi Güneş'in de içinde bulunduğu enlemde bulunan ve Galaktik düzleme paralel çizgiyi temsil etmektedir. Bu şekil incelendiğinde yıldız örneğinin güney Galaktik yarıkürede, kuzey Galaktik yarıküreye nazaran daha fazla yıldız içerdiği dikkati çekmektedir.



Şekil 16



Şekil 17

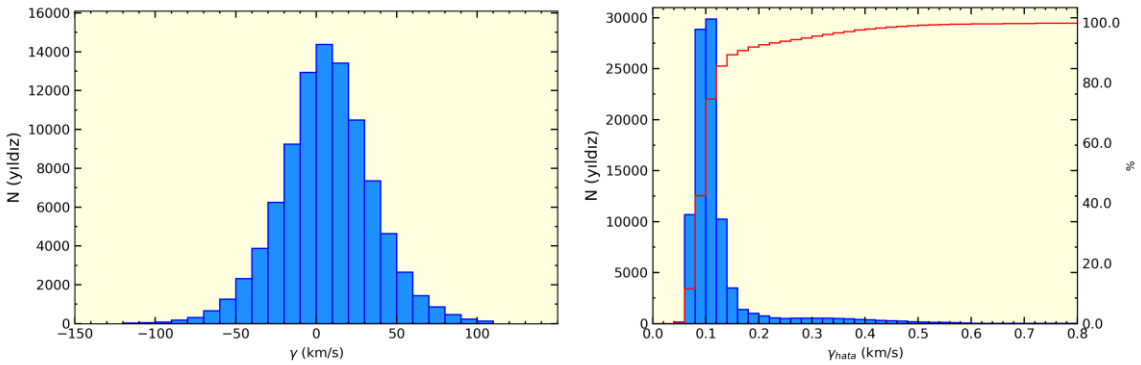


Şekil 4.10: Anakol yıldızlarının *X* - *Y* ve *X* - *Z* helyosentrik uzaklık bileşenlerinin dağılımları. Her bir panel logaritmik yıldız sayısına göre renk kodlamalı olarak oluşturulmuştur. Siyah kesikli yatay ve dikey çizgiler Güneş'in konumunu temsil etmektedir. (*X*, *Y*, *Z*) = (0, 0, 0) Güneş'in konumunu temsil etmektedir. Galaktik merkez ise her iki panelde + *X* doğrultusundadır. [18]

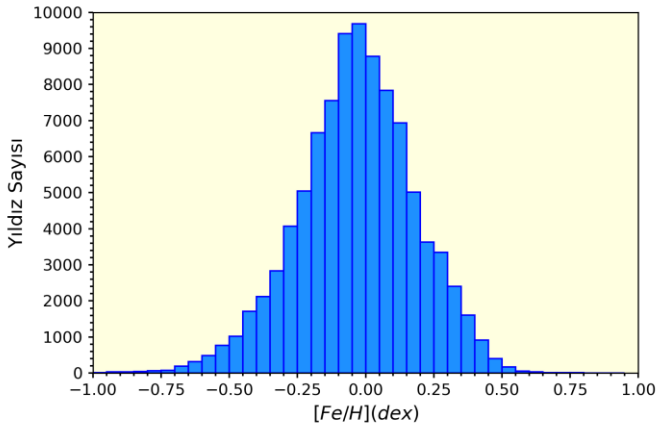
4.3. ANAKOL YILDIZLARININ TAYFSAL ÖZELLİKLERİ

Anakol yıldızlarının tayfsal özellikleri arasında radyal hız, metal ve alfa element bolluklarının bilinmesi tez çalışma açısından büyük önem arz etmektedir. Özellikle radyal hız parametresi ve bu parametre üzerindeki belirsizlikler hesaplanacak olan kinematik ve yörünge dinamiği parametrelerinin duyarlılığından büyük bir role sahiptir. GALAH tayfsal gökyüzü taramasının yüksek çözünürlüğü ve yüksek sinyal-gürültü oranı sayesinde hesaplanan radyal hızlardaki hata oranlarının düşük olması beklenmektedir. Şekil 4.11'in sol panelinde görülen radyal hız histogramı incelendiğinde yıldızların radyal hızlarının $-120 < \gamma$ (km/sn)< 110 aralığında değiştiği görülmektedir. Radyal hız dağılımın medyan değeri 6.61 km/sn'dir. Medyan değerin pozitif tarafta bulunması yıldız örneğine ana katkının üçüncü ve dördüncü Galaktik çeyreklerde bulunan yıldızlarca sağlanmasıdır. Şekil 4.11'in sağ panelinde anakol yıldız örneğinin radyal hız hataları incelendiğinde dağılım Gauss benzeri olup, hataların 1.5 km/sn değerine kadar uzandığı görülmektedir. Medyan radyal hız hatası değeri ise 0.1 km/sn'dir.

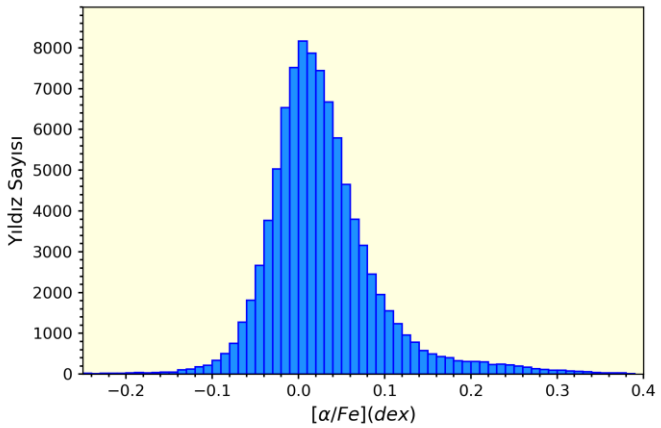
GALAH DR3 taramasından seçilen 93,357 anakol yıldızının duyarlı metal ve alfa element bolluk oranlarının frekans dağılımları, sırasıyla, Şekil 4.12 ve Şekil 4.13'te gösterilmiştir. Dağılımların medyan değerleri ve standart sapmaları, sırasıyla, -0.029 dex ve 0.022 dex ile 0.018 dex ve 0.078 dex'dir.



Şekil 19



Şekil 4.12: 93,357 anakol yıldızının metal bolluğu histogramı.

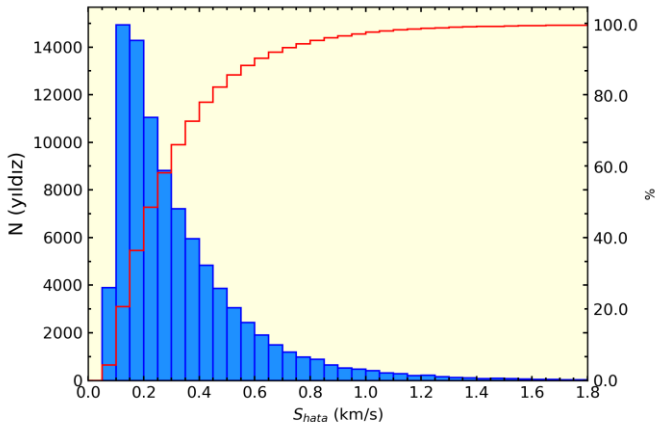


Şekil 4.13: 93,357 anakol yıldızının alfa element bolluk histogramı.

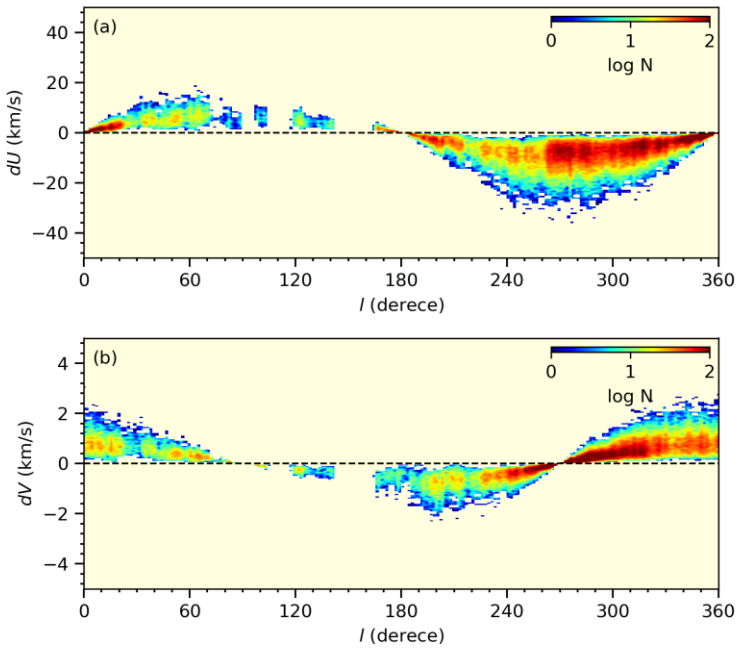
4.4. ANAKOL YILDIZLARININ KİNEMATİK ÖZELLİKLERİ

Anakol yıldızlarının uzay hızı bileşenleri ve bu bileşenlerin üzerindeki belirsizlikler *Gaia* DR3 astrometrik verileri ve GALAH DR3 tayf verileriyle oluşturulan altı boyutlu parametre uzayı kullanılarak Johnson ve Soderbloom'un (1987) takdim ettiği ve detayları Bölüm 3.3'te anlatılan yöntem ile hesaplanmıştır. Anakol yıldızlarının toplam uzay hızı hataları (S_{hata}) incelenerek örneğin kinematik bakımdan duyarlılığı test edilebilir. Bu amaçla Şekil 4.14'te 93,375 anakol yıldızının toplam uzay hızı hatalarının dağılımı gösterilmiştir. Şekilden de görüleceği gibi yıldızların S_{hata} değerleri $0 < S_{\text{hata}}$ (km/sn) < 1.8 aralığında değişmektedir. Hesaplamalar dağılımın medyan ve standart sapma değerleri, sırasıyla, 0.26 km/sn ve 0.24 km/sn olduğunu göstermiştir. Elde edilen bu değerler oldukça küçük olduğundan çalışmadaki yıldızların toplam uzay hızlarına herhangi bir sınırlama getirilmemiştir.

Yerel durağanlık standardının hesaplanmasında uzay hızı bileşenlerinin duyarlı olması kadar yanlılıklardan uzak olması da büyük önem taşımaktadır. Galaksi diskinin diferansiyel dönme göstermesi özellikle yıldızların Galaktik düzleme paralel olan uzay hızı bileşenleri U ve V üzerinde birtakım etkilere sahiptir. Diferansiyel dönme etkisi olarak bilinen bu yanlılık Bölüm 3.3'te detaylıca anlatılmış ve bu yanlılığın etkilerini arındırmak için söz konusu uzay hızı bileşenlerine bağıntılar (3.13) ve (3.14)'te verilen diferansiyel dönme düzeltmeleri, dU ve dV, uygulanmıştır. Bu düzeltme değerlerinin Galaktik boylama göre değişimleri Şekil 4.15'te gösterilmiştir. Düzeltmeler, $-47.34 < dU$ (km/sn) < 23.08 ve $-2.63 < dV$ (km/sn) < 3.17 aralıklarında değişim göstermektedir. Diferansiyel dönme U ve V hız bileşenlerini en çok üçüncü ve dördüncü çeyreklerde etkilemiştir. Bunun nedeni örneği oluşturan yıldızların ağırlıklı olarak bu çeyreklerde yer almasıdır.



Şekil 4.14: 93,357 anakol yıldızının toplam uzay hata histogramı.

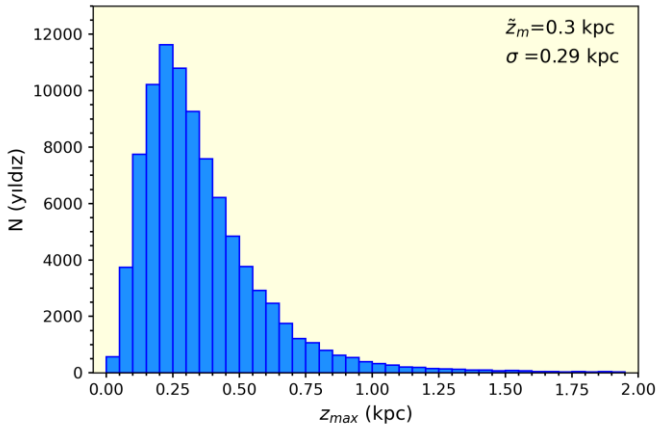


Şekil 4.15: *U* ve *V* uzay hız bileşenlerine uygulanan diferansiyel dönme düzeltmelerinin Galaktik boylama (*l*) göre değişimleri. *dU* × *l* (üst panel) ve *dV* × *l (alt panel).* Veriler logaritmik yıldız sayı yoğunluğuna göre renklendirilmiştir. Renk değişim ölçeği her panelin sağ üst köşesinde belirtilmiştir.

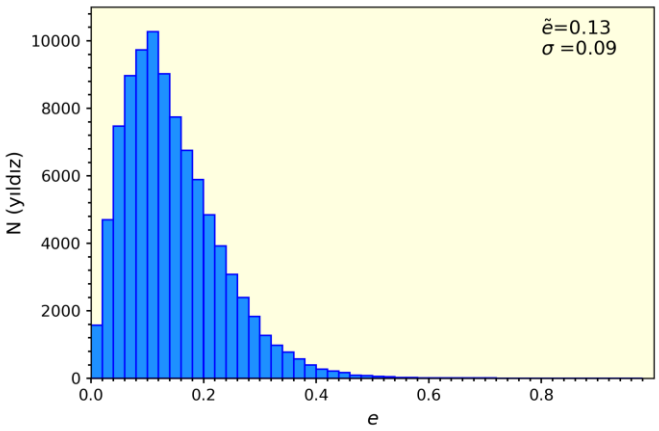
4.5. ANAKOL YILDIZLARININ YÖRÜNGE ÖZELLİKLERİ

LSR'nin tayininde farklı özellikteki alt-örnekler kullanılması hedeflenmiştir. Bu amaçla, anakol yıldızlarının yörünge parametrelerine ihtiyaç duyulduğundan simetrik Galaktik potansiyel altında hesaplamalar yapılmıştır. Hesaplamalar *galpy* (Bovy, 2015) kütüphanesinde kayıtlı en güncel potansiyel modeli olan *MWPotential2014* ile yapılmıştır (Bkz. Bölüm 3.4).

MWPotential2014 hesaplamaları yapabilmek için altı-boyutlu parametre uzayına ihtiyaç duyar. Bu parametre uzayı, kinematik hesaplamalarda da kullanılan parametreler olan ekvatorak koordinatlar, özhareket bileşenleri, trigonometrik paralaks ve radyal hızdan oluşur. 93,357 anakol yıldızı için yörünge hesabıyla birlikte yıldız yörüngelerinin Galaktik düzlemden dik doğrultuda ulaşabildikleri en büyük yükseklik anlamına gelen z_{max} ve yıldız yörüngesinin Galaktik düzlemdeki yani yatay basıklık anlamına gelen *e* değerleri hesaplamalardan çıktı olarak gelmiştir. Bunlara ek olarak, yıldız yörüngesinin Galaktik merkeze en yakın ve en uzak konumları ve yörüngesel açısal momentum bileşenleri de hesaplanabilmektedir. Şekil 4.16 ve Şekil 4.17'de sırasıyla z_{max} ve *e* parametrelerinin histogramları gösterilmiştir. Her iki parametrenin medyan değerleri ve standart sapmaları, sırasıyla, 0.3 ve 0.29 kpc ile 0.13 ve 0.09'dur.



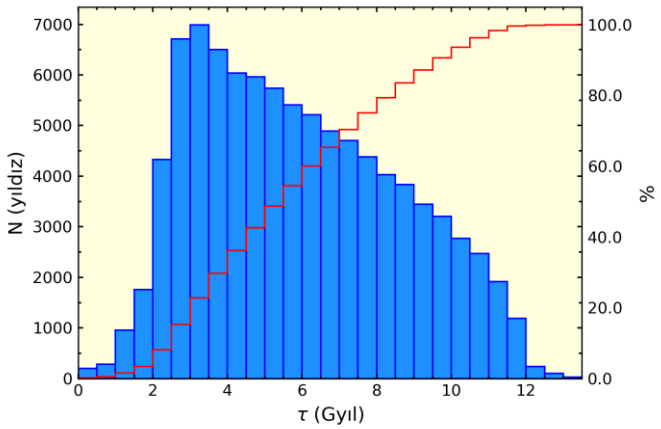
Şekil 4.16: 93,357 anakol yıldızının *MWPotential2014* modeline göre hesaplanan yörüngelerinde yıldızların Galaktik düzeleme dik doğrultuda çıkabilecekleri en büyük yüksekliklerin histogramı.



Şekil 4.17: 93,357 anakol yıldızının *MWPotential2014* modeline göre hesaplanan yörünge basıklıklarının histogramı.

4.6. ANAKOL YILDIZLARININ YAŞLARI

GALAH DR3 kataloğu konsorsiyumu oluşturan araştırmacıların geliştirmiş olduğu *Bayesian Stellar Parameter Estimation* (Sharma ve diğ., 2018) yönteminin kısaltılmış hali olan *BSTEP* koduyla tayin edilen yaşları içerir. Bu kod yıldız yaşlarının tayinini yaparken PARSEC yıldız evrim yollarıyla yıldızların gözlemsel parametrelerini eşleştirerek kütle, yaş ve uzaklık gibi temel astrofiziksel parametrelerin tayinini mümkün kılmaktadır. Yüksek lisans tez çalışması kapsamında anakol olarak tespit edilmiş 93,357 yıldıza ait yaşlarının histogramı Şekil 4.18'de gösterilmiştir. Buna göre yıldızların yaşları 1 ile 12 Gyıl aralığında değişirken, yaşların medyan ve standart sapma değerleri, sırasıyla, 5.67 Gyıl ve 2.7 Gyıl'dır. Medyan değerin 5 Gyıl civarında olması Güneş komşuluğunu temsil eden örneğin seçildiğine işaret etmektedir. Yıldız yaşları çalışmadaki en önemli parametrelerden biridir.

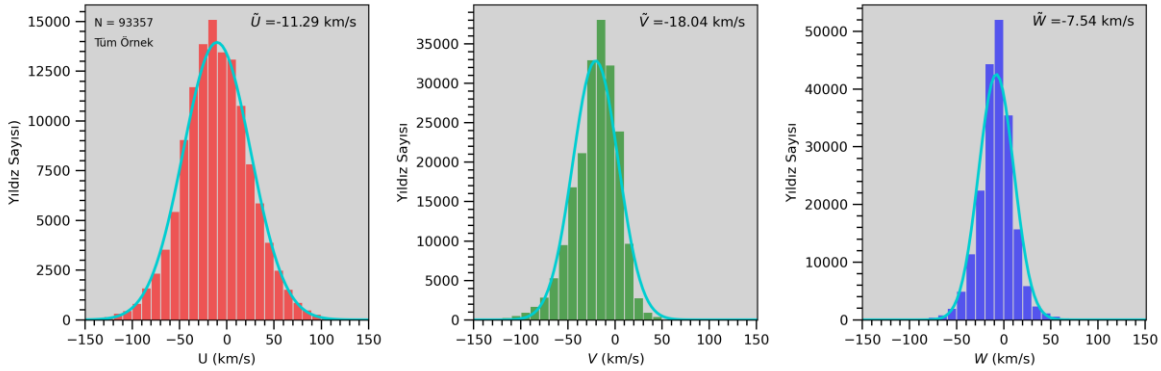


Şekil 4.18: 93,357 anakol yıldızının *BSTEP* koduyla hesaplanan yaş histogramı.

4.7. YEREL DURAĞANLIK STANDARDI

4.7.1. Genel Sınırlamalar İle Belirlenen Alt-Örneklerden LSR Tayini

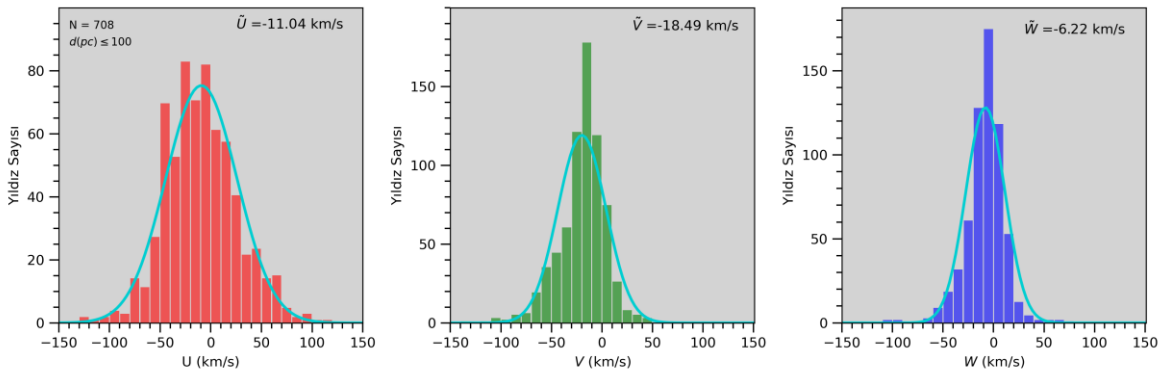
GALAH DR3 kataloğundan anakol olarak seçilen 93,357 yıldızı kullanarak bunların uzaklık, tayf türü, kimya ve yörünge parametreleriyle oluşturulan çeşitli alt-örneklerle LSR tayinleri Bölüm 3.6'da anlatıldığı gibi yıldızın uzay hızı bileşenlerine geçirilen Gauss fitleriyle hesaplanan medyan değerler aracılığıyla yapılmıştır. LSR tayinlerinin duyarlılığı ise her bir uzay hızı bileşeni için Gauss profilinin standart sapması, yarı yükseklikteki eşdeğer genişliği ve standart hatalarının hesaplanmasıyla ortaya konmuştur. Çalışmada 93,357 anakol yıldızının uzay hızı bileşenleri Johnson ve Soderblom'un (1987) algoritmasıyla hesaplanmış ve ardından Galaktik diskin diferansiyel dönmesinin etkileri Mihalas ve Binney'in (1981) düzeltmeleriyle bertaraf edilmiştir. Diferansiyel dönme düzeltmelerinin de uygulanmasıyla uzay hızları LSR analizlerine uygun hale gelmiştir. Bu durumda tüm yıldız örneğinden yerel durağanlık standardını tüm örnek için belirlenebilir. 93,357 anakol yıldızının uzay hızlarının frekans dağılımları Şekil 4.19'da gösterilmiştir. GALAH DR3 kataloğundan seçilen 93,357 anakol yıldızının uzay hızı bileşenlerinin dağılımlarından hesaplanan LSR değeri $(U, V, W)_{\odot}$= (11.29 ± 0.12, 18.04 ± 0.08, 7.54 ± 0.06) km/sn olarak belirlenmiştir.



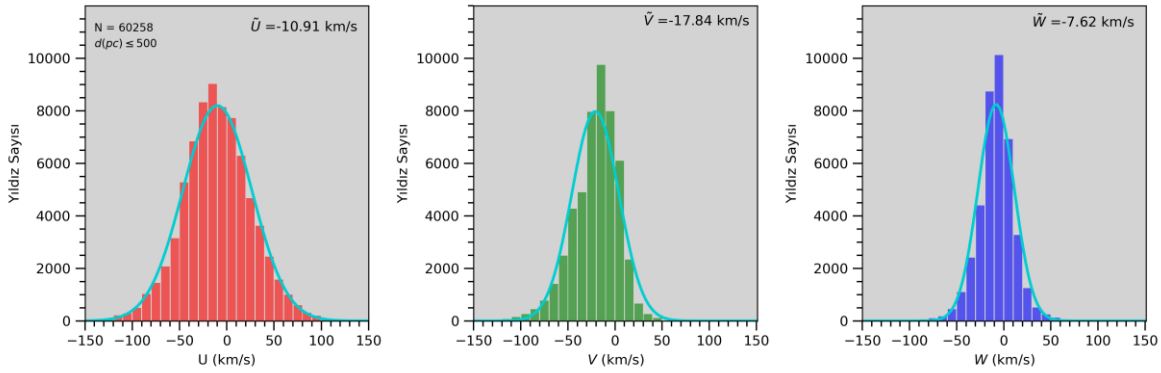
Şekil 4.19: 93,357 anakol yıldızının *U, V* ve *W* uzay hızı bileşenlerinin frekans dağılımları. Kırmızı, yeşil ve mavi çubuklar sırasıyla *U, V* ve *W* uzay hızı bileşenlerini ve turkuaz düz çizgiler ise dağılımlara geçirilen Gauss fitlerini temsil etmektedirler. Dağılımların medyan değerleri sağ üst köşede, yıldız sayıları ve alt-örnek koşulları da sol üst köşede belirtilmiştir.

Şekil 4.19'da *U, V* ve *W* uzay hızı bileşenlerinin histogramları, sırasıyla, kırmızı, yeşil ve mavi çubuklarla ve dağılımlara uygulanan Gauss fitleri turkuaz renk düz çizgiyle temsil edilmiştir. Her bir uzay hızı bileşeni frekans dağılımının medyan değeri sağ üstte ve yıldız örneğindeki yıldız sayısıyla yıldız örneğinin oluşturulma koşulu sol üstte verilmiştir. Renk ve bilgi dağılımı Şekil 4.19 - 4.24 ve Şekil 4.26 - 4.46'ya kadar olan tüm uzay hızı histogramlarında aynıdır.

Bu dağılımdaki yıldızlar Güneş'ten itibaren 1.9 kpc uzaklığa uzanmaktadır. Ayrıca bu örnek 1 ile 12 Gyıl aralığında olup anakol yıldızı özelliklerine sahip nesneleri içermektedir. LSR tayininin duyarlılığı için daha genç ve Güneş'e çok daha yakındaki nesnelerin seçilmesi önem taşımaktadır. Bu amaçla, 93,357 yıldıza çeşitli sınırlamalar uygulayarak seçilebilecek en genç anakol alt-örneklerini oluşturmak gerekmektedir. Bu amaçla Güneş komşuluğunu temsil eden iki uzaklık sınırı belirlenmiştir. Birincisi d = 100 pc, diğeri ise d = 500 pc sınırıdır. 93,357 yıldız için bu iki uzaklık alt-örneği oluşturularak LSR değerleri hesaplandığında sonuçlar Şekil 4.20 ve Şekil 4.21'deki gibi bulunmuştur. $d \leq 100$ pc sınırında 708 yıldız tespit edilmiştir. 708 yıldızdan hesaplanan Güneş'in LSR değerleri $(U, V, W)_\odot$ = (11.04 ± 0.050, 18.49 ± 0.034, 6.22 ± 0.027) km/sn olarak tayin edilmiştir. $d \leq 500$ pc sınırında 60,258 yıldız tespit edilmiştir. Yıldız sayısının 85 kat artmasıyla istatistiksel olarak daha güçlü LSR değerleri hesaplanmıştır. 60258 yıldızdan hesaplanan Güneş'in LSR değerleri $(U, V, W)_\odot$=(10.91 ± 0.001, 17.84 ± 0.001, 7.62 ± 0.001) km/sn olarak bulunmuştur.



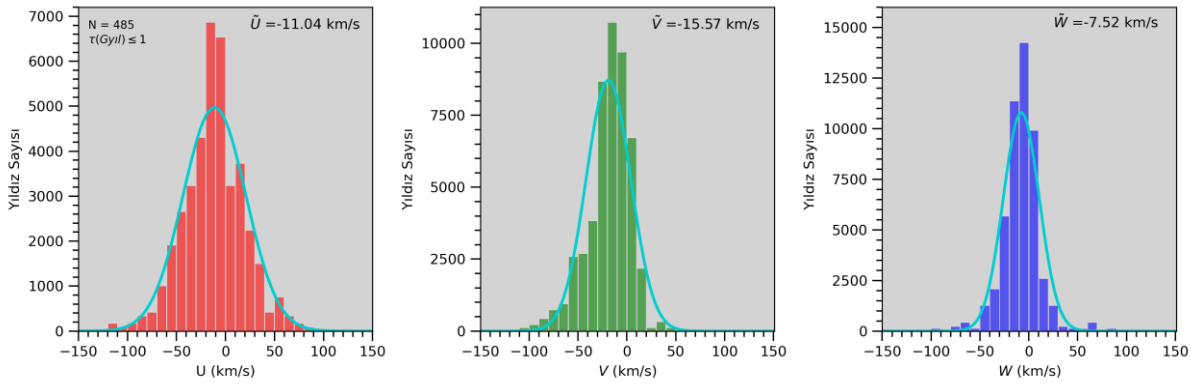
Şekil 4.20: Güneş'ten itibaren $d \leq 100$ pc mesafedeki yıldızların uzay hızı bileşenlerinin histogramları.



Şekil 4.21: Güneş'ten itibaren $d \leq 500$ pc mesafedeki yıldızların uzay hızı bileşenlerinin histogramları.

Yıldızların yaşlarıyla kinematik parametreleri arasında önemli bir ilişki vardır. Galaksi diski madde miktarının %70'inden fazlasını içeren ve tüm gaz, toz ve yıldızların birlikte merkez etrafında dolanım yaptığı bir yapı olup yapısında büyük ölçekli pertürbasyon kaynakları olan spiral kollar, dev molekül bulutları ve Galaktik çubuk kaynaklı çeşitli rezonans bölgeleri barındırır. Tüm bu ek hareketli yapılan çekimsel olarak yıldız yörüngelerini etkileyerek zaman ile yıldızların başlangıçtaki kinematik özelliklerini değiştirerek yer değiştirmelerine ve bir bölgede yeterince uzun bulunabildilerse, ortamdaki kinematik yapıya uymalarına neden olmaktadır. Dolayısıyla Güneş civarının kinematiğini en iyi yansıtacak cisimler seçilen en genç cisimler olacaktır. Bu amaçla yıldız yaşlarına (i) en genç yıldızlarını temsilen $\tau \leq 1$ Gyıl, (ii) Güneş'i ve benzeri yaştaki disk yıldızlarını temsilen $\tau \leq 5$ Gyıl ve (iii) Galaksi diskinin yaşını temsilen $\tau \leq 10$ Gyıl sınırlamaları getirilerek LSR değerleri hesaplanmıştır. $\tau \leq 1$ Gyıl örneğinin uzay hızı bileşenlerinin histogramı Şekil 4.22'de, $\tau \leq 5$ Gyıl örneğinin uzay hızı bileşenlerinin histogramı Şekil 4.23'de ve $\tau \leq 10$ Gyıl örneğinin uzay hızı bileşenlerinin histogramı Şekil 4.24'te gösterilmiştir. $\tau \leq 1$ Gyıl örneğinde 485 yıldız tespit edilmiş olup

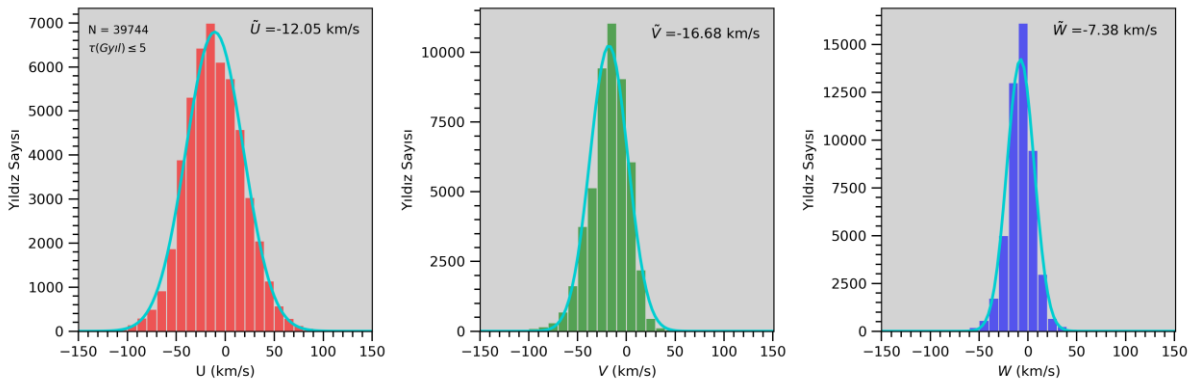
yıldızların U ve W hız bileşenleri normal dağılım gösterirken, V hız bileşeni hafif sağa yatık bir dağılım göstermektedir. 485 yıldızdan hesaplanan Güneş'in LSR değerleri $(U, V, W)_{\odot}$=(11.04 ± 0.066, 15.57 ± 0.047, 7.52 ± 0.038) km/sn olarak bulunmuştur.



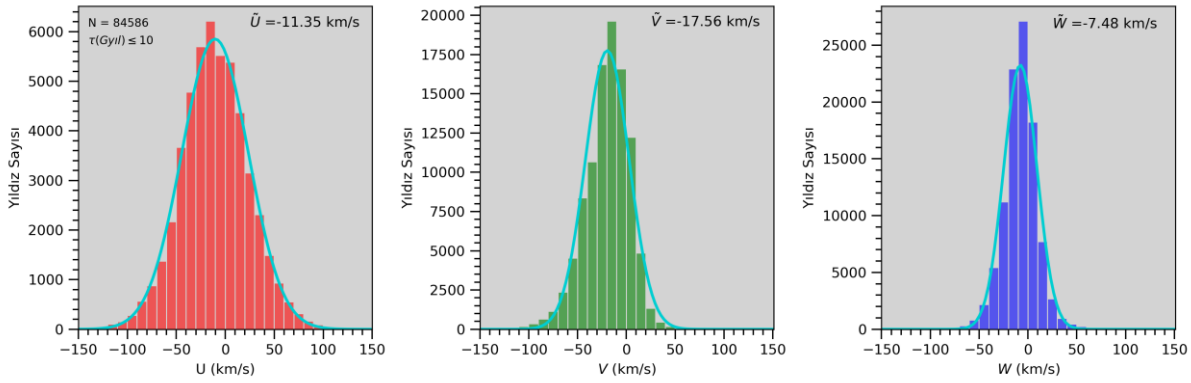
Şekil 4.22: Yaşları 1 Gyıl'dan küçük ve eşit olan yıldızların uzay hızı bileşenlerinin histogramları.

Yıldız yaşları $\tau \leq 5$ Gyıl olarak seçildiğinde hız bileşenleri normal dağılım göstermiştir. Güneş'in LSR değerleri $(U, V, W)_{\odot}$=(12.05 ± 0.001, 16.68 ± 0.001, 7.38 ± 0.001) km/sn olarak hesaplanmıştır. Bu örnek, öncekine göre 82 kat büyümüştür. Bu durumda U uzay hızı bileşeni değeri yaklaşık 1 km/sn değişirken, W hız bileşeninde 0.14 km's lik küçük bir değişim olmuştur. V uzay hızı bileşeni ise 1.11 km/sn'lik değişim görülmüştür.

Yıldız yaşları Galaksi disk yaşına çekildiğinde, yani $\tau \leq 10$ Gyıl, hız bileşenlerinden hesaplanan LSR değerleri $(U, V, W)_{\odot}$ = (11.35 ± 0.001, 17.56 ± 0.001, 7.48 ± 0.001) km/sn olarak hesaplanmıştır. Bu örnek 84,586 yıldızı yani tüm örneğin yaklaşık %91'ini içerir. 1 Gyıl için hesaplanan değerler ile kıyaslandığında U, V ve W uzay hızı bileşenleri, sırasıyla, 0.31, 1.99 ve 0.03 km/sn değişmiştir. Özellikle V uzay hızı bileşeninin yaklaşım iki birim arttığı dikkat çekmektedir.



Şekil 4.23: Yaşları 5 Gyıl'dan küçük ve eşit olan yıldızların uzay hızı bileşenlerinin histogramları.

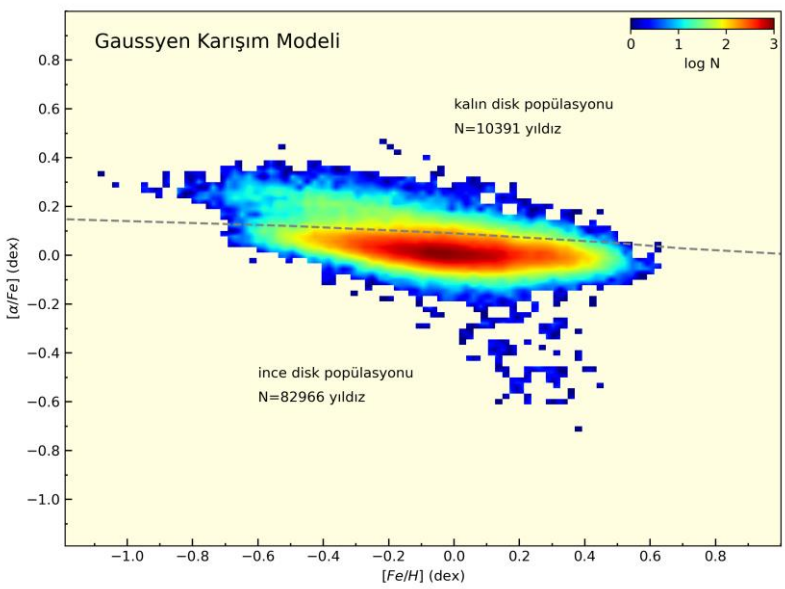


Şekil 4.24: Yaşları 10 Gyıl'dan küçük ve eşit olan yıldızların uzay hızı bileşenlerinin histogramları.

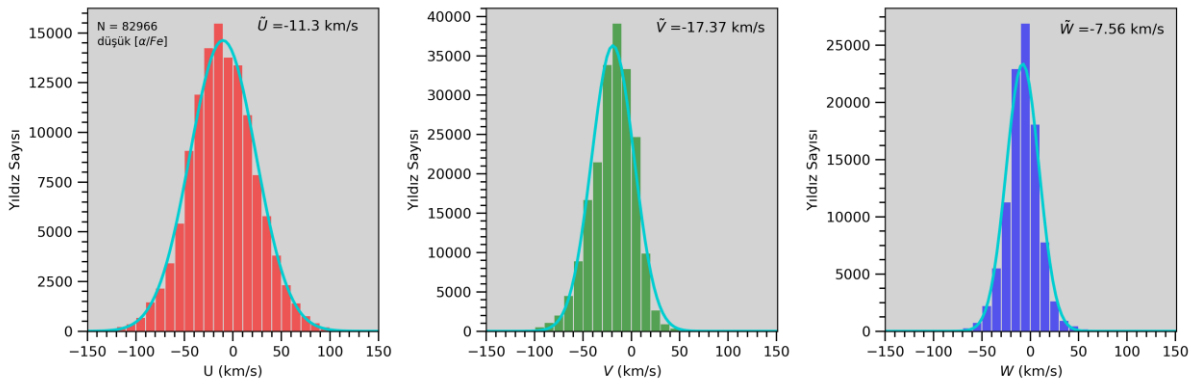
Uzaklık ve yıldız yaşlarından sonra önemli bir diğer analiz de 93,357 yıldızdan oluşan GALAH DR3 anakol yıldız örneğinin kimyasal uzayda incelenmesiyle yapılmıştır. Güneş civarındaki Galaksi diski oluşturan yıldızların yıldız sayımı çalışmalarına göre oranları kabaca % 92-94 oranında ince disk, %6-8 kalın disk ve %0.1-0.2 oranında halo yıldızı olarak tespit edilmiştir (Buser, Rong, Karaali, 1998; Bilir ve diğ., 2008). Bu bulgu gözlemlenen yıldızların yüksek oranda ince disk yıldızlarından oluştuğunu ancak kalın disk ve halo gibi yaş, kimya ve kinematik özellikler bakımından farklı yıldız popülasyonlarının da bölgeyi bu parametre uzaylarında kirlettiklerini göstermektedir. Yıldızların kimyasal yapıları incelendiğinde ince diski temsil eden yıldız popülasyonlarının [Fe/H] bakımdan zengin, [α/Fe] bakımından fakir, kalın disk yıldızlarının ise ince disk yıldızlarına göre [Fe/H] bakımdan fakir, [α/Fe] bakımından zengin oldukları tespit edilmiştir. Yapılan çalışmalar yıldızların [α/Fe] × [Fe/H] düzleminde kimyasal olarak ince disk popülasyonu ve kalın disk ile halo karma popülasyonlarına ayrıştırılabileceklerini göstermiştir (bkz. Plevne ve diğ., 2020). Bu bilgiler ışığında 93,375 anakol yıldız örneğini kimyasal popülasyonlarına [α/Fe] ve [Fe/H]

parametrelerine Gaussyen Karışım Modeli olarak bilinen GMM uygulanmıştır. Modelin detayları Bölüm 3.6'da anlatılmıştır. Yıldızların kimyasal uzaydaki ([α/Fe] × [Fe/H]) dağılımları Şekil 4.25'te yıldız sayı yoğunluğuna göre renklendirilerek gösterilmiştir.

Şekilde yıldızlar gri kesikli çizgiyle temsil edilen GMM'e ait ayrım çizgisiyle (Plevne ve diğ., 2020) ince disk ve kalın disk olarak ayrışmış görülmektedir. Kimyasal olarak yapılan bu ayrıma göre ince disk popülasyonunda 82,966 anakol yıldızı ve 10,391 kalın disk yıldızı bulunmaktadır. Ayrıca kalın disk yıldızlarının arasında oldukça az sayıda halo yıldızı olabileceği de düşünülmektedir. Bu düzlemde tespit edilen kimyasal ince disk yıldızlarının yüzdesel oranı tüm örneğin % 88'i kadardır. 82,966 kimyasal ince disk yıldızına ait uzay hızı bileşenlerinin dağılımı Şekil 4.26'da verilmiştir. Bu verilerle hesaplanan Güneş'in LSR değerleri: $(U, V, W)_{\odot}$ = (11.30 ± 0.001, 17.37 ± 0.001, 7.56 ± 0.001) km/sn. Kimyasal anakoldan hesaplanan LSR değerleri ile anakol olarak belirlenen tüm örneğin LSR değerleri kıyaslandığında *U*, *V* ve *W* hız bileşenleri, sırasıyla, 0.01, 0.67 ve 0.02 gibi çok düşük miktarda değişmişlerdir. Bu durum kimyasal anakol örneğinin daha detaylı incelenmesi gerektiğine işaret etmektedir.

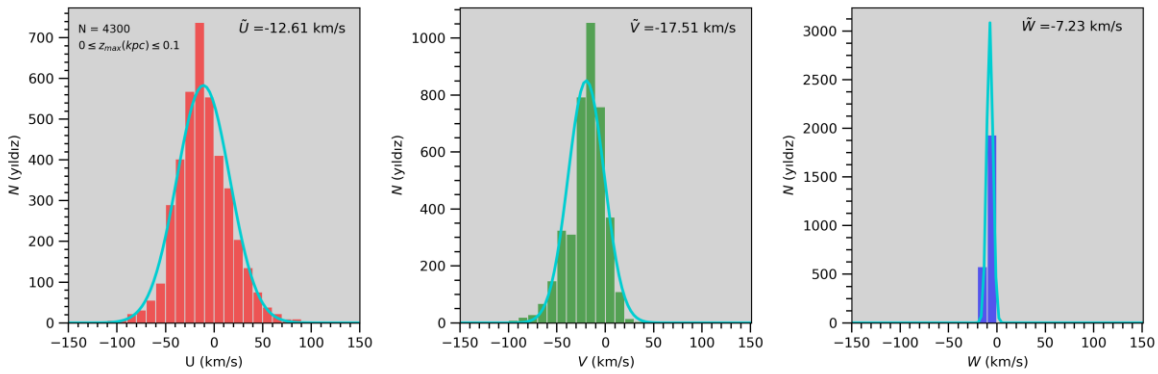


Şekil 4.25: GMM'ye göre [α/Fe] × [Fe/H] düzleminde belirlenen kimyasal ince disk ve kalın disk popülasyonları. Veriler logaritmik yıldız sayın yoğunluklarına göre renklendirilmiş ve ölçek sağ üst köşede verilmiştir. Gri kesikli çizgi, GMM ayrım çizgisini temsil etmektedir.



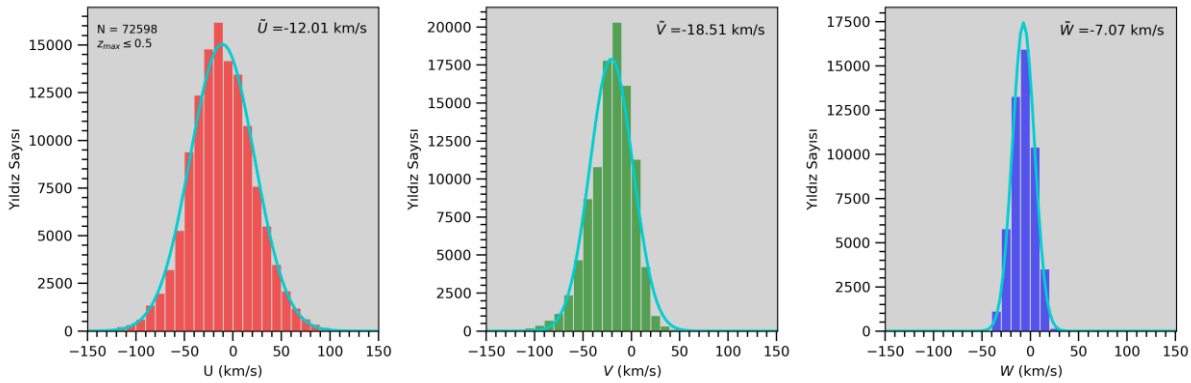
Şekil 4.26: GMM'ye göre [α/Fe] × [Fe/H] düzleminde belirlenen kimyasal ince disk yıldızlarının uzay hızı bileşenlerinin histogramları.

Yıldızların bugünkü özellikleri önemli olsa da uzun vadede değişebilen yörüngesel özellikleri de ait olabilecekleri Galaktik popülasyonun anlaşılmasında önemli bir yer tutar. Bu nedenle 93,357 anakol yıldızından oluşan GALAH DR3 yıldız örneğinin Bölüm 3.4'te anlatıldığı gibi simetrik bir Galaktik potansiyel fonksiyonuna bağlı olarak türetilen yörünge parametrelerini dikkate alarak farklı yörüngesel alt-örnekler oluşturulmuştur. Yıldız yörünge parametrelerinden özellikle yıldız yörüngesinin bulunabileceğimi en büyük dik uzaklık (z_{max}) ile yörüngenin Galaktik düzleme paralel olan yatay basıklık parametresi (e) kullanıldı. Bu iki parametre şunları söyler. Eğer yıldızın z_{max} değeri 500 pc ve altında bulunabiliyorsa, bu yıldızları yüksek oranda ince diske ait yıldızlar olmalıdır. Eğer yıldızın z_{max} değeri 100 pc ve altında ise bu yıldızlar düzleme en yakın yıldızlardır. Analizler Güneş civarında yapıldığından bunlar Güneş'in yakın komşusu olan yıldızlar olup böyle bir örneğin Güneş civarını daha iyi temsil etmesi beklenir. Öte yandan yıldız yörüngelerinin yatay basıklıkları da disk düzleminde bulunan büyük ölçekli pertürbasyon kaynaklarının etkilerini iyi bir şekilde yansıtır (bkz. Önal Taş ve diğ., 2018). Yatay basıklık parametresi için 0.2 değeri yıldız yörüngelerindeki pertürbasyon etkilerinin etkinleşme sınırını yansıtmaktadır. Bu sebeple yıldız yörüngelerinden yola çıkılarak (i) $z_{max} \leq 100$ pc, (ii) $z_{max} \leq 500$ pc, ve iii) $e \leq 0.2$ olan çember yörüngeli yıldızlar kullanılarak uzay hız bileşenlerinden LSR tayin edilmiştir. Buna göre Şekil 4.27'de gösterilen $z_{max} \leq 100$ pc örneğinde 4,300 yıldız tespit edilmiştir. Uzay hız bileşenlerine bakıldığından U uzay hızının değiştiği görülürken, W *uzay* hız bileşeni çok dar bir aralıkta değişmektedir. Bu yıldızların uzay hızı bileşenlerinden hesaplanan LSR değerleri $(U, V, W)_{\odot}$ = (12.61 ± 0.006, 17.51 ± 0.004, 7.23 ± 0.001) km/sn'dir.



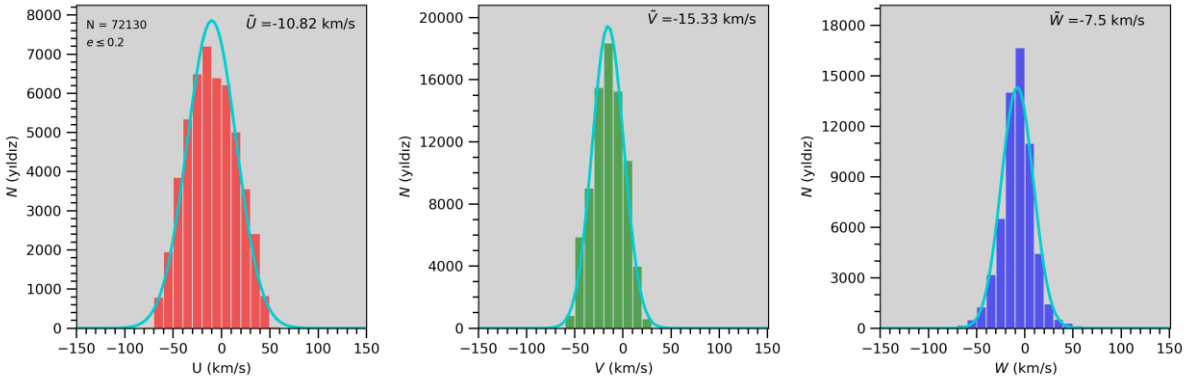
Şekil 4.27: z_{max}≤100 pc mesafede bulunan ince disk yıldızlarının uzay hızı bileşenlerinin histogramları.

Şekil 4.28'de gösterilen $z_{max} \leq 500$ pc örneğinde yıldız sayısı 72,588'e çıkmıştır. Uzay hızları yine en geniş *U* ve en dar *W* hız bileşenlerinde değişmektedir. Hesaplanan LSR değerleri de $(U, V, W)_{\odot}$ = (12.01 ± 0.001, 18.51 ± 0.001, 7.07 ± 0.001) km/sn'dir. İki z_{max} popülasyonu arasında yıldız örneği 16.88 kat büyümüş ve *U*, *V* ve *W*, sırasıyla, 0.6, 1 ve 0.43 km/sn değişmiştir. Örnek büyüdükçe *V* hızı da büyük miktarda değişmiştir.



Şekil 4.28: $z_{max} \leq 500$ pc mesafede bulunan ince disk yıldızlarının uzay hızı bileşenlerinin histogramları.

Yıldızların yörünge basıklıklarına $e \leq 0.2$ sınırlaması getirildiğinde uzay hızı bileşenlerinin frekans dağılımları Şekil 4.29'da gösterilmiştir. Bu alt-örnekte 72,130 yıldız olduğu tespit edilmiştir. Bu yıldızlardan hesaplanan LSR değerleri de $(U, V, W)_{\odot}$ = (10.82 ± 0.001, 15.33 ± 0.001, 7.5 ± 0.001) km/sn bulunmuştur. Benzer sayıda yıldız içeren $z_{max} \leq 500$ pc örneğiyle kıyaslandığında *U*, *V* ve *W* uzay hızı bileşenlerindeki değişim, sırasıyla, 1.19, 3.18 ve 0.16 km/sn değişmiştir. Yörünge basıklığına getirilen sınırlamayla birlikte *V* uzay hızındaki belirgin artış, bu parametrenin diğerlerine nazaran daha belirleyici olabileceğini göstermiştir.



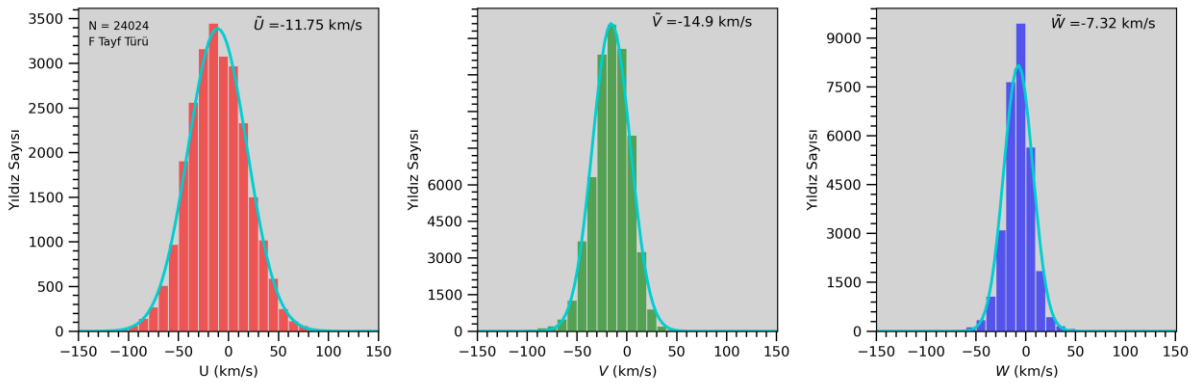
Şekil 4.29: Yörünge basıklığı $e \leq 0.2$ olan anakol yıldızlarının uzay hızı bileşenlerinin histogramları.

Güneş için LSR değerlerinin araştırıldığı bu yüksek lisans tez çalışmasında dikkate alınan bir diğer özellik yıldızların tayf türleri olmuştur. Yıldızların etkin sıcaklıkları ve mutlak parlaklıklarına göre görsel bölgede yapılan bu sınıflandırma sayesinde yaşlarına ilişkin bir öngörü de yapılabilmiştir. Güneş'i model alırsak, Güneş G2V tayf türünden bir anakol yıldızıdır. 5500 K'lik yüzey sıcaklığı ve anakolda harcaması beklenen 10 Gyıl ömrü vardır. Anakol bir yıldız ömrünün %90'ını tükettiği ve yıldızın çekirdeğinde gerçekleştirdiği hidrojenden helyum füzyonuyla kararlı olduğu evrim aşamasıdır. Eğer bir yıldız Güneş'e göre daha erken yani (O, B, A ve F) tayf türlerinden birinden ise bu durumda o yıldızın anakolda kalma süresi Güneş'e göre daha kısa olmaktadır. Benzer şekilde Güneş'ten daha geç (K ve M) tayf türlerinden birinden ise bu durumda o yıldızın anakolda kalma süresi Güneş'e göre daha uzun olacaktır. Özetle, Güneş'e göre erken tayf türü yıldızlar daha kısa, geç tayf türü yıldızlar ise daha uzun ömürlüdür. Yıldız yaşı, yıldızların bulundukları Galaktik ortamın etkilerinin o yıldızın kinematik özelliklerine de yansıyabileceğinin göstergesidir. Bu sebepten yüksek lisans tez çalışmasındaki anakol olarak belirlenen 93,375 yıldız F, G ve K tayf türlerine ayrılmıştır. Yıldızların etkin sıcaklıklarına göre tayf aralıkları belirlenirken Eker ve diğ.'nin (2020) çalışmasındaki sınır değerler seçilmiştir. Buna göre F tayf türü yıldızlar 6,026 < $T_{\rm eff}$ (K) ≤ 7,079, G tayf türü yıldızlar 5,248 < $T_{\rm eff}$ (K) ≤ 6,026 ve K tayf türü yıldızlar 3,802 < $T_{\rm eff}$ (K) ≤ 5,248 etkin sıcaklık aralıklarında bulunurlar. Çalışmada F, G ve K tayf türlerinden, sırasıyla, 24,024, 51,592 ve 17,035 anakol yıldız olduğu tespit edilmiştir. Bu yıldız alt-örneklerinden hesaplanan uzay hızı bileşenlerinin frekans dağılımları, sırasıyla, Şekil 4.30, Şekil 4.31 ve Şekil 4.32'de gösterilmiştir. Bu dağılımlardan hesaplanan LSR değerleri F, G ve K tayf türleri için, sırasıyla, $(U, V, W)_{\odot}$ = (11.75 ± 0.001, 14.90 ± 0.001, 7.32 ± 0.001)

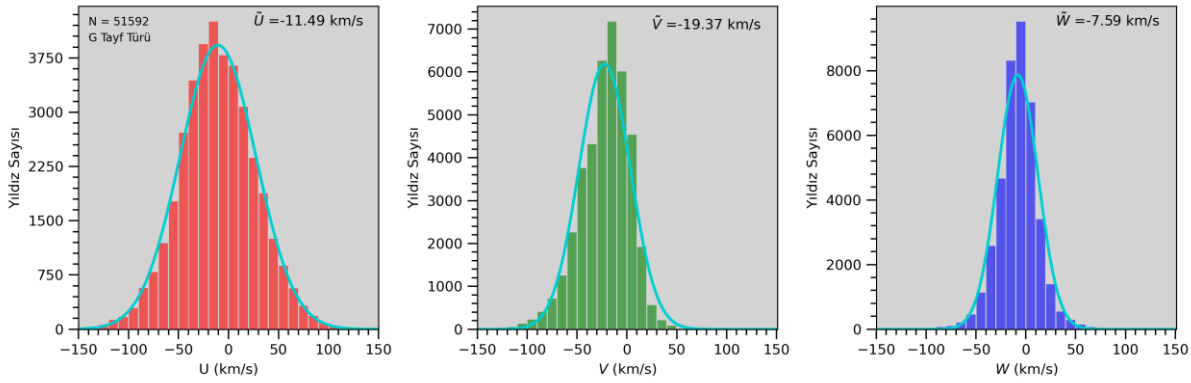
km/sn, $(U, V, W)_{\odot}$ = (11.49 ± 0.001, 19.37 ± 0.001, 7.59 ± 0.001) km/sn, $(U, V, W)_{\odot}$ = (9.96 ± 0.002, 19.11± 0.001, 7.83 ± 0.001) km/sn'dir. F tayf türünden K tayf türüne gidildikçe yıldızların *U*, *V* ve *W* uzay hızı bileşenlerinde 1.79, 4.21 ve 0.51 km/sn fark oluşmuştur. Tayf türü değişimi en belirgin olarak yıldızların *V* hızlarında kendini belli etmiştir. Buradan *K* tayf türü anakol yıldızlarının F tayf türü anakol yıldızlarına göre ortalamada daha yaşlı olabilecekleri sonucu çıkarılabilir. Tüm anakol yıldızları, uzaklığa göre sınırlandırılmış anakol alt-örneği, yıldız yaşlarına göre sınırlandırılmış anakol alt-örnekleri, kimyasal olarak ince disk olarak belirlenen anakol yıldızlarının alt-örnekleri, yörünge elemanlarına sınırlamalar getirilerek oluşturulan anakol alt-örnekleri ve tayf türüne göre oluşturulan anakol alt-örnekleri için uzay hızı bileşenlerinin Gauss dağılımlarından hesaplanan Güneş için LSR değerleri ve hatalarının yayılımını temsil eden standart sapma (σ) ve her bir alt-örnekteki yıldız sayıları Tablo 4.1'de listelenmiştir.

Tablo 4.1: Çeşitli parametrelere getirilen sınırlamlar ile belirlenen anakol alt-örneklerinden tayin edilen LSR değerleri. Kolonlar soldan sağa doğru sırayla veriye getirilen sınırlama, yıldız sayısı (*N*), sırasıyla, $U_{\odot}$, $V_{\odot}$ ve $W_{\odot}$ medyan uzay hız ve hatalarıyla standart sapma (σ) değerleri verilmiştir.

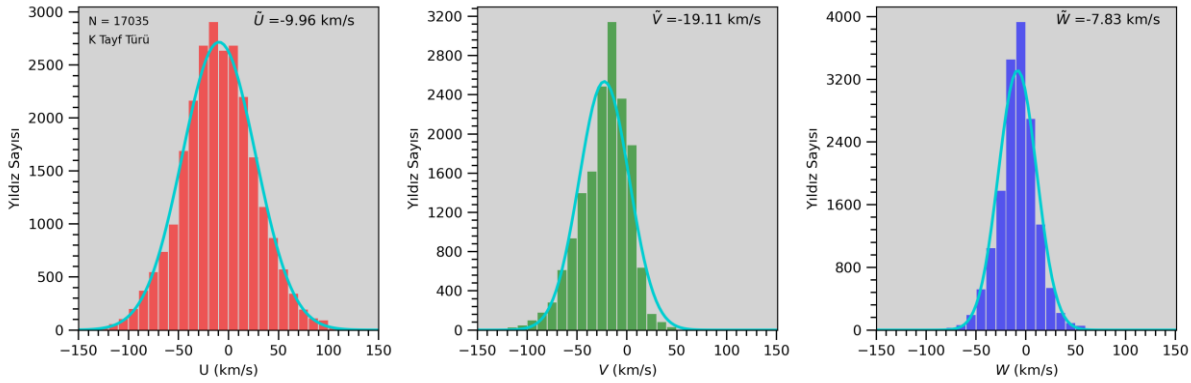
Sınırlama	***N***	$U_{LSR,\odot}$ (km/sn)	**σ** (km/sn)	$V_{LSR,\odot}$ (km/sn)	**σ** (km/sn)	$W_{LSR,\odot}$ (km/sn)	**σ** (km/sn)
Anakol	93,357	11.29±0.001	35.74	18.04±0.001	24.27	7.54±0.001	18.74
$d \leq 100$ pc	708	11.04±0.050	35.31	18.49±0.034	23.93	6.22±0.027	19.46
$d \leq 500$ pc	60,258	10.91±0.001	36.48	17.84±0.001	24.99	7.62±0.001	19.34
$\tau \leq 1$ Gyıl	485	11.04±0.066	32.10	15.57±0.047	22.85	7.52±0.038	18.45
$\tau \leq 5$ Gyıl	39,744	12.05±0.001	29.36	16.68±0.001	19.49	7.38±0.001	14.03
$\tau \leq 10$ Gyıl	84,586	11.35±0.001	34.09	17.56±0.001	22.47	7.48±0.001	17.16
Kimyasal Anakol	82,,966	11.30±0.001	34.09	17.37±0.001	21.98	7.56±0.001	17.06
$z_{max} \leq 100$ pc	4,300	12.61±0.006	27.37	17.51±0.004	18.76	7.23±0.001	3.23
$z_{max} \leq 500$ pc	72,598	12.01±0.001	33.15	18.51±0.001	22.27	7.07±0.001	11.43
$e \leq 0.2$	72,130	10.82±0.001	25.38	15.33±0.001	16.40	7.50±0.001	16.70
F tayf türü	24,024	11.75±0.001	29.41	14.90±0.001	18.98	7.32±0.001	14.65
G tayf türü	51,592	11.49±0.001	38.08	19.37±0.001	25.77	7.59±0.001	20.25
K tayf türü	17,035	9.96±0.002	36.73	19.11±0.001	25.17	7.83±0.001	19.26



Şekil 4.30: F tayf türündeki 24,024 anakol yıldızının uzay hızı bileşenlerinin histogramları.



Şekil 4.31: G tayf türündeki 51,592 anakol yıldızının uzay hızı bileşenlerinin histogramları.



Şekil 4.32: K tayf türündeki 17,035 anakol yıldızının uzay hızı bileşenlerinin histogramı.

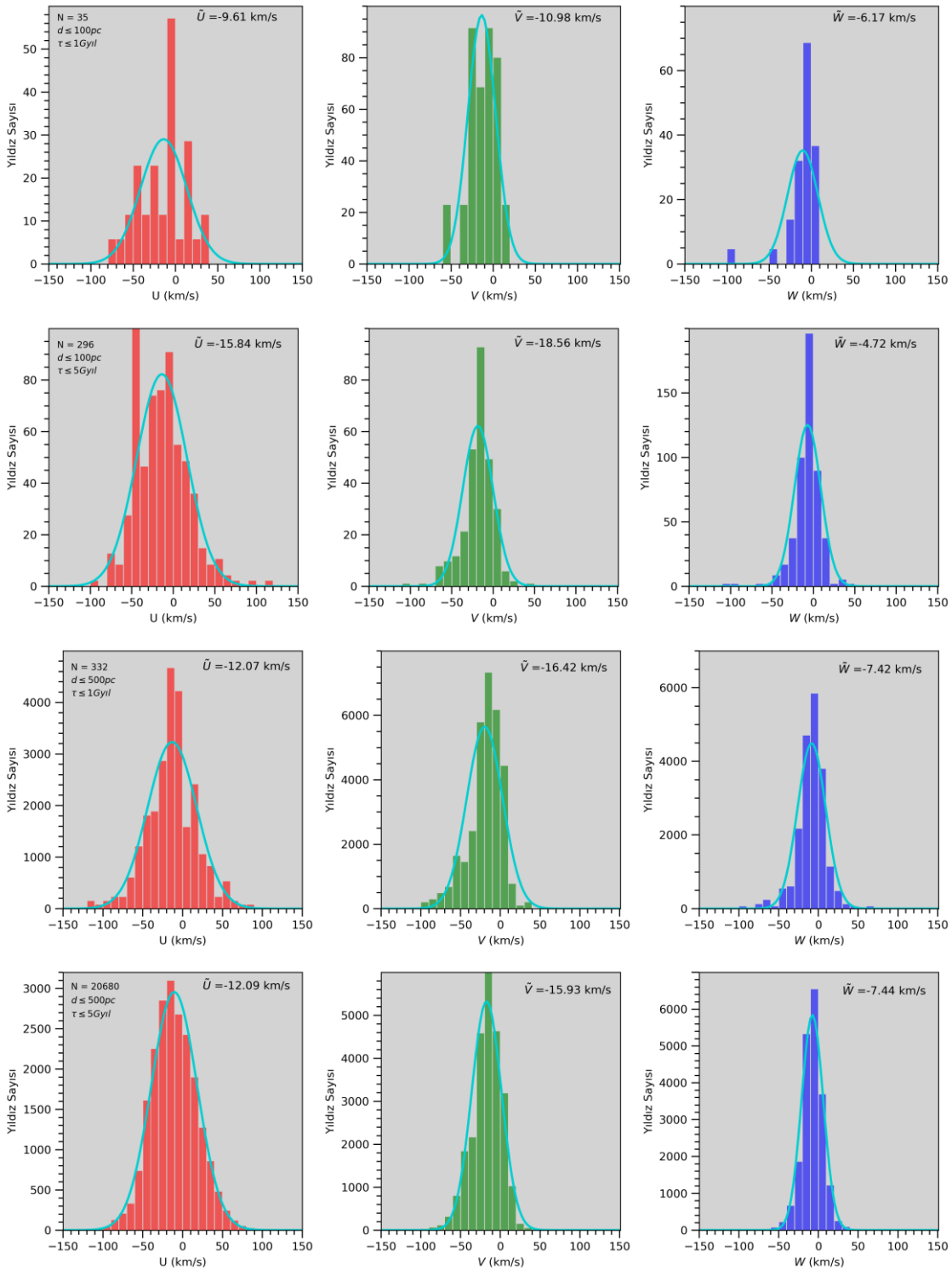
4.7.2. Uzaklığa Göre Sınırlanan Anakol Alt-Örneklerinden LSR Tayini

GALAH DR3 kataloğundan anakol olarak seçilen 93,357 yıldızın Güneş'e olan uzaklıkları Bölüm 4.7.1'de $d \leq 100$ ile $d \leq 500$ pc olacak şekilde sınırlandırılarak LSR değerleri tayin edilmiştir. Her iki uzaklık örneğindeki yıldızların hem yaşları ($\tau \leq 1$ ve $\tau \leq 5$ Gyıl) hem de yörünge basıklıkları ($e \leq 0.1$ ve $e \leq 0.5$) dikkate alınarak yeni alt-örnekler oluşturularak LSR

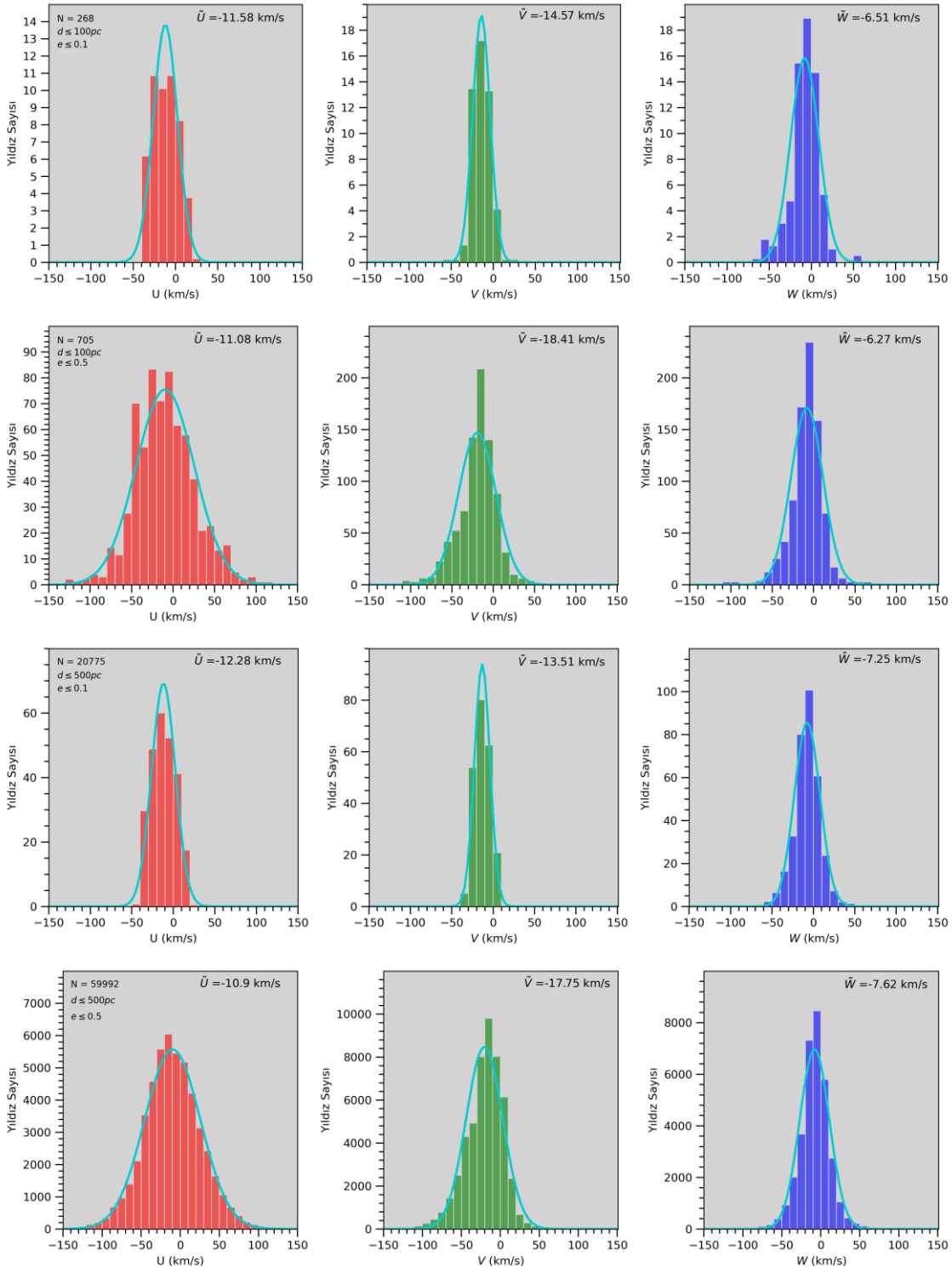
tayinleri yapılmıştır. Tüm uzaklık-yaş ve uzaklık-yörünge basıklığı alt-örneklerinin uzay hızı dağılımları, sırasıyla, Şekil 4.33 ve Şekil 4.34'te dört panel halinde gösterilmiştir. Şekil 4.33 incelendiğinde $d \leq 100$ pc ve $\tau \leq 1$ Gyıl sınırlamaları getirilen alt-örnekte yıldız sayılarının istatistiksel bakımdan duyarlı sonuçlar veremeyecek kadar az ($N = 35$) olduğu görülmektedir. $d \leq 100$ pc ve $\tau \leq 5$ Gyıl sınırları getirilen örneğe bakıldığında yıldız sayısının istatistiksel olarak daha anlamlı olduğunu bununla birlikte hız bileşenlerinin özellikle U bileşeninin düzgün bir dağılım göstermediği dikkat çekmektedir. Bu sınırlamalar ile elde edilen Güneş için LSR değerleri $(U, V, W)_\odot = (15.84 \pm 0.102, 18.56 \pm 0.062, 4.72 \pm 0.054)$ km/sn'dir. Yıldız uzaklıklarını $d \leq 500$ pc olarak seçip $\tau \leq 1$ Gyıl olan yıldızların uzay hız histogramlarına bakıldığında 332 yıldızın hemen hemen normal dağılım gösterdikleri görülmüştür. Bu sınırlamalarla Güneş için LSR değerleri $(U, V, W)_\odot = (12.07 \pm 0.093, 16.42 \pm 0.068, 7.42 \pm 0.053)$ km/sn olarak hesaplanmıştır. Güneş'ten itibaren 500 pc'e kadar uzanan yıldızlar arasında yaşı Güneş'in yaşına kadar olan yıldızların oluşturduğu alt-örnekte 20,680 yıldız olduğu tespit edilmiştir. Bu yıldızların uzay hız bileşenlerinin frekans dağılımları incelendiğinde normal bir dağılım sergiledikleri görülmüştür. Bu sınırlamalarla Güneş için LSR değerleri $(U, V, W)_\odot = (12.09 \pm 0.001, 15.93 \pm 0.001, 7.44 \pm 0.001)$ km/sn olarak bulunmuştur. $d \leq 500$ pc için farklı yaş gruplarındaki iki alt-örneği karşılaştırdığımızda örnekteki yıldız yaşı arttıkça uzay hızı bileşenleri U, V ve W uzay hızı bileşenlerindeki değişim, sırasıyla, 0.02, 0.49 0.16 km/sn olarak tespit edilmiştir. Buradan uzay hızı bileşenlerinin $d \leq 500$ pc'lik uzay hacmi içerisindeki yıldızların yaşlarından etkilenmediği sonucu çıkarılmaktadır. Ne yazık ki benzer karşılaştırmayı $d \leq 100$ pc'lik örnek için yapmak sağlıklı sonuç vermeyeceğinden değerlendirme yapılmamıştır.

$d \leq 100$ pc ve $e \leq 0.1$ olarak sınırlanan anakol örneğinin uzay hızı dağılımlarına bakıldığından istatistiksel anlamda güçlü bir örnek elde edildiği görülmektedir. Özellikle bu örneğin U ve V uzay hızı bileşenleri oldukça dar bir hız aralığında değişmektedir. Hızların frekans dağılımları normal dağılımla uyumludur. Bu alt-örnekle Güneş için LSR değerleri $(U, V, W)_\odot = (11.58 \pm 0.054, 14.57 \pm 0.039, 6.51 \pm 0.063)$ km/sn olarak bulunmuştur. Yıldız örneğinin basıklık sınırı $e \leq 0.1$'den $e \leq 0.5$'e çekildiğinde yıldız sayısı 705'e çıkmıştır. Yıldızların U ve V uzay hızı bileşenlerinin değişim aralıkları artan basıklık değeriyle genişlemiştir. W bileşeni için ise fazla bir değişim gözlenmemiştir. Bu alt-örnekle hesaplanan Güneş için LSR değerleri $(U, V, W)_\odot = (11.08 \pm 0.050, 18.41 \pm 0.032, 6.27 \pm 0.028)$ km/sn'dir. $d \leq 100$ pc uzaklık aralığında

yatay basıklık değerinin artması sonucu yıldızların *U, V* ve *W* uzay hızı bileşenlerindeki değişim, sırasıyla, 0.50, 3.84 ve 0.24 km/sn kadar olmuştur. Yıldızların yörünge basıklıklarının artışı en çok *V* uzay hızı bileşenini etkilemiştir. Yıldız uzaklıkları için getirilen sınırlama $d \leq 500$ pc olarak belirlendikten sonra yörüngesi çembere en yakın olan ($e \leq 0.1$) alt-örneğin uzay hızı bileşenlerinin dağılımına bakıldığında uzay hızı bileşenlerinin yine $d \leq 100$ pc olan örnekte olduğu gibi çok dar aralıkta değiştikleri görülmüştür. Bu alt-örnekte 20,775 yıldız olduğu tespit edilmiştir. Bu yıldızların uzay hızı bileşenlerinin frekans dağılımlarından hesaplanan LSR değerleri $(U, V, W)_{\odot}$ = (12.28 ± 0.001, 13.51 ± 0.001, 7.25 ± 0.001) km/sn olarak bulunmuştur. Yörünge basıklık değerleri arttırıldığında yıldız örneği 2.88 kat artmış ve uzay hızı frekans dağılımlarının değişim aralıkları genişlemiştir. Bu durumda elde edilen LSR değerleri $(U, V, W)_{\odot}$ = (10.90 ± 0.001, 17.75 ± 0.001, 7.62 ± 0.001) km/sn olmuştur. Bu genişlemenin hız bileşenlerine yansıması *U, V* ve *W* hızlarında, sırasıyla, 1.38, 4.24 ve 0.37 km/sn olmuştur. Bir kez daha yörünge basıklık değerlerinin artışı özellikle *V* uzay hızı bileşenini çok etkilemiş hatta bu örnek için *U* hız bileşeninin de çok etkilendiği görülmüştür.



Şekil 4.33: $d \leq 100$ pc ve $d \leq 500$ pc anakol yıldız alt-örneklerinin $\tau \leq 1$ Gyıl ve $\tau \leq 5$ Gyıl sınırlarına göre uzay hızı bileşenlerinin histogramları.



Şekil 4.34: $d \leq 100$ ve $d \leq 500$ pc anakol yıldız alt-örneklerinin $e \leq 0.1$ ve $e \leq 0.5$ sınırlarına göre uzay hızı bileşenlerinin histogramları.

4.7.3. Kimyaya Göre Sınırlandırılan Anakol Alt-Örneklerinden LSR Tayini

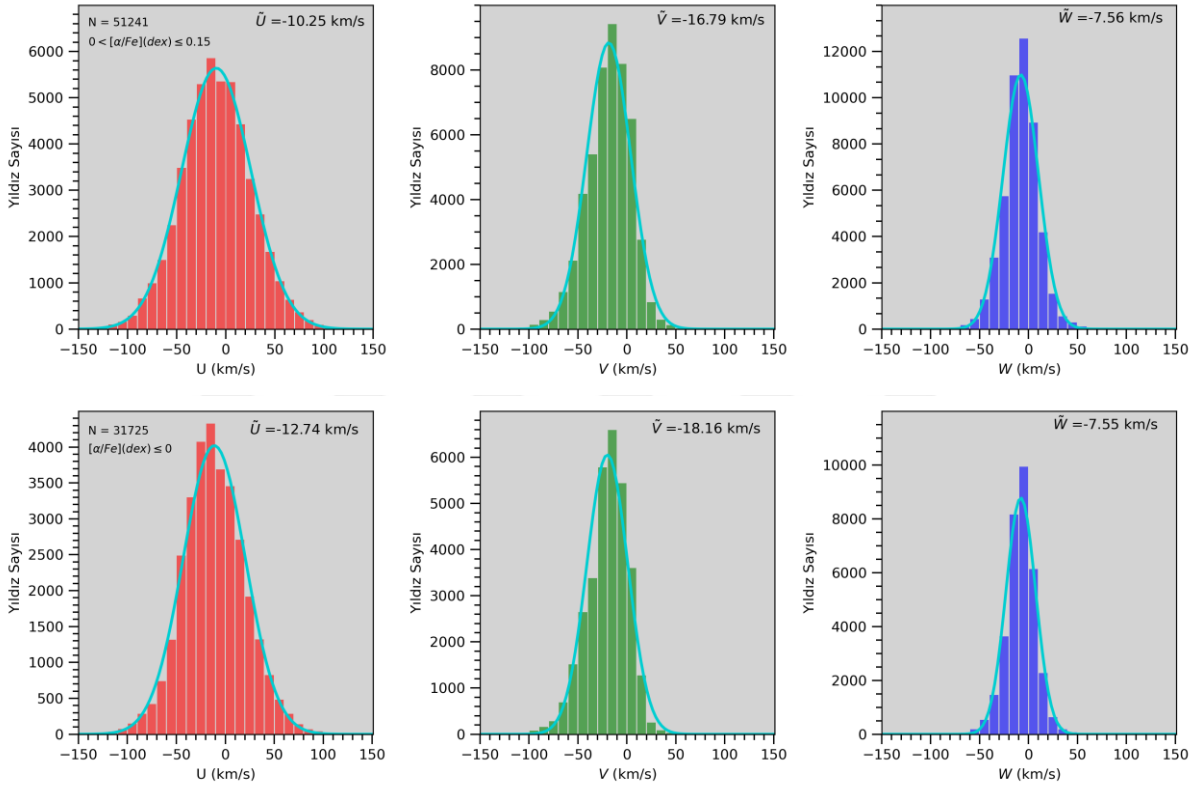
GALAH DR3 kataloğundan anakol olarak belirlenen 93,375 yıldız daha sonra [α/Fe]×[Fe/H] düzleminde kimyasal ince disk ve kalın disk popülasyonlarına ayrılmış ve bu ayrım sonucunda 82,966 yıldız ince disk yıldızı olarak ayrılmış ve bu örneğin LSR değerleri Bölüm 4.7.1'deki gibi elde edilmişti. Yüksek lisans tez çalışmasında 82,966 kimyasal ince disk yıldızı [α/Fe] değerlerine göre iki alt-örneğe ayrılmıştır: $0 < [\alpha/Fe]\ (dex) \leq 0.15$ ve $[\alpha/Fe]\ (dex) \leq 0$. Bu iki alt-örneğe göre hesaplanan uzay hızı bileşenlerine ait frekans dağılımları, sırasıyla, Şekil 4.35'te gösterilmiştir. Şekil 4.35'in üst paneline bakıldığında pozitif [α/Fe] değerlerine sahip kimyasal ince disk yıldızlarının sayısı 51,241 olarak tespit edilmiştir. Bu yıldızların *U, V* ve *W* uzay hızı bileşenlerinin frekans dağılımlarına normal dağılıma uymaktadır. *U* hız bileşeni geniş bir hız aralığında değişirken, *W* hız bileşeni daha dar bir aralıkta değişmektedir. Bu koşullar altında hesaplanan Güneş için LSR değerleri şöyledir: $(U, V, W)_{\odot} = (10.25 \pm 0.001, 16.79 \pm 0.001, 7.56 \pm 0.001)$ km/sn.

Şekil 4.35'in alt paneline bakıldığında negatif [α/Fe] değerlerine sahip kimyasal ince disk yıldızlarının sayısı 31,725 olarak tespit edilmiştir. Bu yıldızlardan hesaplanan LSR değerleri şöyledir: $(U, V, W)_{\odot} = (12.74 \pm 0.001, 18.16 \pm 0.001, 7.55 \pm 0.001)$ km/sn'dir. Yıldızlar alfa elementleri bakımından fakirleştikçe *U, V* ve *W* uzay hızı bileşenlerindeki değişim, sırasıyla, 2.49, 1.37 ve 0.01 km/sn bulunmuştur. Burada yıldızların Galaksi merkezine göre dönme hızları daha fazla etkilenmiştir. *U* hızı Galaksi merkezine doğru pozitif değerler alırken, alfa elementleri bakımından fakir örnekteki yıldızların medyan değeri daha da negatifleşmiş yani Galaksinin dışına doğru hareket eden yıldızlarca baskınlaşmıştır.

Sonraki aşamada $0 < [\alpha/Fe]\ (dex) \leq 0.15$ ve $[\alpha/Fe]\ (dex) \leq 0$ kimyasal alt-örnekleri tek tek yaş ($\tau \leq 1$ Gyıl ve $\tau \leq 5$ Gyıl) ve yörünge basıklıklarına ($e \leq 0.1$ ve $e \leq 0.5$) sınırlamalar getirilerek incelenmiştir.

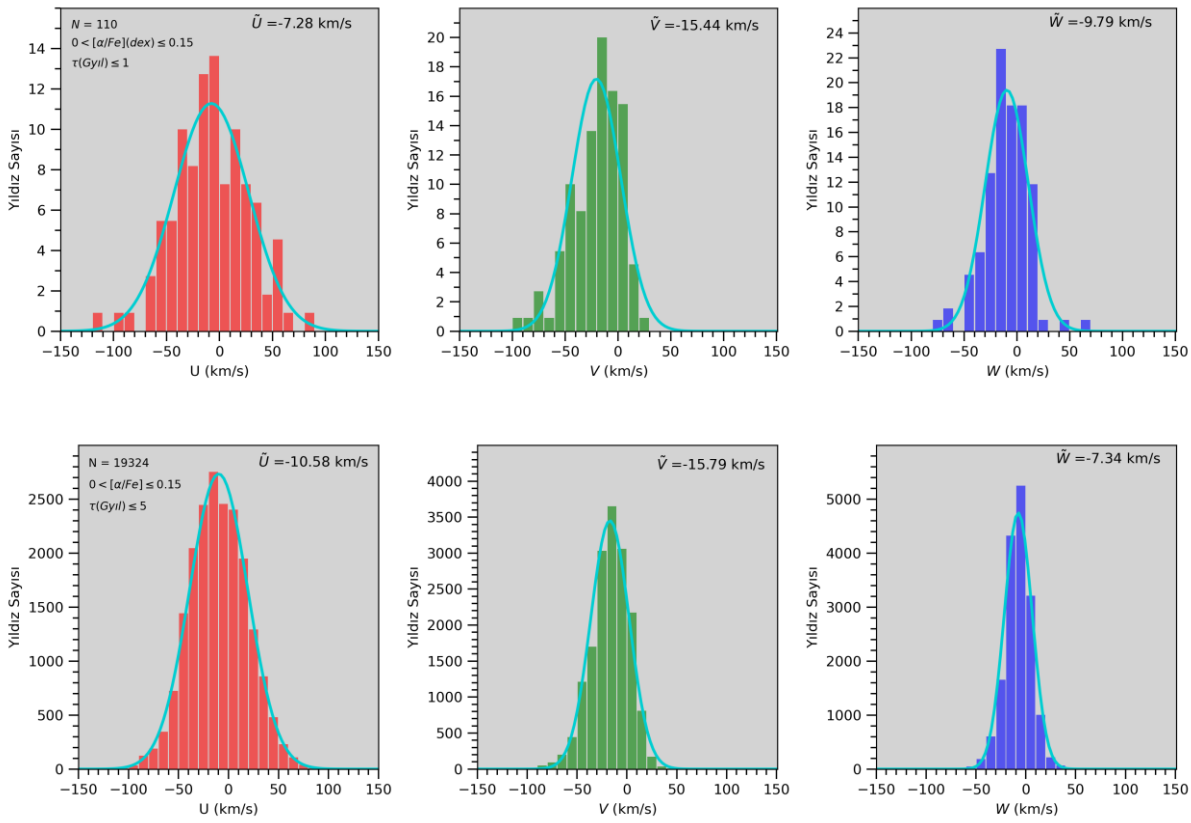
$0 < [\alpha/Fe]\ (dex) \leq 0.15$ olan ince disk anakol örneği $\tau \leq 1$ Gyıl ve $\tau \leq 5$ Gyıl olarak alt-örneklere ayrıldığında uzay hız bileşenlerinin dağılımları Şekil 4.36'da gösterilmiştir. Şekil 4.36'nın üst panelinde $0 < [\alpha/Fe]\ (dex) \leq 0.15$ ve $\tau \leq 1$ Gyıl koşullarına uyan 110 yıldız olduğu görülmektedir. İstatistiksel olarak az sayıda yıldız içeren bu anakol örneğinden hesaplanan LSR değerleri $(U, V, W)_{\odot} = (7.28 \pm 0.321, 15.44 \pm 0.211, 9.79 \pm 0.187)$ km/sn'dir. Şekil 4.36'nın alt panelinde $0 < [\alpha/Fe]\ (dex) \leq 0.15$ ve $\tau \leq 1$Gyıl koşullarına uyan

19,324 yıldız olduğu tespit edilmiştir. Uzay hızlarının normal dağılıma uydukları görülmektedir. Bu alt-örnek Güneş ile aynı yaşlarda ya da daha genç yıldızlardan oluşmaktadır. *U* ve *W* hız bileşenleri τ ≤ 1 Gyıl yaşındaki yıldızlarınkine oran ile daha dar bir aralıkta değişmektedir. Bu anakol örneğinden hesaplanan LSR değerleri $(U, V, W)_{\odot}$ = (10.58 ± 0.002, 15.79 ± 0.001, 7.34 ± 0.001) km/sn'dir. İki örnek arasında *U*, *V* ve *W* hız bileşenleri arasında, sırasıyla, 3.3, 0.35 ve 2.45 km/sn'lik bir değişim gözlenmiştir; ancak bu değişim τ ≤ 1Gyıl alt-örneğindeki yıldız sayısının azlığından ötürü güvenilir değildir.



Şekil 4.35: 0 < [α/Fe] (dex) ≤ 0.15 (üst panel) ve [α/Fe] (dex) ≤ 0 alfa element bolluğu aralığındaki kimyasal ince disk yıldızlarına ait uzay hızı bileşenlerinin histogramları.

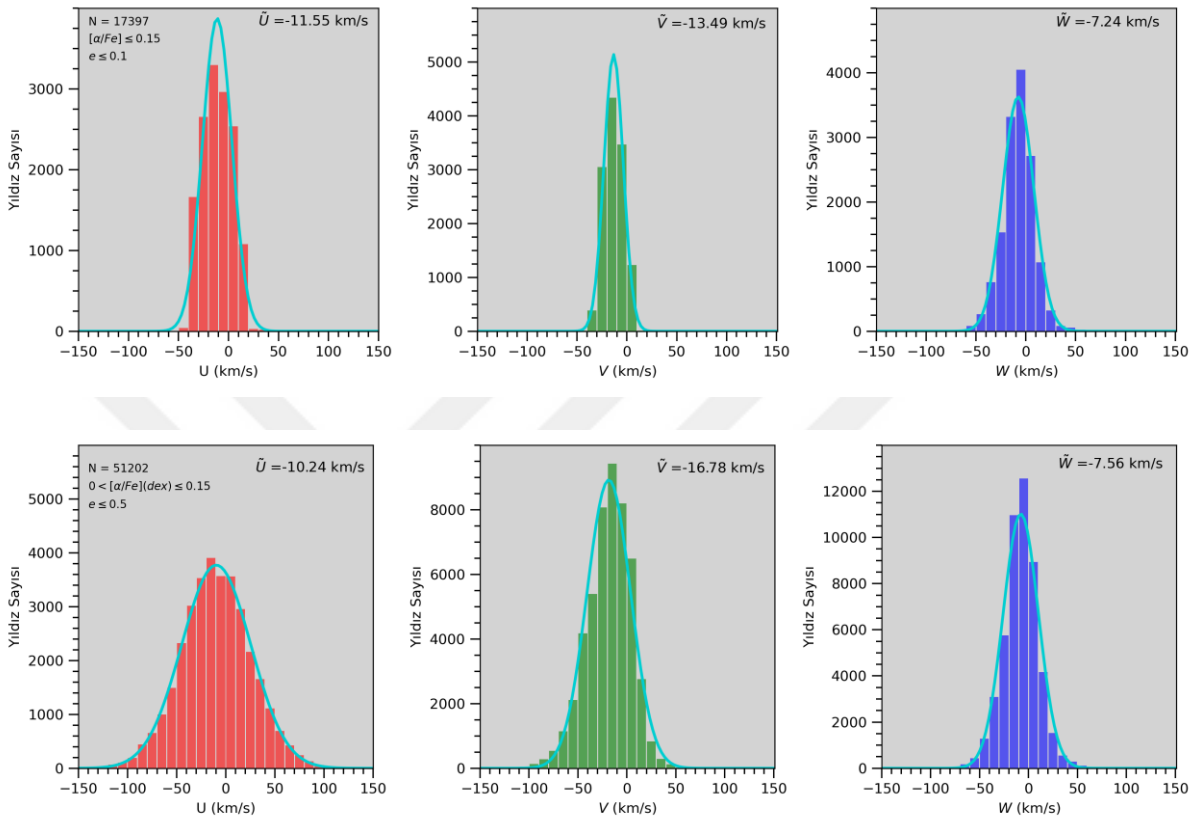
Benzer analizler bu kez 0 < [α/Fe] (dex) ≤ 0.15 bolluk aralığındaki yıldızların yörünge basıklıklarına $e \leq 0.1$ve $e \leq 0.5$ sınırları getirilerek yapılmıştır. Bu sınırlamalar ile seçilen iki anakol örneğinin uzay hız bileşenlerinin frekans dağılımları Şekil 4.37'de gösterilmiştir.



Şekil 4.36: 0 < [α/Fe] (dex) ≤ 0.15 alfa element bolluğu aralığında τ ≤ 1 Gyıl (üst panel) ve τ ≤ 5 Gyıl (alt panel) yaş sınırlamasıyla oluşturulan anakol yıldız alt-örneklerine ait uzay hızı bileşenlerinin histogramları.

Şekil 4.37'nin üst panelinde $e \leq 0.1$ durumu için oluşturulan anakol örneğinin 17,397 yıldızdan oluştuğu görülmektedir. Bu basıklık değeri en çember yörüngeli ve yüksek ihtimalle olabilecek en genç yıldızları içermektedir. Bu yıldızların özellikle U ve V hız bileşenleri dar bir hız aralığında değişmektedir. Hızların frekans dağılımları normal dağılıma uymaktadır. Buradan hesaplanan LSR değerleri $(U, V, W)_{\odot}$ = (11.55 ± 0.001, 13.49 ± 0.001, 7.24 ± 0.001) km/sn'dir. Şekil 4.37'nin alt panelinde yörüngesi $e \leq 0.5$ değerine kadar basıklaşan yıldızların oluşturduğu anakol örneğinin uzay hızı bileşenlerinin histogramları görülmektedir. Bu grupta 51,202 yıldız bulunmaktadır. Uzay hızlarına bakıldığında artan yıldız sayısıyla da orantılı olarak özellikle U bileşeninin değişim aralığı çok genişlemiştir. Örneklem Galaksi merkezine yaklaşan ve Galaksi merkezinden uzaklaşma doğrultusunda olan çok sayıda yıldızdan oluşmaktadır. Bununla beraber V hız bileşeni de geniş bir aralıkta değişmektedir. $e \leq 0.1$ alt-örneğiyle kıyaslandığında W uzay hızı bileşeninin değişim aralığında belirgin bir fark görülmemektedir. Buna göre Güneş için hesaplanan LSR değerleri $(U, V, W)_{\odot}$ = (10.24 ± 0.001, 16.78 ± 0.001, 7.56 ± 0.001) km/sn'dir. U, V ve W hız

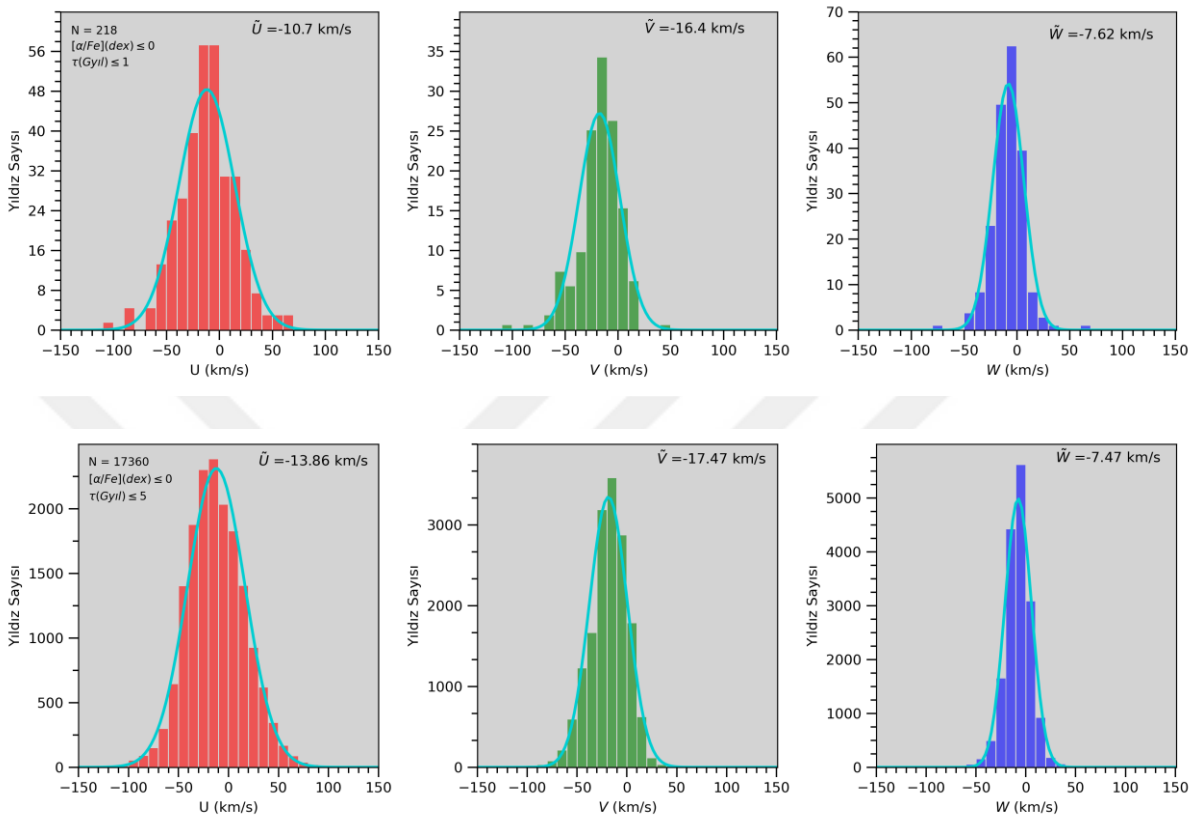
bileşenleri arasında, sırasıyla, 1.31, 3.29 ve 0.32 km/sn'lik bir değişim meydana gelmiştir. Yörüngeleri basıklaşan yıldızlar örnekleme eklendikçe yıldızların medyan *V* uzay hızı değerleri ve *U* uzay hızı değerleri etkilenmiştir.



Şekil 4.37: 0 < [α/Fe] (dex) ≤ 0.15 alfa element bolluğu aralığında $e \leq 0.1$ (üst panel) ve $e \leq 0.5$ (alt panel) yörünge basıklığı sınırlamasıyla oluşturulan anakol yıldız alt-örneklerine ait uzay hızı bileşenlerinin histogramları.

Kimyasal ince disk anakol yıldızlarının alfa element bolluklarına göre pozitif değerlere sahip yıldızların yaş ve yörünge basıklığına göre LSR tayinleri yapıldıktan sonra aynı analiz adımları bu kez [α/Fe] (dex) ≤ 0 olan yani alfa element bolluğu negatif olan yıldızlar için tekrarlanmıştır. Öncelikle [α/Fe] (dex) ≤ 0 örneği yaş gruplarına, ardından yörünge basıklık gruplarına bölünmüştür. [α/Fe] (dex) ≤ 0 ile $\tau \leq 1$ Gyıl ve [α/Fe] (dex) ≤ 0 ile $\tau \leq 5$ Gyıl alt-örnekleri için oluşturulan uzay hızı bileşeni histogramları Şekil 4.38'de gösterilmiştir. $\tau \leq 1$ Gyıl örneğinde 218 yıldız ve $\tau \leq 5$ Gyıl örneğinde 17,360 yıldız olduğu tespit edilmiştir. İki panel birlikte değerlendirildiğinde tüm hızların benzer bir değer aralığında değiştikleri dikkati çekmiştir. Bununla beraber medyan hız değerleri söz konusu olduğunda *U* hızları 13.86 km/s, *V* hızları ise 1.07 km/sn'lik bir değişim geçirmiştir. *W* hız bileşeninde ise yalnızca

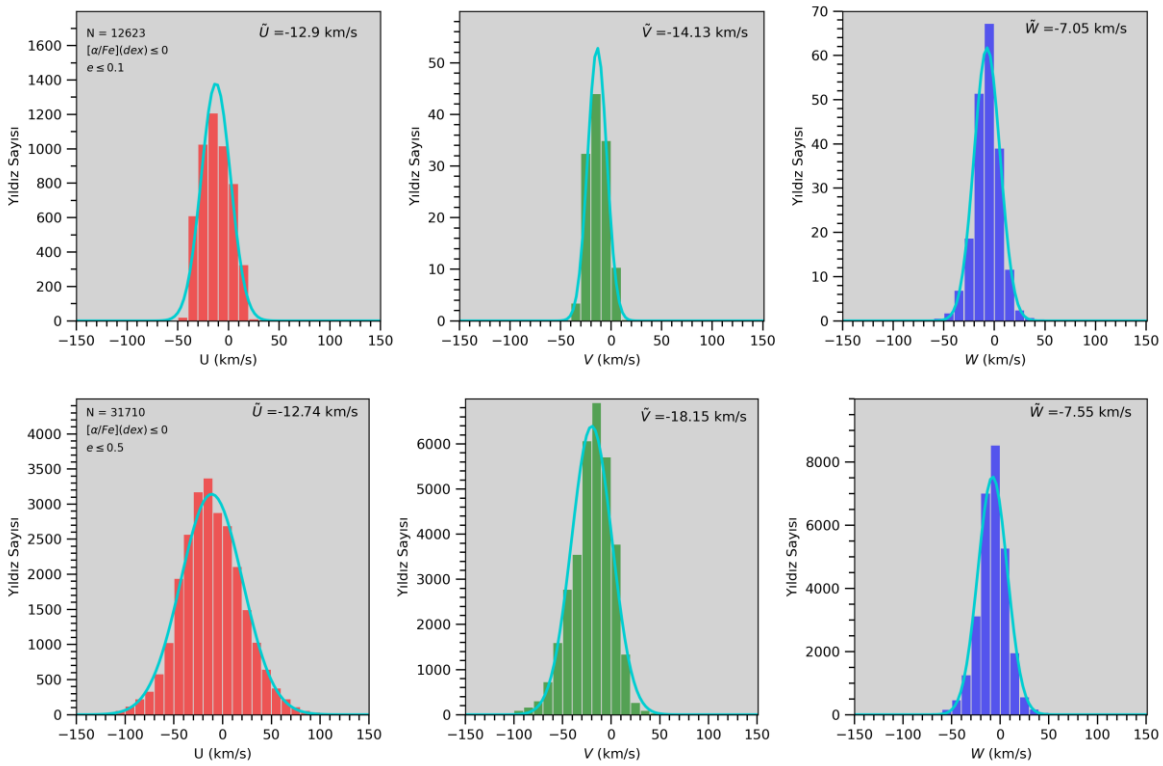
0.32 km/sn'lik bir değişim söz konusu olmuştur. Yıldız yaşları söz konusu olduğunda uzay hızı bileşenleri en çok *U* hızında değişim geçirmektedir.



Şekil 4.38: [α/Fe] (dex) ≤ 0 alfa element bolluğu aralığında τ ≤ 1 Gyıl (üst panel) ve τ ≤ 5 Gyıl (alt panel) yaş sınırlamasıyla oluşturulan anakol yıldız alt-örneklerine ait uzay hızı bileşenlerinin histogramları.

Örnekler yörünge basıklık bakımından incelendiğinde [α/Fe] (dex) ≤ 0 ve ($e \leq 0.1$ve $e \leq 0.5$) oluşturulan uzay hızı bileşeni histogramı Şekil 4.39'da gösterilmiştir. Şekil 4.39'da $e \leq 0.1$ örneği üst panelde, $e \leq 0.5$ örneği ise alt panelde gösterilmiştir. İki panel birlikte incelendiğinde, $e \leq 0.1$ olan 12,623 yıldız ve $e \leq 0.5$ olan 31,710 yıldız olduğu dikkati çekmektedir. [α/Fe] (dex) ≤ 0 alfa element bolluğu aralığında yörünge basıklığı arttıkça yıldız sayısı da 2.5 kat artmıştır. Her paneldeki uzay hızı bileşenlerinin frekansları normal dağılım göstermektedir. Burada dikkati çeken en önemli detay $e \leq 0.1$ olan yıldız örneğinin Galaktik düzleme paralel uzay hızı bileşenleri olan *U* ve *V* ±50 km/sn aralığında sıkışmışlardır. Bu değerler özellikle *V* hızı bakımından ince disk popülasyonunu tanımlayan en önemli özelliktir. $e \leq 0.5$ örneğinde ise yıldızların *U* ve *V* hız bileşenleri daha geniş aralığa uzanmıştır. Her iki panelde değişim *W* hız bileşeninin değişim aralığı aynıdır. $e \leq 0.1$ olan

yıldız örneğinden hesaplanan LSR değerleri $(U, V, W)_{\odot}$ = (12.90 ± 0.001, 14.13 ± 0.001, 7.05 ± 0.001) km/sn'dir. Farklı yörünge basıklığına sahip olan yıldızlar örnekleme eklendikçe U, V ve W hız bileşenlerinin medyan değerlerinde, sırasıyla, 0.16, 4.02 ve 0.50 km/sn'lik değişimler meydana gelmiştir. Yıldızların yörünge basıklıkları söz konusu olduğunda V en çok etkilenen hız bileşenidir.

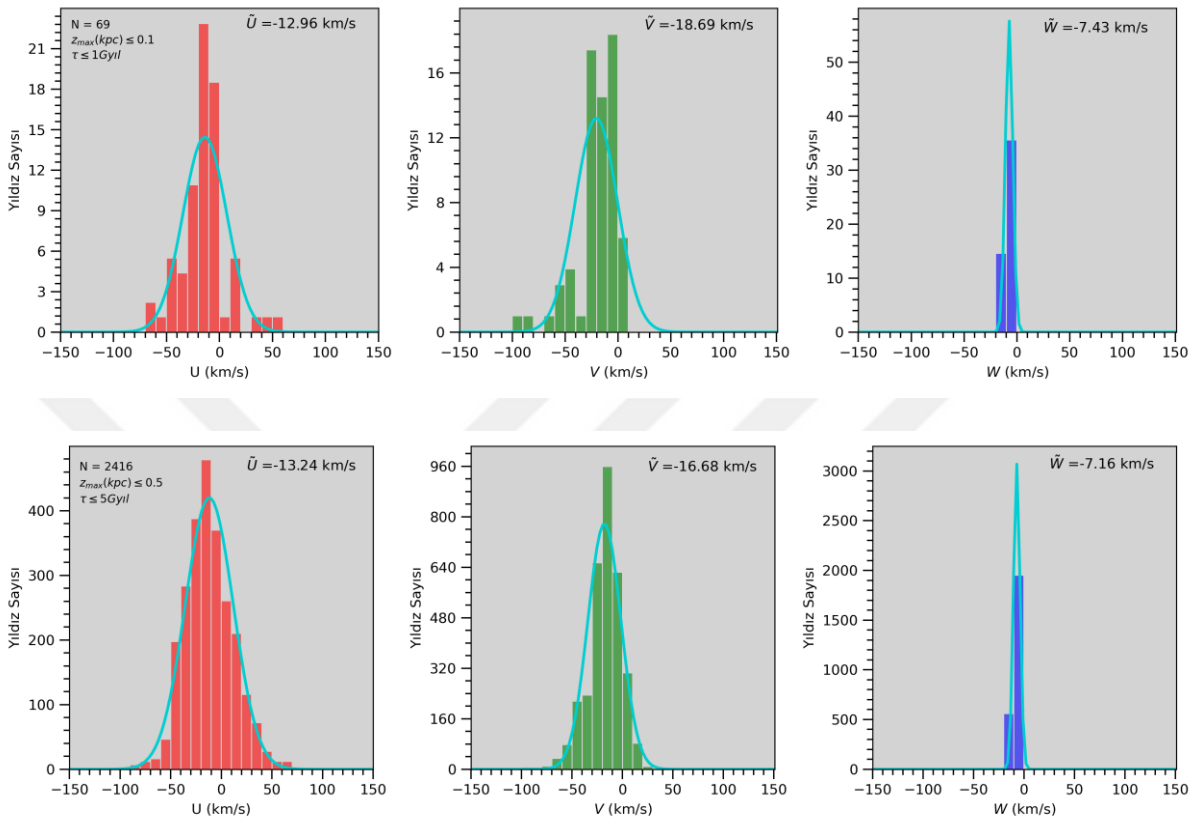


Şekil 4.39: [α/Fe] (dex) ≤ 0 alfa element bolluğu aralığında $e \leq 0.1$ (üst panel) ve $e \leq 0.5$ (alt panel) yörünge basıklığı sınırlamasıyla oluşturulan anakol yıldız alt-örneklerine ait uzay hızı bileşenlerinin histogramları.

4.7.4. Yörüngeye Göre Sınırlandırılan Anakol Alt-Örneklerinden LSR Tayini

GALAH DR3 kataloğuna getirilen sınırlamalarla anakol olarak belirlenen 93,357 yıldızın *MWPotential2014* simetrik Galaktik potansiyel modeline göre üretilen yörünge parametreleri kullanılarak Bölüm 4.7.1'de z_{max} ve e sınırlamalarına göre çeşitli LSR tayinleri yapılmıştır. Bu bölümde z_{max} (≤ 100 pc ve ≤ 500 pc) değerlerine göre ayrılmış yıldız örneklerinin yaş ($\tau \leq 1$ Gyıl ve $\tau \leq 5$ Gyıl) ve yatay basıklığa ($e \leq 0.1$ ve $e \leq 0.5$) göre sınırlandırılarak LSR tayinleri yapılmıştır. İlk olarak yörüngelerinin Galaktik düzleme en büyük dik uzaklığı 100 pc olabilen yıldız alt-örneğini ele alarak başlanmıştır. Bu örnekte toplamda 4,300 yıldız bulunmaktadır. Bu yıldızlar yaşlarına göre iki örneğe ayrıldıklarında $\tau \leq 1$ Gyıl olan 69 yıldız ve $\tau \leq 5$ Gyıl

olan 2,416 yıldız olduğu tespit edilmiştir. Bu yıldız grupları için oluşturulan uzay hızı bileşenlerinin histogramları Şekil 4.40'da gösterilmiştir.

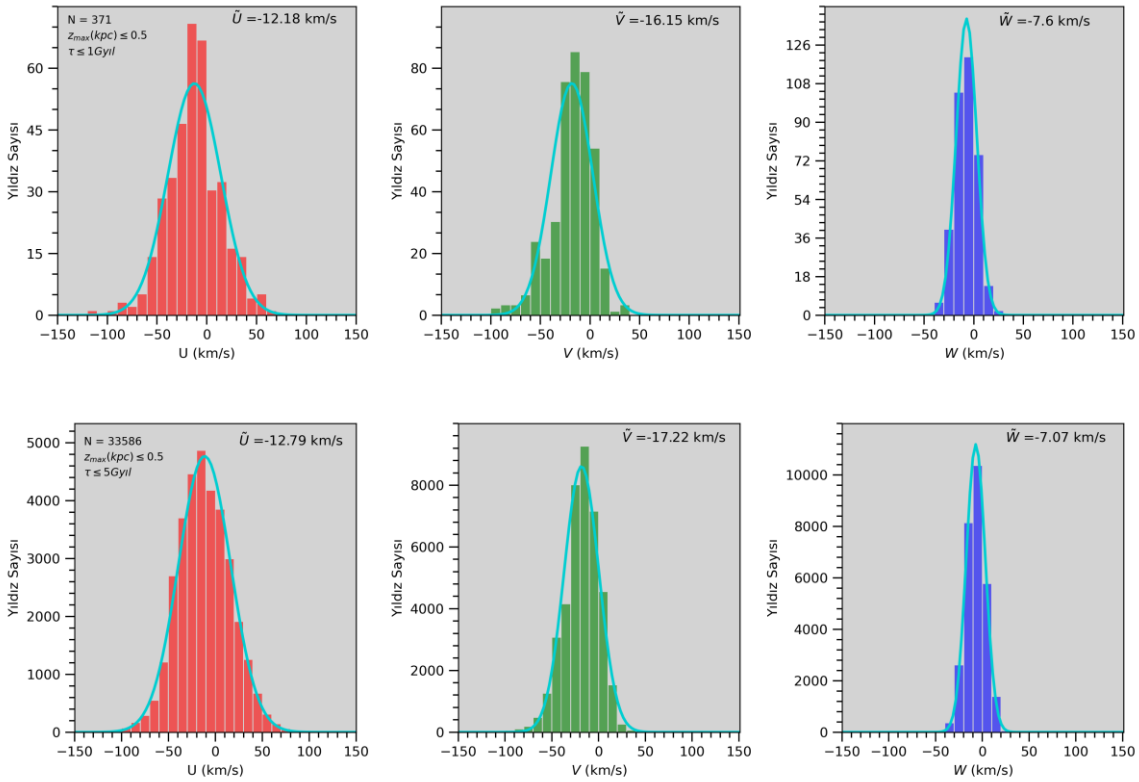


Şekil 4.40: $z_{max} \leq 100$ pc olan anakol yıldızlarının $\tau \leq 1$Gyıl (üst panel) ve $\tau \leq 5$ Gyıl (alt panel) yaş sınırlamasıyla oluşturulan uzay hızı bileşenlerinin histogramları.

$z_{max} \leq 100$ pc ve $\tau \leq 1$ Gyıl alt-örneğindeki yıldız sayısı (N = 69) istatistiksel olarak anlamlı sonuçlar veremeyecek kadar sınırlıdır. Uzay hızı bileşenlerine ait histogramlara bakıldığında da bu durumun yansıması özellikle Galaktik düzleme paralel olan U ve V uzay hızı bileşenlerinde görülmektedir. Öte yandan $z_{max} \leq 100$ pc ve $\tau \leq 1$ Gyıl alt-örneğindeki artan yıldız sayısıyla oluşturulan uzay hızı histogramları normal dağılımı daha iyi temsil etmektedir. Şekil 4.42 incelendiğinde her iki panelde de en çok dikkat çeken şey W hız bileşeninin -20 ile 0 km/sn aralığına yığılmış olmasıdır. Yıldız yaşı artsa bile W bileşeni aynı dar aralıkta kalmaya devam etmiştir. Bu etkinin z_{max}'a getirilen sınırlama olduğu düşünülmektedir.

Yörüngelerinin Galaktik düzleme en büyük dik uzaklığı 500 pc'e ulaşabilen yıldız örneği dikkate alındığında 72,598 yıldızdan oluşan bir örneklem karşımıza çıkmaktadır. Bu yıldızlar

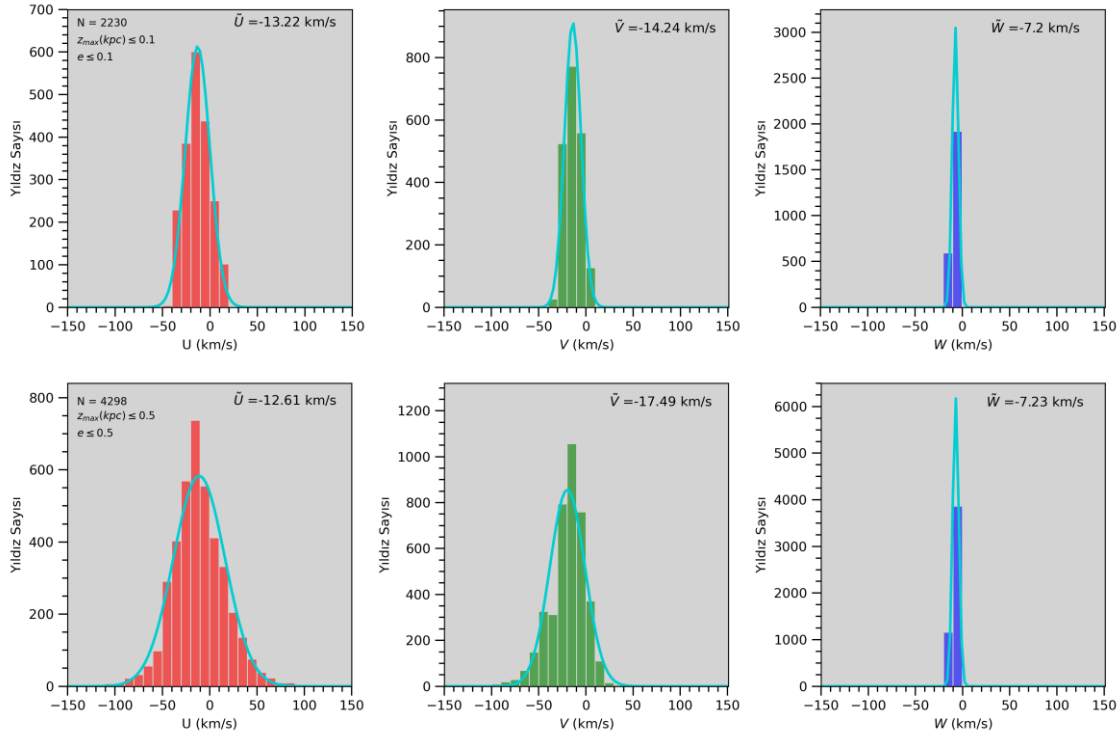
yaşlarına göre incelendiğinde $\tau \leq 1$ Gyıl sınırında 371 ve $\tau \leq 5$ Gyıl sınırında 33,586 yıldız olduğu tespit edilmiştir. Bu yıldızların uzay hızı bileşenlerinin histogramları Şekil 4.41'de gösterilmiştir. $z_{max} \leq 500$ pc ve $\tau \leq 1$ Gyıl sınırlamasına göre hesaplanan uzay hızı bileşenlerinin histogramları normal dağılım benzeri bir dağılım göstermektedir. Bu yıldızlardan hesaplanan LSR değerleri $(U, V, W)_{\odot}$ = (12.18 ± 0.072, 16.15 ± 0.057, 7.6 ± 0.028) km/sn'dir. Öte yandan, 33,586 yıldızdan oluşan $z_{max} \leq 500$ pc ve $\tau \leq 5$ Gyıl alt-örneğinin uzay hızı histogramları incelendiğinde dağılımlar normal dağılıma uymakta olup U hız bileşeni geniş bir aralıkta değişmekte ve W hız bileşeni dar bir aralığa yığılmış olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu yıldızlardan hesaplanan LSR değerleri de $(U, V, W)_{\odot}$ = (12.79 ± 0.001, 17.22 ± 0.001, 7.07 ± 0.001) km/sn bulunmuştur. Her iki yaş sınırlamalı alt-örnekten elde edilen LSR değerleri karşılaştırıldığında aynı uzaklık sınırı içerisinde yıldız yaşları arttırıldığında U, V ve W hız bileşenleri, sırasıyla, 0.61, 1.07, 0.53 km/sn'lik değişim geçirmiştir. Artan yıldız yaşı özellikle V hız bileşenine daha fazla etkilenmiştir. Bununla beraber, $\tau \leq 1$ Gyıl örneğindeki yıldız sayısı daha fazla olsaydı, bu sonuç değişebilirdi.



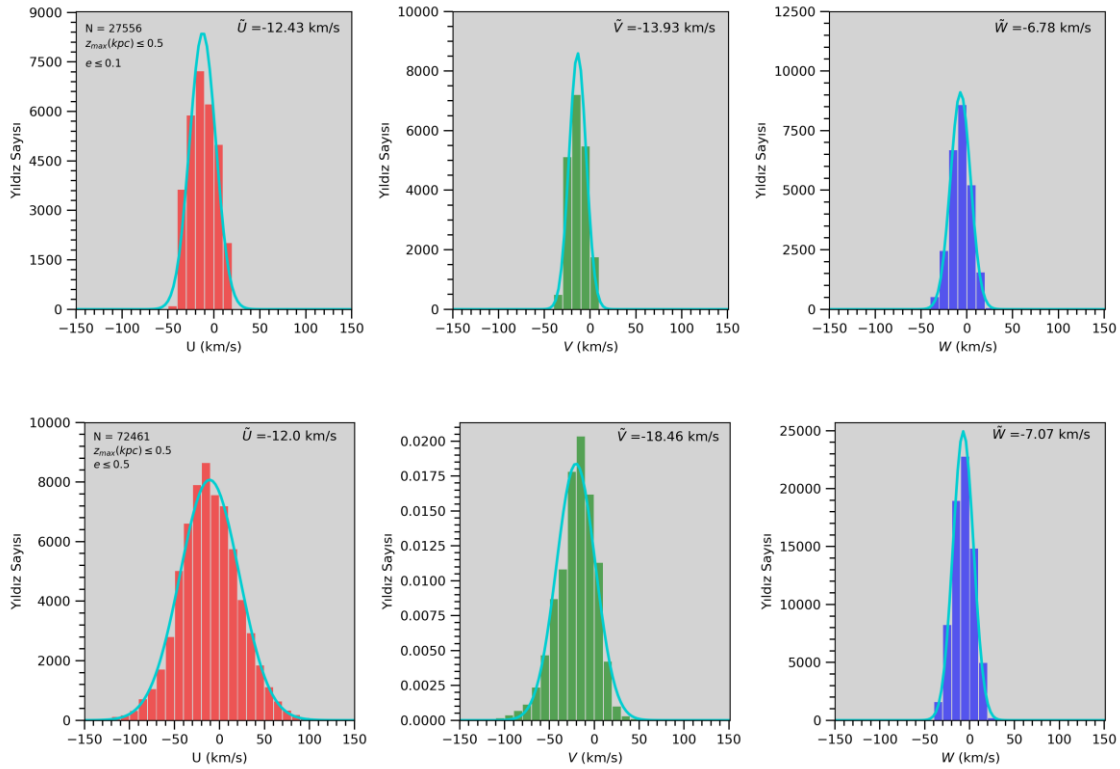
Şekil 4.41: $z_{max} \leq 500$ pc olan anakol yıldızlarının $\tau \leq 1$ Gyıl (üst panel) ve $\tau \leq 5$ Gyıl (alt panel) yaş sınırlamasıyla oluşturulan uzay hızı bileşenlerinin histogramları.

$z_{max} \leq 100$ pc aralığındaki yıldızların yörünge basıklıkları ($e \leq 0.1$ ve $e \leq 0.5$) olan alt-örneklerle devam edilmiştir. Bu alt-örneklerden hesaplanan uzay hızı bileşenlerinin histogramları Şekil 4.42'de gösterilmiştir. $z_{max} \leq 100$ pc ve yörünge basıklıkları ($e \leq 0.1$) olan yıldızlar dikkate alındığında bu sınırlar içerisinde 2,230 yıldız olduğu tespit edilmiştir. Yıldızların tüm uzay hızı bileşenleri dar bir aralıkta değişirken, yıldızların *V* hızları kinematik ince disk sınırları olan ±50 km/sn sınırları içerisinde görülmektedir. Dağılımlara geçirilen Gauss fitlerinden hesaplanan LSR değerleri $(U, V, W)_{\odot}$ = (13.22 ± 0.006, 14.24 ± 0.004, 7.2 ± 0.001) km/sn'dir. Benzer analizler daha basık yörüngeli yıldızların ($e \leq 0.5$) da örneğe katılmasıyla tekrar edildiğinde 4,298 yıldız tespit edilmiş fakat uzay hızlarının Galaktik düzleme paralel bileşenlerinin bu sınır değişiminden etkilenerek histogramlarının değişim aralıklarının genişlediği ve görünümlerinin de bir miktar bozulduğu görülmüştür. Bununla beraber, histogramlar normal dağılıma uymaktadırlar. Bu yıldızlardan elde edilen LSR değerleri $(U, V, W)_{\odot}$ = (12.61 ± 0.006, 17.49 ± 0.004, 7.23 ± 0.001) km/sn'dir. Aynı $z_{max} \leq$ 100 pc aralığında bulunan yıldız örneklerinin yalnızca yörünge basıklıkları değiştirildiğinde *U*, *V* ve *W* uzay hızı bileşenlerinde sırasıyla meydana gelen değişimler 0.61, 3.25, 0.03 km/sn olmuştur. Yörünge basıklığı artışı *V* hızlarında büyük değişime neden olurken *U* ve *W* bileşenleri bu değişimden fazla etkilenmemiş görülmektedir.

$z_{max} \leq 500$ pc aralığındaki yıldızların yörünge basıklıkları ($e \leq 0.1$ ve $e \leq 0.5$) dikkate alındığında hesaplanan uzay hızı bileşenlerinin histogramları Şekil 4.43'te gösterilmiştir. $z_{max} \leq 500$ pc ve yörünge basıklıkları ($e \leq 0.1$) olan yıldızlar dikkate alındığında bu sınırlar içerisinde 27,556 yıldız olduğu tespit edilmiştir. Bu yıldızların uzay hız bileşenleri dar bir aralıkta değişiyor olup normal dağılım göstermektedirler. Bu örnekten itibaren hesaplanan Güneş LSR değerleri $(U, V, W)_{\odot}$ = (12.43 ± 0.001, 13.93 ± 0.001, 6.78 ± 0.001) km/sn'dir. Benzer şekilde $e \leq 0.5$ olan örnekte 72,461 yıldız bulunmuştur. Bu yıldızların Galaktik düzleme paralel uzay hız bileşenlerinin değişim aralığı genişlemişken, dik olan hız bileşeninde sınır anlamında bir değişim göze çarpmamaktadır. Bununla beraber, bu sınırlar altında hesaplanan Güneş LSR değerleri $(U, V, W)_{\odot}$ = (12.00 ± 0.001, 18.46 ± 0.001, 7.07 ± 0.001) km/sn'dir. Aynı $z_{max} \leq 500$ pc aralığında bulunan yıldız örneklerinin yalnızca yörünge basıklıkları değiştirildiğinde *U*, *V* ve *W* uzay hızı bileşenlerinde sırasıyla meydana gelen değişimler 0.43, 4.53, 0.29 km/sn olmuştur. Yörünge basıklığı artışı *V* hızlarında büyük değişime neden olurken *U* ve *W* bileşenleri bu değişimden fazla etkilenmemiş görülmektedir.



Şekil 4.42: $z_{max} \leq 100$ pc olan anakol yıldızlarının $e \leq 0.1$ (üst panel) ve $e \leq 0.5$ (alt panel) yörünge basıklığı sınırlamasıyla oluşturulan uzay hızı bileşenlerinin histogramları.

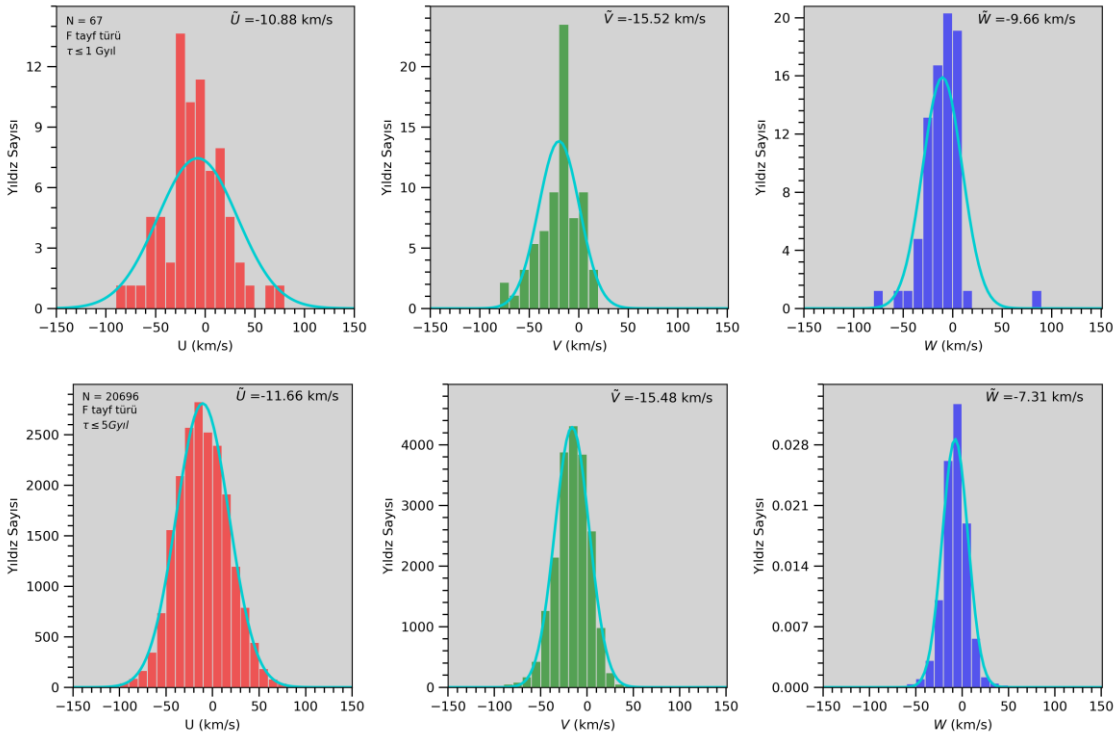


Şekil 4.43: $z_{max} \leq 100$ pc olan anakol yıldızlarının $e \leq 0.1$ (üst panel) ve $e \leq 0.5$ (alt panel) yörünge basıklığı sınırlamasıyla oluşturulan uzay hızı bileşenlerinin histogramları.

4.7.5. Tayf Türüne Göre Sınırlandırılan Anakol Alt-Örneklerinden LSR Tayini

GALAH DR3 kataloğundan anakol olarak belirlenen 93,375 yıldız daha sonra Eker ve diğ.'nin (2020) belirlemiş olduğu yıldız etkin sıcaklıklarına getirilen sınırlamalar ile F, G ve K tayf türlerine ayrılmıştır. Bu tayf türleri için hesaplanan LSR sonuçları Bölüm 4.7.1 kapsamında verilmiş ve Tablo 4.1'de listelenmiştir. Çalışmanın bu kısmında F, G ve K tayf türlerinde bulunan yıldızlar iki ayrı yaş sınırı ($\tau \leq 1$ Gyıl ve $\tau \leq 5$ Gyıl) için incelenmişlerdir.

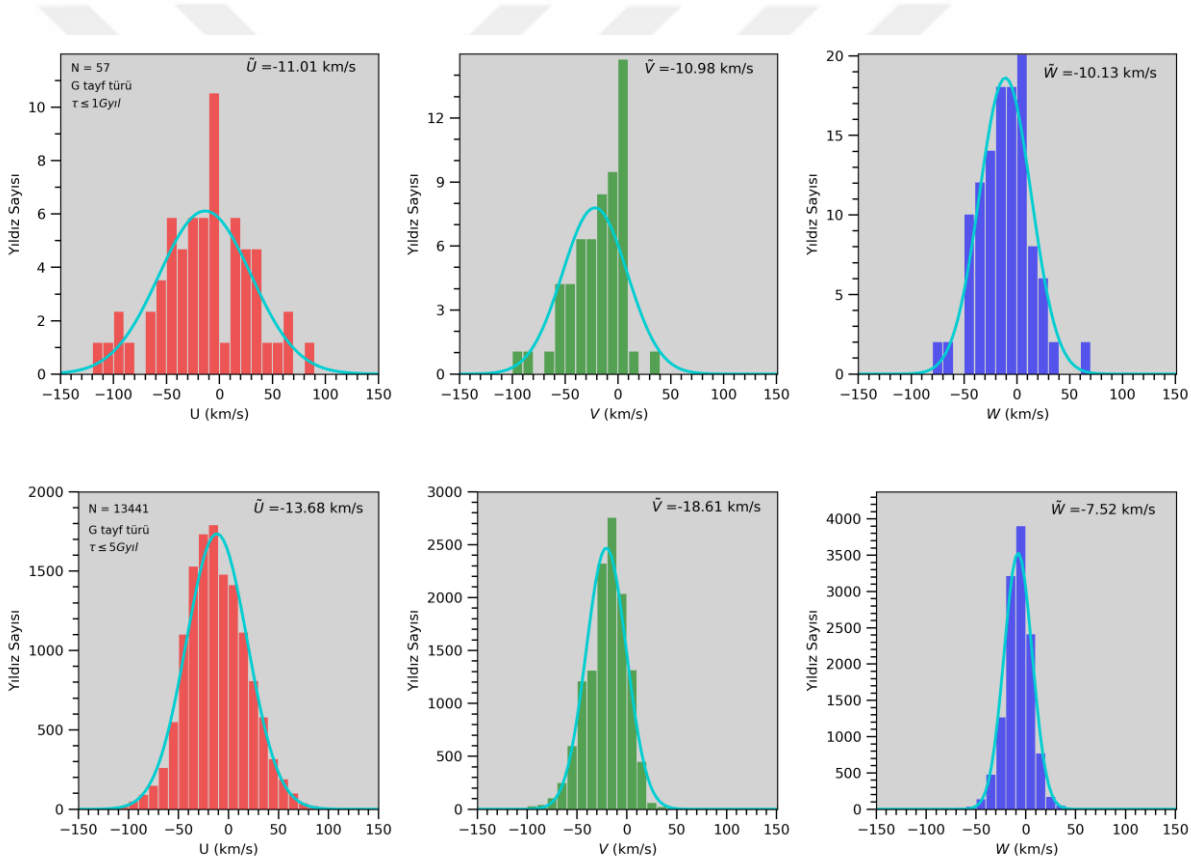
F tayf türü yıldızlar anakol 6,026< $T_{\rm eff}$ (K)≤ 7,079 sıcaklık aralığında bulunurlar. Bu yıldızlar Güneş'e göre anakol evresinde daha kısa sürelerde bulunurlar. Bu nedenle F tayf türü anakol yıldızlarının genel olarak Güneş'e göre daha genç bir yıldız popülasyonunu temsil ettikleri kabul edilebilir. Bu durum F tayf türündeki anakol yıldızlarının Galaktik pertürbasyon kaynaklarının etkilerine rölatif olarak daha az kaldıklarını ve kinematik özelliklerinin geç tayf türü anakol yıldızlarına kıyasla daha az değişebileceğine işaret eder. F tayf türündeki yıldız örneğinin yaşa göre iki alt-örneği oluşturulmuş ve bu yıldızlara ait uzay hızı bileşenlerinin histogramları Şekil 4.44'te gösterilmiştir.



Şekil 4.44: F tayf türü olan anakol yıldızlarının $\tau \leq 1$ Gyıl (üst panel) ve $\tau \leq 5$ Gyıl (alt panel) yaş sınırlamasıyla oluşturulan uzay hızı bileşenlerinin histogramları.

Şekil 4.44 incelendiğinde, $\tau \leq 1$ Gyıl örneğinde yalnızca 69 yıldız tespit edilmiştir. Yıldız sayısının az oluşu bu örnekten çıkarılabilecek sonuçların güvenilirliğinin az olduğunu göstermektedir. $\tau \leq 5$ Gyıl örneğinde ise aksine 20,696 yıldız tespit edilmiş; dağılımlar normale uygun ve dar bir aralıkta değişmektedir. Bu yıldızlardan hesaplanan LSR değerleri $(U, V, W)_{\odot}$ = (11.66 ± 0.001, 15.48 ± 0.001, 7.31 ± 0.001) km/sn'dir.

G tayf türü anakol yıldızları 5,248 < $T_{\rm eff}$ (K) ≤ 6,026 sıcaklık aralığında bulunurlar. Bu yıldızlar Güneş ve benzeri yaşlarda ya da daha yaşlı olabilirler. G tayf türündeki yıldız örneğinin yaşa göre iki alt-örneği oluşturulmuş ve bu yıldızlara ait uzay hızı bileşenlerinin histogramları Şekil 4.45'te gösterilmiştir.

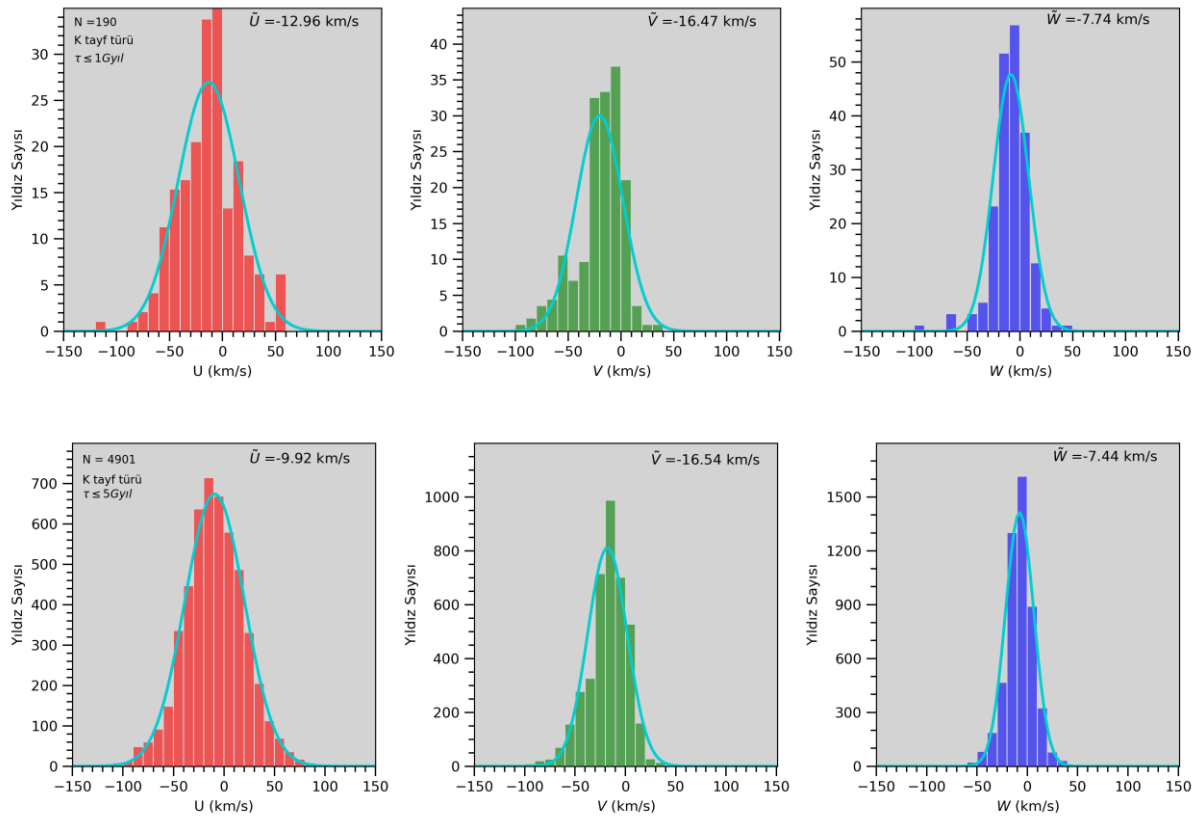


Şekil 4.45: G tayf türü olan anakol yıldızlarının $\tau \leq 1$ Gyıl (üst panel) ve $\tau \leq 5$ Gyıl (alt panel) yaş sınırlamasıyla oluşturulan uzay hızı bileşenlerinin histogramları.

Şekil 4.45 incelendiğinde $\tau \leq 1$ Gyıl örneğinde yalnızca 57 yıldız tespit edilmiştir. Yıldız sayısının az oluşu bu örnekten çıkarılabilecek sonuçların güvenilirliğinin az olduğunu göstermektedir. $\tau \leq 5$ Gyıl örneğinde ise aksine 13,441 yıldız tespit edilmiş; dağılımlar

normale uygun ve dar bir aralıkta değişmektedir. Bu yıldızlardan hesaplanan LSR değerleri $(U, V, W)_{\odot}$ = (11.01 ± 0.001, 10.98 ± 0.001, 10.13 ± 0.001) km/sn'dir.

K tayf türü anakol yıldızlar 3,802 < $T_{\rm eff}$ (K) ≤ 5,248 sıcaklık aralığında bulunurlar. Bu yıldızlar anakol evresinde Güneş'e göre çok daha uzun sürelerde bulunurlar. Bu nedenle K tayf türü anakol yıldızlarının genel olarak Güneş'e göre daha yaşlı bir yıldız popülasyonunu temsil ettikleri düşünülebilir. Bu durum K tayf türündeki anakol yıldızlarının Galaksi diskindeki büyük yapıların sebep olduğu çekimsel etkileşimlerin bir uzantısı olarak bu tayf türündeki yıldızların kinematik özelliklerinin K tayf türüme göre erken tayf türlerindeki anakol yıldızlarına kıyasla daha fazla değişebileceklerine işaret eder. K tayf türündeki yıldız örneğinin yaşa göre iki alt-örneği oluşturulmuş ve bu yıldızlara ait uzay hızı bileşenlerinin histogramları Şekil 4.46'da gösterilmiştir.



Şekil 4.46: K tayf türü olan anakol yıldızlarının τ ≤ 1 Gyıl (üst panel) ve τ ≤ 5 Gyıl (alt panel) yaş sınırlamasıyla oluşturulan uzay hızı bileşenlerinin histogramları.

Şekil 4.46 incelendiğinde τ ≤ 1 Gyıl örneğinde yalnızca 190 yıldız tespit edilmiştir. Yıldız sayısının az oluşu bu örnekten çıkarılabilecek sonuçların güvenilirliğinin az olduğunu

göstermektedir. $\tau \leq 5$ Gyıl örneğinde ise aksine 4,901 yıldız tespit edilmiş; dağılımlar normale uygun ve dar bir aralıkta değişmektedir. Bu yıldızlardan hesaplanan LSR değerleri $(U, V, W)_{\odot} = (9.92 \pm 0.006, 16.54 \pm 0.004, 7.44 \pm 0.003)$ km/sn'dir.

GALAH DR3 kataloğundan anakol olarak seçilen 93,357 yıldızın uzaklık, kimya, yörünge ve tayf türlerine göre oluşturulan alt-örnekler yıldız yaşı ve yıldız yörüngesinin Galaktik düzleme paralel doğrultudaki basıklık değerlerine göre sınırlandırılan anakol alt-örneklerine ait uzay hızı bileşenlerinin Gauss dağılımlarından hesaplanan LSR değerleri ve hataların, her bir uzay hızı bileşenine ait standart sapma (σ) değerleri ve her bir alt-örnekteki yıldız sayıları, sırasıyla, Tablo 4.2 ve Tablo 4.3'te listelenmiştir.

Tablo 4.2: Uzaklık (d), kimya ([α/Fe]), yörünge (z_{max}) ve tayf türüne (F, G, K) göre oluşturulan anakol örneklerinin yıldız yaşı (τ) değerlerine göre sınırlandırılarak tayin edilen LSR değerleri ve hataları. Kolonlar soldan sağa doğru sırayla veriye getirilen sınırlama, yaş (τ), yıldız sayısı (N), sırasıyla, $U_{\odot}$, $V_{\odot}$ ve $W_{\odot}$ medyan uzay hızı bileşenleri ve standart sapma (σ) değerleri verilmiştir.

Sınırlamalar	**Yaş Aralığı** (Gyıl)	N	$U_{LSR,\odot}$ (km/sn)	σ (km/sn)	$V_{LSR,\odot}$ (km/sn)	σ (km/sn)	$W_{LSR,\odot}$ (km/sn)	σ (km/sn)
$d \leq 100$ pc	$\tau \leq 1$	35	9.61±0.785	27.48	10.98±0.472	16.53	6.17±0.517	18.10
	$\tau \leq 5$	296	15.84±0.102	30.30	18.56±0.062	18.30	4.72±0.054	15.91
$d \leq 500$ pc	$\tau \leq 1$	332	12.07±0.093	30.85	16.42±0.068	22.61	7.42±0.053	17.76
	$\tau \leq 5$	20680	12.09±0.001	28.78	15.93±0.001	18.73	7.44±0.001	13.64
$0 <$ [α/Fe] (dex) ≤ 0.15	$\tau \leq 1$	110	7.28±0.321	35.36	15.44±0.211	23.22	9.79±0.187	20.55
	$\tau \leq 5$	19324	10.58±0.002	29.18	15.79±0.001	19.27	7.34±0.001	14.01
[α/Fe] (dex) ≤ 0	$\tau \leq 1$	218	10.70±0.121	26.38	16.40±0.090	19.52	7.62±0.068	14.72
	$\tau \leq 5$	17360	13.86±0.002	28.74	17.47±0.001	19.08	7.47±0.001	13.33
$z_{max} \leq 100$ pc	$\tau \leq 1$	69	12.96±0.300	20.70	18.69±0.292	20.12	7.43±0.050	3.46
	$\tau \leq 5$	2416	13.24±0.010	23.73	16.68±0.007	16.40	7.16±0.001	3.25
$z_{max} \leq 500$ pc	$\tau \leq 1$	371	12.18±0.072	26.56	16.15±0.057	21.23	7.60±0.028	10.39
	$\tau \leq 5$	33586	12.79±0.001	27.89	17.22±0.001	18.52	7.07±0.001	10.19
F tayf türü	$\tau \leq 1$	67	10.88±0.599	40.14	15.52±0.307	20.59	9.66±0.300	20.07
	$\tau \leq 5$	20696	11.66±0.001	28.39	15.48±0.001	18.59	7.31±0.001	13.91
G tayf türü	$\tau \leq 1$	57	11.01±0.763	43.50	10.98±0.539	30.71	10.13±0.430	24.49
	$\tau \leq 5$	13441	13.68±0.002	30.65	18.61±0.002	20.19	7.52±0.001	14.12
K tayf türü	$\tau \leq 1$	190	12.96±0.151	28.73	16.47±0.116	22.10	7.74±0.088	16.70
	$\tau \leq 5$	4901	9.92±0.006	29.57	16.54±0.004	19.65	7.44±0.003	14.10

Tablo 4.3: Uzaklık (d), kimya ([α/Fe]), yörünge (z_{max}) ve tayf türüne (F, G, K) göre oluşturulan anakol örneklerinin Galaksi düzlemine paralel doğrultudaki yörünge basıklığı (e) değerlerine göre sınırlandırılarak tayin edilen LSR değerleri ve hataları. Kolonlar soldan sağa doğru sırayla veriye getirilen sınırlama, yaş (τ), yıldız sayısı (N), sırasıyla, $U_{\odot}$, $V_{\odot}$ ve $W_{\odot}$ medyan uzay hızı bileşenleri ve standart sapma (σ) değerleri verilmiştir.

Sınırlamalar	***e* aralığı**	***N***	$U_{LSR,\odot}$ (km/sn)	**σ** (km/sn)	$V_{LSR,\odot}$ (km/sn)	**σ** (km/sn)	$W_{LSR,\odot}$ (km/sn)	**σ** (km/sn)
$d \leq 100$ pc	$e \leq 0.1$	268	11.58 ± 0.054	14.43	14.57 ± 0.039	10.41	6.51 ± 0.063	16.78
	$e \leq 0.5$	705	11.08 ± 0.050	35.22	18.41 ± 0.032	22.63	6.27 ± 0.028	19.43
$d \leq 500$ pc	$e \leq 0.1$	20,775	12.28 ± 0.001	14.40	13.51 ± 0.001	9.45	7.25 ± 0.001	15.51
	$e \leq 0.5$	59,992	10.90 ± 0.001	35.80	17.75 ± 0.001	23.54	7.62 ± 0.001	19.08
$0 <$ [α/Fe] (dex) ≤ 0.15	$e \leq 0.1$	17,397	11.55 ± 0.001	14.71	13.49 ± 0.001	9.70	7.24 ± 0.001	15.71
	$e \leq 0.5$	51,202	10.24 ± 0.001	35.25	16.78 ± 0.001	22.35	7.56 ± 0.001	18.10
[α/Fe] (dex) ≤ 0	$e \leq 0.1$	12,623	12.90 ± 0.001	14.44	14.13 ± 0.001	9.43	7.05 ± 0.001	12.92
	$e \leq 0.5$	31,710	12.74 ± 0.001	31.74	18.15 ± 0.001	20.79	7.55 ± 0.001	15.13
$z_{max} \leq 100$ pc	$e \leq 0.1$	2,230	13.22 ± 0.006	13.01	14.24 ± 0.004	8.75	7.20 ± 0.001	3.27
	$e \leq 0.5$	4,298	12.61 ± 0.006	27.35	17.49 ± 0.004	18.63	7.23 ± 0.001	3.23
$z_{max} \leq 500$ pc	$e \leq 0.1$	27,556	12.43 ± 0.001	14.26	13.93 ± 0.001	9.28	6.78 ± 0.001	10.95
	$e \leq 0.5$	72,461	12.00 ± 0.001	32.94	18.46 ± 0.001	21.69	7.07 ± 0.001	11.42

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu yüksek lisans tez çalışmasında tayfsal verileri içeren GALAH DR3 kataloğundan anakol olarak seçilen yıldızların uzaklık, yaş, kimya ve Galaktik yörünge parametrelerine getirilen sınırlamalar ile oluşturulan alt-örneklerin LSR değerleri hesaplanmıştır. Yıldızların astrometrik parametreleri GALAH DR3 kataloğunda hazır eşleştirilmiş olarak verilen *Gaia* EDR3 kataloğundan alınmıştır. Çalışmada kullanılan yıldız yaşları GALAH DR3 konsorsiyumunun tercih ettiği *BSTEP* koduyla hesaplanmış yıldız evrim yolları ve Bayes istatistiğine dayalıdır.

Çalışmada ilk olarak anakol yıldızlarının tamamı (N = 93,357), uzaklıkları $d \leq 100$ pc ve $d \leq 500$ pc sınırlarındaki anakol yıldızlarının, yıldız yaşları bakımından en genç yıldızların ($\tau \leq 1$ Gyıl), yaşları Güneş ve benzeri olan yıldızların ($\tau \leq 1$ Gyıl) ve Galaksi diskinin yaşını temsil eden anakol yıldızlarının, GMM ile kimyasal ince disk olarak belirlenmiş anakol yıldızlarının, Galaktik yörünge parametrelerine göre $z_{max} \leq 100$ pc , $z_{max} \leq 500$ pc ve $e \leq 0.2$ olan anakol yıldızlarının, Eker ve diğ.'nin (2020) takdim ettiği etkin sıcaklık aralıklarına göre F, G ve K tayf türlerinde anakol yıldızlarının uzay hızı bileşenlerinin histogramlarına geçirilen Gauss fitleriyle hesaplanan medyan değerlerden LSR değerleri hesaplanmıştır. Bu genel örneklerle ilgili sonuçlar Tablo 4.1'de sunulmuştur. Genel olarak adlandırılan bu sınırlamaların Bölüm 4'teki uzay hızı histogramları incelendiğinde tüm bu sınırlamalarda, özellikle de V dağılımlarından, farklı tür Galaksi disk popülasyonlarının karışmış halde oldukları göze çarpmaktadır. Bu amaçla, daha hassas belirlenmiş yıldız alt-örnekleri oluşturarak daha saf ince disk yıldız örnekleri elde edilmeye çalışılmıştır. Yıldızların d, [α/Fe], z_{max} parametreleri yaş ($\tau \leq 1$ Gyıl, $\tau \leq 5$ Gyıl) ve yörünge basıklığına ($e \leq 0.1$, $e \leq 0.5$) göre, F, G, K tayf türleri ise sadece yaş parametresine göre alt-örneklere ayrılarak bu durum incelenmiştir. Bu alt-örneklerden elde edilen bulgular incelendiğinde varılan sonuçlar şu şekilde sıralanabilir:

- Yıldız yaşlarına getirilen sınırlamalar göz önüne alındığında özellikle $\tau \leq 1$ Gyıl olan örnekte çok fazla nesne bulunmadığı dikkati çekmekte ve bu durum istatistiksel olarak varılan sonuçların gerek kendi içerisinde gerekse literatür ile kıyaslanmasına engel olmaktadır.

- Yıldızların yörünge basıklıklarına getirilen sınırlamalar dikkate alındığında çalışmanın bütünündeki en duyarlı örneklerin hem de istatistiksel olarak anlamlı sayıda yıldız içeren alt-örnekler oluşturacak şekilde elde edildiği görülmüştür.

- Yıldız uzaklıklarına getirilen yaş sınırlamasına bakıldığında $d \leq 100$ pc ve $d \leq 500$ pc alt-örneklerinin sabit uzaklık içerisinde yörünge basıklık değerleri arttıkça U ve V uzay hızı bileşenlerinin, sırasıyla, artma ve azalma eğilimleri oldukları görülmüştür. W uzay hızı ise belirgin bir değişim göstermemiştir. Öte yandan sabit yörünge basıklık değeri içerisinde uzaklık arttıkça V ve W uzay hız bileşenlerinin sırasıyla, artma ve azalma eğilimleri oldukları görülmüştür. U uzay hızı ise belirgin bir davranış göstermemiştir. Yaşlar bakımından değerlendirildiğinde, sabit uzaklık değeri içerisinde artan yıldız yaşlarındaki değişim 1 Gyıl ve 5 Gyıl yaşları için karmaşık davranışlar ortaya koymuştur. Öte yandan benzer durum sabit yaş, artan uzaklık durumunda da görülmüştür.

- Yıldızların konum bakımından d=100 pc içerisinde sınırlandırılması ve bu sınıra ek olarak yörünge basıklıklarına $e \leq 0.1$ sınırının getirilmesi uzaklık bakımından elde edilen en duyarlı örneğin elde edilmesini mümkün kılmıştır. Her ne kadar bu örneği 268 yıldız oluştursa da istatistiksel olarak duyarlı bir alt-örnek elde edilmiştir. Bu durumda hesaplanan LSR bileşenleri $(U, V, W)_{\odot}$ = (11.58 ± 0.054, 14.57 ± 0.039, 6.51 ± 0.063) km/sn'dir.

- Yıldızların kimyasal özelliklerine getirilen sınırlamalar sonucunda alfa element bolluk oranları bakımından negatif ([α/Fe] ≤ 0 dex) yani α-elementlerince fakir ve pozitif (0 < [α/Fe] ≤ 0.15 dex) yani α-elementlerince bakımından zengin alt-örnekler ele alınmıştır. Yıldız örneklerinin sabit metal bolluğu içerisinde yörüngesel basıklıklarının 0.1'den 0.5'e değişimleri dikkate alındığında hem pozitif hem de negatif [α/Fe] aralıklarında U, V ve W uzay hızı bileşenlerinin, sırasıyla, artma, azalma ve azalma eğilimde oldukları görülmüştür. Öte yandan, aynı yörünge basıklık değeri içerisinde U, V ve W uzay hızı bileşenlerinin davranışları, sırasıyla, azalma, azalma ve artma eğiliminde bulunmuştur.

- Yıldız yaşlarına göre değerlendirildiğinde aynı metal bolluğu aralığı içerisinde yıldız yaşının artması sonucunda U, V ve W uzay hızı bileşenlerinin, sırasıyla, azalma, azalma ve artma eğilimi olduğu görülmüştür. Öte yandan aynı yıldız yaşı içerisinde metal bolluğunun değişimiyle yıldız örneklerinin U ve V uzay hızları azalma eğilimi gösterseler de W uzay hız bileşeni için genel bir değişim dikkati çekmemiştir.

- Yıldızların yörünge parametreleri dikkate alındığında ana sınırlandırma z_{max} üzerine yapılmıştır. $z_{max} \leq 100$ pc ve $z_{max} \leq 500$ pc alt-örnekleri değerlendirildiğinde aynı yaş

içerisinde yörünge basıklığının artması beraberinde *U, V* ve *W* uzay hızı bileşenlerinde, artma, azalma ve azalma olarak görülmüştür. Öte yandan aynı yörünge basıklık aralığında beraberinde *U* ve *W* uzay hızı bileşenlerinde bir artma görülürken *V* hızında belirgin bir davranış yoktur. Yıldızların yaşı dikkate alındığında aynı uzaklık içerisinde uzay hızı bileşenlerine bakıldığında, *V* uzay hız bileşeni her ne kadar düşme özelliği gösterse de *W* bileşeni artmaktadır. Öte yandan, artan sabit yaş içerisinde kalan yıldızların uzay hızları incelendiğinde z_{max} arttıkça yıldızların *U* uzay hız ve *W* uzay hızların da artmaktadır.

- Yıldızlar tayf türlerine göre ayrılıp ardından bu yıldızların yaş ve yörünge basıklıklarına göre incelendiğinde 1 Gyıl yaşındaki yıldız örneklerinin istatistiksel olarak sayıca az olduğu görülmüştür. Uzay hızı bileşenleri arasında F tayf türünden K tayf türüne doğru gidildikçe yalnızca *W* uzay hızının artma eğiliminde olduğu görülmüştür. 1 Gyıl yaşındaki yıldız alt-örneklerinin F tayf türündenden K tayf türüne artan yörünge basıklığı *U* hızlarının azalmasına, F tayf türünden G' tayf türüne *V* ve *W* uzay hızlarının azaldıkları ama G tayf türünden K tayf türüne doğru doğru da arttıkları görülmüştür. Bununla beraber, tayf türü sınıflarında 1 Gyıl yaşındaki alt-örneklerde bulunan yıldız sayısının istatistiksel olarak anlamlı olmadığı da dikkati çekmektedir. Benzer şekilde, 5 Gyıl yaşından daha küçük alt-örneklerden yıldızların üç uzay hızı bileşeninin de F tayf türünden G' tayf türüne doğru azalma ve ama G tayf türünden K tayf türüne doğru da artma eğilimleri dikkati çekmiştir.
- Bütün alt-örnekler incelendiğinde uzaklık, kimyasal bolluk, yörünge parametreleri ve tayf türü sabitmiş kabul edilip kendi içerisinde yörünge basıklık ve yaş parametrelerine sınırlama uygulandığında ve değişim ortaya konduğunda genel olarak *V* uzay hızının genelinde bir azalma eğiliminde olduğu görülmüştür.

Yörünge basıklığına göre sınırlandırılan örneklerin LSR değerleri her ne kadar Tablo 4.3'te listelenmiş olsa da Tablo 5.1'de yalnızca $e \leq 0.1$ sınırlaması yapılan alt-örneklerin LSR hesaplamaları ve standart hataları sıralanmıştır. Bu tablodan uzay hız bileşenlerinin $-11.55 < U_{\odot}$ (km/sn) < -12.40, $-13.51 < V_{\odot}$ (km/sn) < -14.57 ve $-6.51 < W_{\odot}$ (km/sn) $< +7.25$ aralıklarında değişiği görülmüştür. Bu durumda hız bileşenleri, sırasıyla, 0.45, 1.06 ve 0.64 km/sn değişmiştir. Çalışmada Güneş için LSR örneğini temsil eden en iyi sınırlamalar ve bu sınırlamalardan elde edilen sonuçlar bu tabloda verilen değerlerdir. Bu değerler literatür çalışmalarıyla uyum içerisinde bulunmuştur.

Tablo 5.1: Uzaklık (*d*), kimya ([α/Fe]) ve yörünge (z_{max}) sınırlamalarına göre oluşturulan anakol alt-örneklerinin $0 < e \leq 0.1$ aralığındaki yıldızlardan tayin edilen LSR değerleri.

Sınırlamalar	***e* aralığı**	***N***	$U_{LSR,\odot}$ (km/sn)	$V_{LSR,\odot}$ (km/sn)	$W_{LSR,\odot}$ (km/sn)
$d \leq 100$ pc	$e \leq 0.1$	268	11.58±0.054	14.57±0.039	6.51±0.063
$d \leq 500$ pc	$e \leq 0.1$	20,775	12.28±0.001	13.51±0.001	7.25±0.001
$0 <$ [α/Fe] (dex) ≤ 0.15	$e \leq 0.1$	17,397	11.55±0.001	13.49±0.001	7.24±0.001
[α/Fe] (dex) ≤ 0	$e \leq 0.1$	12,623	12.90±0.001	14.13±0.001	7.05±0.001
$z_{max} \leq 100$ pc	$e \leq 0.1$	2,230	13.22±0.006	14.24±0.004	7.20±0.001
$z_{max} \leq 500$ pc	$e \leq 0.1$	27,556	12.43±0.001	13.93±0.001	6.78±0.001

Ayrıca, LSR tayininin her yaş grubundan nesneler (açık yıldız kümeleri, O-K tayf türüne kadar anakol yıldızları, disk yıldızları, sefeit değişenleri) kullanılarak gerçekleştirildiği görülmektedir. Bununla beraber genç olan yıldız popülasyonlarından tayin edilen LSR değerleri daha doğru bulunmaktadır. çünkü genç yıldızların kinematik özellikleri henüz dev molekül bulutları, spiral kollar ve Galaktik çubuk gibi dış kaynaklı çekimsel pertürbasyonlardan çok fazla etkilenmemiştir.

Bu yüksek lisans tez çalışmasında anakol olarak belirlenen yıldızlar önce hiçbir sınır koymaksızın daha sonra ise uzaklık, kimya, yörünge ve tayf türüne bağlı olarak sınırlandığından söz konusu literatür tablosuyla çeşitli açıdan eşleştirilebilir. Bu eşleştirmeler yıldızların anakol, ince disk/disk ya da F, G ve K tayf türlerinden olması gibi koşullara göre gruplanmıştır. Böylelikle bulgular ve literatür gruplanarak daha kolay bir şekilde karşılaştırılabilecektir. Ayrıca, Tablo 5.2'de sıralanan çoğu çalışmada araştırmacıların analiz ettikleri veri kaynakları *açıklama* sütununda belirtilmiştir.

Tablo 5.2: Literatürde LSR tayini yapılmış çalışmaların listesi. Kolonlar soldan sağa doğru sırayla yazarlar, *U*, *V* ve *W* uzay hızı bileşenleri ile hataları, kaynak sayısı, nesne türü, açıklama ve çalışmanın bibliyografik kodunu göstermektedir.

Yazarlar	$U_{LSR,\odot}$ (km/sn)	$W_{LSR,\odot}$ (km/sn)	$V_{LSR,\odot}$ (km/sn)	Kaynak Sayısı	Açıklama	Bibliyografik Kod
Bobylev ve Bajkova (2022a)	9.63±0.27	9.93±0.34	7.45±0.10	13,000	O-B anakol yıldızları; *Gaia* EDR3, LAMOST	2022AstL…48..243B
Bobylev ve Bajkova (2022b)	7.21±0.13	7.46±0.20	8.52±0.10	9,750	O-B2 yıldızları; *Gaia* EDR3	2022ARep...66..269B
Bobylev ve diğ. (2021)	10.10±0.50	13.60±0.60	7.00±0.40	788	Sefeit; *Gaia* DR2	2021MNRAS.502.4377B
Bobylev ve Bajkova (2020)	7.18±0.16	10.02±0.25	7.73±0.12	4,564	Genç, orta ve düşük kütleli yıldızlar; *Gaia* DR2	2020ARep...64.1042B
Krisanova ve diğ. (2020)	10.69±0.14	14.49±0.24	7.67±0.11	25,508	YSOlar; *Gaia* DR2, AllWISE; z<200pc	2020AstL...46..370K
Ding ve diğ. (2019)	8.16±0.48	11.19±0.56	8.55±0.48	295,293	Anakol; *Gaia* DR2	2019AJ....158..247D
Bobylev ve Bajkova (2019a)	6.79±0.19	9.49±0.33	7.58±0.15		Sıcak alt cüce yıldızlae	2019AstL...45..580B
Bobylev ve Bajkova (2019b)	6.53±0.24	7.27±0.31	-	6,000	O-B anakol yıldızları; *Gaia* DR2	2019AstL...45..331B
Bobylev ve Bajkova (2019c)	8.53±0.38	11.22±0.46	7.83±0.32	1,052 (μ), 853 (γ)	OSCler; *Gaia* DR2	2019AstL...45..280B
Rowell ve Kılıç (2019)	9.50±1.20	7.50±1.20	8.2±1.20		Beyaz cüceler; *Gaia* DR2	2019MNRAS.484.3544R
Bobylev ve Bajkova (2018)	8.16±0.48	11.19±0.56	8.55±0.48	495	O-B anakol yıldızları	2018AL...44…675
Rastorguev ve diğ. (2017)	11.10±1.30	18.30±1.20	8.80±1.10	136	Maser; VLBI	2017AstBu..72..122R
Bobylev (2017)	7.90±0.65	11.73±0.77	7.39±0.62	239	Sefeit	2017AstL…43…152B
Bobylev ve Bajkova (2015)	6.00±0.50	10.60±0.80	6.50±0.30	324	O-B2.5 anakol yıldızları, mazerler, genç ve orta yaşlı sefeitler	2015BaltA..24...51B
Tian ve diğ. (2015)	9.58±2.39	10.52±1.96	7.01±1.67	209,316	F, G ve K anakol yıldızları; LAMOST; $100 < \|Z\| < 500$ pc, $7 < R_{gc} < 9$ kpc	2015ApJ...809..145T
Huang ve diğ. (2015)	7.01±0.20	10.13±0.12	4.95±0.09	94,332	F, G ve K anakol yıldızları; 600 pc, LAMOST-LSS-GAC	2015MNRAS.449..162H
Sharma ve diğ. (2014)	10.96(+0.14,-0.13)	7.53(+0.16,-0.16)	7.54(+0.1,-0.1)	280,000	Disk, F ve G V; RAVE ve GCS	2014ApJ...793...51S
Reid ve diğ. (2014)	9.90±3.00	14.60±5.00	9.30±1.00	18	Maser; VLBI	2014ApJ...783..130R
Bobylev ve Bajkova (2014)	6.00±0.50	10.60±0.80	6.50±0.30	>200	O-B2.5 V mazerler, genç ve orta yaşlı sefeitler; VLBI	2014MNRAS.441..142B
Francis ve Anderson (2014)	14.10±1.10	14.60±0.40	6.90±0.10	26,103	TN disk; XHIP; 300 pc	2014CeMDA.118..399F
Golubov ve diğ. (2013)	8.74±0.13	3.06±0.68	7.57±0.07	63,978	anakol; RAVE	2013A&A...557A..92G
Francis ve Anderson (2012)	14.20±1.00	14.50±1.00	7.10±0.10	23,075	Disk; 2MASS	2012MNRAS.422.1283F
Bovy ve diğ. (2012b)	10.00±1.00	26.00±3.00	-	3,365	RGB, RC; APOFEE	2012ApJ...759..131B
Coşkunoğlu ve diğ. (2011)	8.83±0.24	14.19±0.34	6.57±0.21	20,453	F, G ve K V ; RAVE DR2	2011MNRAS.412.1237C
Bobylev ve Bajkova (2010)	5.50±2.20	11.00±1.70	8.50±1.20	28	Maser	2010MNRAS.408.1788B
Breddels ve diğ. (2010)	12.00±0.60	20.40±0.50	7.80±0.30	3,243	Anakol; r< 500 pc, $\|z\| < 300$ pc	2010A&A…511…A90B

Tablo 5.2. (devam) Literatürde LSR tayini yapılmış çalışmaların listesi. Kolonlar soldan sağa doğru sırayla yazarlar, *U, V* ve *W* uzay hızı bileşenleri ile hataları, kaynak sayısı, nesne türü, açıklama ve çalışmanın bibliyografik kodunu göstermektedir.

Yazarlar	$U_{LSR,\odot}$ (km/sn)	$V_{LSR,\odot}$ (km/sn)	$W_{LSR,\odot}$ (km/sn)	Kaynak Sayısı	Açıklama	Bibliyografik Kod
Schönrich, Binney, ve Dehnen (2010)	11.10±0.72	12.24±0.47	7.25±0.36	15,000	Anakol; Hipparcos, Güneş komşuluğu	2010MNRAS.403.1829S
Aumer ve Binney (2009)	9.96±0.33	5.25±0.54	7.07±0.34	15,113	Anakol, Hipparcos ve GCS	2009MNRAS.397.1286A
Reid ve diğ. (2009)	9	20	10	18	Maser; VLBI	2009ApJ...700..137R
Francis veAnderson (2009)	7.50±1.0	13.50±0.30	6.80±0.10	20,574	Karma; 300 pc	2009NewA...14..615F
Koval ve diğ. (2009)	5.10±0.4	7.90±0.50	7.70±0.20	1,853	TN disk; GCS; 7.7<Rm<8.4 kpc	2009ARep...53.1117K
Zhu (2009)	11.70±0.6	13.30±0.50	8.10±0.60	300	Açık küme; r<3 kpc	2009RAA.....9.1285Z
Veltz ve diğ. (2008)	8.50±0.3	-	11.10±1.00	-	G ve K Karma	2008A&A…480..753V
Bobylev ve Bajkova (2007)	8.70±0.5	6.20±2.20	7.20±0.80	14,000	F ve G V; 200 pc	2007ARep…51…372B
Bobylev ve diğ. (2006)	10.20±0.4	10.90±0.40	6.60±0.40	9,468	A0-A5 III; Güneş komşuluğu	2006A&AT…25…143B
Piskunov ve diğ. (2006)	9.44±1.14	11.90±0.72	7.20±0.42	-	Açık küme; Gould Belt	2006A&A…445…545P
Bobylev (2006)	9.26±0.72	15.93±0.72	6.96±0.60	696	Açık küme; Gould Belt	2006AstL…32…816B
Hogg ve diğ. (2005)	10.10±0.5	4.00±0.80	6.70±0.20	11,865	-	2005ApJ…629…268
Zabolotskikh ve diğ. (2002)	6.50±1.8	12.10±1.70	7.20±1.20	89OSC, 103 süperdev,	Sefeit ve OSCler	2002AstL…28…454
Fehrenbach ve diğ. (2001)	9.79±0.50	13.20±0.50	3.25±0.90	6,965	Karma; Güneş komşuluğu; <d>=46pc	2001A&A…369..65F
Fehrenbach ve diğ. (2001)	8.24±0.60	11.58±0.60	5.97±1.10	6,965	Karma; Güneş komşuluğu; <d>=195pc	2001A&A…369..65F
Mel'nik ve diğ. (2001)	7.50±1.90	11.20±1.30	-	70	O-B anakol yıldızları	2001AstL…27…521
Mignard (2000)	11	10.87	7.23	10,197	A0-F5 V; 100-2 kpc	2000A&A…354..522M
Mignard (2000)	9.88	14.19	7.76	6,246	K0-K5 V; 100-2 kpc	2000A&A…354..522M
Miyamoto ve Zhu (1998)	10.62±0.49	16.06±1.14	8.60±1.02	159	Sefeit; 0.1 <= r <= 3kpc, |z|<=0.35kpc	1998AJ…115..1483M
Dehnen ve Binney (1998)	10.00±0.36	5.23±0.62	7.17±0.38	12,000	Anakol; 100 pc	1998MNRAS…298..387B
Binney ve diğ. (1997)	11.00±0.60	5.30±1.70	7.00±0.60	5,610	Anakol; 80 pc	1997ESASP…402..473B
Metzger ve Schechter (1994)	6.60±1.70	-9.00±1.00	-	216	Fuenmayor karbon yıldızı	1994ApJ...420..177M
Mihalas ve Binney (1981)	9.20±0.30	12	6.90±0.20	-	-	1981gask.book…M
Mayor (1974)	10.30±1.00	6.30±0.90	5.90±0.40	1,010	A ve F V	1974A&A…32..321M
Homann (1886)	17.40±11.20	16.9±10.9	3.60±2.30	-	Güneş komşuluğu	1886AN..114..25H

LSR tayininde disk yıldızlarını kullanan LSR çalışmaları güncelden geçmişe doğru şunlardır: Francis ve Anderson (2014, 2012), Fehrenbach ve diğ. (2001) ve Hooman (1886). Burada disk yıldızlarından kasıt kaynakların tayf türü ve ışıma gücü sınıfından bağımsız olarak ya da ince disk-kalın disk ayrımı yapılmaksızın diskteki yıldızlardan oluşudur. Buna göre yapılan çalışmalarda $8.24 < U$ (km/sn) < 17.40, $11.50 < V$ (km/sn) < 16.90 ve $3.25 < W$ (km/s) < 7.10 aralığında değişmektedir. Yüksek lisans tez çalışması kapsamında tüm örnekten (93,357 yıldız) ve genel sınırlamalar kapsamında belirtilen çoğu sınırlamayla hesaplanan Güneş LSR değerleri benzer aralıklarda tespit edilmiştir. Özellikle *U* hızları tam olarak verilen aralıklara uysa da, *W* hız bileşeni değerleri yer yer üst limitin bir miktar dışında olacak şekilde tayin edilmiştir. Bununla beraber *V* hızı yapılan analizlerin %36'sında 16.9 km/sn'lik sınırın üzerinde bulunmuştur. Bu üst sınırı aşan örnekler incelendiğinde bunların farklı popülasyondan dolayısıyla farklı yaş ve kinematikten yıldızlarca kirletilmiş örnekler oldukları tespit edilmiştir. Farklı popülasyon etkilerini azaltan sınırlamalar getirilince LSR değerleri aralıklarla uyumlu hale gelmektedirler.

LSR tayininde anakol yıldızlarını kullanan çalışmalar güncelden geçmişe doğru şunlardır: Golubov ve diğ. (2013), Breddels ve diğ. (2010), Schönrich, Binney ve Dehnen (2010), Aumer ve diğ. (2009), Binney ve diğ. (1997) ve Metzger ve Schechter (1994). Burada karma tayf türlerindeki anakol örneklerinin karışımları söz konusudur. Yapılan çalışmalarda $5.23 < U$ (km/sn) < 12, $3.06 < V$ (km/sn) < 20.4 ve $7 < W$ (km/sn) < 7.8 aralığında değişmektedir. Buna göre çalışmada anakol yıldızları üzerine konulan tüm sınırlamalar dikkate alındığında *V* hız bileşeni tüm alt-örneklerde literatür anakol *V* hızlarıyla uyumlu sonuçlar vermiştir. *U* hız bileşeninde genel bir uyum söz konusu olsa da yer yer yıldız sayısından etkilenerek özellikle üst sınırın ötesine geçmiştir. Benzer dalgalanma yıldız sayısı etkisiyle *W* hız bileşeninde de görülmüştür.

LSR tayininde F, G ve K tayf türünden yıldızlar kullanan çalışmalar güncelden geçmişe doğru şunlardır: Tian ve diğ. (2015), Huang ve diğ. (2015), Sharma ve diğ. (2014), Coşkunoğlu ve diğ. (2011), Veltz ve diğ. (2008), Bobylev ve Bajkova (2007), Mignard (2000), Mayor (1974). Buna göre yapılan çalışmalarda $7.01 < U$ (km/sn) < 10.96, $6.2 < V$ (km/sn) < 14.6 ve $4.95 < W$ (km/sn) < 11.1 aralığında değişmektedir. Bu değerler tez çalışmasında F, G ve K tayf türü yıldızlar için hesaplananlarla kıyaslandığında F ve G tayf türü yıldızlarda *U* hızı üst limitin üzerinde değerler vermiştir. *V* hızları tüm tayf türü aralıklarında uyumsuzdur. Yalnızca

W hız bileşenine ait değerler aralıkta olup 7.32 ile 7.83 arasındadırlar. Çalışmada F, G ve K tayf türü yıldızların yaşlarına sınırlamalar getirildiğinde özellikle 1 Gyıl ve daha küçük yaştaki yıldız sayılarının azlığı çalışmanın bu açıdan sağlıklı yapılmasına engel olmuştur. Öte yandan 5 Gyıl ve daha küçük yaşlı yıldızların olduğu örneklere bakıldığında tüm hız bileşenleri literatürle uyumsuz bulunmuştur.

Burada gruplanan kaynaklar dışında en çok öne çıkan çalışmalar O-B tayf türü yıldızlarla yapılan LSR çalışmalarıdır (bkz. en güncel Bobylev ve Bajkova (2014-2022)). Erken tayf türü anakol yıldızları ya da açık yıldız kümeleri gibi gök cisimleri Galaktik pertürbasyon kaynaklarının çekimsel etkilerinden daha az etkilenirler çünkü bunlar yaşça oldukça genç cisimlerdir.

Genel olarak, LSR tayininde yaş parametresine getirilen sınırlamaların *U*, yıldız yörüngesinin Galaktik düzleme göre ulaşabileceği en dik uzaklık parametresinin *W* ve yıldız yörüngesinin Galaktik düzleme paralel doğrultudaki basıklığı parametresinin *V* hız bileşenini etkilediği tespit edilmiştir. Yıldız yaşlarının tayininde meydana gelen belirsizlikler aslında en belirleyici büyüklük olarak yıldız yaşının popülasyon seçiminde etkisiz kalmasına yol açmaktadır. Yıldız yörüngelerinin hesaplandığı astrometrik ve tayfsal parametrelerin son derece duyarlı oluşu yalnızca hesaplamalarda kullanılan Galaktik bileşenleri temsil eden potansiyel fonksiyonlarının yapısından gelebilecek sistematik hataları içermektedir. Bununla beraber gözlemsel parametrelerin duyarlılığı genel bir resim elde edilmesinde büyük bir engel teşkil etmemektedir. Bu nedenle LSR gibi Galaktik yapı ve evrim çalışmalarının anlaşılmasında kritik öneme sahip konular söz konusu olduğunda yıldızların yörünge parametrelerinden *e* ve z_{max} çok önemli, belirleyici büyüklüklerdir. Gelecek çalışmalarda özellikle yörünge basıklığı parametresi üzerine gidilerek *V* hızlarını tayin etmek daha verimli sonuçlar verecektir.

Bu yüksek lisans tez çalışmasında Gaia uydusunun sağladığı şimdiye kadar ki en yüksek duyarlılığa sahip astrometri verilerini ve yüksek çözünürlüklü, yüksek sinyal-gürültü oranlı GALAH tayfsal gökyüzü tarama verilerini kullanarak seçilen 93,357 anakol yıldızının konum, yaş, kimya ve yörünge özelliklerini kullanarak yerel durağanlık standardının farklı koşullar altındaki değişimleri incelenmiştir. Literatür çalışmalarıyla kıyaslandığında LSR tayini tez çalışmasındaki kadar detaylı incelenmediği görülmüştür. Bu özellikleri tez çalışmasını son derece özgün kılmaktadır.

KAYNAKLAR

Aumer, M., Binney, J. J., 2009, Kinematics and History of the Solar Neighbourhood Revisited, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 397, 1286-1301.

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

Bartasiute, S., 1995, The Transition from Disk to Halo as Seen from the Correlations Between Kinematics and Metallicity, Stellar Populations Proceedings of the 164th Symposium of the International Astronomical Union, held in the Hague, the Netherlands, August 15 - 19, 1994, 391.

Bensby, T., Alves-Brito, A., Oey, M. S., Yong, D., Meléndez, J., 2010, The First Chemical Abundance Analysis of K Giants in the Inner Galactic Disc, Astronomy and Astrophysics, 516, 4.

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

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., Tunçel 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, 16.

Binney, J. J., Dehnen, W., Houk, N. , Murray, C. A., Penston, M. J., 1997, The Kinematics of Main Sequence Stars from HIPPARCOS Data, Proceedings of the ESA Symposium `Hipparcos - Venice '97', 13-16 May, Venice, Italy, ESA SP-402 (July 1997), 473-478.

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

Bobylev, V. V., Bajkova, A. T., Gontcharov, G. A., 2006, Investigation of the Negative K Effect Using the Orion Spiral Arm Catalogue, Astronomical and Astrophysical Transactions, 25, 143-144.

Bland-Hawthorn, J., Gerhard, O., 2016, The Galaxy in Context: Structural, Kinematic and Integrated Properties, Annual Reviews on Astronomy and Astrophysics, 54, 529-596.

Bobylev, V. V., 2006, Kinematics of the Gould Belt Based on Open Clusters, Astronomy Letters, 32, 816-826.

Bobylev, V. V., 2017, Kinematics of the Galaxy from Cepheids with Proper Motions from the *Gaia* DR1 Catalogue, Astronomy Letters, 43, 152-158.

Bobylev, V. V., Bajkova, A. T., 2007, Analysis of the Velocity Field of F and G Dwarfs in the Solar Neighborhood as a Function of Age, Astronomy Reports, 51, 372-381.

Bobylev, V. V., Bajkova, A. T., 2010, Galactic Parameters from Masers with Trigonometric Parallaxes, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 408, 1788-1795.

Bobylev, V. V., Bajkova, A. T., 2014, T he Local Standard of Rest from Data on Young Objects with Account for the Galactic Spiral Density Wave, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 441, 142-149.

Bobylev, V. V., Bajkova, A. T., 2015, A New Estimate of the Local Standard of Rest from Data on Young Objects, Baltic Astronomy, 24, 51-61.

Bobylev, V. V., Bajkova, A. T., 2018, Kinematics of the Galaxy from OB Stars with Data from the *Gaia* DR2 Catalogue, Astronomy Letters, 44, 676-687.

Bobylev, V. V., Bajkova, A. T., 2019a, Kinematics of Hot Subdwarfs from the *Gaia* DR2 Catalogue, Astronomy Letters, 45, 580-592.

Bobylev, V. V., Bajkova, A. T., 2019b, Galactic Rotation Based on OB Stars from the *Gaia* DR2 Catalogue, Astronomy Letters, 45, 331-340.

Bobylev, V. V., Bajkova, A. T., 2019c Kinematic Properties of Open Star Clusters with Data from the *Gaia* DR2 Catalogue, Astronomy Letters, 45, 208-216.

Bobylev, V. V., Bajkova, A. T., 2020, Kinematic Properties of Young Intermediate- and Low-Mass Stars from the *Gaia* DR2 Catalogue, Astronomy Reports, 64, 1042-1049.

Bobylev, V. V., Bajkova, A. T., Rastorguev, A. S., Zabolotskikh, M. V., 2021, Analysis of Galaxy Kinematics based on Cepheids from the *Gaia* DR2 Catalogue, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 502, 4377-4391.

Bobylev, V. V., Bajkova, A. T., Karelin, G. M., 2022a, Kinematics of OB Stars with Data from the LAMOST and *Gaia* Catalogues, Astronomy Letters, 48, 243-255.

Bobylev, V. V., Bajkova, A. T., 2022b, Galaxy Rotation Parameters from OB2 Stars with Proper Motions and Parallaxes from the *Gaia* EDR3 Catalog, Astronomy Reports, 66, 269-277.

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

Bovy, J., Tremaine, S., 2012a, On the Local Dark Matter Density, The Astrophysical Journal, 756, article id. 89, 6.

Bovy, J. , Allende Prieto, C., Beers, T. C., ve diğ., 2012b, The Milky Way's Circular-Velocity Curve between 4 and 14 kpc from APOGEE Data, The Astrophysical Journal, 759, article id. 131, 20.

Bovy, J., Rix, H. W., Liu, C., ve diğ., 2012c, The Spatial Structure of Mono-abundance Sub-populations of the Milky Way Disk, Astrophysical Journal, 753, 148.

Bovy, J., Rix, H., 2013, A Direct Dynamical Measurement of the Milky Way's Disk Surface Density Profile, Disk Scale Length, and Dark Matter Profile at 4 kpc < R < 9 kpc, The Astrophysical Journal, 779, article id. 115, 30.

Breddels, M. A., Smith, M. C., Helmi, A., ve diğ., 2010, Distance Determination for RAVE Stars Using Stellar Models, Astronomy and Astrophysics, 511, id.A90, 16.

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.

Camargo, D., Bonatto, C., Bica, E., 2015, Tracing the Galactic Spiral Structure with Embedded Clusters, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 450, 4150-4160.

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

Chiba, M., Beers, T. C., 2000, Kinematics of Metal-poor Stars in the Galaxy. III. Formation of the Stellar Halo and Thick Disk as Revealed from a Large Sample of Non-kinematically Selected Stars, The Astronomical Journal, 119, 2843-2865.

Clemens, D. P., 1985, Massachusetts-Stony Brook Galactic Plane CO Survey-The Galactic Disk Rotation Curve, Astrophysical Journal, 295, 422-428.

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.

Cutri, R. M., Skrutskie, M. F., van Dyk, S., ve diğ., 2003, VizieR Online Data Catalog: 2MASS All-Sky Catalog of Point Sources, VizieR On-line Data Catalog: II/246.

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.

Dehnen, W., Binney, J. J., 1998, Local Stellar Kinematics from HIPPARCOS Data, Monthly Notices of Royal Astronomical Society, 298, 387.

Ding, P. -J., Zhu, Z., Liu, J. -C., 2019, Solar Neighborhood Kinematics from *Gaia* -LAMOST Dwarf Stars, The Astronomical Journal, 158, article id. 247, 10.

Edvardsson, B., Andersen, J., Gustafsson, B., Lambert, D. L., Nissen, P. E., Tomkin, J., 1993, The Chemical Evolution of the Galactic Disk -Part One- Analysis and Results, Astronomy and Astrophysics, 275, 101.

Eker, Z., Soydugan, F., Bilir, S., ve diğ., 2020, Empirical Bolometric Correction Coefficients for Nearby Main-Sequence Stars in the *Gaia* Era, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 496, 3887-3905.

Fehrenbach, Ch., Duflot, M., Burnage, R., 2001, New Determination of the Solar Apex, Astronomy and Astrophysics, 369, 65-73.

Francis, C., Anderson, E., 2009, Calculation of the Local Standard of Rest from 20 574 Local Stars in the New Hipparcos Reduction with Known Radial Velocities, New Astronomy, 14, 615-629.

Francis, C., Anderson, E., 2012, Evidence of a Bisymmetric Spiral in the Milky Way, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 422, 1283-1293.

Francis, C., Anderson, E., 2014, The Local Standard of Rest and the Well in the Velocity Distribution, Celestial Mechanics and Dynamical Astronomy, 118, 399-413.

Fuhrmann, K., 1998, Nearby Stars of the Galactic Disk and Halo, Astronomy and Astrophysics, 338, 161.

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

Gaia İşbirliği, 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.

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., Norris, J. E., 2002, Deciphering the Last Major Invasion of the Milky Way, The Astrophysical Journal, 574, L39-L42.

Golubov, O., Just, A., Bienaymé, O., ve diğ., 2013, The Asymmetric Drift, the Local Standard of Rest, and Implications from RAVE Data, Astronomy and Astrophysics, 557, id.A92,11.

Hawkins, K., Jofre, P., Masseron, T., Gilmore, G., 2015, Using Chemical Tagging to Redefine the Interface of the Galactic Disk and Halo, Monthly Notices of Royal Astronomical Society, 453, 758-774.

Hogg, D. W., Blanton, M. R., Roweis, S. T., Johnston, K. V., 2005, Modeling Complete Distributions with Incomplete Observations: The Velocity Ellipsoid from Hipparcos Data, The Astrophysical Journal, 629, 268-275.

Holmberg, J., Flynn, C., 2000, The Local Density of Matter Mapped by Hipparcos, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 313, 209-216.

Homann, H., 1886, Bestimmung der Bewegung des Sonnensystems durch Spectral-Messungen, Astronomische Nachrichten, 114, 25.

Huang, Y., Liu, X. -W., Yuan, H. -B., Xiang, M. -S., Huo, Z. -Y., Chen, B. -Q., Zhang, Y., Hou, Y. -H., 2015, Determination of the Local Standard of Rest Using the LSS-GAC DR1, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 449, 162-174.

Johnson, D. R. H., Soderblom, D. R., 1987, Calculating Galactic Space Velocities and Their Uncertainties, with an Application to the Ursa Major Group, Astronomical Journal, 93, 864-867.

Kepner, J. V., 1999, Insideout Galaxy Formation, The Astrophysical Journal, 520, 59-66.

Koval, V. V., Marsakov, V. A., Borkova, T. V., 2009, Evolution of the Velocity Ellipsoids in the Thin Disk of the Galaxy and the Radial Migration of Stars, Astronomy Reports, 53, 1117-1126.

Krisanova, O. I., Bobylev, V. V., Bajkova, A. T., 2020, Galactic Rotation Parameters Based on Stars from Active Star-Forming Regions with Data from the *Gaia* DR2 Catalogue, Astronomy Letters, 46, 370-378.

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

Marshall, D. J., Robin, A. C., Reyle, C., ve diğ., 2006, Modelling the Galactic Interstellar Extinction Distribution in Three Dimensions, Astronomy and Astrophysics, 453, 635.

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.

Mayor, M., 1974, Kinematics and Age of Stars, Astronomy and Astrophysics, 32, 321.

McClure-Griffiths, N. M., Dickey, J. M., 2007, Milky Way Kinematics. I. Measurements at the Subcentral Point of the Fourth Quadrant, The Astrophysical Journal, 671, 427-438.

Mel'nik, A. M., Dambis, A. K., Rastorguev, A. S., 2001, Periodic Pattern in the Residual-Velocity Field of OB Associations, Astronomy Letters, 27, August 2001, 521-533.

Metzger, M.R., Schechter, P. L., 1994, Whither the LSR: Anticenter Carbon Star Velocities, Astrophysical Journal, 420, 177.

Mignard, F., 2000, Local Galactic Kinematics from Hipparcos Proper Motions, Astronomy and Astrophysics, 354, 522-536.

Mihalas, D., Binney, J., 1981, Galactic Astronomy: Structure and Kinematics /2nd Edition/, San Francisco, CA, W. H. Freeman and Co., 608.

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.

Miyamoto, M., Zhu, Z., 1998, Galactic Interior Motions Derived from HIPPARCOS Proper Motions. I. Young Disk Population, The Astronomical Journal,115, 1483-1491.

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

Nissen, P. E., 2003, CNO at the Surface of Low and Intermediate MS stars, CNO in the universe, Proceedings of a conference held in Saint-Luc, Valais, Switzerland, 10-14 September 2002. Edited by C. Charbonnel, D. Schaerer, and G. Meynet. ASP Conference Series, 304. Astronomical Society of the Pacific, 60.

Nissen, P. E., Schuster, W. J., 2010, Two Distinct Halo Populations in the Solar Neighborhood. Evidence from Stellar Abundance Ratios and Kinematics, Astronomy and Astrophysics, 511, id.L10, 9.

Önal Taş, Ö., Bilir, S., Seabroke, G., ve diğ., 2016, Local Stellar Kinematics with RAVE Data VII: Metallicity Gradients from Red Clump Stars, Publications of the Astronomical Society of Australia, 33, id.e044, 20.

Önal Taş, Ö., Bilir, S., Plevne, O., 2018, Local Stellar Kinematics with RAVE Data VIII. Effects of the Galactic Disc Perturbations on Stellar Orbits of Red Clump Stars, Astrophysics and Space Science, 363, article id. 35, 17.

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

Piffl, T., Binney, J., McMillan, P. J., ve diğ., 2014, Constraining the Galaxy's Dark Halo with RAVE Stars, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 445, 3133-3151.

Piskunov, A. E., Kharchenko, N. V., Röser, S., Schilbach, E., Scholz, R. -D., 2006, Revisiting the Population of Galactic Open Clusters, Astronomy and Astrophysics, 445, 2, January II 2006, 54-565.

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

Plevne, O., Önal Taş, 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.

Rastorguev, A. S., Utkin, N. D., Zabolotskikh, M. V., Dambis, A. K., Bajkova, A. T., Bobylev, V. V., 2017, Galactic Masers: Kinematics, Spiral Structure and the Disk Dynamic State, Astrophysical Bulletin, 72, 122-140.

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., Zheng, ve diğ., 2009, Trigonometric Parallaxes of Massive Star-Forming Regions. VI. Galactic Structure, Fundamental Parameters, and Noncircular Motions, The Astrophysical Journal, 700, 137-148.

Reid, M. J., Menten, K. M., Brunthaler, A., ve diğ., 2014, Trigonometric Parallaxes of High Mass Star Forming Regions: The Structure and Kinematics of the Milky Way, The Astrophysical Journal, 783, article id. 130, 14.

Rowell, N., Kılıç, M., 2019, The Kinematics of Galactic Disc White Dwarfs in *Gaia* DR2, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 484, 3544-3551.

Ruchti, G. R., 2010, Origins of the Thick Disk of the Milky Way Galaxy as Traced by the Elemental Abundances of Metal-Poor Stars, ProQuest Dissertations and Theses; Thesis (Ph.D.)--The Johns Hopkins University, Publication Number: AAT 3483371; ISBN: 9781124992440.

Schönrich, R., Binney, J., Dehnen, W., 2010, Local Kinematics and the Local Standard of Rest, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 403, 1829-1833.

Sharma, S., Bland-Hawthorn, J., Binney, J., ve diğ., 2014, Kinematic Modeling of the Milky Way Using the RAVE and GCS Stellar Surveys, The Astrophysical Journal, 793, article id. 51, 27.

Smith, L., Lucas, P. W., Burningham, B., 2014, A 1500 Deg^2 Near Infrared Proper Motion Catalogue from the UKIDSS Large Area Survey, Monthly Notices of Royal Astronomical Society, 437, 3603.

Soubiran, C., Bienayme, O., Siebert, A., 2003, Vertical Distribution of Galactic Disk Stars I. Kinematics and Metallicity, Astronomy and Astrophysics, 398, 141.

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.

Strömberg, G., 1925, The Asymmetry in Stellar Motions as Determined from Radial Velocities, Astrophysical Journal, 61, 363.

Strömberg, G., 1946, The Motions of the Stars Within 20 Parsecs of the Sun, Astrophysical Journal, 104, 12.

Tian, H., Liu, C., Carlin, J. L., ve diğ., 2015, The Stellar Kinematics in the Solar Neighborhood from LAMOST Data, The Astrophysical Journal, 809, id. 145, 17.

Veltz, L. , Bienaymé, O. , Freeman, K. C., ve diğ., 2008, Galactic Kinematics with RAVE data. I. The Distribution of Stars Towards the Galactic Poles, Astronomy and Astrophysics, 480, 2008, 753-765.

Wielen, R., 1977, The Diffusion of Stellar Orbits Derived from the Observed Age-Dependence of the Velocity Dispersion, Astronomy and Astrophysics, 60, 263.

Xue, X. X., Rix, H. W., Zhao, G., ve diğ., 2008, The Milky Way's Circular Velocity Curve to 60 kpc and an Estimate of the Dark Matter Halo Mass from the Kinematics of ~2400 SDSS Blue Horizontal-Branch Stars, The Astrophysical Journal, 684, 2, 1143-1158.

Zabolotskikh, M. V., Rastorguev, A. S., Dambis, A. K., 2002, Kinematic Parameters of Young Subsystems and the Galactic Rotation Curve, Astronomy Letters, 28, 7, July 2000, 454-464.

Zhang, L., Rix, H., van de Ven, G., Bovy, J., Liu, C., Zhao, G., 2013, The Gravitational Potential near the Sun from SEGUE K-dwarf Kinematics, The Astrophysical Journal, 772, article id. 108, 14.

Zhu, Z., 2009, Galactic Kinematics and Structure Defined by Open Clusters, Research in Astronomy and Astrophysics, 9, 1285-1302.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Murat TAŞ
Doğum Yeri	
Doğum Tarihi	
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	2005

Makale ve Bildiriler
Taş, M., Gülseçen, S., Ayvaz Reis, Z., ″Bazı Eğrisel İntegrallerin Görselleştirilmesi″, Future e-learning 2010, 13.05.2010.
Taş, M., Önal, Ö., Saygaç, A. T., "XRO 080109: Şok Kırılması Olayı Mı?" ,XVI. Ulusal Astronomi Kongresi, 345 -350, 07.09.2008.
Taş, M., Önal, Ö., Saygaç, A. T.,"Kataklismik Değişen Yıldızlar: Bağıntıların Dili", İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, Lisans Diploma Tezi, 1 -135, 2005.
Önal, Ö., Taş, M., "Titan: Gizemli Dünya", II. Ulusal Amatör Astronomi Sempozyumu, 01.08.2007.