TÜBİTAK

Samanyolu Galaksisinin Metal Bolluğu Haritası

Program Kodu: 1001

Proje No: 114F347

Proje Yürütücüsü:
Prof. Dr. Serap AK

Araştırmacılar:
Prof. Dr. Selçuk BİLİR
Doç. Dr. Z. Funda BOSTANCI GÜVER

Bursiyerler:
Araş. Gör. Dr. Özgecan ÖNAL TAŞ
Araş. Gör. Talar YONTAN
Sabiha TUNÇEL GÜÇTEKİN
Olcay PLEVNE
Sibel DÖNER

EKİM 2017
İSTANBUL

ÖNSÖZ

Samanyolu Galaksisi'nin farklı gözlemsel veriler kullanılarak incelenmesinin tarihi çok eskilere dayanmamaktadır. Özellikle sığ ve derin gökyüzü tarama programlarının fotometrik ve tayfsal verilerinin bir arada incelenmesi Galaksimizin çözülememiş birçok problemine ışık tutacaktır. Yıldızların atmosfer modeli parametreleri ile kinematik ve yörünge parametrelerinin karşılaştırmalı olarak araştırılması Galaksimizin popülasyon türlerinin ortaya konmasında önemli olduğu gibi, bu bileşenlerin evrim ve oluşumlarının anlaşılmasında metal bolluğu gradyentleri de çok önemlidir.

Projede sığ ve derin, tayfsal ve fotometrik veri tabanları birleştirilerek kullanılmıştır. Bağımsız iki gökyüzü tarama programından elde edilen sonuçlar analiz edilerek, radyal ve Galaktik düzleme dik doğrultudaki metal bolluğu gradyentleri araştırılmıştır. Metal bolluğu gradyentleri, Galaksimizin çökerek veya birleşmeler sonucunda oluştuğunu öneren modellerin sınanmasında önemlidir. F-G tayf türünden anakol yıldızları ile kırmızı yığın (KY) yıldızlarının metal bollukları ve uzaklıklarının belirlenmesi için, yıldızların atmosferik model parametreleri ile bu proje çalışmasında üretilmiş yeni kalibrasyonlar kullanılmıştır. Yıldızların popülasyon analizleri kinematik ve dinamik yöntemler kullanılarak yapılmıştır. Her popülasyonun metal bolluğu değişimleri Galaktik boylamın fonksiyonu olarak analiz edilmiştir. Galaksimize ait en güncel Galaksi modelinin (Galaxia) fotometrik ve kinematik öngörüleri, projemizde elde edilen gözlemsel bulgularla karşılaştırılmıştır. Kalın diskin ayrık bir bileşen olup olmadığına dair tartışmaya güvenilir gözlemsel veriler sağlanması için, Galaktik düzlemden farklı uzaklıklarda bulunan yıldızların Galaktik merkeze ortalama uzaklıkları ile hız dispersiyonları arasındaki ilişkiler araştırılmıştır. Kendi içinde uyumlu veri setleri üzerinden Galaksimizin iki ve üç boyutlu metal bolluğu haritası oluşturularak oluşum ve evrimine dair sonuçlara ulaşılmıştır.

Sonuç olarak, projede fotometrik metal bolluğu kalibrasyonu geliştirilmiş, Samanyolu Galaksisi'nin metal bolluğu haritası oluşturulmuş, metal bolluğunun Galaktik enlem ve boylamla değişimi ve bunun sebepleri araştırılmış, radyal ve dik doğrultulardaki metal bolluğu gradyentleri popülasyon türüne göre araştırılmış ve Galaksinin oluşum senaryolarının öngörüleri sınanmıştır.

Bu çalışma, **Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK)** tarafından 114F347 numaralı proje ile desteklenmiştir.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

TABLO LİSTESİ i
ŞEKİL LİSTESİ iii
ÖZET……. viii
ABSTRACT…….. ix
1. GİRİŞ……..1
2. LİTERATÜR ÖZETİ……..7
3. GEREÇ VE YÖNTEM……..12
3.1 SDSS-III DR12 Veri Seti……12
3.2 RAVE DR4 Veri Seti……13
3.3 Yıldızların Kızarma ve Uzaklıkları……16
3.4 Metal Bolluğu ve Mutlak Parlaklık Kalibrasyonları……25
3.5 Yıldızların Uzay Hızları……..28
3.6 Yıldızların Yörünge Parametreleri……..33
3.7 Yıldızların Popülasyon Türlerine Ayrımı……..35
3.8 Metal Bolluğu Gradyenti……36
3.9 Alan Yıldızları İçinde Galaksi Dışı Nesnelerin ve Dev Yıldızların Ayrımı…….....37
3.10 Galaxia Modeli……39
4. BULGULAR……..44
4.1 Metal Bolluğu ve Mutlak Parlaklık Kalibrasyonlarının Oluşturulması...…….....44
4.2 Metal Bolluğu ve Mutlak Parlaklık Kalibrasyonlarının Alan Yıldızlarına Uygulanması.....53
4.2.1 Galaksi Merkezinden Radyal Doğrultudaki Metal Bolluğu Gradyenti……..……56
4.2.2 Galaktik Düzleme Dik Doğrultudaki Metal Bolluğu Gradiyenti…….....63
4.3 Yıldızların Uzay Hızları……66
4.4 Yıldızların Galaktik Yörünge Parametreleri ve Popülasyon Türleri……....68
4.5 F-G Tayf Türü Anakol Yıldızlarının Metal Bollugu Gradyenti……71
4.5.1 Galaksi Merkezinden Radyal Doğrultudaki Metal Bolluğu Gradyentleri……..……71
4.5.2 Galaktik Düzleme Dik Doğrultudaki Metal Bolluğu Gradyentleri……..72
4.6 Kırmızı Yığın Yıldızlarının Metal Bollugu Gradyenti…….....72
4.6.1 Bugünkü Konumlarına Göre Radyal Doğrultudaki Metal Bolluğu Gradyentleri…….....73

4.6.2 Galaksi Merkezine Ortalama Uzaklıklarına Göre Radyal Doğrultudaki Metal Bolluğu Gradyentleri……75
4.6.3 Yörünge Basıklıklarına Göre Radyal Doğrultudaki Metal Bolluğu Gradyentleri……76
4.6.4 Galaktik Düzleme Dik Doğrultudaki Metal Bolluğu Gradyentleri…....78
4.6.5 Kırmızı Yığın Yıldızlarının Hız Dispersiyonları……80
4.7 Metal Bolluğu Haritası……83
5. TARTIŞMA VE SONUÇ……90
5.1 Metal Bolluğu Gradyentleri……90
5.2. RAVE Yıldızlarından Radyal Metal Bolluğu Gradyentleri……94
5.2.1. Yıldızların Bugünkü Konumlarından……94
5.2.2. Yıldızların Z_{max} Dağılımlarına Göre……95
5.2.3. Yıldızların Z_{max} ve e_p Dağılımlarına Göre……97
5.3. RAVE Yıldızlarının Galaktik Düzleme Dik Doğrultudaki Metal Bolluğu Gradyentleri……98
5.3.1. Yıldızlarının Bugünkü Konumlarından……98
5.3.2. Yıldızlarının Z_{max} Dağılımlarına Göre……99
5.3.3 Yıldızların Z_{max} ve e_p Dağılımlarına Göre……100
5.4. SDSS Yıldızlarından Radyal Metal Bolluğu Gradyentleri……101
5.5. SDSS Yıldızlarından Galaktik Düzleme Dik Doğrultudaki Metal Bolluğu Gradyentleri……102
5.6. SDSS Yıldızlarından Elde Edilen Sonuçların Galaxia Modeliyle Karşılaştırılması……103
5.7. Sonuçların Galaksi Oluşum Modelleriyle Karşılaştırılması……107
KAYNAKLAR……109
EKLER……117

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 3.1 168 yıldızın atmosferik model parametreleri ile fotometrik parametreleri.....23

Tablo 3.2 Kalibrasyonlarda kullanılan 168 yıldızın parametreleri. π yıldızın paralaksını, g_o yıldızın gözlenen görünen parlaklığını, $(M_g)_{org}$ paralakslardan hesaplanan mutlak parlaklığı, $\Delta M_g = (M_g)_{org}$- MHyades arasındaki fark, $(M_g)_{cal}$ hesaplanan mutlak parlaklıkları ve farklar ise, $Mg)_{org}$-$(Mg)_{cal}$ arasındaki farkı göstermektedir 30

Tablo 3.3 Galpy *MWPotential2014* model parametreleri 34

Tablo 4.1 Galaktik boylamı 160o < $l \leq 180°$ olan alt gruptaki yıldızların Güneş'ten uzaklıklarına göre ayrılmış yıldız sayıları, medyan R ve Z değerleri ve Gauss eğrileriyle belirlenen metalbollukları 58

Tablo 4.2 Galaktik düzleme dik doğrultuda hesaplanmış metal bolluğu gradyent değerleri ve hataları 63

Tablo 4.3 Farklı üç Galaktik enlem ve dört Galaktik boylam aralıkları için F-G tayf türü anakol yıldızlarının sayıları, metal bollukları ve metal bolluğu gradyentleri 65

Tablo 4.4 $e_p \leq 0.10$ ve $S/N \geq 40$ koşulunu sağlayan yıldızların farklı Z_{max} değer aralıkları için demir ve metal bolluğu.....71

Tablo 4.5 $|Z|$ uzaklık aralıklarına ayrılmış KY yıldızlarının Galaksi merkezine bugünkü uzaklıklarına göre hesaplanan radyal metal bolluğu gradiyentleri. Burada N, yıldız sayısını, <[Fe/H]> grubun ortalama metal bolluğunu, d[Fe/H]/dR_{gc} radyal metal bolluğu gradiyentini göstermektedir.....74

Tablo 4.6 Z_{max} uzaklık aralıklarına ayrılmış KY yıldızlarının Galaksi merkezine ortalama Uzaklıklarına göre hesaplanan radyal metal bolluğu gradiyentleri. Burada N, yıldız sayısını, <[Fe/H]> grubun ortalama metal bolluğunu, d[Fe/H]/dR_m radyal metal bolluğu gradyentini göstermektedir 75

Tablo 4.7 KY yıldızlarının birikimli ep alt gruplarındaki metal bolluğu gradyentlerinin artan Z_{max} aralıklarına göre değişimi. Burada N, yıldız sayısını, <[Fe/H]> grubun ortalama metal bolluğunu, d[Fe/H]/dR_m metal bolluğu gradyentini göstermektedir 77

Tablo 4.8 47,406 KY yıldızının genel kinematik parametreleri……81

Tablo 4.9 KY yıldızlarına ait uzay hızı dispersiyonları ve toplam uzay hızlarının Z_{max} ile değişimleri……...83

Tablo 5.1 Literatürde son onbeş yıl için nesnelerin bugünkü konumlarından (R_{gc}) hesaplanan radyal metal bolluğu gradyent değerleri. Gradyent, uzaklık ve yaş değerleri, sırasıyla, dex/kpc, kpc ve Gyıl birimlerindedir……91

Tablo 5.2. Literatürde son onbeş yıl için nesnelerin Galaktik yörünge parametrelerine göre Galaksi merkezinden ortalama uzaklıklarından (R_m) hesaplanan metal bolluğu gradyent değerleri. Gradyent, uzaklık ve yaş değerleri, sırasıyla, dex/kpc, kpc ve Gyıl'dır……..…….92

Tablo 5.3. Literatürde son onbeş yıl için nesnelerin Galaksi düzleminden olan bugünkü dik uzaklıklarına göre hesaplanan ($|Z|$) metal bolluğu gradyent değerleri. Gradyent ve uzaklık değerleri, sırasıyla, dex/kpc ve kpc birimlerindedir.....93

Tablo 5.4 Literatürde son onbeş yıl için nesnelerin Galaktik yörünge parametrelerine göre Galaksi düzleminden dik uzaklıkları (Z_{max}) için hesaplanan metal bolluğu gradyent değerleri. Gradyent ve uzaklık değerleri, sırasıyla, dex/kpc ve kpc birimlerindedir…….94

Tablo 5.5 Üç farklı Galaktik enlem ve dört farklı Galaktik boylam aralıklarını ifade eden koordinatlarda 4,500 derece karelik alanlar için hesaplanan (*Galaxia*) F ve G anakol yıldızlarının sayıları, metal bollukları ve metal bolluğu gradyentleri...104

Tablo 5.6 Gözlemsel ve sentetik yıldızlar için hesaplanan metal bolluğu gradyent değerleri ve hataları……..……..……106

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 Galaksimizin bileşenlerinin şematik gösterimi. Resim diske dik doğrultuda bir kesit göstermektedir. Güneş (⊙) Galaksi merkezine ~8.5 kpc uzaklıkta ve Galaktik düzleme yakın bir konumdadır. NGP ve SGP sırasıyla Güneş'ten itibaren kuzey ve güney Galaktik kutup doğrultularıdır (Buser, 2000).....02

Şekil 3.1 RAVE DR4 verilerinden oluşturulan log T_{eff} - log g diyagramı.....15

Şekil 3.2 RAVE DR4 kataloğundan seçilen F-G tayf türü anakol yıldızlarının log T_{eff} - *log g* diyagramı. Kütle yolları (Ekström vd., 2012) şekil içinde sağ üstte verilen kütleler için renkli düz çizgilerle gösterilmiştir. Dikey kesikli çizgiler F-G tayf türü yıldızlar için T_{eff} sınırlarıdır (Cox, 2000). ZAMS *gri* kesikli çizgi ile TAMS ise siyah kesikli çizgi ile gösterilmiştir.....15

Şekil 3.3 RAVE DR4 kataloğundaki 425,561 yıldızın T_{eff} - log g diyagramı. Renkler logaritmik sayı yoğunluğuna göre verilmiştir.....16

Şekil 3.4 KY yıldızlarının yüksek olasılıkla bulunduğu, 4000 < T_{eff} (K) < 5400 ve 1 < log g (cm/s^2) < 3 bölgesinin logaritmik sayı yoğunluğu (log *N; sol panel*) ve metal bolluğuna ([Fe/H]; sağ panel) göre çizilen T_{eff}–log g diyagramları. Kesikli çizgi 1σ'lık, düz çizgi 2σ'lık sınırı göstermektedir.....17

Şekil 3.5 RAVE DR4 kataloğundan seçilen 68,663 KY yıldızının *S*/*N* oranlarının frekans (alt panel) ve birikimli dağılımları (üst panel). *S*/*N* ≥ 40 olan yıldızlar tüm örneğin %76'sını temsil etmektedir.....17

Şekil 3.6 Güneş merkezli dik koordinat sistemi.....20

Şekil 3.7 KY yıldızlarının (*X*, *Y*) ve (*X*, *Z*) düzlemlerindeki dağılımları.....21

Şekil 3.8 168 yıldızın mutlak parlaklık dağılımı.....27

Şekil 3.9 Seçilen yıldızların ekvatoral (a) ve Galaktik (b) koordinatlarındaki dağılımları.....29

Şekil 3.10 Bir yıldızın Galaktik yörüngesi üzerindeki uzay hızı bileşenleri (*U*, *V*, *W*).....29

Şekil 3.11 *MWPotantial2014* potansiyelinin şişkin bölge, disk, halo ve tüm Galaksi için ürettiği dönme eğrisi (Bovy, 2015). *X* ekseni Güneş'in Galaksi merkezinden uzaklığına göre normalize edilmiş uzaklığı, *Y* ekseni de Güneş'in Galaktik rotasyon hızına göre normalize edilmiş Galaksi merkezinden uzaklığa bağlı dairesel hızı gösterir.....33

Şekil 3.12 Galaktik yörünge parametreleri hesaplanmış yıldızların kümülatif dağılımı (üst) ve e_p histogramı (alt).....36

Şekil 3.13 SPS ile aynı yıldız alanında bulunan SDSS yıldızlarının *u*-*g* × *g*-*r* iki-renk (**sol panel**)

ve $r \times P_2$ renk-parlaklık (**sağ panel**) diyagramları. Her iki diyagramda SDSS yıldızları yıldız sayı yoğunluğunun bir fonksiyonu olarak kontür çizgileriyle, SPS'den seçilen ve tayfsal analizleri yapılarak ışıma gücü sınıfları belirlenmiş dev ve anakol yıldızları, sırasıyla, (•) ve (∆) üçgen sembolüyle gösterilmiştir……39

Şekil 4.1 Hyades açık kümesinin iki-renk diyagramı……44

Şekil 4.2 Hyades açık kümesinin anakolda bulunan 45 yıldızının renk-parlaklık diyagramı..45

Şekil 4.3 168 yıldızın $\delta_{0.6}$ morötesi artıklarının [Fe/H] metal bolluğuna göre değişimi. Düz kırmızı çizgi kalibrasyon eğrisini, kesikli mavi çizgiler de kalibrasyonun $\pm 1\sigma$ değerlerini göstermektedir……..….46

Şekil 4.4 168 yıldızın $[Fe/H]_{Hes}$-$[Fe/H]_{Lit}$ karşılaştırılması (**a**) 168 yıldızın $\Delta[Fe/H]$ fark dağılımı (**b**) Kesikli çizgiler $\pm 1\sigma$ standart sapma değerlerini göstermektedir……...47

Şekil 4.5 168 yıldızın $M_V - (B\text{-}V)_0$ renk-parlaklık diyagramı. Mavi artı: -2 < [Fe/H] ≤ -1 dex, gri üçgen: -1 < [Fe/H] ≤ -0.5 dex, mavi daire: -0.5 < [Fe/H] ≤ 0 dex, kırmızı yıldız: 0 < [Fe/H] ≤ +0.5 dex aralıklarındaki yıldızları ve düz çizgi ise Hyades anakolunu göstermektedir……...48

Şekil 4.6 168 yıldızın morötesi artığı-mutlak parlaklık diyagramı. Kırmızı düz çizgi kalibrasyon eğrisini, mavi kesikli çizgiler de kalibrasyona ait $\pm 1\sigma$ değerlerini göstermektedir……...48

Şekil 4.7 168 yıldızın mutlak parlaklıkları ile hesaplanan mutlak parlaklıklarının karşılaştırılması. (**a**) 168 yıldızın mutlak parlaklıkları ile hesaplanan mutlak parlaklıkları arasındaki farklar. (**b**) Mavi kesikli çizgiler $\pm 1\sigma$ standart sapma değerlerini göstermektedir……..…….49

Şekil 4.8 Hyades açık kümesinin iki-renk diyagramı……..…50

Şekil 4.9 Hyades açık kümesinin anakolunda bulunan 45 yıldızının renk-parlaklık diyagramı……..……50

Şekil 4.10 168 kalibrasyon yıldızına ait metal bolluğunun morötesi artığına göre değişimi. Kırmızı düz çizgi kalibrasyon eğrisini, kesikli mavi çizgiler de kalibrasyona ait $\pm 1\sigma$ değerlerini göstermektedir……..…51

Şekil 4.11 (a) 168 kalibrasyon yıldızının $[Fe/H]_{org}$-$[Fe/H]_{cal}$ bağıntısı ve **(b)** bu yıldızların metal bolluğu farklarının dağılımı. Kesikli çizgiler $\pm 1\sigma$ standart sapma değerlerini göstermektedir……52

Şekil 4.12 168 kalibrasyon yıldızının ΔM_g - $\delta_{0.41}(u\text{-}g)$ bağıntısı. Kırmızı eğri kalibrasyonu, mavi kesikli çizgiler $\pm 1\sigma$ standart sapma değerlerini göstermektedir……..……..53

Şekil 4.13 a) 168 kalibrasyon yıldızının mutlak parlaklıkları ile bu çalışmada hesaplanan

mutlak parlaklıkların birebir dağılımı ve **b)** bu mutlak parlaklıklar arasındaki farklar……54

Şekil 4.14 16,281,265 yıldızın sayı yoğunluğuna göre $(g\text{-}r)_0$ - $(r\text{-}i)_0$ iki renk diyagramı. Kırmızı, siyah ve turuncu sürekli çizgiler, sırasıyla, 1, 2 ve 3 standart sapma değerlerini göstermektedir……55

Şekil 4.15 Işıma gücü sınıflarına göre ayırımı yapılan örnekteki yıldızların (**a**) $(u\text{-}g)_0$-$(g\text{-}r)_0$ ve (**b**) $(g\text{-}r)_0$-$(r\text{-}i)_0$ iki renk diyagramları. İki renk diyagramları üzerinde gösterilen renkler yıldız sayı yoğunluğa göre sınıflanmıştır. Dev yıldızlar içi dolu daire sembolüyle gösterilmiştir……..…...56

Şekil 4.16 Örneğimizdeki yıldızların g_0 görünen parlaklığına karşı g, $u\text{-}g$ ve $g\text{-}r$ parlaklık ve renk hataları……..57

Şekil 4.17 Galaktik boylamı $160^o < l \leq 180^o$ olan alt grup için farklı uzaklık aralıklarındaki metal bolluğu dağılımları (mavi) ve bu dağılımları temsil eden Gauss eğrileri (kırmızı). Her bir uzaklık grubunun ortalama metal bolluğu ve standart sapma değerleri ilgili şekillerin sol üst kısımlarında verilmiştir……59

Şekil 4.18 $160^o < l \leq 180^o$ Galaktik boylam aralığındaki F-G anakol yıldızları kullanılarak elde edilen $R \times$ [Fe/H] diyagramı. Gri daireler Tablo 4.1'de verilen değerleri ve renkler farklı Z aralıklarını ifade etmektedir……..60

Şekil 4.19 Seçilen alan yıldızlarının 14 alt uzaklık aralığı için hesaplanan radyal metal bolluğu gradyentleri. Panellerdeki mavi çizgiler verilere uygulanan doğrusal fitleri, kırmızı çizgiler metal bolluklarına ait standart hataları göstermektedir……..62

Şekil 4.20 17 farklı uzaklık aralığından elde edilen radyal metal bolluğu gradyentlerinin Z uzaklığına göre değişimi……..62

Şekil 4.21 F-G tayf türü 1,437,467 anakol yıldızının Galaktik düzlemden dik doğrultuda hesaplanan metal bolluğu gradyentleri. $0 < Z \leq 5$ kpc aralığı düz gri çizgi, $0 < Z \leq 2$ kpc mavi kesikli çizgi, $2 < Z \leq 5$ kpc aralığı kırmızı kesikli çizgi, $5 < Z \leq 10$ kpc aralığı turuncu kesikli çizgi ve $10 < Z \leq 13$ kpc siyah kesikli çizgi ile gösterilmiştir……..……..64

Şekil 4.22 Seçilen yıldızların S/N-radyal hız dağılımı……66

Şekil 4.23 Seçilen F-G tayf türü anakol yıldızlarının *UVW* hız dağılımları……67

Şekil 4.24 KY yıldızlarının uzay hızı bileşenlerinin **(a)** *V-U* ve **(b)** *V-W* düzlemlerindeki dağılımları……..……68

Şekil 4.25 Popülasyon ayrımı yapılmamış yıldızların Toomre diyagramı. LSR alt indisi uzay hızlarına LSR düzeltmesi yapıldığını göstermektedir. Kırmızı çemberler 50'nin katları şeklinde ilerleyen toplam uzay hızı (S) çemberleridir……69

Şekil 4.26 Örneğimizdeki ince disk popülasyonuna aday yıldızların Toomre diyagramı..……70

Şekil 4.27 47,406 KY yıldızının Galaktik yörünge parametrelerinin dağılımları: (**a**) Z_{max}, (**b**) R_m, (**c**) e_p ve (**d**) e_v……70

Şekil 4.28 $e_p \leq 0.1$ ve $S/N \geq 40$ koşullarına göre ve farklı Z_{max} aralıkları için elde edilen (d[Fe/H]/dR_m) demir bolluğu ve (d[M/H]/dR_m) metal bolluğu gradyentleri……72

Şekil 4.29 İnce disk yıldızlarını temsil eden iki farklı iki Z_{max} değeri için [Fe/H] dağılımı……..73

Şekil 4.30 İnce disk yıldızlarını temsil eden farklı Z_{max} değeri için [M/H] dağılımı……..73

Şekil 4.31 Galaksi düzlemine dik doğrultudaki uzaklıklarına göre $0 \leq |Z| \leq 0.5$, $0.5 < |Z| \leq 1$ ve $1 < |Z| \leq 3$ kpc aralıklarına ayrılmış KY yıldızlarının Galaksi merkezine bugünkü uzaklıklarına göre hesaplanan radyal metal bolluğu gradyentleri……...74

Şekil 4.32 KY yıldızlarının Galaktik düzlemden en büyük dik uzaklıklarına göre alt-örneklere ayrıldığı, $0 \leq Z_{max} \leq 0.5$, $0.5 < Z_{max} \leq 1$, $1 < Z_{max} \leq 2$ ve $Z_{max} > 2$ kpc, aralıklar için Galaksi merkezinden yıldızların ortalama yörünge uzaklığına göre hesaplanan radyal metal bolluğu gradyentleri……..75

Şekil 4.33 KY yıldızlarının dört farklı Z_{max} uzaklık aralığındaki e_p-e_v (sol panel) ve e_p frekans dağılımları (sağ panel)……76

Şekil 4.34 47,406 KY yıldızının Z_{max} ve e_p parametrelerine getirilen sınırlamalarla oluşturulan birikimli alt-örneklerin Galaksi merkezine ortalama uzaklıklarına göre hesaplanan metal bolluğu gradyentleri……...78

Şekil 4.35 Üst panel: 47,406 KY yıldızının Galaktik düzlemden bugünkü dik uzaklıklarına göre hesaplanan dikey metal bolluğu gradiyenti. **Alt panel:** 47,406 KY yıldızının Galaktik düzlemden en büyük dik uzaklıklarına göre hesaplanan dikey metal bolluğu gradiyenti……...…79

Şekil 4.36 KY yıldızlarının birikimli e_p alt-örneklerinden hesaplanan dikey metal bolluğu gradiyentleri……..79

Şekil 4.37 KY yıldızlarına ait uzay hızı dispersiyonlarının Z_{max} ile değişimleri: (**a**) σ_U-Z_{max}, (**b**) σ_V-Z_{max}, (**c**) σ_W-Z_{max} ve (**d**) σ_{TOP}-Z_{max}……..82

Şekil 4.38 F-G tayf türü14,361 RAVE DR4 anakol yıldızının ekvatoral (**üst panel**) ve Galaktik (**alt panel**) koordinatlardaki dağılımı. Yıldızların metal bollukları şeklin üst panelinde verilen renk ölçeğinin bir fonksiyonu olarak gösterilmiştir. ……..……...85

Şekil 4.39 46,818 RAVE DR4 KY yıldızının ekvatoral (üst panel) ve Galaktik (alt panel) koordinatlardaki dağılımı. Yıldızların metal bollukları şeklin üst panelinde verilen renk ölçeğinin bir fonksiyonu olarak gösterilmiştir……..86

Şekil 4.40. F-G tayf türü 1,437,467 SDSS-III DR12 anakol yıldızının ekvatoral (üst panel) ve Galaktik (alt panel) koordinatlardaki dağılımı. Yıldızların metal bollukları şeklin üst panelinde verilen renk ölçeğinin bir fonksiyonu olarak gösterilmiştir……..87

Şekil 4.41. Projede incelenen 1,498,646 RAVE DR4 ve SDSS-III DR12 yıldızının ekvatoral

(üst panel) ve Galaktik (alt panel) koordinatlardaki dağılımı. Yıldızların metal bollukları şeklin üst panelinde verilen renk ölçeğinin bir fonksiyonu olarak gösterilmiştir……..88

Şekil 4.42. Projede incelenen 1,498,646 RAVE DR4 ve SDSS-III DR12 yıldızlarının uzaklığının da bir fonksiyonu olarak ekvatoral (sol panel) ve Galaktik (sağ panel) koordinatlardaki dağılımları. Yıldızların metal bollukları şeklin üst panelinde verilen renk ölçeğinin bir fonksiyonu olarak gösterilmiştir……..……89

Şekil 5.1 Galaxia programı kullanılarak üretilen F-G tayf türü anakol yıldızlarının Galaktik düzlemden dik doğrultuda hesaplanan metal bolluğu gradyentleri. $0 < Z \leq 5$ kpc aralığı düz gri çizgi, $0 < Z \leq 2$ kpc mavi kesikli çizgi, $2 < Z \leq 5$ kpc aralığı kırmızı kesikli çizgi, $5 < Z \leq 10$ kpc aralığı turuncu kesikli çizgi ve $10 < Z \leq 13$ kpc siyah kesikli çizgi ile gösterilmiştir……106

ÖZET

SAMANYOLU GALAKSİSİ'NİN METAL BOLLUĞU HARİTASI

Bu projede, bağımsız iki gökyüzü tarama programı olan SDSS-III DR 12 ve RAVE DR 4'ten elde edilen veriler kendi içinde uyumlu yöntemlerle analiz edilerek Samanyolu Galaksisi'nin metal bolluğu haritası oluşturulmuş ve bu haritadan itibaren Galaktik popülasyonların radyal doğrultudaki ve Galaktik düzleme dik doğrultudaki metal bolluğu gradyentleri hesaplanmıştır. Böylece, Galaksimizin çökerek veya birleşmeler sonucunda oluştuğunu öneren modeller sınanmıştır. Bu sınamada kullanılan F-G tayf türü anakol yıldızları ile kırmızı yığın yıldızlarının metal bollukları ve uzaklıkları projede üretilen yeni kalibrasyonlar ile belirlenmiştir. Kinematik ve dinamik yöntemler kullanılarak yıldızların popülasyon analizleri yapılmıştır. Galaksimize ait en güncel Galaksi modelinin (*Galaxia*) fotometrik ve kinematik öngörüleri, projemizde elde edilen gözlemsel bulgularla karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Galaksi: Kinematik ve Dinamik–Galaksi: Yapı, Oluşum ve Evrim–Galaksi: Popülasyonlar

ABSTRACT

METALLICITY MAP OF THE MILKYWAY GALAXY

In this project, a metallicity map of the Milkyway Galaxy was constructed analyzing with compatible methods. The data were obtained from the two independent SDSS-III DR 12 and RAVE DR 4 sky surveys. Using these data, we estimated the metallicity gradients of the Galactic populations in the radial direction and vertical direction to the Galactic plane. With the metallicity gradients, the models which suggest that our Galaxy is formed by accretion or merging processes were tested. The metallicities and distances of the main-sequence stars of F-G spectral types and red clump stars were determined with the new calibrations obtained in this project. Population analyses of the stars were done with kinematical and dynamical methods. Photometric and kinematical predictions of the most up-to-date Galaxy model (Galaxia) were compared with the observational findings obtained in the project.

Keywords: Galaxy: Kinematics and Dynamics–Galaxy: Structure, Formation and Evolution–Galaxy: Populations

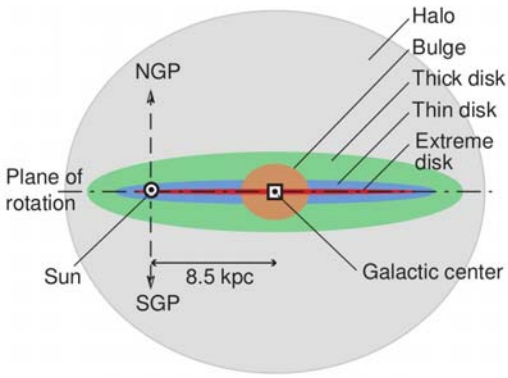
1. GİRİŞ

Şehir ışıklarından uzakta Ay'ın olmadığı açık bir gecede, gökyüzünü bir baştan öbür başa kuşatan, puslu bir şeridi görebiliriz. Eski çağlarda bu puslu şerit "Milky Way" olarak isimlendirilmiştir. Bugün, bu puslu şeridin Güneş'in de içinde bulunduğu birkaç yüz milyon yıldızı içeren disk şeklinde bir görünüm olduğu biliniyor. Gece gökyüzünde gördüğümüz bu yapı Galaksimizin en basit şeklini verir. Galaksimizin adını aldığı bu puslu şerit ve merkez doğrultusundaki en parlak Sagittarius bölgesi dışında gece gökyüzünün bu yüzeysel görünüşü içinde bulunulan daha büyük yapı hakkında az bir bilgi verir. Galaksimiz, bu puslu şeritten çok daha fazla öğe içeren bir sistemdir**.**

1610'da bir teleskop ile Samanyolu'nu inceleyen ilk astronom Galileo, Samanyolu'nun sayısız yıldızlardan ibaret olduğunu keşfetti. 1780`li yıllarda William Herschel, gökyüzünü 683 bölgeye ayırıp, bu bölgelerin her birindeki yıldızları sayarak Güneş'in Galaksideki yerini belirlemeye çalıştı. Böylece, Herschel Galaksimizin farklı doğrultularındaki alanlarda yaptığı yıldız sayımlarından Samanyolu'nun bir haritasını oluşturarak Galaksimizin yapısı hakkındaki çalışmaları başlatmıştır. 1920'li yıllarda Hollandalı Astronom Kapteyn, çok sayıdaki yıldızın parlaklıklarını ve hareketlerini analiz ederek, Samanyolu'nun büyüklüğünü hesapladı ve Güneş'in konumunu bulmaya çalıştı. Shapley 1919'da, küresel kümelerin konumlarını ve uzaklıklarını hesaplayarak Galaksimizin büyüklüğünü ve Güneş'in Galaksi merkezine uzaklığını tayin etti. Shapley, Samanyolu'nun Kapteyn'in hesapladığından çok daha büyük olduğunu ve bu nedenle bulutsuların Samanyolu'na ait olduklarını söyledi. Hubble 1924'te, Andromeda galaksisindeki Sefeid değişenlerinin gözlemlerinden Andromeda'nın uzaklığını belirleyerek bu tartışmayı sona erdirdi.

Yaklaşık 30 kpc büyüklüğünde SBb türü bir spiral galaksi olan Samanyolu galaksisi, Yerel Grup adı verilen küçük bir galaksi kümesinin en büyük ikinci üyesidir. Yerel grup, Virgo süper kümesinin dış kenarı yakınında bulunan çok sayıda galaksi kümesinden biridir. Samanyolu galaksisinin yapısı ve evriminin anlaşılmasında Galaktik popülasyonların özelliklerinin belirlenmesi önemlidir. Galaksimizi oluşturan ayırt edilebilir uzaysal ve popülasyon bileşenleri belirsiz ve şaşırtıcı isimlere sahip olmuşlardır. Galaksimizin bileşenleri genel olarak disk ve halo olarak verilebilir. Fakat ayrıntılı verilmek istenirse bileşen sayısı artar. O halde Galaksimizin başlıca bileşenleri olarak şunları söyleyebiliriz: Şişkin Bölge (Bulge), Çubuk (veya bulge+bar (çubuk)), İnce Disk (Thin Disc), Kalın Disk (Thick Disc), Yıldızlar Halosu, Karanlık Halo ve Yıldızlararası Ortam. Hatta Galaksimizin yıldız bileşenleri arasında spiral kolları ve belki bir yıldızlar halkasını da sayabiliriz. Bunları oluşturan nesnelerin uzay dağılımları,

kimyasal yapıları, kinematik ve dinamik özellikleri birbirinden farklıdır. Bu farklılıkların irdelenmesi Galaksinin yapısı ve evriminin araştırılmasında kullanılır. Galaksimizin dört temel popülasyonu olarak kabul edilen ince disk, kalın disk, şişkin bölge ve halonun genel özellikleri aşağıda verilmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. Galaksimizin bileşenlerinin şematik gösterimi. Resim diske dik doğrultuda bir kesit göstermektedir. Güneş (⊙) Galaksi merkezine ~8.5 kpc uzaklıkta ve Galaktik düzleme yakın bir konumdadır. NGP ve SGP sırasıyla Güneş'ten itibaren kuzey ve güney Galaktik kutup doğrultularıdır. (Buser, 2000)

İnce Disk: Galaksimizin ince diski galaktik düzlemden dik doğrultuda ~1 kpc uzaklığa kadar yayılmış bir bölgedir ve esas olarak metalce zengin genç yıldızlar ile gaz ve toz bulutlarından oluşmuştur. Galaktik düzlem civarındaki molekül bulutlarının yoğunlaşarak O-B tayf türünden çok genç yıldızların oluşturduğu en iç kısmına *genç ince disk* adı verilir. İnce disk yıldızları Galaksi merkezi etrafında dairesel yörüngelerde dolanırlar. İnce diskin ortalama dönme hızı Güneş civarında $V \sim 220$ km/sn iken, Galaktik düzleme dik doğrultudaki uzay hızı dispersiyonu sadece $W \sim 20$ km/sn kadardır. Bu nedenle ince disk yıldızları Galaktik düzlemin üst kısımlarına nüfuz edemezler ve uzay dağılımları çift eksponansiyelli bir fonksiyonla ifade edilebilir. İnce diskin radyal doğrultudaki uzunluk ölçeği 2.5 kpc civarındayken, yükseklik ölçeği 300 pc'i geçmez (Buser, 2000; Bilir vd., 2006a, 2006b, 2008a). Galaksimizin bu bileşenindeki yıldızların metal bollukları $-0.5 \leq [M/H] \leq +1$ dex aralığındadır (Cox, 2000). İnce diskin incelenmesinde tüm tayf türlerinde anakol yıldızları, özellikle F ve G yıldızları ile birlikte açık kümelerin gözlemleri kullanılır.

Kalın disk: Çoğu spiral galaksi ince diskin yanı sıra ikinci bir disk bileşenine sahiptir. Bu bileşen içinde bulunduğu galaksinin görünen maddesinin %10-15'ini barındırır (Yoachim ve Dalcanton, 2008). Galaksimizin 1980'li yılların başında Gilmore ve Reid (1983) tarafından keşfedilmiş olan kalın diski Galaktik düzlemden ~5 kpc'e kadar uzanır. Bu bileşenin yıldızları genelde 10 Gyr'dan daha yaşlıdırlar ve ince disk yıldızlarına göre metalce daha fakirdirler. Galaksi merkezi etrafındaki yörüngeleri ise çemberden çok elipse daha yakındır. Kalın diskin

Güneş civarındaki ortalama dönme hızı V ~ 170 km/sn iken, dikey uzay hızı dispersiyonu W ~ 40 km/sn'dir. Dikey uzay hızı dispersiyonu ince diskin iki katı kadar olmasına rağmen, literatürdeki yükseklik ölçeği değerleri ince diskin 2-5 katı aralığındadır: 600-1500 pc (Gilmore ve Reid, 1983; Yoshi vd., 1987; Buser vd., 1998, 1999; Siegel vd., 2002; Du vd., 2003; Karaali vd., 2004; Bilir vd., 2006b). Bununla birlikte kalın diskin uzunluk ölçeği ince diskin uzunluk ölçeğine çok yakındır (Juric vd., 2008). Kalın disk yıldızlarının metal bollukları $-1.5 \leq [M/H] \leq 0$ dex aralığında değişir (Bensby vd., 2003). SDSS DR6 fotometrik verilerini kullanarak, basit doğrusal bir denklem ile, yıldızların fotometrik metal bolluğu ölçen Ivezic vd., (2008) Galaktik düzlemden 500 pc uzaklıktan birkaç kiloparsek uzaklığa doğru gidildikçe kalın disk yıldızlarının metal bolluklarının -0.6 dex'ten -0.8 dex'e değiştiğini göstermiştir. Galaksimizin kalın disk yıldızlarındaki α element bollukları demir (Fe) bolluklarına göre daha zengindir, çünkü kalın disk yıldızlarının çoğu Tip II süpernova patlamalarının artıklarından oluşmuşlardır ki bu durum Güneş civarındaki kalın disk yıldızlarının tayfsal yöntemlerle belirlenmesinde yardımcı olur. Kalın disk popülasyonunun incelenmesinde geç tayf türünden (F, G, K, M) anakol yıldızları ve evrimleşmiş yıldızlar ile gezegenimsi bulutsular ve metalce nispeten zengin küresel kümeler kullanılır. Bütün bu araştırmalara rağmen, kalın diskin oluşumuna ayrık bir popülasyon olarak oluşup oluşmadığına dair tartışmalar halen devam etmektedir (Ivezic vd., 2008; Karaali vd. 2014).

Şişkin bölge: Samanyolu'nun merkezini saran, 2 kpc yarıçaplı küresel ve parlak bileşendir. Genç ve yaşlı yıldızların karışımından oluşan bu bölge, geniş bir metal bolluğu aralığına sahiptir ($-1 \leq [M/H] \leq +1$ dex). Şişkin bölge çok parlak olmasına rağmen, bu bölgede bulunan tozun neden olduğu yıldızlararası sönümleme şişkin bölge yıldızlarının optik dalgaboylarındaki gözlemlerini ve dolayısı ile analizlerini zorlaştırır. Bu nedenle şişkin bölge ışınımlarının etkin dalgaboyları yakın ve orta kızılötesi dalgaboylarına karşılık gelen dev yıldızlar sayesinde daha ayrıntılı şekilde incelenebilir. Bu bölgenin içinde *Baade Penceresi* adı verilen nispeten az sönümlemeli bölgedeki yıldızlar optik dalgaboylarında da incelenebilir. Şişkin bölgenin Galaksi merkezi etrafındaki ortalama dönme hızı V ~ 60 km/s, dikey hız dispersiyonu ise W ~ 120 km/s'dir (Cox, 2000).

Halo: Samanyolu'nun en dışında yer alan, seyrek ve esasen dönmeyen küresel bileşendir. Bu bileşendeki yıldızların uzay dağılımları ve fiziksel özellikleri dikkate alındığında, Halonun iki alt-bileşenden oluştuğu söylenebilir: Galaksi merkezinden itibaren ~10 kpc içinde kalan kısma iç halo (veya yıldız halosu), bunun dışındaki kısma ise dış (karanlık) halo denir ve 100 kpc'e kadar uzandığı düşünülmektedir. Her ikisi de metalce fakir olan bu yapılardan iç halonun dış halodan en belirgin farkı, iç halonun dış haloya göre daha basık-üç eksenli olması ve

dönmesidir. İç halodaki yıldızların metal bollukları -3 ≤ [M/H] ≤ -1 dex aralığında olup, 13 Gyr yaşındaki yıldızlardan müteşekkildir (Carney vd., 1990). Halo yıldızları Pop II yıldızlarından oluşur. Halonun Galaksi merkezi etrafındaki ortalama dönme hızı V ~ 30 km/s iken, dikey hız dispersiyonları iç haloda W ~ 95 km/s, dış haloda ise W ~180 km/s'dir (Freeman, 2012). Halo popülasyonunun incelenmesinde geç tayf türünden (G, K, M) metalce fakir anakol yıldızları, RR Lyr yıldızları, Sefeitler, gezegenimsi bulutsular ve küresel kümeler kullanılır.

Galaksimizin yapısını anlamaya yönelik çalışmalar 20.yy'ın sonlarına doğru teknolojinin gelişmesiyle yapılan duyarlı gözlemler sayesinde ilerlemiştir. Galaksimizin oluşumu ve evrimi gözlemlerle desteklenerek ilk kez Eggen. Lynden-Bell ve Sandage (1962, ELS) tarafından modellenmiştir. ELS modeli, Galaksimizin çok büyük bir gaz bulutunun içe doğru çökmesiyle oluştuğunu ve çöktükçe metal bakımından zenginleştiğini, bu sürecin de 10^8 yılın birkaç katı zamanda oluştuğunu öne sürer. Galaksimizin oluşumuna dair ELS modelinden farklı diğer bir çalışma Searle ve Zinn (1978, SZ) tarafından ortaya konmuştur. SZ modeli, tek bir bulutun çöküşü yerine birkaç bulutun kendi içinde çöküp birleşmeleri sonucunda Galaksimizin oluştuğunu söyler.

Galaksimizin nasıl oluştuğu ve evrimleştiği sorusu hala tam olarak anlaşılamamıştır. Galaksimizin oluşum ve evriminin incelenmesi için mevcut Galaktik popülasyonların belirlenmesi ve tanımlanması çok önemlidir. Galaktik popülasyonların belirlenmesi ve tanımlanması için ise, yıldızların uzay dağılımları, kinematik özellikleri, yaşları ve metal bollukları incelenmelidir. Galaksimizin oluştuğu zamana ait metal bolluğu dağılımı ile şimdiki benzer değildir. Yıldızların metal bollukları oluştukları bulutsunun metal bolluğuna bağlıdır. Bu, yıldızların doğduğu bölgeye, zamana ve yörüngelerine göre değişir. Ayrıca, uydu galaksilerle birleşme, gaz akıntıları, radyal göç, Galaktik çubuk ve spiral yapı Galaksi diskindeki metal bolluğu dağılımını etkiler.

Galaksideki metal bolluğu dağılımı bir doğrultu boyunca hesaplandığında bu doğrultudaki metal bolluğu gradyenti elde edilmiş olur. Belli bir referans noktasından itibaren artan uzaklıkla metal bolluğunun değişmesi metal bolluğu gradyentinin varlığını gösterir. Tanımlanmış çeşitli uzaklıklar kullanılarak hesaplanan radyal ve dikey metal bolluğu gradyentleri Samanyolu'nun geçmişi hakkında bilgiler taşır. Örneğin, bir Galaktik bileşen için dikey metal bolluğu gradyentinin varlığı gözlemsel olarak gösterilirse, bu durum bileşenin düzenli bir çökme yoluyla oluştuğunun kanıtı olarak değerlendirilir. Radyal metal bolluğu gradyenti ise diskin içten dışa doğru oluşup oluşmadığına dair kanıtlar sunar.

Galaksimizin kimyasal evriminin incelenmesinde en uygun nesneler farklı tayf türü ve ışıma gücünden yıldızlardır. Çalışmamızda uzun ömürlü, oluştuğu molekül bulutunun kimyasal yapısını atmosferinde taşıyan F ve G tayf türünden anakol yıldızlarının yanısıra; optik dalga boylarındaki mutlak parlaklıkları metal bolluğuna bağlı şekilde duyarlı olarak hesaplanabilen ve dolayısı ile uzaklıkları hassasiyetle belirlenebilen kırmızı yığın yıldızları kullanılmıştır. Yıldız verileri çok geniş bir gökyüzü bölgesinde sığ ve derin tayfsal ve fotometrik gözlemler içeren RAVE (**RA**dial **V**elocity **E**xperiment), SDSS (**S**loan **D**igital **S**ky **S**urvey) ve 2MASS (Two-**M**icron **A**ll **S**ky **S**urvey) arşivlerinden elde edilmiştir.

SDSS programı çerçevesinde gökyüzü kuzey Galaktik kutuptan Galaktik ekvatora doğru 2000 yılında adım adım taranmaya başlamıştır. Programın başlangıç hedefinde, gökyüzünün 10000 derece karelik bir bölgesindeki Galaktik yapılar ile Galaksi dışı gök cisimlerinin incelenmesi sayesinde yakın ve uzak evren anlayışımızın geliştirilmesi vardı (York vd., 2000). Ancak ilerleyen yıllarda bu hedefler çok aşılmış, üretilen bilginin etkisi büyük olduğundan, proje kabuk değiştirerek taramalar Galaksinin daha güneyindeki kaynakları da içerecek şekilde genişletilmiştir. Fotometrik gözlemleri farklı dönemlerde tayfsal gözlemler takip etmiştir. SDSS gözlemleri sırasında çok sayıda fiberin bir arada kullanılması sayesinde aynı anda 640 nesnenin düşük çözünürlüklü (R ~ 2000) tayfları, S/N ~ 25'lik ortalama sinyal/gürültü oranı ile alınabilir. Program uzun dönemli olduğundan, konsorsiyum üyesi kurumların araştırmacıları verileri indirgeyerek sonuçları belirli tarihlerde tüm Dünya'daki araştırmacılarla paylaşmaktadır.

SDSS fotometri sistemi 3000-11000 Å aralığında tanımlanmış olup, kısa dalga boyundan uzun dalga boyuna doğru u, g, r, i ve z harfleriyle temsil edilen beş banttan oluşur (Fukugita vd., 1996). Gözlemler New Mexico / Amerika Birleşik Devletleri'ndeki Apache Point Gözlemevi'nde bulunan 3.5 m, 2.5 m ve 0.6 m çaplı teleskoplar ile yapılmakta, 3.5 ve 2.5 m çaplı teleskoplar hem spektroskopik hem de fotometrik gözlemlerde, 0.6 m çaplı teleskop ise parlak cisimlerin spektrofotometrik gözlemlerinin yanısıra, fotometrik kalibrasyon gözlemleri için kullanılmaktadır.

Önemli taramalardan biri de Galaktik nokta kaynaklarının yakın kızılötesi bölgedeki gözlemlerini içeren 2MASS'dir. Bu gökyüzü taramasının geliştirilmesi sırasında iki adet 1.3 m'lik tam otomatik teleskop kullanılmıştır. Teleskoplardan biri Arizona/ABD'deki Hopkins Dağı'ndan kuzey gökyüzünü, diğeri ise Şili'deki Cerro Tololo Gözlemevi'nden güney gökyüzünü taramıştır. Gözlemler gökyüzünün neredeyse tümünü (%99.998) kapsayacak şekilde 15.8, 15.1 ve 14.3 limit parlaklıkta, sırasıyla, J (1.25 μm), H (1.65 μm) ve K_s (2.17 μm) bantlarında eş zamanlı olarak yapılmıştır. 2MASS tüm gökyüzünü içeren yüksek bir fotometrik

ve astrometrik doğruluğa sahip, günümüzde yapılan ve yapılacak olan Galaktik taramalar için referans bir projedir. UKIDSS (Lucas vd., 2008) ve WISE (Wright vd., 2010) gibi son gökyüzü taramaları da 2MASS kataloğunu referans katalog olarak kullanmıştır. 2MASS verilerindeki fotometrik belirsizlik, Galaktik enlemi $|b| > 25^{o}$ ve fotometrik tamlığı $K_s = 16.5$ kadir olan anakol yıldızları için 0.155 kadirden daha küçüktür. Tüm gökyüzü taramasında yaklaşık 471 milyon nokta kaynağın ham verisi elde edilmiş olup, bunlar Cutri vd. (2003) tarafından Nokta Kaynak Kataloğu adıyla yayınlanmıştır. 2MASS yakın kızılötesi verileri Galaktik nokta kaynaklar için bu dalga boyu bölgesindeki en güncel ve duyarlı veri tabanını oluşturur.

RAVE (Steinmetz vd., 2006) Güneş civarındaki yıldızların atmosferik model parametreleriyle radyal hızlarını belirlemek üzere tasarlanmıştır. Bu tarama programının bilimsel amacı, Güneş civarındaki anakol yıldızlarını ve dev yıldızları inceleyerek Samanyolu'nun kimyasal ve dinamik evrimini araştırmaktır. RAVE gökyüzü tarama programının gözlemlerinin çoğu 2003–2012 tarihleri arasında yapılmış olmasına rağmen, gözlemler gökyüzünün bazı bölgeleri için halen devam etmektedir. Bu projede gözlenen yıldızlar güney yarıkürede ve $9 < I < 12$ kadir görünen parlaklık aralığında seçilmiştir. Bu kriterlere uygun şekilde seçilen yıldızların ışıma gücü sınıfları dikkate alındığında, cüce yıldızlar Güneş'ten birkaç yüz parsek, dev yıldızlar ise birkaç kiloparsek uzaklıkta bulunurlar.

RAVE gözlemlerinde Anglo-Australian Gözlemevi'ndeki 1.2 m çaplı UK Schmidt Teleskobu kullanılmıştır. Teleskobun odak düzleminde altı derece karelik bir alan gören çok cisimli bir tayfçeker vardır. Bu teleskop ve odak düzlemindeki tayfçeker kullanılarak yaklaşık bir milyon yıldızın radyal hız ve temel atmosfer parametrelerinin (sıcaklık, metal bolluğu ve yüzey çekim ivmesi) elde edilmesi planlanmıştır. RAVE gözlem stratejisine göre yıldız tayfları orta ayırma gücünde ($R = 7500$) ve elektromanyetik tayfın 8410–8795 Å bölgesinde, yani Ca-üçlüsünün bulunduğu dalgaboyu aralığında alınmaktadır. Gözlenen tayflar için ortalama sinyal/gürültü oranı $S/N \sim 29.5$ olup radyal hız ölçümlerindeki belirsizlikler 3.4 km/s'den küçüktür.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

F ve G tayf türü anakol yıldızları Galaksinin oluşum tarihinin anahtar nesneleridir. Orta tayf türündeki bu yıldızların iç yapılarında büyük bir radyasyon bölgesi olup, üst katmanlarındaki enerji iletimi konvektif tabaka boyunca gerçekleşir. Yıldız çekirdeği ile konvektif tabaka arasında yer alan radyasyon bölgesinin derin oluşu, çekirdekte üretilen ağır elementlerin yıldızın atmosferine taşınmasını engeller. Yani, geçmişte oluşmuş veya oluşumu halen devam eden bu orta tayf türü yıldızların atmosferleri, yıldızın oluştuğu ortamın kimyasını yansıtır. Bunun yanısıra, F ve G tayf türü yıldızların anakolda kalma süreleri Galaksinin yaşı ile karşılaştırılabilecek mertebede olması, onları adeta astronominin fosil kayıtları haline getirir.

F ve G türü yıldızların özellikleri çok eskiden beri bilinmesine rağmen, bu yıldızların Galaktik yapı araştırmalarında kullanılabilecek kadar kapsamlı verilerinin elde edilmesi teknolojik gelişmeleri beklemiştir. Konuyla ilgili göze çarpan ilk çalışmalar optik bölgedeki U bandını içeren geniş ve orta band fotometrik verileriyle yapılmıştır. Kendi ismiyle anılan fotometrik sistemiyle Strömgren, uvbyβ filtrelerini kullanarak yıldızların metal bollukları, uzaklıkları ve sıcaklıklarını fotometrik yollarla tayin edecek denklem takımları elde etmiştir (Stromgren 1963, 1986). Olsen (1980, 1983, 1984, 1988) 8. kadirden daha parlak yıldızların Strömgren fotometrilerini yaparak sonuçları kataloglamıştır. Galaksinin oluşum ve evrimine dair ilk modern veriler Güneş civarındaki F-G tayf türünden ince disk yıldızlarının yüksek çözünürlüklü tayfsal gözlemlerinin analizi sonucunda ortaya çıkmıştır (Edvardsson vd., 1993). 189 yıldızın ayrıntılı tayfsal çalışmasını yapan Edvardsson vd. (1993), Güneş civarı için kinematik kriterlerden itibaren yansız bir örnek oluşturmuş, örnekteki yıldızları ince ve kalın disk popülasyonlarına ayırmış ve bu yıldızların metal bolluğu analizlerini yaparak, Güneş civarı için Galaktik diskin oluşum senaryolarını tartışmıştır. 2000'li yılların başlarından itibaren Olsen'in kataloglarında yer alan yıldızların Hipparcos verileriyle eşleştirilmesi sonucunda, program dâhilinde incelenen yıldızların daha duyarlı uzaklık, metal bolluğu, yaş, sıcaklık tayinleri yapılmış ve bu yolla yaşları belirlenebilmiştir. 1990-2000 yılları arasında Olsen kataloğundaki yıldızların CORAVEL tayf gözlemleri yapılarak, yıldızların radyal hızları da ölçülmüştür. Hipparcos kataloğundaki astrometrik bilgiler ile radyal hız bilgilerinin bir arada değerlendirilmesi sonucunda, Güneş civarındaki yıldızların kinematik ve Galaktik yörüngeleri tayin edilmiş, ve Güneş civarındaki yıldızlar için Galaksi oluşum modelleri ilk kez sınanabilmiştir (Feltzing ve Holmberg, 2001; Nordström vd., 2004; Holmberg vd., 2007, 2009). Bu çalışmalarla diskin çökerek oluştuğuna dair ilk ipuçlarına ulaşılmıştır. Edvardsson vd.'nin (1993) detaylı tayfsal çalışmalarını takip eden birkaç önemli çalışma daha yapılmıştır (Fuhrmann, 1998; Reddy vd., 2003; Bensby vd. 2003, 2005). Bu çalışmalarda örnek hacimleri artmış, yıldızların kinematik verileri literatürdeki

hassas astrometrik verilerle beraber çözülmüş ve Güneş civarındaki farklı türden popülasyon üyeleri ortaya konmuştur. Bu popülasyonların kinematik karakterleri belirlenmiş ve bu yolla yıldızların belli bir popülasyona ait olma ihtimallerini hesaplayan bağıntılar literatüre kazandırılmıştır (Bensby vd. 2003, 2005).

Galaksimiz ve yerel grup içindeki diğer galaksilerde bulunan kırmızı yığın (KY) yıldızları iyi bir uzaklık belirteci olarak kabul edilir. KY'ler özellikle yıldız kümelerinin HR diyagramındaki yatay kollarında toplanmış ileri evrim aşamalarında bulunan ve çekirdeklerinde helyum yakan yıldızlardır. Bu yıldızların tayf türleri G8III - K2III aralığında olup, optik bölgedeki mutlak parlaklıkları ise $0.7 \leq M_V \leq 1$ kadir aralığındadır (Keenan ve Barnbaum, 1999). Yakın kızılötesi K_S bandındaki mutlak parlaklıkları ise, metal bolluğuna önemsenmeyecek kadar az bir bağlılıkla, $M_{Ks} = -1.54 \pm 0.04$ kadirdir (Groenewegen, 2008). KY'ler için optik ve yakın kızılötesi bölgede renk aralıkları ise sırasıyla $0.7 \leq (B-V)_0 \leq 1.3$ ve $0.29 \leq (J-H)_0 \leq 0.65$'dir. Bu yıldızların atmosferik model parametreleri göz önüne alındığında, etkin yüzey sıcaklıklarının $4360 < T_{eff}$ (K) < 5060 ve yüzey çekim ivmesi değerlerinin $2.1 \leq \log g$ (gr/cm^2) ≤ 2.7 aralığında olduğu bulunmuştur (Puzeras vd., 2010). Hem renk-parlaklık diyagramlarında küçük ve seçilebilir bir bölgede bulunmaları hem de mutlak parlaklıklarının iyi bilinmesi sebebiyle KY'lerin uzaklıkları duyarlı bir şekilde hesaplanabilir. Bölümümüzdeki Galaktik Yapı Araştırma Grubu'nun son yıllarda KY'lerin renk uzaylarındaki konumları ve elektromanyetik tayfın farklı bölgeleri için mutlak parlaklık kalibrasyonları hakkında birçok çalışması vardır (Bilir vd., 2013a, b; Karaali vd., 2013; Yaz vd., 2013). KY'lerin artan tayfsal ve uzaklık kalibrasyonu çalışmaları neticesinde, bu yıldızlar özellikle Galaksimizin radyal ve Galaksi düzlemine dik doğrultudaki metal bolluğu gradyentinin araştırılmasında kullanılmaktadır (bkz., Bilir vd., 2012; Boeche vd., 2014).

Galaktik metal bolluğu gradyentlerinin araştırılmasında çeşitli türden nesneler kullanılır: HII bölgeleri, O-B tayf türünden yıldızlar, sefeitler, açık kümeler, gezegenimsi bulutsular, KY'ler ve orta tayf türünden F ve G yıldızları. Literatürde bu tür nesnelerin kullanıldığı çalışmalarda genellikle Galaktik diskteki radyal metal bolluğu gradyenti d[Fe/H]/dR_G = -0.10 dex/kpc civarında tesbit edilmiştir. Radyal metal bolluğu gradyentinin 10 kpc içinde doğrusal ve dik bir yapısı varken, bu uzaklığın ötesinde metal bolluğunun -0.3 ile -0.5 dex arasında bir değer civarında sabitleşerek çok daha düzleştiği belirlenmiştir.

Friel ve Janes (1993) gradyent süreksizliğinin erken Galaktik diskin kenarının bir yansıması olduğunu ve 10 kpc'in iç ve dış kısmı için farklı kimyasal evrim süreçlerinin rol aldığını, ayrıca başlangıçtaki metal bolluğu ayrılmasının küme popülasyonlarında günümüze kadar

korunduğunu önermiştir. Böyle bulguların sınanması, daha açık ve ayrıntılı bir şekilde ortaya konulabilmeleri için daha çok sayıda nesne içeren daha duyarlı veri setleri üzerinden çalışılmasına ihtiyaç vardır.

Galaktik diskte gözlenen bolluk gradyentleri diskin kimyasal evrim modellerine önemli sınırlamalar getirir. Gradyentler B türü yıldızlardan ve H II bölgelerinden belirlenebilir, ama en duyarlı sonuçlara sefeit türü değişen yıldızlardan ulaşılmıştır. Bu değişen yıldızlar uzak olmalarına rağmen, ayrıntılı çalışmalara izin verecek kadar parlaktırlar. Üstelik uzaklıkları da dönem-ışıma gücü ilişkisinden yeterince hassas şekilde belirlenebilir. İlk sonuçlar, dış kısmıyla karşılaştırıldığında, Galaksinin iç kısmında yaklaşık 10 kpc'de kırılan dik bir metal bolluğu gradyenti önermiştir. Bununla birlikte yeni çalışmalara göre bu durum böylesine açık değildir. Galaktosentrik uzaklıkları (R_G) 4 kpc'den 14 kpc'e değişen 54 sefeid için Luck vd. (2006) d[Fe/H]/dR_G = −0.06 dex/kpc'lik bir metal bolluğu gradyenti bulmuştur, ama öyle görünmektedir ki verilere uygulanan lineer fit etrafında önemli miktarda kozmik saçılma vardır. l ~ 120 derece Galaktik boylamlı bir bölgede ve Güneş'ten 3-4 kpc uzaklıkta ortalama olarak Δ[Fe/H] ≃ +0.2'lik bir metal bolluğu artışı vardır. Böyle uzaysal düzensizlikler yakın zamandaki süpernova olayları sebebiyle meydana gelebilir.

Yong vd. (2005) dış Galaktik diskteki 24 sefeit türü yıldızın yüksek ayırma güçlü tayflarına dayanan ilginç bir çalışma yapmışlardır. Galaktik merkezden uzaklık aralığı 12 < R_G < 18 kpc olan sefeitlerin çoğu, Luck vd.'nin (2006) örneğinin gösterdiği Galaktik uzaklıkla ilgili trendi izliyordu; ama 6 sefeitlik bir azınlık için [Fe/H] değerleri -0.8 dex civarındaydı ve bunlar için artmış alfa-element bollukları bulunmuştu: [α/Fe] ~ +0.3. Bu bulgu, dış diskte sefeitlerin iki farklı popülasyonu olduğunu işaret eden bir kanıt olarak değerlendirilmiştir.

Yukarıda bahsedilen araştırmalar genelde nispeten az sayıda nesne kullanılarak yapılmıştır. Galaksimizdeki metal bolluğu gradyentinin araştırılmasında çok sayıda nesne kullanılması beklentisi, sönük anakol F-G yıldızlarının kullanımını gerektirmiştir. 2000'li yıllardan itibaren çok yaygınlaşan ve gelişen CCD gözlemleri, bu bağlamda SDSS gibi büyük gökyüzü tarama programlarının gerçekleştirilmesini sağlamıştır (Fukugita vd., 1996). Ancak böyle çalışmaların yapılması her fotometrik band için duyarlı metal bolluğu ve uzaklık kalibrasyonlarını gerektirir. Bu gerekliliği dikkate alan Karaali vd. (2005), belli bir *g-r* rengi için SDSS yıldızlarının anakoldaki yerleri ile Hyades açık kümesinin anakolu arasındaki *u-g* renk farkını kullanarak fotometrik metal bolluğunu veren bir kalibrasyonun yanı sıra, metal bolluğuna duyarlı bir mutlak parlaklık tâyin yöntemi de geliştirmiştir. Orta Galaktik enlemlerde bulunan F ve G tayf türünden anakol yıldızlarının metal bolluklarını fotometrik yöntemlerle tâyin eden Ak vd. (2007a),

Galaktik düzleme göre simetrik iki yıldız alanından dik doğrultuda benzer metal bolluğu gradyentleri elde etmişler ve Galaktik diskin çökerek oluştuğuna dair ipuçları bulmuşlardır. Yüksek Galaktik enlemlerde ($60^o \leq b \leq 65^o$) yapılan benzer bir çalışmada, 258268 yıldızın fotometrik verilerinden itibaren metal bolluğunun Galaktik boylamla değişim gösterdiği bulunmuş ve dik yönde elde edilen metal bolluğu gradyentinin orta Galaktik enlemlerdeki sonuçlarla benzer olduğu gösterilmiştir (Ak vd., 2007b). SDSS'in VII. veri sürümünde yayımlanan orta Galaktik enlemlerin fotometrik verilerinin yine Galaktik boylamla değiştiğini gösteren Yaz ve Karaali (2010), Galaktik disk için metal bolluğu gradyentini -0.30 dex/kpc bulmuştur. Galaktik yapı grubumuzun RAVE konsorsiyumu ile ortaklaşa kullandığı tayfsal ve astrometrik verilerden itibaren, F ve G anakol yıldızları için elde etmiş olduğu radyal metal bolluğu gradyentleri 0.051 ± 0.005 dex/kpc'tir (Coşkunoğlu vd., 2012). Atmosferik model parametrelerine göre sınıflanan RAVE örneği içinden seçilmiş KY'leri inceleyen Bilir vd. (2012) ise, radyal ve dik doğrultudaki metal bolluğu gradyentini sırasıyla -0.041 ± 0.007 ve -0.260 ± 0.031 dex/kpc bulmuştur.

Tüm tayf türlerinden yaklaşık 20,000 anakol yıldızının RAVE DR4 verilerini inceleyen Boeche vd. (2013), yıldızların Galaktik yörünge parametrelerini hesaplamıştır: Galaksi merkezine göre perigalaktik (R_a) ve apogalaktik (R_b) uzaklıklar ile belirli bir zaman ölçeği içinde incelenen yıldızın Galaktik düzlemden ayrılabileceği maksimum dik uzaklık (Z_{max}). Yörünge parametrelerinden itibaren Galaktik diskten $Z_{max} < 0.4$ kpc yükseklikte, Galaktik merkeze $4.5 < R_g$ (kpc) < 9.5 uzaklık aralığı için demir bolluğu gradyentini d[Fe/H] $/dR_g$ = -0.065 dex/kpc bulmuştur. Benzer çalışmayı dev yıldızları kullanarak yapan Boeche vd. (2014) ise, kaynakların mutlak parlaklıklarının yeterince parlak olmasından dolayı yıldızların bugünkü uzaysal konumlarını dikkate alarak, Galaktik düzlemden dik uzaklığı $Z < 0.4$ kpc olan evrimleşmiş yıldızlar için demir bolluğu gradyentini d[Fe/H]$/dR$ = -0.054 dex/kpc bulmuştur.

Sandage (1969) Güneş civarındaki yıldızların metal bollukları ile UV artıkları arasında bir ilişkinin bulunduğunu ortaya koymuştur. Bu bulgu, $(U\text{-}B)_0 \times (B\text{-}V)_0$ iki renk diyagramları üzerinde UV artıkları ölçülebilen F, G, K ve M tayf türünden anakol yıldızlarının metal bolluklarının hesaplanması için kullanışlı bir yöntemin geliştirilmesine yol açmıştır. Böylece, herhangi bir taramada gözlenmiş çok sayıda yıldızdan hesaplanan ortalama fotometrik metal bolluklarının, az sayıda tayftan hesaplanan tayfsal metal bolluklarına göre istatistik bağlamda daha güvenilir olması sağlanmıştır. Bu yöntem daha sonra Laird vd. (1988) tarafından geliştirilmiştir. Karaali vd. (2003a) ise $B\text{-}V$ renk indeksi 0.3 ile 1.7 kadir aralığında bulunan 88 cüce yıldızın atmosferik model parametreleri ile UV artıklarını kullanarak, ilişkiyi daha duyarlı hale getirerek metal bolluğu bakımından uygulama aralığını genişletmiş (-2.70 ≤ [M/H] ≤ +0.26 dex) ve bağıntıyı

üçüncü dereceden bir polinom ile ifade etmiştir. Karaali vd. (2005) bu uygulamayı dönüşüm formüllerini kullanarak SDSS yıldızları için kalibre etmişlerdir. Pastel kataloğunun (Soubiran vd., 2010) güncellenmesinin ardından yüksek çözünürlüklü tayflardan metal bolluğu iyi belirlenmiş 701 yıldızın morötesi artıkları ile tayfsal metal bollukları arasında bağıntılar geliştiren Karaali vd. (2011), uzaklık ve metal bolluğu kalibrasyonlarını Johnson *UBV* fotometrik sistemine taşımışlardır. Yeni sonuçlar ancak *Gaia* astrometrik uydu verileri ile yüksek çözünürlüklü tayfsal verilerin bir arada incelenmesiyle litaratüre kazandırılacaktır.

3. GEREÇ VE YÖNTEM

3.1 SDSS-III DR12 Veri Seti

Proje önerimiz yapıldığında araştırmacılara açık en güncel fotometrik ve tayfsal veri sürümü DR10'du (**D**ata **R**elease 10 (DR10); Ahn vd., 2014). Ancak, Temmuz 2015'te SDSS-III'ün son veri sürümü olan DR12 (Alam vd., 2015) yayımlandığı için projemizde en güncel ve daha fazla veri içeren DR12 kullanılmıştır. DR12 veri sürümü kümülatiftir ve SDSS gökyüzü taramasının tüm veri sürümlerini içermektedir. SDSS-III, dört programdan meydana gelmektedir. Galaktik Anlayış ve Keşif için Sloan Uzantısı (SEGUE; **S**loan **E**xtension for **G**alactic **U**nderstanding and **E**xploration; Yanny vd., 2009), çoğunluğu yüksek Galaktik enlemlerdeki çok sayıda yıldızın tayflarını elde etmek için SDSS tayfçekerini kullanmıştır. Baryon Osilasyon Spektroskopik Tarama'sında (BOSS; **B**aryon **O**scillation **S**pectroscopic **S**urvey; Dawson vd., 2013), galaksi ve kuazarların tayflarını elde etmek için 14,555 derece kare görüntüleme yapan ve fiber sayısı arttırılmış bir tayfçeker kullanılmıştır. Çoklu-Nesne APO Dikine Hız Ötegezegen Geniş-alan Taraması'nda (MARVELS; **M**ulti-object **A**PO **R**adial **V**elocity **E**xoplanet **L**arge-area **S**urvey; Ge vd., 2008), gezegen ve kahverengi cüce araştırmalarında yüksek hassasiyetli dikine hız ölçümleri için 60 fiberli bir tayfçeker kullanılmıştır. Son olarak, Apache Point Gözlemevi Galaktik Evrim Deneyi'nde (APOGEE; **A**pache **P**oint **O**bservatory **G**alactic **E**volution **E**xperiment; Allende Prieto vd., 2008), radyal hız ve element bolluklarının belirlenmesi için yüksek çözünürlükte (R ~ 22,500) H < 13.8 kadirden parlak nesneleri gözlemek için 300 fiberli bir tayfçeker kullanılmıştır. Son veri sürümü, 9,376 derece karelik bir alanda kuazarlar, galaksiler ve yıldızların yaklaşık 2.5 milyon BOSS, 138,000 yıldızın 155,000 SEGUE-2, 156,000 yıldızın 618,000 APOGEE ve 5,500 yıldızın 197,000 MARVELS tayflarını içermektedir.

SDSS-III DR12'nin (Alam vd., 2015) tayfsal verileri SDSS'in web sayfasında[1] *fits* dosyası biçiminde verilmiş ve bu verilerin temel tanımlamaları ayrı bir *txt* dosyasında kullanıcılar için hazırlanmıştır. DR 12'ye ait veri dosyasındaki yaklaşık 1,800,000 nesneye ait astrofizik parametreler SDSS konsorsiyumu tarafından hazırlanarak tek bir dosyada toplanmıştır. Nesnelerin etkin sıcaklıkları, yüzey çekim ivmeleri ve metal bolluğu değerleri 10-12 farklı yöntem ile incelenerek dosyaya ayrı ayrı yazdırılmıştır. Bu yöntemler sonunda konsorsiyumun önerdiği değerler hataları da içerecek şekilde verilmiştir. Astrofizik parametreleri dışında nesnelerin radyal hız ve uzaklık verileri de dosyada yer almaktadır.

[1] http://www.sdss.org/dr12/

SDSS'in gözlem stratejisine göre gözlemler kuzey Galaktik kutup bölgesinden Galaktik ekvatora doğru yapıldığından, kuzey Galaktik yarı küredeki tüm enlem ve boylam aralıkları tam olarak gözlenmemiştir. Günümüze kadar Galaktik enlemi 50 ile 90 derece aralığındaki yıldız alanlarında bulunan nesneler gözlenmiş ve SDSS-III DR12'de bunlar yayımlandığı için projemizde $|b| \geq 50°$ enlem aralığında yer alan yıldızlar dikkate alınmıştır. Projemizde kullanılacak F-G tayf türündeki anakol yıldızlarının seçimi Bulgular Bölümünde ayrıntılı bir şekilde bahsedilmiştir.

3.2 RAVE DR4 Veri Seti

Projemizde kullandığımız bir diğer veri seti, Galaksinin ağırlıklı olarak güney gökyüzünden elde edilmiş tayfsal verilerinin bulunduğu RAVE gökyüzü tarama programından alınmıştır. RAVE veri sürümlerinin ilki (RAVE DR1) Steinmetz vd. (2006) tarafından yayımlanmış olup RAVE DR4 ise Kordopatis vd. (2013) tarafından literatüre kazandırılmıştır. RAVE DR4 kataloğu 482,194 yıldızın atmosfer model parametrelerini (T_{eff}, log g, [Fe/H], [M/H]), yedi ayrı element bolluğunu (Mg, Al, Si, Ca, Ti, Fe, Ni) ve radyal hızını (γ) içerir. F-G tayf türünden anakol yıldızları ile kırmızı yığın (KY) yıldızlarının RAVE veri tabanından seçilmesinde yüzey çekim ivmesi ile etkin sıcaklık parametreleri arasında oluşturulan ve Şekil 3.1'de gösterilen H-R diyagramı kullanılmıştır. Bu şekil üzerinde atmosfer model parametrelerinin tamamı belirlenmiş olan 449,823 yıldız işaretlenmiştir.

RAVE DR4 kataloğundan F-G tayf türü anakol yıldızlarını belirlemek için,

i) $5310 \leq T_{eff}\,(\mathrm{K}) \leq 7310$ aralığında etkin sıcaklığa sahip olan yıldızlar (Cox, 2000) ve
ii) Ekström vd.'nin (2012) $Z_{\odot} = 0.014$ için verdiği ve yıldız dönmesinin dikkate alınmadığı kütle yolları yardımıyla elde edilen ZAMS (**Z**ero **A**ge **M**ain **S**equence) ve TAMS (**T**erminal **A**ge **M**ain **S**equence) çizgileri arasında kalan yıldızlar seçilmiştir.

ZAMS bir yıldızın H-R diyagramında, ilk kez, proton-proton reaksiyonları ile merkezindeki hidrojenlerin helyuma dönüşüp hidrostatik dengeye ulaştığı noktadır. TAMS ise anakoldaki ömrünü bitirip merkezinde hidrojen reaksiyonlarının bittigi noktadır. Kütle yolu, teorik yıldız evrim modelleri ile üretilen farklı kütledeki yıldızların ömürleri boyunca H-R diyagramı üzerindeki hareketini gösteren eğrilerdir.

Böylece (**i**) ve (**ii**) koşullarını sağlayan nesneler F-G tayf türünden anakol yıldızları olarak kabul edilmiş ve projemizdeki analizlerde kullanılmıştır. Atmosfer model parametresi bilinen yıldızlar

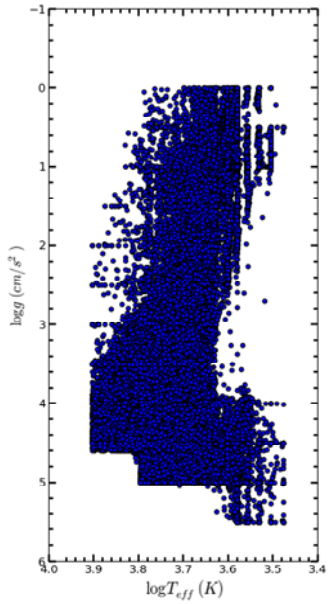
için, ZAMS ve TAMS çizgileri yardımıyla anakol bandı belirlenmiş ve bu band içinde 5310 ≤ T_{eff} (K) ≤ 7310 (Cox, 2000) aralığında bulunan yıldızlar seçilmiştir. Bu sınırlamalar sonucunda belirlenen 16,643 F-G tayf türü anakol yıldızının log g – log T_{eff} diyagramı Şekil 3.2'de gösterilmiştir.

RAVE DR4'ten önceki veri sürümlerinde her bir cisme ait varolan özhareketlerden en hassas değeri olan kataloğa aktarılırken, DR 4'te her bir cisme ait farklı kaynaklardan gelen özhareketler listelenmiş ve hangi özhareket verisinin tercih edileceği kullanıcılara bırakılmıştır. RAVE DR4 kataloğu içerisindeki nesnelerin özhareket verileri şu kataloglardan alınmıştır: Tycho-2 (ESA, 1997), UCAC2, UCAC3, UCAC4 (Zacharias vd. 2004, 2010, 2013), PPMX, PPMXL (Roeser vd. 2010) ve SPM4 (Girard vd. 2011). Projemizde, yıldızların çoğunluğunu temsil eden tek bir katalog kullanılması amaçlandığından, verilerin kataloglara göre dağılımına bakılmış ve UCAC-4 kataloğunun örneği en iyi temsil ettiği sonucuna varılmıştır.

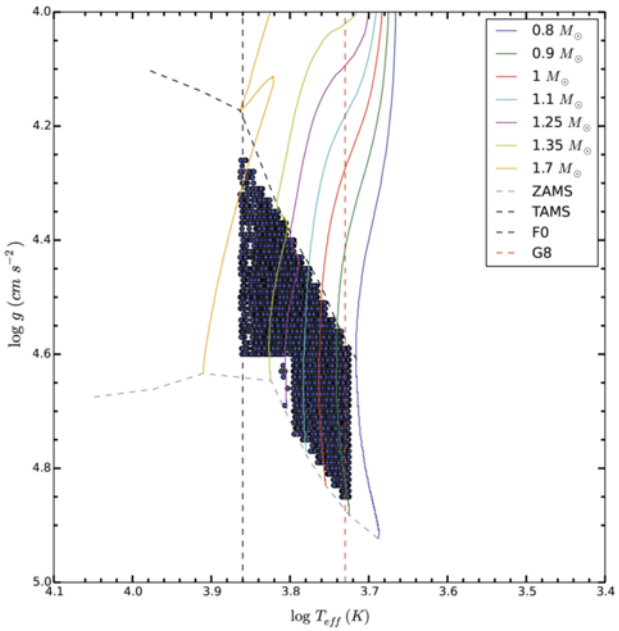
RAVE DR4'te (Kordopatis vd., 2013a) radyal hız ölçümleri bulunan 482,194 yıldız içinde KY yıldızlarını belirlemek için,

i) tüm atmosferik parametreleri elde edilmiş,
ii) öz hareket verisi *UCAC4* (Zacharias vd., 2013) kataloğunda bulunan,
iii) *2MASS* nokta kaynak kataloğunda (Cutri vd., 2003) fotometrik filtre kalitesi "A" olan (*S/N* > 20) ve
iv) Galaktik enlemi |*b*|> 10° olan yıldızlar dikkate alınmıştır.

Daha sonra KY yıldızlarının seçilmesinde, Şekil 3.3'te gösterilen logaritmik yıldız sayı yoğunluğuna göre yüzey çekim ivmesi (log g) ile etkin sıcaklık (T_{eff}) parametreleri arasında oluşturulan H-R diyagramı kullanılmıştır. Diyagramda çok sayıda yıldızın kümelenme gösterdiği üç temel bölge dikkati çekmektedir: Biri, merkezlerinde kararlı H-yanma reaksiyonları gerçekleşen cüce yıldızların yer aldığı anakol, diğeri merkezinde nükleer reaksiyonlar durduğu için anakoldan ayrılan alt dev kolu ve son olarak kırmızı dev kolu üzerinde KY yıldızlarının bulunduğu bölge. Fakat, KY yıldızlarının bulunduğu bu bölge aynı zamanda kırmızı dev koluna çıkan, helyum yanması geçiren ve RR Lyrae türü değişen yıldızlar ile kesiştiğinden, güvenilir KY yıldız adayları bu sınır içerisinde yoğunluğun en çok olduğu bölgenin civarında bulunmalıdır.



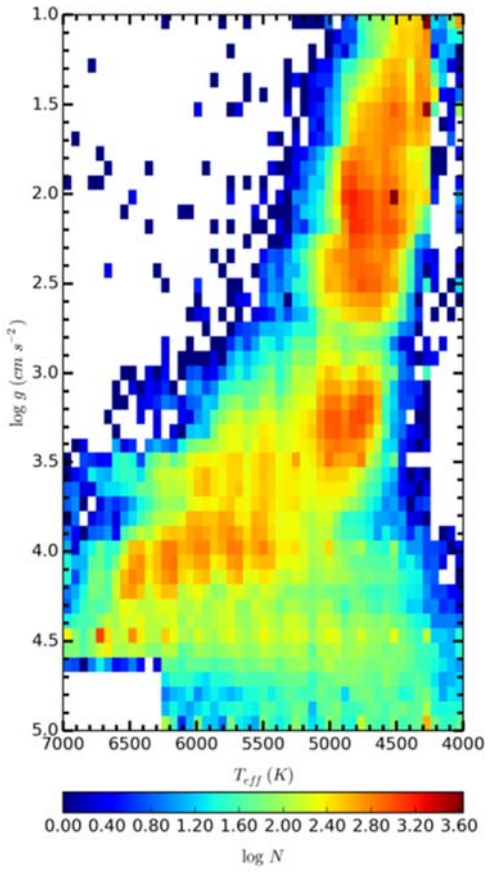
Şekil 3.1 RAVE DR4 verilerinden oluşturulan log T_{eff} - log g diyagramı.



Şekil 3.2 RAVE DR4 kataloğundan seçilen F-G tayf türü anakol yıldızlarının log T_{eff} - log g diyagramı. Kütle yolları (Ekström vd., 2012) şekil içinde sağ üstte verilen kütleler için renkli düz çizgilerle gösterilmiştir. Dikey kesikli çizgiler F-G tayf türü yıldızlar için T_{eff} sınırlarıdır (Cox, 2000). ZAMS *gri* kesikli çizgi ile TAMS ise siyah kesikli çizgi ile gösterilmiştir.

Bu bölge, kabaca 4000 < T_{eff} (K) < 5400 ve 1 < log g (cm/s^2) < 3 sınırlarının içindedir. Şekil 3.4'ün sol panelinde KY yıldızlarının en çok bulunduğu bu bölge görülmektedir. Bölge üzerinde yıldız sayı yoğunluğunun en büyük olduğu değere bağlı olarak belirlenmiş 1σ (kesikli çizgi) ve 2σ (düz çizgi) kontürleri çizilmiştir. Çalışmada kullanılan en güvenilir KY örneği, 1σ kontürü içerisinde kalan 68,663 yıldıza getirilen ek sınırlamalarla belirlenmiştir. Şekil 3.4'ün sağ panelinde KY yıldızlarının en çok bulunduğu bölgedeki yıldızların metal bolluğuna göre ağırlık verilmiş H-R diyagramı görülmektedir. Şekil üzerinde yine 1σ (beyaz kesikli çizgi) ve 2σ (beyaz düz çizgi) kontürleri çizilmiştir. Burada seçilen yıldız örneğinin metal bolluğunun belirli bir dağılım gösterdiği ve herhangi bir seçim etkisi olmadığı görülmektedir. RAVE DR4 verilerinin kalitesinin bir başka göstergesi de sinyal/gürültü (S/N) oranıdır. Projemizde daha duyarlı sonuçlar elde etmek amacıyla, Kordopatis vd.'nin (2013a) de çalışmalarında ifade ettiği gibi S/N değeri 40'ın üzerinde olan yıldızlar tercih edilmiştir. Yıldız örneğimizde bir cisme ait farklı zamanlarda alınmış ve ayrı ayrı işleme tabi tutulan tayflardan dolayı çoklu cisim kirlenmesi söz konusudur. Bu nedenle aynı cisim adına kayıtlı tayflardan S/N değeri en büyük olan tercih edilmiştir. Şekil 3.5'te 68,663 KY yıldızının S/N oranlarının frekans dağılımı ve S/N değerine göre yıldız sayısının birikimli dağılımı verilmiştir. KY yıldızlarının %76'sı $S/N \geq 40$ sınırı

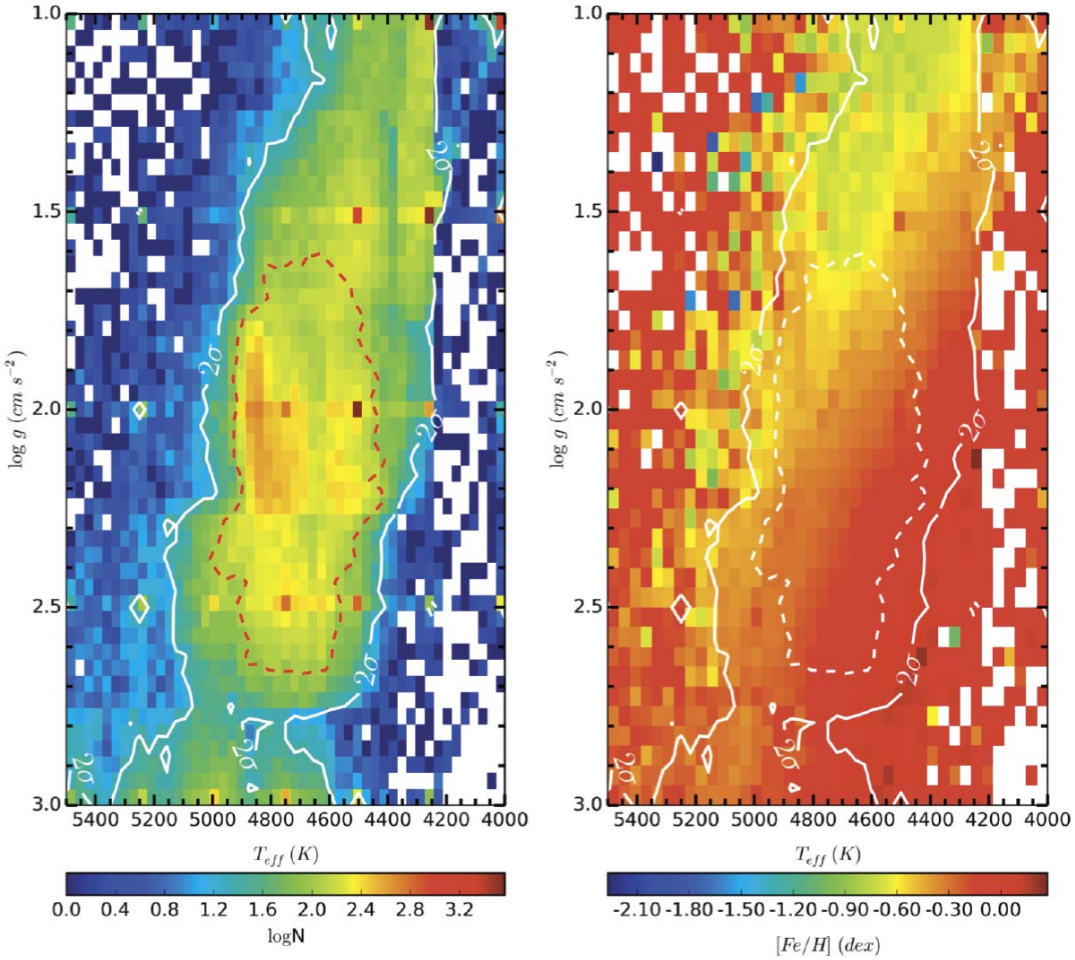
içerisinde olup, bu da 52,196 KY yıldızına karşılık gelmektedir. Bu sınırın dışında kalan yıldızlar istatistik dışı bırakılmıştır. Toplam uzay hızı hatasına getirilen 21 km/s üst sınırı ile de çalışmada kullanılan KY yıldız sayısı 47,406 olmuştur.



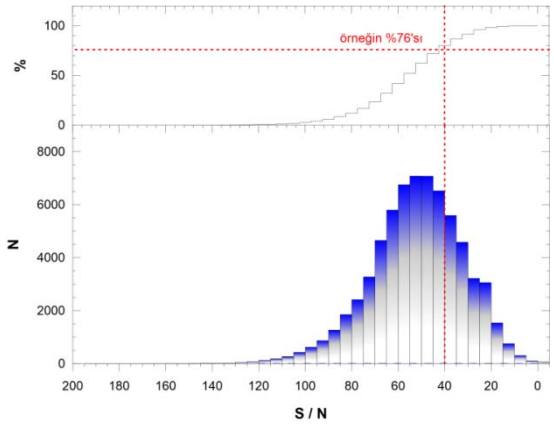
Şekil 3.3 RAVE DR4 kataloğundaki 425,561 yıldızın T_{eff} - log g diyagramı. Renkler logaritmik sayı yoğunluğuna göre verilmiştir.

3.3 Yıldızların Kızarma ve Uzaklıkları

Projemizde kullanılacak yıldızların uzay hızlarının hesaplanabilmesi için uzaklıklarının bilinmesi gerekmektedir. Uzaklık için en güvenilir ve duyarlı yöntem trigonometrik paralaks olsa da yıldızların Hipparcos (van Leeuwen, 2007) verilerine göre sönük ($9 < I < 12$ kadir) olmaları sebebiyle, yer tabanlı veya uzay tabanlı gözlemlerle elde edilmiş trigonometrik paralaks verileri mevcut değildir. Bu sebeple yıldızların uzaklıklarının farklı bir yöntemle tayin edilmiştir. Yıldızların uzaklıklarının hesaplanması için Bilir vd. (2008)'nin Hipparcos trigonometrik paralakslarını 2MASS verilerine kalibre ederek elde ettikleri renk-parlaklık bağıntısından yararlanılmıştır.



Şekil 3.4 KY yıldızlarının yüksek olasılıkla bulunduğu, 4000 < T_{eff} (K) < 5400 ve 1 < log g (cm/s^2) < 3 bölgesinin logaritmik sayı yoğunluğu (log N; **sol panel**) ve metal bolluğuna ([Fe/H]; **sağ panel**) göre çizilen T_{eff}–log g diyagramları. Kesikli çizgi 1σ'lık, düz çizgi 2σ'lık sınırı göstermektedir.



Şekil 3.5 RAVE DR4 kataloğundan seçilen 68,663 KY yıldızının S/N oranlarının frekans (alt panel) ve birikimli dağılımları (üst panel). $S/N \geq 40$ olan yıldızlar tüm örneğin %76'sını temsil etmektedir.

Yıldızlararası kızarmanın ölçütü olarak genellikle Johnson fotometrik sisteminde tanımlanan *E(B-V)* renk artığı kullanılır. Schlafly ve Finkbeiner'ın (2011) Galaksimizdeki farklı bakış doğrultuları için Galaktik toz sönümleme haritası kullanılmıştır. Bu harita, yıldızların Galaksi sınırına kadar olduğu varsayımı altında düzenlenmiştir. Her bir yıldızın ekvatoral koordinatlarını girdi olarak NASA/IPAC Kızılötesi Bilim Arşivi'ndeki[2] portala yükleyerek kullanılacak yıldızların $E_{\infty}(B\text{-}V)$ renk artıkları alınmış ve sonra RAVE DR4 kataloğundaki cisimlerle eşleştirilmiştir. Yıldızların uzaklıkları bilindiği takdirde Galaksi sınırına kadar ölçülen uzaklıklar için belirlenen bu renk artığı değerleri indirgenerek yıldızların görünür parlaklıkları çeşitli katsayılarla birlikte yıldızlararası kızarma ve sönümlemeden arındırılmıştır.

d uzaklığındaki bir yıldızın renk artığı, yıldızlararası tozun yükseklik ölçeği (H_z = 125 pc) ve yıldızın Galaktik enlemine göre aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır (Bahcall ve Soneira, 1980).

$$E_d(B-V) = E_{\infty}(B-V)\left(1 - e^{\frac{-d\sin(|b|)}{H_z}}\right) \tag{3.1}$$

Burada $E_{\infty}(B\text{-}V)$, Schlafly ve Finkbeiner'ın (2011) yıldız doğrultusunda hesapladıkları renk artığı, *b,* yıldızın Galaktik enlemi ve H_Z, yıldızlararası tozun yükseklik ölçeğidir (Marshall vd. 2006).

Elde edilen indirgenmiş renk artıkları aşağıdaki bağıntılarda kullanılarak yıldızların JHKs bandları için kızarmadan arındırılmış parlaklıkları ve renkleri hesaplanır. Bu bağıntılardaki katsayılar Fiorucci ve Munari'den (2003) alınmıştır.

$$\begin{aligned} J_0 &= J - 0.887 \times E_d(B-V) \\ (J-H)_0 &= (J-H) - 0.322 \times E_d(B-V) \\ (H-K_s)_0 &= (H-K_s) - 0.182 \times E_d(B-V) \end{aligned} \tag{3.2}$$

Yıldızların bu şekilde elde edilen kızarmadan arındırılmış 2MASS renk indeksleri kullanılarak aşağıdaki bağıntı yardımıyla *J* bandındaki mutlak parlaklıklar hesaplanmıştır (Bilir vd., 2008b).

$$\begin{aligned} M_J = {} & -1.732\pm0.109(J-H)^2_0 - 7.734\pm0.846(H-K_S)^2_0 \\ & +1.084\pm0.99(J-H)_0(H-K_S)_0 + 7.509\pm0.048(J-H)_0 \\ & +2.208\pm0.166(H-K_S)_0 + 1.305\pm0.008 \end{aligned} \tag{3.3}$$

[2] http://irsa.ipac.caltech.edu/applications/DUST/

Yıldızların J bandındaki mutlak parlakları ve görünen parlaklıkları, aşağıdaki bağıntıda yerlerine konularak uzaklıkları hesaplanmıştır.

$$J_0 - M_J = 5 \log (d) - 5 \quad (3.4)$$

(3.4) bağıntısında J_0 değeri kullanıldığı için elde edilen uzaklık, kızarmadan arındırılmıştır.

RAVE DR4 veri setinden Bölüm 3.2'de bahsedilen yöntemle seçilen F-G tayf türü anakol yıldızları Güneş civarında bulundukları ve fotometrik ölçümlerde 2MASS fotometrisi kullanıldığı için kızarma değerleri küçük olsa da, duyarlı sonuçlar elde etmek için kızarma ihmal edilmeyip veriler kızarmadan arındırılarak uzaklıkları tayin edilmiştir.

KY yıldızlarının ise özellikle yakın kızılötesindeki K_s bandında neredeyse sabit bir mutlak parlaklıklığı vardır. Groenewegen (2008), yeniden indirgenmiş *Hipparcos* kataloğundaki (van Leeuwen, 2007) hassas astrometrik verilerden Güneş civarındaki KY yıldızlarını kullanarak K_s bandında ortalama bir mutlak parlaklık değeri belirlemiştir: $M_{Ks} = -1.54 \pm 0.04$ kadir. Bu değer, örneğimizde yer alan tüm KY yıldızları için mutlak parlaklığın değeri olarak kabul edilmiştir.

KY yıldızlarının renk artıkları ve uzaklıkları eş zamanlı bir yöntemle iterasyon yapılarak tayin edilmiştir. Bunun için önce yıldızlara ait sabit M_{Ks} mutlak parlaklıkları ve K_s görünür parlaklıkları yıldızlararası kızarmanın etkisinden arındırılmaksızın Pogson bağıntısında yazılır ve bir ilk uzaklık (d_1) hesaplanır:

$$d_1 = 10^{\frac{K_S - M_{K_S} + 5}{5}} \quad (3.5)$$

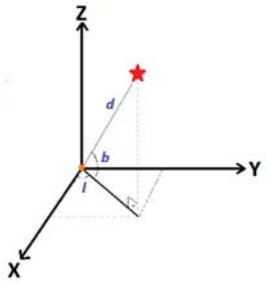
Hesaplanan d_1 uzaklığı, Bahcall ve Soneira'nın (1980) eşitliğinde kullanılarak KY örneğindeki yıldızlar için bir ilk indirgenmiş renk artığı $E_d(B\text{-}V)_1$ değeri (3.1) bağıntısından elde edilir. Böylece, uzaklık indirgemesi yapılan $E_d(B\text{-}V)_1$ renk artığı ile yakın kızılötesi bölgedeki K_s görünür parlaklığı yıldızlararası kızarma ve sönükleştirmenin etkilerinden arındırılarak bir ilk $K_{s0,1}$ görünür parlaklığı Fiorucci ve Munari'nin (2003) sönümleme düzeltmesi katsayılarını kullanılarak aşağıdaki gibi elde edilir:

$$K_{s0,1} = K_s - (0.382 \times E_d(B-V)_1) \quad (3.6)$$

Sonra $K_{s0,1}$ görünür parlaklığı (3.5) bağıntısında kullanılarak ikinci bir uzaklık ve bu uzaklıktan indirgenmiş renk artığı hesaplanır ve kızarmadan arındırma işlemi tekrar edilerek döngü yeniden başlatılır. Bu işlem, yıldızın uzaklığı değişmeyene kadar devam eder. Projemizde yıldız uzaklıkları üçüncü iterasyonda sabitlenmiştir.

KY yıldızlarının uzaklıkları hesaplandıktan sonra, örneğin Güneş ve Galaksi merkezli uzaklıkları da hesaplanabilir. KY yıldızlarının Güneş merkezli uzaklıkları Güneş civarında nasıl bir dağılıma sahip olduklarının bilinmesi açısından gereklidir. Özellikle yıldızların (*X*,*Y*) ve (*X*,*Z*) izdüşüm diyagramları, KY yıldızlarının Galaktik çeyreklere nasıl dağıldıklarının bilinmesini sağlar; zira Galaktik çeyrekler uzay hızı bileşenleri ve hız dispersiyonlarının analizleri açısından da önemlidir.

Güneş merkezli koordinat sisteminin merkezinde Güneş bulunur. Koordinatlar birbirine dik olacak şekilde tanımlanan üç boyuttan oluşur: $r = r(X, Y, Z)$. Şekil 3.6'da temsili bir yıldızın *X*, *Y* ve *Z*-eksenlerine göre Güneş merkezli dik koordinatlarının konumları, Galaktik koordinatlar (*l, b*) ve yıldızın Güneş'ten uzaklığı (*d*) gösterilmektedir.



Şekil 3.6 Güneş merkezli dik koordinat sistemi.

X, *Y* ve *Z* koordinatları uzaklık ve Galaktik koordinatların fonksiyonu olarak aşağıdaki gibi hesaplanır:

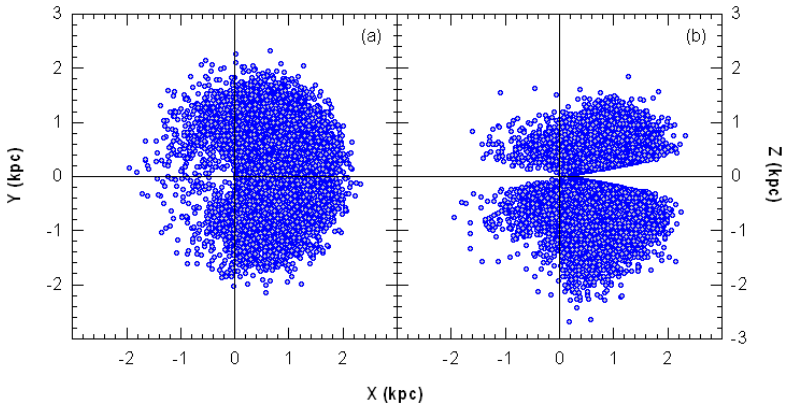
$$X = d \cos b \cos l \tag{3.7}$$

$$Y = d \cos b \sin l \tag{3.8}$$

$$Z = d \sin b \tag{3.9}$$

Uzaklık parametresinin birimine bağlı olarak koordinatların birimi de değişir. Projemizde bunlar kiloparsek (kpc) birimi cinsinden ifade edilmiştir. Uzaklıkları ve Galaktik koordinatları bilinen

52,196 KY yıldızının yukarıdaki bağıntılar yardımıyla hesaplanan Güneş merkezli Galaktik kartezyen koordinatlarının (*X*, *Y*) ve (*X*, *Z*) düzlemlerindeki dağılımı Şekil 3.7'de gösterilmiştir. Yıldızların *X*, *Y* ve *Z* doğrultularındaki medyan uzaklıkları, sırasıyla +0.67, +0.09 ve -0.24 kpc'tir.



Şekil 3.7 KY yıldızlarının (*X*, *Y*) ve (*X*, *Z*) düzlemlerindeki dağılımları.

KY yıldızlarının Galakside bulundukları konumdan Güneş'e uzaklıkları yukarıda bahsedilen yöntemle hesaplanmıştır. Yıldızların Güneş'ten uzaklıkları ve Galaktik koordinatları bilindiği için, Galaksimizin merkezinden uzaklıkları (R_{gc}) da kosinüs teoremi yardımıyla aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$R_{gc} = (R_0^2 + d^2 - 2R_0 d\cos l)^{1/2} \tag{3.10}$$

Burada R_0, Güneş'in Galaksi merkezine uzaklığı olup, değeri 8 kpc kabul edilmiştir (Majewski, 1993). KY yıldızlarının Galaksi merkezine uzaklıkları özellikle yıldızların bugünkü konumları için metal bolluğu gradiyentlerinin hesaplanmasında kullanılmıştır.

Duyarlı parametreleri olan yıldızlar Güneş civarında ve fotometrik *UBV* verilerine sahip olduğundan projemizde hedeflenen kalibrasyonları oluşturabilmek için öncelikle Güneş civarında duyarlı UBV fotometrik verilerine sahip yıldızlardan itibaren kalibrasyonlar elde edilmiştir. Bu kalibrasyonları elde ederken Güneş ile incelenen yıldız arasındaki yıldızlararası ortamın neden olduğu kızarma etkisinin ortadan kaldırılmasında aşağıda verilen bağıntılar kullanılmıştır:

$$E_{\mathrm{d}}(U-B) = 0.72E_d(B-V) + 0.05E_d^2(B-V) \tag{3.11}$$

$$(B-V)_0 = (B-V) - E_d(B-V) \quad (3.12)$$

$$(U-B)_0 = (U-B) - E_d(U-B) \quad (3.13)$$

$$\mathrm{V}_0 = \mathrm{V} - 3.1 \times E_d(\mathrm{B}-\mathrm{V}) \quad (3.14)$$

Yıldızların mutlak parlaklıkları aşağıda verilen Pogson bağıntısı ile tayin edilmiştir:

$$\mathrm{V}_0 - M_\mathrm{V} = 5 \times \log(d) - 5 \quad (3.15)$$

Örneğimizdeki yıldızların tayin edilen kızarmadan arındırılmış V_0, $(B\text{-}V)_0$ ve $(U\text{-}B)_0$ parlaklık ve renk indeksleri, aşağıda verilen Chonis ve Gaskell (2008) formüllerinden elde edilen ters dönüşüm formülleri yardımıyla g_0, $(g\text{-}r)_0$ ve $(u\text{-}g)_0$ parlaklık ve renk indekslerine dönüştürülmüştür.

$$B_0 = g_0 + 0.327\,(g-r)_0 + 0.216 \quad (3.16)$$
$$V_0 = g_0 - 0.587\,(g-r)_0 - 0.011 \quad (3.17)$$
$$R_0 = r_0 - 0.272\,(r-i)_0 - 0.159 \quad (3.18)$$
$$I_0 = i_0 - 0.337\,(r-i)_0 - 0.370 \quad (3.19)$$
$$U_0 = u_0 - 0.854 - 0.007 \quad (3.20)$$

Ters dönüşüm formülleri:

$$g_0 = V_0 + 0.642\,(B-V)_0 \quad (3.21)$$
$$(u-g)_0 = (U-B)_0 + 0.358\,(B-V)_0 + 0.989 \quad (3.22)$$
$$(g-r)_0 = 1.094\,(B-V)_0 - 0.248 \quad (3.23)$$

Dönüşüm formüllerinden elde edilen g_0, $(g\text{-}r)_0$ ve $(u\text{-}g)_0$ parlaklık ve renk indeksleri, V_0, $(B\text{-}V)_0$ ve $(U\text{-}B)_0$ parlaklık ve renk indeksleri ile birlikte Tablo 3.1'de verilmiştir. Kalibrasyon yıldızlarının renk indeksleri $0.15 < (g\text{-}r)_0 < 0.50$ kadir aralığındadır.

Böylece, örneğimizdeki 168 yıldızın fotometrik, tayfsal ve astrometrik verileri fotometrik metal bolluğu ve mutlak parlaklık kalibrasyonlarının elde edilebilmesi için kullanıma hazır hale getirilmiştir.

Tablo 3.1 168 yıldızın atmosferik model parametreleri ile fotometrik parametreleri.

ID	Hip	α_{2000} (hh:mm:ss.ss)	δ_{2000} (dd:mm:ss.s)	π (mas)	T_{eff} (K)	log g (cgs)	[Fe/H] (dex)	V_o (mag)	$(U-B)_o$ (mag)	$(B-V)_o$ (mag)	g_o (mag)	$(u-g)_o$ (mag)	$(g-r)_o$ (mag)	Bibliographic Code
1	493	00 05 54.70	+18 14 06.0	26.93	5826	4.36	-0.29	7.435	0.036	0.555	7.656	1.224	0.359	2004AJ....128.1177V
2	910	00 11 15.86	-15 28 04.7	53.34	6289	4.17	-0.33	4.886	-0.016	0.489	5.065	1.148	0.287	2014A&A...562A..71B
3	1599	00 20 04.26	-64 52 29.3	116.46	5932	4.33	-0.19	4.225	0.017	0.571	4.457	1.210	0.377	2014A&A...562A..71B
4	1976	00 25 01.42	-30 41 51.7	21.27	5982	4.32	+0.19	7.548	0.152	0.611	7.805	1.360	0.420	2014A&A...562A..71B
5	2711	00 34 27.83	-52 22 23.1	39.24	6499	4.22	+0.06	5.563	-0.017	0.464	5.726	1.138	0.260	2014A&A...562A..71B
6	3182	00 40 32.24	-29 52 05.8	16.76	5643	4.32	-0.29	8.695	0.084	0.627	8.963	1.297	0.438	2014A&A...562A..71B
7	3479	00 44 26.65	-26 30 56.4	30.89	5563	4.40	-0.26	7.777	0.155	0.663	8.068	1.381	0.477	2014A&A...562A..71B
8	3497	00 44 39.27	-65 38 58.3	45.34	5638	4.41	-0.32	6.538	0.106	0.652	6.822	1.328	0.465	2014A&A...562A..71B
9	3704	00 47 30.75	-36 56 24.7	20.51	6078	4.40	-0.35	7.819	-0.044	0.536	8.028	1.137	0.338	2014A&A...562A..71B
10	3909	00 50 07.59	-10 38 39.6	63.48	6352	4.45	-0.03	5.178	-0.005	0.507	5.368	1.166	0.307	2014A&A...562A..71B
11	4544	00 58 11.69	+80 06 49.3	9.23	5832	4.51	-0.87	9.630	-0.135	0.492	9.811	1.030	0.290	2006MNRAS.367.1329R
12	4892	01 02 49.72	-37 18 58.2	16.48	5994	4.42	-0.29	8.501	0.004	0.575	8.735	1.199	0.381	2014A&A...562A..71B
13	5163	01 06 05.15	+01 42 23.1	10.84	5547	4.63	-0.74	9.416	-0.007	0.584	9.656	1.191	0.391	2006MNRAS.367.1329R
14	5301	01 07 48.66	-08 14 01.3	18.23	5686	4.39	-0.11	8.384	0.157	0.632	8.655	1.372	0.443	2014A&A...562A..71B
15	5862	01 15 11.12	-45 31 54.0	66.16	6145	4.24	+0.17	4.954	0.097	0.570	5.185	1.290	0.376	2014A&A...562A..71B
16	6159	01 18 59.99	-08 56 22.2	15.35	5653	4.56	-0.67	8.862	-0.027	0.583	9.101	1.171	0.390	2006MNRAS.367.1329R
17	7217	01 32 57.60	+23 41 44.0	14.60	5550	4.20	-0.48	8.960	0.043	0.598	9.209	1.246	0.406	2004AJ....128.1177V
18	7459	01 36 05.80	-61 05 03.0	10.87	5759	4.31	-1.23	10.07	-0.167	0.520	10.269	1.008	0.321	2010A&A...511L..10N
19	7978	01 42 29.32	-53 44 27.0	57.36	6219	4.41	+0.05	5.531	-0.006	0.527	5.734	1.172	0.329	2014A&A...562A..71B
20	8859	01 53 57.68	+10 36 50.5	24.12	6420	4.21	-0.30	6.730	-0.062	0.444	6.880	1.086	0.238	2014A&A...562A..71B
21	9085	01 56 59.98	-51 45 58.5	37.22	6334	4.29	-0.26	6.088	-0.062	0.477	6.259	1.098	0.274	2014A&A...562A..71B
22	10449	02 14 40.30	-01 12 05.1	15.87	5566	4.64	-0.87	9.055	-0.077	0.571	9.287	1.116	0.377	2006MNRAS.367.1329R
23	10652	02 17 07.14	+21 34 00.5	15.93	5499	4.58	-0.67	8.954	-0.008	0.592	9.199	1.193	0.400	2006MNRAS.367.1329R
24	12294	02 38 21.50	+02 26 44.4	5.82	6069	4.58	-0.95	10.47	-0.171	0.443	10.619	0.977	0.237	2006MNRAS.367.1329R
25	12306	02 38 27.86	+30 48 59.9	29.17	5832	4.44	-0.52	7.306	-0.015	0.569	7.536	1.178	0.374	2014A&A...562A..71B
26	12444	02 40 12.42	-09 27 10.4	45.96	6383	4.41	+0.09	5.766	-0.013	0.517	5.963	1.161	0.318	2014A&A...562A..71B
27	12653	02 42 33.47	-50 48 01.1	58.25	6375	4.73	+0.27	5.394	0.073	0.553	5.614	1.260	0.357	2014A&A...562A..71B
28	12777	02 44 12.00	+49 13 42.0	89.87	5309	4.30	-0.02	4.090	-0.009	0.482	4.264	1.153	0.279	2004AJ....128.1177V
29	12889	02 45 41.01	-38 09 31.4	20.16	5999	4.23	-0.13	7.625	0.043	0.576	7.860	1.238	0.382	2014A&A...562A..71B
30	13366	02 51 58.36	+11 22 11.9	16.39	5856	4.26	-0.69	8.234	-0.096	0.499	8.419	1.072	0.298	2014A&A...562A..71B
31	14241	03 03 38.96	-05 39 58.7	28.54	5430	4.33	-0.45	8.048	0.108	0.658	8.335	1.333	0.472	2014A&A...562A..71B
32	15131	03 15 06.39	-45 39 53.4	41.34	5985	4.54	-0.43	6.748	-0.023	0.576	6.983	1.172	0.382	2014A&A...562A..71B
33	15158	03 15 22.52	-01 10 43.1	10.55	6191	4.18	-0.06	8.460	0.009	0.501	8.647	1.177	0.300	2014A&A...562A..71B
34	15381	03 18 19.98	+18 10 17.8	20.16	5882	4.24	+0.08	7.472	0.154	0.598	7.721	1.357	0.406	2014A&A...562A..71B
35	16169	03 28 21.08	-06 31 51.3	21.38	5650	4.34	-0.57	8.210	0.022	0.612	8.468	1.230	0.422	2014A&A...562A..71B
36	17147	03 40 22.06	-03 13 01.1	39.12	5970	4.52	-0.81	6.664	-0.092	0.532	6.871	1.087	0.334	2014A&A...562A..71B
37	22632	04 52 09.91	-27 03 51.0	15.00	5909	4.22	-1.62	9.106	-0.196	0.481	9.280	0.965	0.278	2014A&A...562A..71B
38	23555	05 03 53.95	-41 44 41.8	31.50	6466	4.64	+0.22	6.296	0.039	0.528	6.500	1.217	0.330	2014A&A...562A..71B
39	23688	05 05 28.70	+40 15 26.0	8.79	6293	4.41	-0.89	9.647	-0.163	0.416	9.779	0.975	0.207	2010A&A...511L..10N
40	24030	05 09 56.96	+05 33 26.7	8.66	5738	4.64	-1.00	9.648	-0.147	0.497	9.832	1.020	0.296	2006MNRAS.367.1329R
41	25860	05 31 13.78	+15 46 24.4	20.07	5543	4.56	-0.35	8.506	0.088	0.627	8.774	1.301	0.438	2006MNRAS.367.1329R
42	26617	05 39 27.44	+03 57 02.7	8.79	5429	4.67	-0.75	10.116	-0.025	0.554	10.337	1.162	0.358	2006MNRAS.367.1329R
43	27072	05 44 27.79	-22 26 54.2	112.02	6323	4.16	-0.02	3.587	-0.008	0.480	3.760	1.153	0.277	2014A&A...562A..71B
44	28403	05 59 55.79	-37 03 24.2	19.64	5668	4.31	-0.33	8.575	0.046	0.620	8.838	1.257	0.430	2014A&A...562A..71B
45	28671	06 03 14.86	+19 21 38.7	16.81	5396	4.39	-1.11	9.260	-0.055	0.602	9.511	1.150	0.411	2014A&A...562A..71B
46	29432	06 12 00.60	+06 46 59.0	42.55	5726	4.58	-0.16	6.826	0.119	0.625	7.092	1.332	0.436	2004AJ....128.1177V
47	31188	06 32 37.99	-06 29 18.5	16.79	5789	4.54	-0.59	8.514	-0.094	0.525	8.716	1.083	0.326	2006MNRAS.367.1329R
48	33582	06 58 38.54	-00 28 49.7	12.56	5773	4.11	-0.62	8.987	-0.024	0.569	9.217	1.169	0.374	2014A&A...562A..71B
49	34017	07 03 30.46	+29 20 13.5	52.27	5920	4.42	-0.12	5.921	0.058	0.588	6.163	1.258	0.395	2014A&A...562A..71B
50	34511	07 09 04.96	+15 25 17.7	21.64	5789	4.44	-0.11	7.981	0.116	0.614	8.240	1.325	0.424	2014A&A...562A..71B
51	35139	07 15 50.80	-13 02 58.1	30.95	5771	4.47	-0.52	7.749	-0.018	0.605	8.002	1.188	0.414	2014A&A...562A..71B
52	36491	07 30 29.02	+18 57 40.6	20.20	5869	4.31	-0.95	8.482	-0.120	0.514	8.677	1.053	0.314	2014A&A...562A..71B
53	36849	07 34 35.11	+16 54 04.0	12.37	6012	4.16	-0.84	8.922	-0.116	0.501	9.109	1.052	0.300	2014A&A...562A..71B
54	37419	07 40 54.38	-26 21 48.6	19.16	5715	4.38	-0.33	8.655	0.064	0.616	8.915	1.274	0.426	2014A&A...562A..71B
55	38541	07 53 33.12	+30 36 18.3	34.30	5316	4.60	-1.84	8.288	-0.128	0.615	8.548	1.081	0.425	2014A&A...562A..71B
56	38769	07 56 10.20	+50 32 27.3	11.56	5726	4.15	-0.79	8.780	-0.072	0.504	8.969	1.097	0.303	2006MNRAS.367.1329R
57	40118	08 11 38.64	+32 27 25.7	45.90	5484	4.58	-0.47	6.817	0.125	0.676	7.116	1.356	0.492	2006MNRAS.367.1329R
58	40778	08 19 22.60	+54 05 10.0	10.35	6006	4.23	-1.55	9.699	-0.222	0.467	9.864	0.934	0.263	2010A&A...511L..10N
59	41484	08 27 36.80	+45 39 11.0	44.94	5703	4.46	-0.08	6.312	0.118	0.623	6.577	1.330	0.434	2004AJ....128.1177V
60	42356	08 38 08.51	+26 02 56.3	22.91	5962	4.42	+0.17	7.560	0.131	0.626	7.827	1.344	0.437	2014A&A...562A..71B
61	43595	08 52 44.51	+22 33 30.2	7.87	5506	4.67	-0.84	10.789	-0.049	0.587	11.031	1.150	0.394	2006MNRAS.367.1329R
62	43726	08 54 17.90	-05 26 04.0	57.52	5763	4.37	+0.01	6.007	0.211	0.665	6.299	1.438	0.480	2004AJ....128.1177V
63	44116	08 59 06.00	-00 37 26.0	12.70	6275	4.10	-0.58	8.456	-0.109	0.432	8.598	1.035	0.225	2004AJ....128.1177V
64	44713	09 06 38.83	-43 29 31.1	26.83	5823	4.34	+0.14	7.261	0.191	0.651	7.544	1.413	0.464	2014A&A...562A..71B
65	44811	09 07 56.60	-50 28 57.0	24.53	5824	4.45	-0.64	7.622	-0.063	0.532	7.829	1.116	0.334	2004AJ....128.1177V
66	47048	09 35 16.70	-49 07 48.9	10.26	6630	4.12	-0.50	8.451	-0.118	0.366	8.551	1.002	0.152	2014A&A...562A..71B
67	47174	09 36 49.50	+57 54 41.0	11.99	5603	4.33	-0.45	9.940	0.025	0.623	10.205	1.237	0.434	2010A&A...511L..10N
68	48209	09 49 42.82	+65 18 15.0	13.10	5415	4.64	-0.65	9.601	0.078	0.643	9.879	1.297	0.455	2006MNRAS.367.1329R
69	49285	10 03 37.38	-29 02 36.0	21.13	5520	4.29	-0.21	8.073	0.191	0.668	8.367	1.419	0.483	2014A&A...562A..71B
70	49615	10 07 33.80	-06 26 21.0	21.25	6019	4.29	-0.43	7.703	-0.064	0.504	7.892	1.105	0.303	2004AJ....128.1177V
71	49793	10 09 49.58	-36 45 14.9	22.58	5764	4.33	-0.63	8.054	-0.026	0.587	8.296	1.173	0.394	2014A&A...562A..71B
72	49942	10 11 48.07	+23 45 18.7	16.86	5676	4.36	-0.27	8.397	0.110	0.625	8.663	1.323	0.436	2014A&A...562A..71B
73	50834	10 22 46.93	-45 28 14.2	8.09	6552	4.23	-0.27	9.239	-0.089	0.412	9.369	1.047	0.203	2014A&A...562A..71B
74	50965	10 24 35.68	-05 31 10.8	9.14	5715	4.56	-0.57	9.753	-0.011	0.555	9.974	1.177	0.359	2006MNRAS.367.1329R
75	52673	10 46 14.24	-29 20 25.5	14.07	5541	4.62	-0.66	9.531	0.021	0.627	9.799	1.234	0.438	2006MNRAS.367.1329R
76	52771	10 47 23.16	+28 23 55.9	10.45	5354	4.77	-1.98	10.203	-0.232	0.488	10.381	0.932	0.286	2006MNRAS.367.1329R
77	53537	10 57 09.60	+21 48 17.0	20.32	6019	4.43	+0.05	7.928	0.117	0.616	8.188	1.327	0.426	2004AJ....128.1177V
78	53721	10 59 28.00	+40 25 49.0	71.11	5882	4.34	+0.01	5.027	0.123	0.605	5.280	1.329	0.414	2004AJ....128.1177V
79	54469	11 08 40.07	-44 15 33.7	9.27	6098	4.34	-0.43	9.749	-0.035	0.542	9.962	1.148	0.345	2014A&A...562A..71B
80	54641	11 11 00.74	-65 25 37.8	18.36	6168	4.29	-1.14	8.083	-0.176	0.458	8.242	0.977	0.253	2014A&A...562A..71B

Tablo 3.1 devam

ID	Hip	α_{2000} (hh:mm:ss.ss)	δ_{2000} (dd:mm:ss.s)	π (mas)	T_{eff} (K)	log g (cgs)	[Fe/H] (dex)	V_o (mag)	$(U-B)_o$ (mag)	$(B-V)_o$ (mag)	g_o (mag)	$(u-g)_o$ (mag)	$(g-r)_o$ (mag)	Bibliographic Code
81	54924	11 14 49.93	-23 38 47.9	15.02	5682	4.34	-0.80	9.018	-0.008	0.568	9.248	1.184	0.373	2014A&A...562A..71B
82	55592	11 23 16.23	+19 53 37.7	8.35	5995	4.14	-1.02	9.942	-0.147	0.470	10.109	1.010	0.266	2014A&A...562A..71B
83	55761	11 25 31.80	+42 37 58.0	22.95	5741	4.35	-0.62	7.847	-0.043	0.536	8.056	1.138	0.338	2004AJ....128.1177V
84	56664	11 37 08.12	-39 28 12.0	9.45	6364	4.07	-0.68	8.636	-0.109	0.412	8.766	1.027	0.203	2014A&A...562A..71B
85	57017	11 41 22.48	-26 40 01.9	18.78	6380	4.35	-0.43	7.508	-0.065	0.463	7.670	1.090	0.259	2014A&A...562A..71B
86	57265	11 44 35.70	+25 32 12.0	6.25	5928	4.23	-0.93	10.318	-0.143	0.462	10.48	1.011	0.257	2010A&A...511L..10N
87	57443	11 46 31.10	-40 30 01.0	108.45	5524	4.29	-0.35	4.879	0.098	0.662	5.169	1.324	0.476	2004AJ....128.1177V
88	57450	11 46 35.15	+50 52 54.7	12.85	5315	4.74	-1.50	9.902	-0.154	0.555	10.123	1.034	0.359	2006MNRAS.367.1329R
89	58843	12 04 05.56	+03 20 26.7	14.24	5726	4.41	-0.84	9.194	-0.059	0.579	9.431	1.137	0.385	2014A&A...562A..71B
90	58950	12 05 13.41	-28 43 02.0	27.85	5686	4.45	-0.19	7.757	0.134	0.642	8.034	1.353	0.454	2014A&A...562A..71B
91	59380	12 10 57.93	-46 19 19.1	27.31	5901	4.38	-0.58	7.502	-0.059	0.554	7.723	1.128	0.358	2014A&A...562A..71B
92	61053	12 30 50.10	+53 04 36.0	45.92	6060	4.35	-0.11	6.193	0.013	0.545	6.408	1.197	0.348	2004AJ....128.1177V
93	61619	12 37 39.13	+38 41 03.7	17.81	6429	4.26	+0.04	7.338	-0.023	0.476	7.509	1.136	0.273	2014A&A...562A..71B
94	62108	12 43 43.22	-44 40 31.6	8.17	6293	4.37	-1.53	9.841	-0.176	0.441	9.989	0.971	0.234	2014A&A...562A..71B
95	62207	12 44 59.40	+39 16 44.0	57.55	5795	4.15	-0.59	5.945	-0.045	0.546	6.161	1.139	0.349	2004AJ....128.1177V
96	62809	12 52 11.64	-56 34 28.0	20.67	5658	4.38	-0.77	8.424	-0.032	0.596	8.672	1.170	0.404	2014A&A...562A..71B
97	64345	13 11 21.40	+09 37 33.5	16.88	5598	4.37	-0.60	8.718	0.047	0.613	8.977	1.255	0.423	2014A&A...562A..71B
98	64394	13 11 52.40	+27 52 41.0	109.54	6029	4.38	+0.03	4.228	0.067	0.570	4.459	1.260	0.376	2004AJ....128.1177V
99	64698	13 15 36.97	+09 00 57.7	18.48	5624	4.35	-0.13	8.425	0.164	0.652	8.709	1.386	0.465	2014A&A...562A..71B
100	64747	13 16 11.25	+35 53 09.1	21.87	5718	4.47	-0.21	8.271	0.118	0.637	8.545	1.335	0.449	2014A&A...562A..71B
101	65418	13 24 30.60	+20 27 22.0	3.12	6043	4.18	-1.56	12.138	-0.186	0.433	12.281	0.958	0.226	2010A&A...511L..10N
102	66238	13 34 32.65	-38 54 26.0	33.27	5660	4.42	-0.22	7.279	0.117	0.665	7.571	1.344	0.480	2014A&A...562A..71B
103	67655	13 51 40.40	-57 26 08.0	39.42	5396	4.38	-0.93	7.941	-0.002	0.653	8.225	1.221	0.466	2004AJ....128.1177V
104	67863	13 53 58.12	-46 32 19.5	16.70	5692	4.35	-0.76	9.004	-0.055	0.593	9.250	1.146	0.401	2014A&A...562A..71B
105	68030	13 55 50.00	+14 03 23.0	40.22	6081	4.40	-0.38	6.151	-0.087	0.498	6.336	1.080	0.297	2004AJ....128.1177V
106	70319	14 23 15.30	+01 14 30.0	58.17	5597	4.44	-0.41	6.242	0.081	0.634	6.514	1.297	0.446	2004AJ....128.1177V
107	70681	14 27 24.91	-18 24 40.4	21.04	5484	4.48	-1.30	9.259	-0.113	0.583	9.498	1.085	0.390	2014A&A...562A..71B
108	70829	14 29 03.26	-46 44 28.0	19.18	5471	4.47	-0.67	8.903	0.084	0.673	9.200	1.314	0.488	2014A&A...562A..71B
109	71076	14 32 04.50	+18 50 10.0	17.24	6038	4.22	-0.39	7.787	-0.085	0.493	7.969	1.080	0.291	2004AJ....128.1177V
110	71735	14 40 28.26	-57 01 46.4	37.71	5513	4.43	-0.35	7.348	0.141	0.658	7.635	1.366	0.472	2014A&A...562A..71B
111	72407	14 48 18.70	+58 54 36.1	10.65	5567	4.56	-0.54	9.750	0.071	0.617	10.011	1.281	0.427	2006MNRAS.367.1329R
112	72673	14 51 31.72	-60 55 50.8	20.06	6374	4.29	-0.56	7.117	-0.117	0.431	7.259	1.026	0.224	2014A&A...562A..71B
113	74067	15 08 12.57	-07 54 47.5	26.62	5695	4.38	-0.81	7.969	-0.057	0.580	8.206	1.140	0.387	2014A&A...562A..71B
114	75181	15 21 48.15	-48 19 03.5	67.51	5698	4.46	-0.32	5.639	0.066	0.635	5.912	1.282	0.447	2014A&A...562A..71B
115	78640	16 03 13.30	+42 14 46.6	8.41	6069	4.30	-1.43	9.835	-0.202	0.468	10.000	0.955	0.264	2014A&A...562A..71B
116	81520	16 39 04.14	-58 15 29.5	44.54	5746	4.62	-0.44	7.002	0.025	0.609	7.258	1.232	0.418	2014A&A...562A..71B
117	81681	16 41 08.21	-02 51 26.2	33.82	5565	4.52	-0.38	7.160	0.050	0.604	7.413	1.255	0.413	2006MNRAS.367.1329R
118	83229	17 00 31.65	-57 17 49.6	32.77	5865	4.41	-0.49	6.987	-0.024	0.568	7.217	1.168	0.373	2014A&A...562A..71B
119	83489	17 03 49.15	+17 11 21.1	13.43	5722	4.28	-0.29	9.078	0.088	0.635	9.351	1.304	0.447	2014A&A...562A..71B
120	84988	17 22 12.65	-75 20 53.3	35.67	5686	4.25	-0.70	6.977	-0.016	0.593	7.223	1.185	0.401	2014A&A...562A..71B
121	85007	17 22 27.65	+24 52 46.0	34.12	6064	4.32	-0.39	6.851	-0.068	0.505	7.040	1.102	0.304	2014A&A...562A..71B
122	85042	17 22 51.29	-02 23 17.4	51.22	5648	4.46	0.00	6.217	0.220	0.659	6.505	1.445	0.473	2014A&A...562A..71B
123	86013	17 34 43.06	+06 00 51.6	19.38	5760	4.30	-0.81	8.353	-0.059	0.558	8.576	1.130	0.362	2014A&A...562A..71B
124	86321	17 38 15.61	+18 33 25.5	8.38	5760	4.59	-0.87	9.724	-0.117	0.465	9.888	1.038	0.261	2006MNRAS.367.1329R
125	87062	17 47 28.00	-08 46 48.0	9.59	6027	4.32	-1.49	10.266	-0.209	0.485	10.442	0.954	0.283	2010A&A...511L..10N
126	88945	18 09 21.38	+29 57 06.2	40.29	5869	4.62	+0.02	6.838	0.087	0.616	7.098	1.297	0.426	2014A&A...562A..71B
127	92270	18 48 16.40	+23 30 53.1	34.78	6376	4.23	-0.05	6.098	0.015	0.494	6.280	1.181	0.292	2014A&A...562A..71B
128	92532	18 51 25.20	+38 37 36.0	32.72	5825	4.30	-0.56	7.138	-0.048	0.536	7.347	1.133	0.338	2004AJ....128.1177V
129	92781	18 54 23.20	-04 36 18.6	14.59	5765	4.33	-0.69	9.000	-0.067	0.561	9.225	1.123	0.366	2014A&A...562A..71B
130	93185	18 58 51.00	+30 10 50.3	41.94	5864	4.54	-0.29	6.775	-0.004	0.575	7.009	1.191	0.381	2014A&A...562A..71B
131	94129	19 09 39.24	-21 28 10.8	17.60	5630	4.35	-0.27	8.171	0.121	0.617	8.432	1.331	0.427	2006MNRAS.367.1329R
132	94645	19 15 33.23	-24 10 45.7	36.30	6365	4.56	+0.24	6.232	0.065	0.533	6.439	1.245	0.335	2014A&A...562A..71B
133	96124	19 32 40.33	-28 01 11.3	36.72	5577	4.47	-0.22	7.129	0.150	0.664	7.420	1.377	0.478	2014A&A...562A..71B
134	96258	19 34 19.79	+51 14 11.8	39.82	6380	4.15	-0.03	5.721	-0.012	0.464	5.884	1.143	0.260	2014A&A...562A..71B
135	98355	19 58 58.54	-46 05 17.0	19.11	6232	4.18	-0.62	7.445	-0.092	0.468	7.610	1.065	0.264	2014A&A...562A..71B
136	99139	20 07 36.91	-41 01 09.6	17.95	5612	4.32	-0.37	8.809	0.093	0.630	9.078	1.308	0.441	2014A&A...562A..71B
137	99938	20 16 38.08	-07 26 37.8	17.64	5732	4.48	-0.54	8.360	-0.031	0.566	8.588	1.161	0.371	2006MNRAS.367.1329R
138	100017	20 17 31.30	+66 51 13.0	56.92	5782	4.44	-0.19	5.854	0.045	0.567	6.083	1.237	0.372	2004AJ....128.1177V
139	100279	20 20 24.60	+06 01 53.0	10.46	5673	4.31	-0.72	10.039	-0.070	0.583	10.278	1.128	0.390	2010A&A...511L..10N
140	100568	20 23 35.85	-21 22 14.2	22.78	5800	4.48	-1.10	8.628	-0.139	0.541	8.840	1.044	0.344	2014A&A...562A..71B
141	100792	20 26 11.92	+09 27 00.4	17.00	6002	4.31	-1.11	8.310	-0.182	0.472	8.478	0.976	0.268	2014A&A...562A..71B
142	102018	20 40 22.33	-24 07 04.9	24.89	5933	4.12	+0.13	7.187	0.137	0.594	7.433	1.339	0.402	2014A&A...562A..71B
143	102046	20 40 49.38	-18 47 33.3	16.15	6009	4.13	-1.05	8.204	-0.137	0.486	8.381	1.026	0.284	2014A&A...562A..71B
144	102762	20 49 15.19	-20 37 50.8	17.11	5948	4.30	-0.04	8.070	0.067	0.575	8.304	1.262	0.381	2014A&A...562A..71B
145	102805	20 49 37.80	+12 32 42.0	32.66	6337	4.31	-0.32	5.990	-0.095	0.414	6.121	1.042	0.205	2004AJ....128.1177V
146	103458	20 57 40.07	-44 07 45.7	45.17	5843	4.53	-0.61	6.507	-0.045	0.582	6.746	1.152	0.389	2014A&A...562A..71B
147	103498	20 58 08.52	-48 12 13.5	18.95	5856	4.23	-1.11	8.271	-0.134	0.514	8.466	1.039	0.314	2014A&A...562A..71B
148	103897	21 03 06.10	+29 28 56.0	7.70	5607	4.39	-0.67	10.083	0.005	0.576	10.318	1.200	0.382	2010A&A...511L..10N
149	104659	21 11 59.03	+17 43 39.9	29.10	5973	4.35	-1.08	7.343	-0.164	0.502	7.530	1.005	0.301	2014A&A...562A..71B
150	107294	21 43 57.12	+27 23 24.0	9.03	5929	4.63	-1.14	9.993	-0.153	0.462	10.155	1.001	0.257	2006MNRAS.367.1329R
151	107877	21 51 24.61	-23 16 14.2	24.91	6355	4.20	-0.24	6.850	-0.049	0.477	7.021	1.111	0.274	2014A&A...562A..71B
152	108468	21 58 24.32	-12 39 52.8	29.93	5799	4.25	-0.08	7.188	0.110	0.618	7.450	1.320	0.428	2014A&A...562A..71B
153	108736	22 01 36.52	-53 05 36.9	27.95	5990	4.47	-0.29	7.088	0.022	0.565	7.316	1.213	0.370	2014A&A...562A..71B
154	109144	22 06 33.17	+01 51 25.7	19.52	6272	4.21	-0.08	7.216	0.014	0.515	7.412	1.187	0.315	2014A&A...562A..71B
155	109381	22 09 34.61	-41 13 29.6	23.53	5803	4.46	+0.13	7.828	0.208	0.657	8.115	1.432	0.471	2014A&A...562A..71B
156	109646	22 12 43.50	-06 28 08.0	27.64	5910	4.25	-0.64	7.408	-0.087	0.510	7.600	1.085	0.310	2004AJ....128.1177V
157	110035	22 17 15.14	+12 53 54.6	32.22	5907	4.42	-0.14	7.010	0.069	0.590	7.254	1.269	0.397	2014A&A...562A..71B
158	110341	22 20 55.80	+08 11 12.3	32.33	6577	4.35	-0.09	6.147	-0.059	0.440	6.294	1.088	0.233	2014A&A...562A..71B
159	110560	22 23 49.10	+24 23 33.0	5.32	5791	4.14	-0.53	10.544	-0.013	0.540	10.756	1.169	0.343	2010A&A...511L..10N
160	111565	22 36 07.70	-54 36 38.2	31.82	5534	4.44	-0.48	7.571	0.098	0.662	7.861	1.324	0.476	2014A&A...562A..71B
161	112811	22 50 45.94	+01 51 54.6	16.56	5347	4.64	-0.70	9.283	0.069	0.664	9.574	1.296	0.478	2006MNRAS.367.1329R
162	113688	23 01 33.17	+19 16 10.7	12.07	5757	4.29	-0.14	8.596	0.073	0.586	8.837	1.272	0.393	2014A&A...562A..71B
163	113896	23 03 57.30	-04 47 42.0	34.03	5872	4.28	-0.18	6.658	0.047	0.573	6.891	1.241	0.379	2004AJ....128.1177V
164	114450	23 10 43.49	+18 54 32.6	14.48	5935	4.40	-0.05	8.427	0.024	0.552	8.646	1.211	0.356	2014A&A...562A..71B
165	114702	23 14 07.47	-08 55 27.6	25.60	6028	4.33	-0.34	7.529	-0.043	0.546	7.745	1.141	0.349	2014A&A...562A..71B
166	114924	23 16 42.30	+53 12 49.0	48.77	6134	4.21	0.00	5.564	0.007	0.519	5.762	1.182	0.320	2004AJ....128.1177V
167	116106	23 31 31.50	-04 05 15.0	38.29	6005	4.42	-0.24	6.480	-0.031	0.520	6.679	1.144	0.321	2004AJ....128.1177V
168	118115	23 57 33.52	-09 38 51.1	20.84	5833	4.39	+0.02	7.832	0.139	0.631	8.102	1.354	0.442	2014A&A...562A..71B

3.4 Metal Bolluğu ve Mutlak Parlaklık Kalibrasyonları

Projemizin amacı Galaksimizin metal bolluğu haritasını oluşturmak ve metal bolluğu gradyentlerini araştırmak olduğundan, SDSS fotometrisi için duyarlı metal bolluğu ve mutlak parlaklık kalibrasyonlarının elde edilmesi gerekmektedir. SDSS fotometrisi ile sönük yıldızların gözlemleri hedeflendiği için program dâhilindeki yıldızlar Güneş civarının çok ötesinde bulunur. Duyarlı parametreleri olan yıldızlar ise Güneş civarındadır ve fotometrik *UBV* verilerine sahiptir. Bu nedenle projemizde hedeflenen kalibrasyonları oluşturabilmek için öncelikle Güneş civarında duyarlı UBV fotometrik verilerine sahip yıldızlardan itibaren kalibrasyonlar elde edilmiştir. Daha sonra, UBV fotometrisiyle elde edilen metal bolluğu ve mutlak parlaklık kalibrasyonları Chonis ve Gaskell'in (2008) dönüşüm formülleriyle SDSS fotometrisine dönüştürülmüştür.

Kalibrasyonları oluşturmak için trigonometrik paralaksları ölçülmüş, *UBV* parlaklıkları bilinen, yüksek çözünürlükte tayfları alınmış ve atmosfer parametreleri hesaplanmış yıldızlar tercih edilmiştir. Bu yıldızlara ait literatürdeki veriler aşağıda belirtildiği gibi seçilmiştir:

- Tayfsal veriler için, etkin sıcaklığı (T_{eff}), yüzey çekim ivmesi (log g) ve metal bolluğu ([*Fe*/*H*]) verilerinin bulunduğu Bensby vd. (2014), Nissen ve Schsuter (2010), Reddy vd. (2006), Venn vd.'nin (2004) çalışmalarından yararlanılmıştır. Bu çalışmalardaki yıldız sayıları, sırasıyla, 571, 91, 109 ve 184'tür.
- F-G tayf türündeki anakol yıldızlarını belirlemek için Cox'un (2000) anakol yıldızları için verdiği $5310 < T_{eff}$ (K) < 7300 etkin sıcaklık ve log g (cm/s^2) > 4 yüzey çekim ivmesi aralıkları dikkate alınmıştır. Yukarıda bahsedilen çalışmalardaki yıldızlara bu sınırlamalar getirildiğinde yıldız sayısı 429 olmuştur. Yıldızların ön incelemeleri yapıldığında dört farklı çalışmadan gelen bazı yıldızların örtüştüğü görülmüştür. Bu yıldızların örnekten çıkartılmasında en yeni tarihli çalışma dikkate alınmıştır. Ayrıca oluşturulan yıldız örneğinde, çift yıldız ve değişen yıldızların da elenmesi için SİMBAD[3] veri tabanında verilen nesne türü dikkate alınmış ve böylece yıldız örneğimizin sayısı 168 olmuştur.
- *V*, *U-B* ve *B-V* fotometrik verileri Mermillod'un (1997) *UBV* parlaklarını içeren "Catalogue of Homogeneous Means in the *UBV* System" isimli çalışmasından alınmıştır.

[3] http://simbad.u-strasbg.fr/simbad/

- Trigonometrik paralakslar, yeniden indirgenen *Hipparcos* kataloğundan (van Leeuwen, 2007) alınmıştır.

Yıldızların uzaklık hesabında d(pc) = 1000/π(mas) bağıntısı kullanılmıştır. Yıldızlar Güneş civarından seçilmiş olsa bile, parlaklık ve renkleri yıldızlararası ortamın neden olduğu sönükleşme ve kızarmadan etkilenmektedir. Bu etkinin ortadan kaldırılması için Schlafly ve Finkbeiner'ın (2011) kızarma haritasından faydalanılmıştır. NASA Extragalactic Database[4] web sayfasında yer alan kızarma haritası üzerinde yıldızların Galaktik koordinatları girilerek, yıldız doğrultusunda Galaksi sınırına kadar ölçülmüş V bandı sönümleme değerleri elde edilmiştir.

Yıldızların (U-B, B-V) iki renk diyagramı üzerindeki konumlarının Güneş metal bolluğundaki Hyades kümesinin aynı renkteki anakoluna göre U-B farkları metal bolluğuna duyarlıdır. Morötesi artığı ($\delta_{U\text{-}B}$) olarak bilinen bu fark, Sandage (1969) tarafından tayfsal metal bolluklarına göre kalibre edilmiştir.

Yıldızlar, metal bolluğu açısından fakirleştikçe mor ötesi artıklarında bir artış görülür. Bu da tayfsal verilerden itibaren hesaplanan metal bolluklarının fotometrik indeks kullanarak kalibrasyonlarının yapılmasına olanak verir. Kalibre edilen morötesi artıkları yıldızların metal bolluklarının hesaplanmasında kullanılmaktadır.

Örneğimizdeki yıldızların renk indekslerinin aralığı Cox'un (2000) F-G tayf türü anakol yıldızları için vermiş olduğu renk aralığına uygun olup $0.30 < (B\text{-}V)_0 < 0.68$ kadirdir. Kalibrasyonlarda kullanılacak bu yıldızların metal bolluğu dağılımı incelendiğinde, $-2 <$ [Fe/H] < 0.4 dex aralığında olduğu, -0.8 dex ile 0 dex arasında yoğunlaştığı ve [Fe/H]= -0.3 dex'te maksimuma ulaştığı görülmektedir.

F-G tayf türü 168 anakol yıldızının trigonometrik paralaks ve hataları yeniden indirgenmiş *Hipparcos* kataloğundan (van Leeuwen, 2007) alınarak, rölatif paralaks hataları σ_π/π hesaplanmış ve dağılımlarına bakıldığında rölatif paralaks hatalarının 0 ile 0.4 aralığında olduğu görülmüştür. Rölatif paralaks hatası $\sigma_\pi/\pi = 0.10$'dan küçük olan yıldızların sayısı 141'dir ve örneğin %84'ünü temsil etmektedir. Bu, örneğimizdeki F–G tayf türündeki anakol yıldızlarının uzaklıklarının yeterince duyarlı ölçüldüğünü göstermektedir. 168 anakol yıldızının

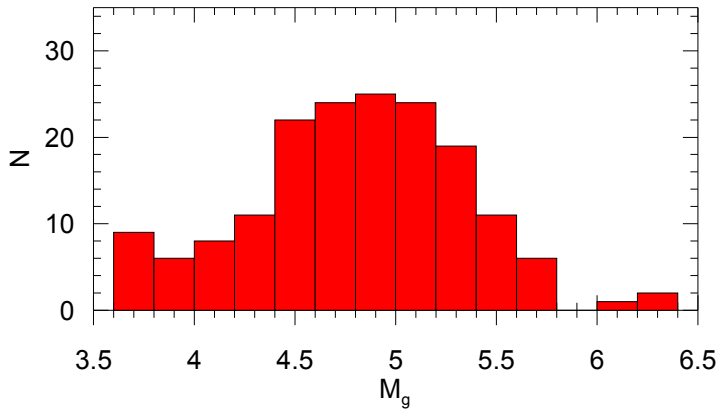
[4] *https://**ned**.ipac.caltech.edu*

M_V mutlak parlaklık aralığı 3.8 < M_V < 6 kadir ve dağılımın maksimum noktası da M_V = 4.5 kadirdir.

Yıldızların M_g mutlak parlaklıkları ise aşağoda verilen Pogson bağıntısı ile hesaplanmıştır:

$$g_0 - M_g = 5 \times \log(d) - 5 \quad (3.24)$$

Burada *d* yıldızın trigonometrik paralaksı ile hesaplanmış pc birimindeki uzaklığıdır ($d = 1/\pi$). Kalibrasyon yıldızlarının mutlak parlaklıkları Tablo 3.2'de, dağılımları ise Şekil 3.8'de verilmiştir ve mutlak parlaklığın değişim aralığı 3.5 < M_g < 6.5 kadirdir.



Şekil 3.8 168 yıldızın mutlak parlaklık dağılımı.

Örneğimizdeki 168 kalibrasyon yıldızının Hyades anakoluna göre morötesi artığının hesaplanması için aşağıdaki bağıntı kullanılmıştır:

$$\delta = (u-g)_H - (u-g)_* \quad (3.25)$$

Kalibrasyon yıldızlarının morötesi artıkları, $(B\text{-}V)_0$ = 0.6 rengine karşılık gelen $(g\text{-}r)_0$ = 0.41 renginde ölçülen morötesi artıklarına normalleştirmek için aşağıdaki bağıntıda gösterildiği gibi *f* faktörüyle çarpılarak $\delta_{0.41}$ değerlerine çevrilmiştir:

$$\delta_{0.41} = f \times \delta \quad (3.26)$$

Yukarıdaki bağıntılarda $(u\text{-}g)_H$ kalibrasyon yıldızının $(g\text{-}r)_0$ rengine karşılık gelen Hyades kümesindeki *u-g* rengini, $(u\text{-}g)_*$ yıldızın *u-g* rengini, δ yıldızın morötesi artığını ve $\delta_{0.41}$ de $(g\text{-}r)_0$ = 0.41 değerine normalleştirilmiş morötesi artığını göstermektedir.

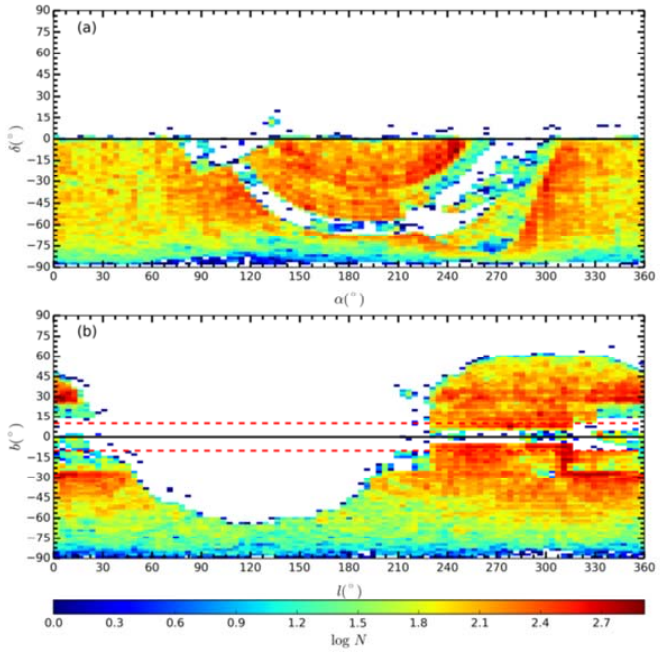
3.5 Yıldızların Uzay Hızları

Güneş civarındaki F-G tayf türünden anakol yıldızları RAVE DR4 (Kordopatis vd., 2013a) kataloğundan atmosfer model parametrelerine göre seçilmiş ve uzay hızları; öz hareket, uzaklık ile radyal hız verilerinden yararlanılarak hesaplanmıştır. Uzay hızları hesaplanan yıldızların popülasyon ayırımı da Galaktik yörünge parametrelerine dayanarak yapılmıştır.

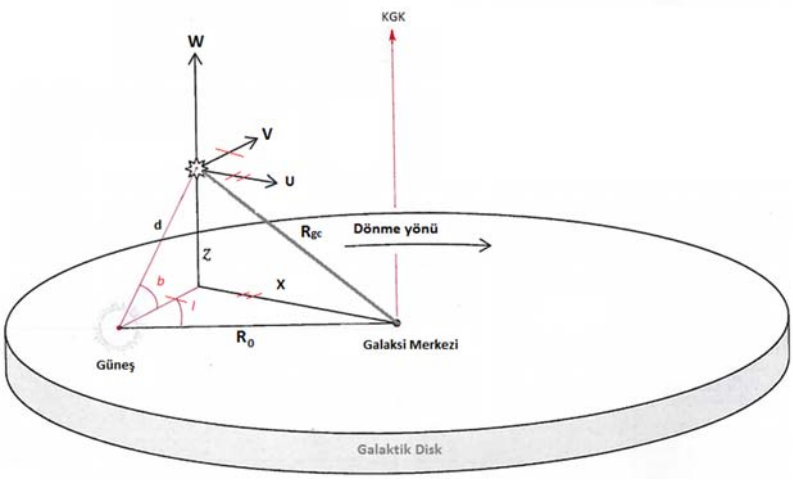
Projemizde kullanılan yıldızların uzay hızı hesabının yapılabilmesi için uzaklık verisinin elde edilmesi gerekmektedir. RAVE DR4 kataloğundan Bölüm 3.2'de anlatılan yöntemle seçilen F-G tayf türü anakol yıldızlarının Galaktik ve ekvatoral dağılımı Şekil 3.9'da gösterilmiştir. Seçtiğimiz yıldızların Hipparcos (van Leeuwen, 2007) verilerine göre sönük ($9 < I < 12$ kadir) olmaları sebebiyle, yer tabanlı veya uzay tabanlı gözlemlerle elde edilmiş trigonometrik paralaks verileri mevcut değildir. Bu sebeple yıldızların uzaklıklarının hesaplanması için Bölüm 3.3'te anlatıldığı gibi Bilir vd.'nin (2008b) *Hipparcos* trigonometrik paralakslarını 2MASS verilerine kalibre ederek elde ettikleri renk-parlaklık ilişkisinden yararlanılmıştır. Yıldızlar Güneş civarında bulundukları ve fotometrik ölçümlerde 2MASS fotometrisi kullanıldığı için, kızarma değerleri küçük olsa da, çalışmanın güvenilirliğinin artması açısından duyarlı uzaklık bilgisi elde etmek amacıyla veriler Bölüm 3.3'te anlatılana benzer şekilde kızarmadan arındırılmıştır. Çok büyük $E_{\infty}(B\text{-}V)$ değerlerinden etkilenmemek için, uzaklığı hesaplanacak yıldızlara $|b| > 10°$ sınırlaması getirilmiştir.

Yıldızların uzay hızlarının hesaplanmasında Johnson ve Soderblom (1987) tarafından verilen algoritma ve dönüşüm matrisleri kullanılmıştır. Yıldızların ekvatoral koordinatları, öz hareketleri, uzaklıkları ve radyal hızları bilindiği takdirde, U, V ve W uzay hızı bileşenleri ile bu bileşenlerin hataları hesaplanabilir.

U, V ve W hız bileşenleri sırasıyla, Galaksi merkezi ($l = 0°$, $b = 0°$), Galaksinin dönme ($l = 90°$, $b = 0°$) ve Kuzey Galaktik Kutup (KGK; $b = 90°$) doğrultusunda ölçülür. Uzay hızı bileşenleri Şekil 3.10'da gösterilmiştir. Bu hesaplamalarda Güneş'in Galaksi etrafındaki dönüş hızı 220 km/s olarak kabul edilmiştir. Uzay hızlarının hesaplanmasında Blaauw vd. (1960) tarafından tanımlanan Galaktik kordinat sisteminden yararlanılmıştır. Uzay hızlarının hesaplanmasında kullanılan KGK noktasının ekvatoral kordinatları Uluslararası Gök Referans Sistemi'ne (ICRS) göre $\alpha_{KGK} = 192°.85948$, $\delta_{KGK} = 27°.12825$ (J2000) dır.



Şekil 3.9 Seçilen yıldızların ekvatoral (a) ve Galaktik (b) koordinatlarındaki dağılımları.



Şekil 3.10 Bir yıldızın Galaktik yörüngesi üzerindeki uzay hızı bileşenleri (*U*, *V*, *W*).

KGK noktasının ekvatoral koordinatları ve l = 0° Galaktik boylamındaki ve KGK'tan geçen büyük daireye göre Kuzey Gök Kutbu'nun yeri olan θ_0 = 123° açısı alınarak aşağıda verilen ve ekvatoral koordinatların Galaktik koordinatlara dönüştürülmesinde kullanılan T matrisi çözülmüştür.

Tablo 3.2 Kalibrasyonlarda kullanılan 168 yıldızın parametreleri. π yıldızın paralaksını, g_o yıldızın gözlenen görünen parlaklığını, $(M_g)_{org}$ paralakslardan hesaplanan mutlak parlaklığı, $\Delta M_g = (M_g)_{org} - M_{Hyades}$ arasındaki fark, $(M_g)_{cal}$ hesaplanan mutlak parlaklıkları ve farklar ise, $M_{g)org} - (M_g)_{cal}$ arasındaki farkı göstermektedir.

ID	Hip	π (mas)	g_0 (mag)	$(M_g)_{org}$ (mag)	ΔM_g (mag)	$(M_g)_{cal}$ (mag)	Residual (mag)	ID	Hip	π (mas)	g_0 (mag)	$(M_g)_{org}$ (mag)	ΔM_g (mag)	$(M_g)_{cal}$ (mag)	Residual (mag)
1	493	26.93	7.656	4.807	0.375	4.482	-0.325	85	57017	18.78	7.670	4.038	0.310	4.037	-0.001
2	910	53.34	5.065	3.700	-0.231	4.030	0.330	86	57265	6.25	10.480	4.459	0.745	4.496	0.037
3	1599	116.46	4.457	4.788	0.237	4.780	-0.008	87	57443	108.45	5.169	5.345	0.196	5.523	0.178
4	1976	21.27	7.805	4.444	-0.379	4.558	0.114	88	57450	12.85	10.123	5.668	1.236	5.579	-0.089
5	2711	39.24	5.726	3.695	-0.041	3.776	0.081	89	58843	14.24	9.431	5.199	0.596	5.270	0.071
6	3182	16.76	8.963	5.084	0.153	5.125	0.041	90	58950	27.85	8.034	5.258	0.233	5.065	-0.193
7	3479	30.89	8.068	5.517	0.362	5.244	-0.273	91	59380	27.31	7.723	4.905	0.480	4.977	0.072
8	3497	45.34	6.822	5.104	0.016	5.341	0.237	92	61053	45.92	6.408	4.718	0.360	4.487	-0.231
9	3704	20.51	8.028	4.588	0.298	4.685	0.097	93	61619	17.81	7.509	3.762	-0.068	3.939	0.177
10	3909	63.48	5.368	4.381	0.308	4.162	-0.219	94	62108	8.17	9.989	4.550	1.003	4.513	-0.037
11	4544	9.23	9.811	4.637	0.685	4.752	0.115	95	62207	57.55	6.161	4.961	0.596	4.811	-0.150
12	4892	16.48	8.735	4.820	0.243	4.886	0.066	96	62809	20.67	8.672	5.249	0.525	5.336	0.087
13	5163	10.84	9.656	4.831	0.189	5.052	0.221	97	64345	16.88	8.977	5.114	0.273	5.140	0.026
14	5301	18.23	8.655	4.959	-0.002	4.813	-0.146	98	64394	109.54	4.459	4.657	0.112	4.509	-0.148
15	5862	66.16	5.185	4.288	-0.257	4.355	0.067	99	64698	18.48	8.709	5.043	-0.045	5.047	0.004
16	6159	15.35	9.101	5.032	0.397	5.144	0.112	100	64747	21.87	8.545	5.244	0.248	5.085	-0.159
17	7217	14.60	9.209	5.031	0.295	4.960	-0.071	101	65418	3.12	12.281	4.752	1.263	4.520	-0.232
18	7459	10.87	10.269	5.450	1.278	5.270	-0.180	102	66238	33.27	7.571	5.181	0.009	5.481	0.300
19	7978	57.36	5.734	4.527	0.299	4.392	-0.135	103	67655	39.42	8.225	6.204	1.111	5.959	-0.245
20	8859	24.12	6.880	3.792	0.216	3.824	0.032	104	67863	16.70	9.250	5.364	0.659	5.434	0.070
21	9085	37.22	6.259	4.113	0.276	4.156	0.043	105	68030	40.22	6.336	4.358	0.356	4.527	0.169
22	10449	15.87	9.287	5.290	0.739	5.286	-0.004	106	70319	58.17	6.514	5.337	0.359	5.236	-0.101
23	10652	15.93	9.199	5.210	0.511	5.156	-0.054	107	70681	21.04	9.498	6.113	1.478	5.660	-0.453
24	12294	5.82	10.619	4.444	0.875	4.503	0.059	108	70829	19.18	9.200	5.614	0.399	5.761	0.147
25	12306	29.17	7.536	4.861	0.329	4.906	0.045	109	71076	17.24	7.969	4.152	0.193	4.458	0.306
26	12444	45.96	5.963	4.275	0.124	4.325	0.050	110	71735	37.71	7.635	5.517	0.390	5.246	-0.271
27	12653	58.25	5.614	4.440	0.021	4.271	-0.169	111	72407	10.65	10.011	5.148	0.282	5.060	-0.088
28	12777	89.87	4.264	4.032	0.159	3.913	-0.119	112	72673	20.06	7.259	3.771	0.296	4.027	0.256
29	12889	20.16	7.860	4.382	-0.202	4.698	0.316	113	74067	26.62	8.206	5.332	0.716	5.277	-0.055
30	13366	16.39	8.419	4.492	0.483	4.588	0.096	114	75181	67.51	5.912	5.059	0.075	5.328	0.269
31	14241	28.54	8.335	5.612	0.485	5.416	-0.196	115	78640	8.41	10.000	4.624	0.859	4.997	0.373
32	15131	41.34	6.983	5.065	0.481	5.041	-0.024	116	81520	44.54	7.258	5.502	0.691	5.196	-0.306
33	15158	10.55	8.647	3.763	-0.261	4.023	0.260	117	81681	33.82	7.413	5.059	0.279	5.009	-0.050
34	15381	20.16	7.721	4.243	-0.493	4.378	0.135	118	83229	32.77	7.217	4.794	0.269	4.946	0.152
35	16169	21.38	8.468	5.118	0.283	5.256	0.138	119	83489	13.43	9.351	4.991	0.007	5.218	0.227
36	17147	39.12	6.871	4.833	0.571	4.918	0.085	120	84988	35.67	7.223	4.985	0.280	5.214	0.229
37	22632	15.00	9.280	5.160	1.294	5.077	-0.083	121	85007	34.12	7.040	4.705	0.653	4.483	-0.222
38	23555	31.50	6.500	3.992	-0.243	4.169	0.177	122	85042	51.22	6.505	5.052	-0.081	4.841	-0.211
39	23688	8.79	9.779	4.499	1.146	4.177	-0.322	123	86013	19.38	8.576	5.013	0.561	5.015	0.002
40	24030	8.66	9.832	4.520	0.525	4.886	0.366	124	86321	8.38	9.888	4.504	0.761	4.365	-0.139
41	25860	20.07	8.774	5.287	0.356	5.105	-0.182	125	87062	9.59	10.442	5.351	1.449	5.231	-0.120
42	26617	8.79	10.337	5.057	0.632	4.789	-0.268	126	88945	40.29	7.098	5.124	0.265	4.968	-0.156
43	27072	112.02	3.760	4.006	0.147	3.889	-0.117	127	92270	34.78	6.280	3.987	0.020	3.906	-0.081
44	28403	19.64	8.838	5.304	0.420	5.223	-0.081	128	92532	32.72	7.347	4.921	0.631	4.705	-0.216
45	28671	16.81	9.511	5.639	0.871	5.550	-0.089	129	92781	14.59	9.225	5.045	0.566	5.101	0.056
46	29432	42.55	7.092	5.236	0.317	4.918	-0.318	130	93185	41.94	7.009	5.122	0.545	4.926	-0.196
47	31188	16.79	8.716	4.841	0.634	4.846	0.005	131	94129	17.60	8.432	4.660	-0.206	4.805	0.145
48	33582	12.56	9.217	4.712	0.180	4.953	0.241	132	94645	36.30	6.439	4.239	-0.030	4.074	-0.165
49	34017	52.27	6.163	4.754	0.087	4.761	0.007	133	96124	36.72	7.420	5.245	0.084	5.275	0.030
50	34511	21.64	8.240	4.916	0.069	4.796	-0.120	134	96258	39.82	5.884	3.885	0.149	3.745	-0.140
51	35139	30.95	8.002	5.455	0.669	5.370	-0.085	135	98355	19.11	7.610	4.016	0.251	4.243	0.227
52	36491	20.20	8.677	5.204	1.081	4.887	-0.317	136	99139	17.95	9.078	5.348	0.399	5.113	-0.235
53	36849	12.37	9.109	4.571	0.547	4.725	0.154	137	99938	17.64	8.588	4.820	0.308	4.958	0.138
54	37419	19.16	8.915	5.327	0.468	5.083	-0.244	138	100017	56.92	6.083	4.859	0.341	4.578	-0.281
55	38541	34.30	8.548	6.224	1.371	6.236	0.012	139	100279	10.46	10.278	5.376	0.741	5.388	0.012
56	38769	11.56	8.969	4.284	0.239	4.497	0.213	140	100568	22.78	8.840	5.628	1.297	5.310	-0.318
57	40118	45.90	7.116	5.425	0.188	5.591	0.166	141	100792	17.00	8.478	4.630	0.836	4.872	0.242
58	40778	10.35	9.864	4.939	1.182	5.163	0.224	142	102018	24.89	7.433	4.413	-0.298	4.430	0.017
59	41484	44.94	6.577	4.840	-0.068	4.902	0.062	143	102046	16.15	8.381	4.422	0.513	4.709	0.287
60	42356	22.91	7.827	4.627	-0.298	4.874	0.247	144	102762	17.11	8.304	4.470	-0.107	4.566	0.096
61	43595	7.87	11.031	5.511	0.850	5.317	-0.194	145	102805	32.66	6.121	3.691	0.352	3.713	0.022
62	43726	57.52	6.299	5.098	-0.074	4.987	-0.111	146	103458	45.17	6.746	5.020	0.391	5.241	0.221
63	44116	12.70	8.598	4.117	0.635	3.981	-0.136	147	103498	18.95	8.466	4.854	0.731	4.977	0.123
64	44713	26.83	7.544	4.687	-0.395	4.887	0.200	148	103897	7.70	10.318	4.750	0.166	4.893	0.143
65	44811	24.53	7.829	4.777	0.515	4.750	-0.027	149	104659	29.10	7.530	4.849	0.818	5.049	0.200
66	47048	10.26	8.551	3.607	0.632	3.349	-0.258	150	107294	9.03	10.155	4.933	1.219	4.562	-0.371
67	47174	11.99	10.205	5.599	0.691	5.380	-0.219	151	107877	24.91	7.021	4.003	0.166	4.085	0.082
68	48209	13.10	9.879	5.465	0.434	5.360	-0.105	152	108468	29.93	7.450	4.831	-0.041	4.876	0.045
69	49285	21.13	8.367	4.991	-0.197	5.132	0.141	153	108736	27.95	7.316	4.548	0.043	4.679	0.131
70	49615	21.25	7.892	4.529	0.484	4.450	-0.079	154	109144	19.52	7.412	3.864	-0.266	4.150	0.286
71	49793	22.58	8.296	5.065	0.404	5.186	0.121	155	109381	23.53	8.115	4.973	-0.149	4.884	-0.089
72	49942	16.86	8.663	4.797	-0.122	4.969	0.172	156	109646	27.64	7.600	4.808	0.713	4.647	-0.161
73	50834	8.09	9.369	3.909	0.585	3.663	-0.246	157	110035	32.22	7.254	4.795	0.115	4.735	-0.060
74	50965	9.14	9.974	4.779	0.347	4.726	-0.053	158	110341	32.33	6.294	3.842	0.302	3.759	-0.083
75	52673	14.07	9.799	5.540	0.609	5.451	-0.089	159	110560	5.32	10.756	4.386	0.062	4.572	0.186
76	52771	10.45	10.381	5.477	1.553	5.451	-0.026	160	111565	31.82	7.861	5.375	0.226	5.523	0.148
77	53537	20.32	8.188	4.728	-0.131	4.813	0.085	161	112811	16.56	9.574	5.669	0.508	5.707	0.038
78	53721	71.11	5.280	4.540	-0.246	4.643	0.103	162	113688	12.07	8.837	4.246	-0.408	4.669	0.423
79	54469	9.27	9.962	4.797	0.459	4.707	-0.090	163	113896	34.03	6.891	4.550	-0.014	4.643	0.093
80	54641	18.36	8.242	4.561	0.876	4.690	0.129	164	114450	14.48	8.646	4.450	0.038	4.516	0.066
81	54924	15.02	9.248	5.131	0.606	4.859	-0.272	165	114702	25.60	7.745	4.786	0.421	4.801	0.015
82	55592	8.35	10.109	4.717	0.938	4.603	-0.114	166	114924	48.77	5.762	4.203	0.038	4.234	0.031
83	55761	22.95	8.056	4.860	0.570	4.680	-0.180	167	116106	38.29	6.679	4.594	0.422	4.445	-0.149
84	56664	9.45	8.766	3.643	0.319	3.786	0.143	168	118115	20.84	8.102	4.696	-0.259	4.889	0.193

$$T = \begin{bmatrix} \cos\theta_0 & \sin\theta_0 & 0 \\ \sin\theta_0 & -\cos\theta_0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -\sin\delta_{KGK} & 0 & \cos\delta_{KGK} \\ 0 & -1 & 0 \\ \cos\delta_{KGK} & 0 & \sin\delta_{KGK} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\delta_{KGK} & \sin\delta_{KGK} & 0 \\ \sin\delta_{KGK} & -\cos\delta_{KGK} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.27)$$

ve *T* koordinat dönüşüm matrisinin sayısal ifadesi şöyledir:

$$T = \begin{bmatrix} -0.0548755604 & -0.8734370902 & -0.4838350155 \\ +0.4941094279 & -0.4448296300 & +0.7469822445 \\ -0.8676661490 & -0.1980763734 & +0.4559837762 \end{bmatrix} \quad (3.28)$$

T matrisi ve ekvatoral koordinatların çarpılmasıyla dönüşüm yapılır:

$$\begin{bmatrix} \cos b \cos l \\ \cos b \sin l \\ \sin b \end{bmatrix} = T \begin{bmatrix} \cos\delta \cos\alpha \\ \cos\delta \sin\alpha \\ \sin\delta \end{bmatrix} \quad (3.29)$$

Yıldızların uzay hızlarının hesaplanmasında da aşağıdaki matris kullanılır:

$$\begin{bmatrix} U \\ V \\ W \end{bmatrix} = B \begin{bmatrix} \gamma \\ k\mu_\alpha/\pi \\ k\mu_\delta/\pi \end{bmatrix} \quad (3.30)$$

Burada *B* matrisi $B = T \times A$ ve $k = 4.74057$'dir. Bu eşitlikteki *A* çarpanı:

$$A = \begin{bmatrix} \cos\alpha \cos\delta & -\sin\alpha & -\cos\alpha \cos\delta \\ \sin\alpha \cos\delta & \cos\alpha & -\sin\alpha \sin\delta \\ \sin\delta & 0 & \cos\delta \end{bmatrix} \quad (3.31)$$

ile hesaplanır.

Uzay hızı hataları için:

$$\begin{bmatrix} \sigma_U^2 \\ \sigma_V^2 \\ \sigma_W^2 \end{bmatrix} = C \begin{bmatrix} \sigma_\gamma^2 \\ (k/\pi)^2[\sigma_{\mu_\alpha}^2 + (\mu_\alpha \sigma_\pi/\pi)^2] \\ (k/\pi)^2[\sigma_{\mu_\delta}^2 + (\mu_\delta \sigma_\pi/\pi)^2 \end{bmatrix} + 2\mu_\alpha \mu_\delta k^2 \sigma_\pi^2/\pi^4 \begin{bmatrix} b_{12} b_{13} \\ b_{22} b_{23} \\ b_{32} b_{33} \end{bmatrix} \quad (3.32)$$

kullanılır ve buradaki *C* matrisi *B* matrisinin elemanlarının karelerinden oluşan ($C_{ij} = B_{ij}^2$) 3×3'lük bir matristir.

Galaksi merkezi etrafındaki yörüngelerde dolanan yıldızların merkez etrafındaki bu hareketlerinde içten dışa doğru bir azalma olur. Bu durum nedeniyle ortaya çıkan diferansiyel dönmenin etkileri Galaksi'deki yıldızların uzay hızı bileşenlerinde gözlenir. Diferansiyel dönme sadece disk düzleminde etkili olduğundan Galaktik kutup yönündeki *W* uzay hızı bileşenine düzeltme uygulanmaz, *U* ve *V* uzay hızı bileşenleri için hesaplanıp bu bileşenlerden çıkarılarak düzeltme uygulanır. Diferansiyel dönme düzeltmeleri için Mihalas ve Binney'den (1981) alınan bağıntılar kullanılmıştır:

$$dU = \gamma \cos l - v_t \sin l \tag{3.33}$$

$$dV = \gamma \sin l - v_t \cos l \tag{3.34}$$

Burada *dU* ve *dV*, hız uzayındaki *U* ve *V* yönlerindeki diferansiyel dönme hız bileşenleridir, γ ve v_t Galaktik diferansiyel dönmeden kaynaklanan radyal ve teğetsel hızlardır ve aşağıdaki gibi hesaplanırlar:

$$\gamma = A\, d \sin 2l \tag{3.35}$$

$$v_t = d(A \cos 2l + B) \tag{3.36}$$

Burada, *A* ve *B* değerleri Oort sabitleri olup *A* = 14.8 km/(sn kpc) ve *B* = -12.4 km/(sn kpc) (Mihalas ve Binney, 1981) olarak alınmıştır.

Yıldızların uzay hızlarına bir düzeltme de Yerel Durağanlık Standardı (LSR) ile yapılmıştır. LSR düzeltmesi, yıldızların hesaplanan uzay hızı bileşenlerinden Güneş'in uzay hızı bileşenleri çıkarılarak yapılır. LSR düzeltmesi için Coşkunoğlu vd. (2011) tarafından yapılan çalışmada elde edilen $U_\odot$ = 8.83 ± 0.24 km/sn, $V_\odot$ = 14.19 ± 0.34 km/sn ve $W_\odot$ = 6.57 ± 0.21 km/sn değerleri kullanılmıştır.
Yıldızların toplam uzay hızları (*S*) ve toplam uzay hızı hataları (S_{ht}) aşağıdaki bağıntılar kullanılarak hesaplanmıştır:

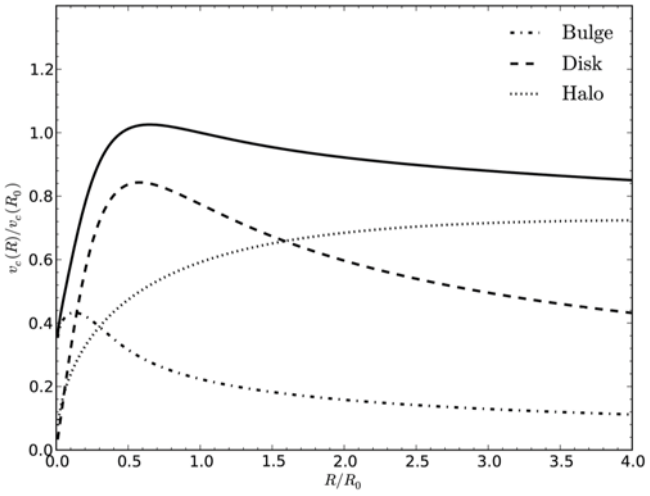
$$S = (U^2 + V^2 + W^2)^{1/2} \tag{3.37}$$

$$S_{ht} = \left(U_{ht}^2 + V_{ht}^2 + W_{ht}^2\right)^{1/2} \tag{3.38}$$

3.6 Yıldızların Yörünge Parametreleri

F-G tayf türü anakol yıldızları uzun ömürlü olduklarından ve KY yıldızları da evrimleşmiş düşük kütleli yıldızlar olduklarından yaşantıları boyunca Galaksi merkezi etrafındaki yörüngelerinde birçok sefer dolanırlar. Bu sebeple şu anda gözlenen konumları, doğdukları konumdan farklıdır. Projemizin amacı radyal ve Galaktik düzleme dik doğrultuda metal bolluğu gradyentleri yardımıyla Galaksinin evrimini incelemek olduğundan, seçilen yıldız örneğinin kinematik parametrelerinin yanı sıra yörünge parametrelerine de ihtiyaç vardır.

Yıldızların Galaktik yörünge parametrelerinin hesaplanmasında Bovy (2015) tarafından geliştirilen ve *Python* programlama dilinin bir kütüphanesi olan *galpy* kullanılmıştır. *Galpy Python* kütüphanesinin kullanılmasının sebebi, içinde barındırdığı Galaktik potansiyel modeli olan *MWPotantial2014*'tür. Bu potansiyel Şekil 3.11'de gösterildiği gibi bir dönme eğrisi tasvir ettiğinden, Galaksimizin güncel gözlemsel özelliklerine en iyi uyan potansiyeldir. *MWPotential2014* modeli, Galaksimizin tamamı ve bileşenleri olan şişkin bölge, disk ve haloyu temsil eden dönme eğrilerini oluşturabilmektedir. *MilkyWayPotential2014* modelinin özellikleri Tablo 3.3'te gösterilmiştir (bkz. Bovy, 2015). Yıldızların Galaktik yörünge parametreleri, *MWPotantial2014* potansiyeli altında hareket ettikleri varsayımı ile *Galpy* fonksiyonları kullanılarak *python* dilinde yazılan programlarla tarafımızdan hesaplanmıştır.



Şekil 3.11 *MWPotantial2014* potansiyelinin şişkin bölge, disk, halo ve tüm Galaksi için ürettiği dönme eğrisi (Bovy, 2015). *X* ekseni Güneş'in Galaksi merkezinden uzaklığına göre normalize edilmiş uzaklığı, *Y* ekseni de Güneş'in Galaktik rotasyon hızına göre normalize edilmiş Galaksi merkezinden uzaklığa bağlı dairesel hızı gösterir.

Tablo 3.3 *Galpy MWPotential2014* model parametreleri.

Parametre	MWPotential2014	Değer aralığı
R_0 *(kpc)*	8	---
V_c *(R_0) (km/sn)*	220	---
f_b	0.05	---
f_d	0.60	---
f_h	0.35	---
Şişkin bölge için güç kanunu katsayısı	-1.8	---
Şişkin bölge için kesilme yarıçapı (kpc)	1.9	---
a *(kpc)*	3.0	---
b *(kpc)*	280	---
Halo için r_s *(kpc)*	16	---
σ_b *(km/sn)*	109	117±15
F_Z *(R_0, 1.1 kpc)($2\pi G M_\odot/pc^2$)*	72	67±6
Σ_{vis} *(R_0)($M_\odot/pc^2$)*	53	55±5
F_Z uzunluk ölçeği *(kpc)*	3.2	2.7±0.1
ρ *(R_0,z=0)($M_\odot/pc^3$)*	0.10	0.10±0.01
$(d\ln v_c/d\ln R)\|_{R0}$	-0.10	-2.0 – 0
M*(*r<60 kpc*)*(10^{11} $M_\odot$*)*	4.1	4.0±0.7
M_b *(10^{10} $M_\odot$)*	0.5	---
M_d *(10^{10} $M_\odot$)*	6.8	---
R_d *(kpc)*	2.6	---
ρ_{DM} *(R_0)($M_\odot/pc^3$)*	0.008	---
M_{vir} *(10^{12} $M_\odot$)*	0.8	---
r_{vir} *(kpc)*	245	---
Yoğunlaşma	15.3	---
$V_{kaçış}$ *(R_0)(km/sn)*	513	---

Tablo 3.3, üç kısımdan oluşmaktadır. İlk kısımda verilen kısaltmalar; R_0, Güneş'in Galaksi merkezinden uzaklığı, $v_c(R_0)$, R_0 için dairesel hız, f_b, şişkin bölgenin potansiyele katkısı, f_d, diskin potansiyele katkısı, f_h, halonun potansiyele katkısı, a, disk için uzunluk ölçeği, b, disk için yükseklik ölçeği, Halo r_s, halo için ölçek yarıçap, ikinci kısımdaki kısaltmalar *MWPotential2014*'ün model fitleri için kabul ettiği sabitler, üçüncü kısım ise *MWPotential2014*'ün çıktı parametreleri olup M_b, şişkin bölgenin kütlesi, M_d, diskin kütlesi, R_d, diskin ölçek yarıçapı, $\rho_{DM}(R_0)$, R_0 yarıçapında karanlık madde yoğunluğu, M_{vir}, galaksinin virial kütlesi, $v_{esc}(R_0)$, R_0 yarıçapı için kaçış hızıdır.

Yörünge dinamiği parametrelerinin hesabında, tıpkı kinematik parametrelerin hesabında olduğu gibi, girdi parametresi olarak yıldızların ekvatoral koordinatları, radyal hız, öz hareket bileşenleri ve uzaklık parametreleri kullanılmıştır. Yörünge parametrelerinin doğru hesaplanabilmesi için yıldızın hareket ettiği potansiyel etrafında kapalı bir yörünge elde edilene kadar yörüngenin integrasyonu gereklidir. İntegrasyon zamanı birçok deneme sonucunda 3 Gyr olarak belirlenmiş (Coşkunoğlu vd., 2011, 2012 ve Bilir vd., 2012) ve tüm yörünge parametre hesapları bu zaman ölçeğinde 1000 adımda integre edilerek hesaplanmıştır.

MWPotential2014 koduyla hesaplanan temel yıldız yörünge parametreleri şunlardır: Galaksi düzleminin iki zıt yönünde ulaşılan en büyük dik yükseklikler (Z_{min}, Z_{max}), yıldız yörüngesinin Galaksi merkezine olan en büyük (r_a) ve en küçük (r_p) uzaklıkları, yıldızların yörünge açısal momentum bileşen değerleri (L_X, L_Y, L_Z). Hesaplanan bu yörünge parametreleri kullanılarak yıldızlara ait diğer yörünge parametreleri de hesaplanmıştır. Bunlar, Galaksi merkezine olan ortalama uzaklık (R_m), Galaksi düzleminde (e_p) ve bu düzleme dik doğrultudaki (e_v) basıklık parametreleridir. Bu parametreler Vidojevic ve Ninkovic'e (2009) göre aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$R_m = \frac{r_a + r_p}{2} \tag{3.39}$$

$$e_p = \frac{r_a - r_p}{r_a + r_p} \tag{3.40}$$

$$e_V = \frac{\frac{1}{2}(|Z_{min}| + |Z_{max}|)}{R_m} \tag{3.41}$$

3.7 Yıldızların Popülasyon Türlerine Ayrımı

Projemizin bir diğer amacı da farklı doğrultulardaki metal bolluğu gradyentlerinin hesaplanması olduğu için, yıldızların popülasyon türlerine ayrılması gerekmektedir. Yıldızlarının popülasyon türlerinin belirlenmesi yıldızların yörünge parametrelerine dayalı bir yöntemle yapılmıştır.

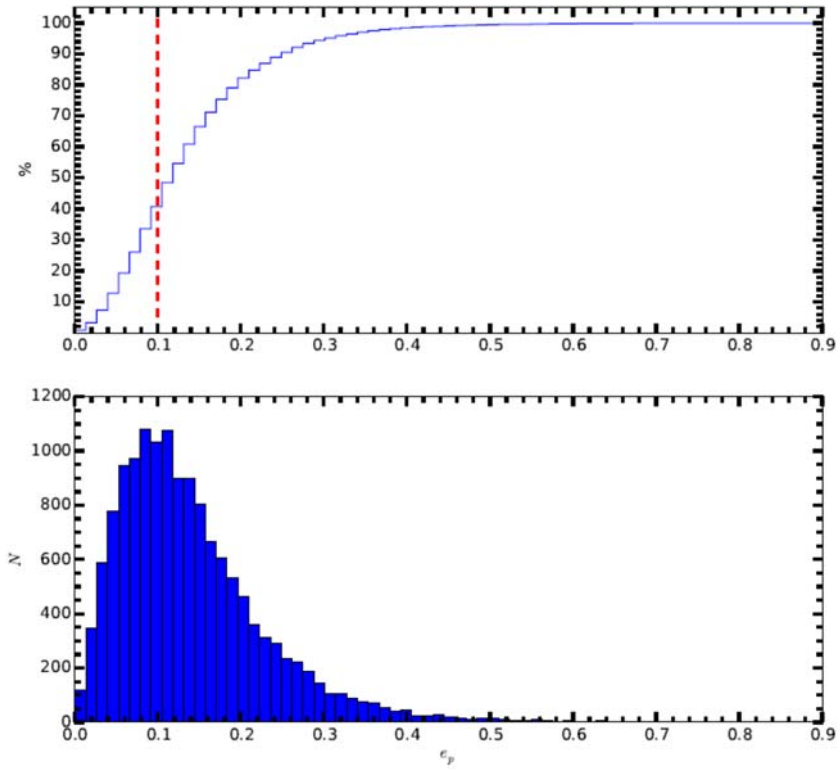
Yıldızların popülasyon türlerinin belirlenmesi için literatürdeki istatistiksel yöntemlerden farklı olarak, yıldızların kinematik özellikleri yardımıyla popülasyon ayrımı yapılan yeni bir yöntem kullanılmıştır. Bu yöntemle yıldızların Galaktik yörünge parametrelerine sınırlamalar getirilerek ince disk bileşenine ait yıldızların seçilmesi amaçlanmıştır.

Ak vd. (2015)'nin çalışmasında kullanılan ince disk ayrım kriteri olan $Z_{max} \leq 825$ pc değeri Galaksinin disk bileşenleri olan ince ve kalın disk için bir yoğunluk kanununa dayanır. Bu bağıntı, bileşenin yükseklik ölçeği değeri olan H_z için diskten yükseklik (z) değerine göre yıldız yoğunluğunu verir. İnce disk ile kalın diskin birbirinden ayrıldığı noktayı bulmak için Ak vd.'nin (2015) çalışmasında: ince diskte bulunan kalın disk yıldızlarının yoğunluğunun $\%0 \leq n_{TK} \leq \%15$ arasında değiştiğini, ayrıca ince ve kalın disk için yükseklik ölçeklerinin $200 \leq H_{TN} \leq 350$ pc, $500 \leq H_{TK} \leq 1500$ pc aralığında değiştiğini kabul eden Monte Carlo simülasyonu yardımıyla, ince disk ve kalın disk yıldızlarının yoğunluklarının eşitlendiği z değerleri elde edilmiş ve

benzetim 50,000 defa tekrarlandığında en çok tekrar eden değerin 825 pc olduğu görülmüştür. Bu değer, Ojha vd. (1999) (0.79 kpc), Seigel vd. (2002) (0.7–1 kpc), Karaali vd. (2004) (0.80–0.97 kpc) ve Bilir vd.'nin (2006a) (0.7–0.82 kpc) çalışmalarıyla uyum göstermektedir. Bu nedenle projemizde de bir ayrım kriteri olarak kullanılmıştır.

İnce disk yıldızlarını seçmek için Z_{max} yörünge parametresine getirilen sınırlamanın yanısıra, Huang vd. (2015a)'nin verdiği ve soğuk ince disk yıldızlarını kalın disk yıldızlarından ayırmak için kullandığı $e_p \leq 0.13$ kriterine benzer olarak Şekil 3.12'de gösterilen dağılımın medyan değeri kullanılıp $e_p \leq 0.1$ kriteri kabul edilmiştir.

Sonuç olarak, örneğimizdeki ince disk yıldızlarını belirlemek için e_p ve Z_{max} yörünge parametrelerine $e_p \leq 0.10$ ve $Z_{max} \leq 825$ pc sınırlamaları getirilmiştir.



Şekil 3.12 Galaktik yörünge parametreleri hesaplanmış yıldızların kümülatif dağılımı (**üst panel**) ve e_p histogramı (**alt panel**).

3.8 Metal Bolluğu Gradyenti

Basit olarak gradyent, fiziksel bir büyüklük ve uzaklık arasındaki ilişkidir. Doğrultu boyunca yıldızların metal bollukları dağılımının üzerinden geçirilen doğrusal fitin eğimi gradyent olarak tanımlanabilir ve

d[Fe/H]/dr = a[Fe/H] + b (3.42)

şeklinde bir bağıntı ile verilebilir. r seçilen merkeze uzaklık, a ve b de, sırasıyla, bağıntının eğimi ve sabitidir. Bağıntıdan anlaşılacağı gibi a katsayısı gradyenti vermektedir ve b sabiti eşitliğin sıfır olduğu noktayı göstermektedir.

Galaksimizin düzlemi üzerinde bir metal bolluğu gradyenti hesaplanıyorsa buna radyal metal bolluğu gradyenti, düzleme dik doğrultuda hesaplanıyorsa dikey metal bolluğu gradyenti denir. Literatüre bakıldığında birçok element için gradyent hesaplandığı görülmektedir. Özellikle yüksek hassasiyetli tayflardan elde edilen element bollukları tercih edilmektedir. Yapılan bu çalışmalarda uzaklık değerleri, radyal gradyent için yıldızların Galaktik merkezden bugünkü uzaklıkları R_{gc} ve tamamlanan yörüngelerindeki en uzak ve en yakın konumlarının ortalaması olarak hesaplanan ortalama yarıçap R_m olabilir. Düzlemin dik doğrultularında hesaplanan metal bolluğu gradyentleri üzerine yapılan çalışmalarda genellikle iki dik uzaklık parametresi kullanılmıştır. Bunlardan ilki, Galaktik düzlemden dik doğrultudaki yıldızların bugünkü konumlarına göre Güneş merkezli uzaklıkları Z ve diğeri tamamlanan yörüngelerinden itibaren elde edilen Galaktik düzlemden dik doğrultuda uzaklaşabilecekleri en büyük uzaklıkları Z_{max}'tır.

3.9 Alan Yıldızları İçinde Galaksi Dışı Nesnelerin ve Dev Yıldızların Ayrımı

Projemizde üretilen metal bolluğu kalibrasyonu kuzey Galaktik kutup merkezli Galaktik enlemi $b \geq 50°$ olan yaklaşık 5,280 derece karelik bir yıldız alanında SDSS fotometrisiyle gözlemleri yapılan F-G tayf türündeki anakol yıldızlarına uygulanmıştır. Yıldızların metal bollukları ve Galaktik düzlemden olan dik uzaklıkları dikkate alınarak seçilen yıldız alanı doğrultusunda farklı boylamlarda radyal metal bolluğu gradyenti incelenmiştir. Bu yıldız alanında 26,719,324 yıldızın ekvatoral ve Galaktik koordinatları, kızarmadan arındırılmış *ugriz* parlakları ve parlaklık hataları SDSS'in SQL web sayfasından alınmıştır. Yıldız alanı doğrultusundaki nokta kaynak olarak görülen kuazar gibi galaksi-dışı kaynakların örneği etkilememesi için öncelikle parlaklık ve renklere sırasıyla $g_0 \leq 23$ ve $(u-g)_0 > 0.5$ kadir sınırlaması getirilmiştir (Chen vd., 2001).

Yıldız örneği içinde anakol yıldızlarını belirleyebilmek için dev yıldızların ayırt edilmesi gerekir. Örnekteki dev yıldızların belirlenmesinde Helmi vd. (2003) tarafından geliştirilen yöntem dikkate alınmıştır. Bu yöntem, aşağıda ayrıntılı olarak anlatılmıştır.

Helmi vd. (2003) Spagetti Fotometrik Taraması'ndan (SPS; Morrison vd., 2000) seçtikleri dokuz dev yıldızı (Dohm-Palmer vd., 2001), aynı yıldız alanında bulunan r = 19 kadirden daha

parlak ve tüm bantlardaki (u, g ve r) fotometrik hataları 0.05'den küçük olan yaklaşık 19,000 yıldız ile birlikte u-g × g-r iki-renk diyagramı üzerinde kontürler yardımıyla göstermiştir (Şekil 3.13 sol panel). Dev yıldızların, yıldızların ağırlıklı olarak bulunduğu konuma göre belirgin bir şekilde saptığı görülmüştür. Dev yıldızların u-g × g-r iki-renk diyagramı üzerindeki konumlarını daha iyi ifade edebilmek için iki düzlem (P_1, P_2) tanımlanmıştır. Burada P_1 ağırlıklı yıldız konumuna paralel olup, P_2 de bu konuma olan uzaklığı ölçmektedir (ayrıca bkz. Odenkirchen vd., 2001; Willman vd., 2002). Ölçümlerin merkezi olarak u-g × g-r iki-renk diyagramı üzerinde en büyük yıldız yoğunluğunun bulunduğu (u-g, g-r) = (1.21, 0.42) noktası seçilmiştir. Metalce fakir dev yıldızlar sınırlı bir bölgede bulundukları için, Helmi vd. (2003) kalibrasyonun renk aralıklarını $1.1 \leq u\text{-}g \leq 2$ ve $0.3 \leq g\text{-}r \leq 0.8$ kadir ile sınırlamıştır. Bu işlem sonucunda aşağıdaki ifadeler elde edilmiştir.

$$P_1 = 0.910\,(u-g)_0 + 0.415\,(g-r)_0 - 1.28 \qquad (3.43)$$

$$P_2 = -0.415\,(u-g)_0 + 0.910\,(g-r)_0 + 0.12 \qquad (3.44)$$

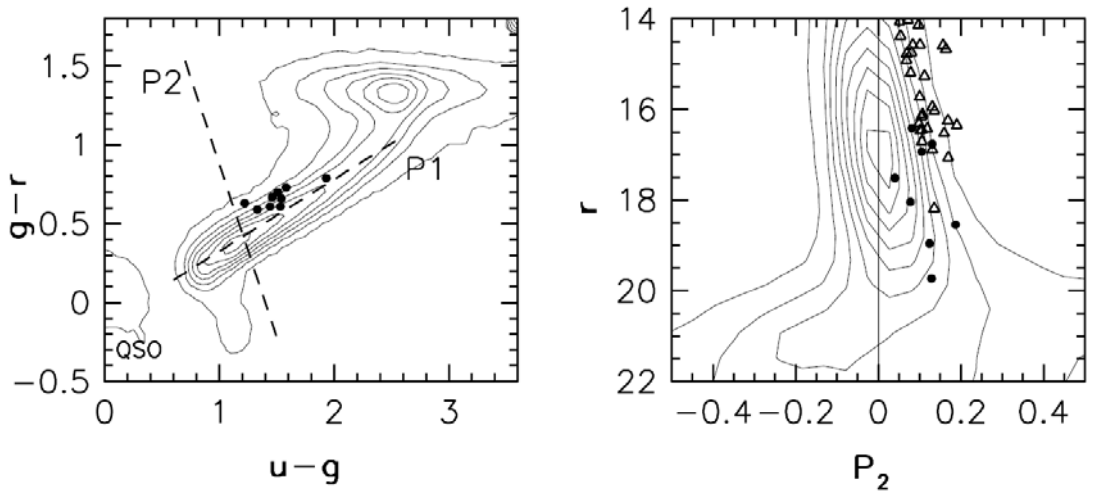
Şekil 3.13'ün sağ panelinde ise 47,771 SDSS yıldızının r × P_2 düzlemindeki konumları gösterilmiştir. Şekil üzerinde SDSS yıldızları sayı yoğunluğuna göre kontür çizgileriyle, tayfsal olarak ışıma gücü sınıfı belirlenen dev ve anakol yıldızları, sırasıyla, kare ve üçgen sembolleriyle gösterilmiştir. SDSS yıldızlarının konumlarının r parlaklığına bağlı olduğu, P_2 renginin de sönük yıldızlara doğru daha kırmızılaştığı Şekil 3.13'ün sağ panelinden açıkça görülmektedir. P_2 renginin r parlaklığı ile doğrusal değişimi, verilere geçirilen fit ile düzeltilmiştir. Bu düzeltmeler parlak ve sönük r parlaklıklarında, sırasıyla 0.03 ve 0.05 kadirdir. Söz konusu düzeltmenin yapılmasının ardından, Helmi vd. (2003) SPS'ye ithafen yeni bir s rengi tanımlamışlardır. Yeni renge ait hata yaklaşık olarak bir banttaki ortalama fotometrik hataya eşit olacak şekilde yeniden normalize edilmiştir. Buradan yeni s rengi şöyle tanımlanmıştır.

$$s = -0.249u + 0.794g - 0.555r + 0.24 \qquad (3.45)$$

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

$$\begin{aligned} &r < 19 \\ &-0.1 < P_1 < 0.6 \quad (1.1 \leq u\text{-}g \leq 2 \text{ ve } 0.3 \leq g\text{-}r \leq 0.8) \\ &s > m_s + 0.05 \end{aligned} \qquad (3.46)$$

Burada m_s, s değerinin medyanı olup yaklaşık 0.025 kadirdir.



Şekil 3.13 SPS ile aynı yıldız alanında bulunan SDSS yıldızlarının *u-g* × *g-r* iki-renk (**sol panel**) ve *r* × P_2 renk-parlaklık (**sağ panel**) diyagramları. Her iki diyagramda SDSS yıldızları yıldız sayı yoğunluğunun bir fonksiyonu olarak kontür çizgileriyle, SPS'den seçilen ve tayfsal analizleri yapılarak ışıma gücü sınıfları belirlenmiş dev ve anakol yıldızları, sırasıyla, (•) ve (Δ) üçgen sembolüyle gösterilmiştir.

3.10 *Galaxia* Modeli

Galaxia kodu C++ programlama dilinde yazılmış Samanyolu Galaksisi'nin sentetik taramasını üreten bir modeldir. Bu modelde, Galaksimizin dinamik yapısını temsil eden fonksiyonlarla oluşturulan analitik ya da N-cisim modelleri kullanılmaktadır.

Samanyolu Galaksisi'ni temsil eden fonksiyonları kullanarak bir ya da daha fazla sayıda renk-parlaklık sınırlaması, tarama çapı ve geometrisine uygun olarak sentetik bir yıldız tarama yapılmasına olanak sağlayan istatistiksel bir araçtır. *Galaxia* kodu, Samanyolu Galaksisi'nin bileşenlerini temsil eden yoğunluk dağılımları ya da N-cisim modelleri tanımlanarak özelleştirilebilir. Bu kodun en önemli özelliği tüm doğrultularda belirtilen hacmin tamamı için sürekli ve düzgün dağılan sentetik bir örnek oluşturabilmesidir. *Galaxia* kodu, yıldız oluşum oranı (SFR), yaş-metal bolluğu (AMR), yaş-hız dispersiyonu (AVR) ve yoğunluk fonksiyonları şeklinde tanımlanmış girdi parametreleriyle çalışmaktadır. Bu parametrelerle teorik eş-yaş eğrileri birlikte kullanılarak teorik yıldız katalogları oluşturulmaktadır. Bu kataloglar çok sayıda fotometrik bant için üretilebilmektedir.

Galaksimizin yıldız içeriği farklı Galaktik bileşenler (şişkin bölge, ince disk, kalın disk ve halo) için ayrı ayrı tanımlanmaktadır. Her bir bileşendeki yıldızları temsil eden bir dağılım fonksiyonu vardır ve bu fonksiyon yıldızların konumu (***r***), hızı (***v***), yaşı (τ), metal bolluğu (Z) ve kütlesine (m) bağlıdır. Bu durumda yoğunluk fonksiyonu şu şekilde gösterilebilir:

$$f_j = f_j(r, v, \tau, Z, m) \tag{3.47}$$

Burada *j* indeksi seçilen Galaktik bileşeni temsil eder. Galaksinin tüm özelliklerini tam olarak temsil etmesi beklenen bu fonksiyonun gerçek formu hala bilinmemektedir. Bununla beraber son 25 yılda basit varsayımlarla çalışan modeller geliştirilebilmiştir (Robin ve Creze, 1986; Bienayme vd. 1987; Haywood vd. 1997a, 1997b; Girardi vd. 2005; Robin vd. 2003). Galaxia modelinde kullanılan analitik işleyiş yukarıda referans gösterilen modellere dayanmaktadır. Modelin ayrıntıları aşağıda anlatılmaktadır.

Herhangi bir Galaktik bileşen için yıldız oluşum oranı $\Psi(\tau)$, kütle dağılımı $\xi(m,\tau)$, uzay dağılımı $f_{pos}(\boldsymbol{r},\tau)$, hız dağılımı $f_{vel}(\boldsymbol{v},\boldsymbol{r},\tau)$ ve metal bolluğu dağılımı $f_Z(Z,\boldsymbol{r},\tau)$ yıldızın yaş ve konumunun bir fonksiyonu olarak aşağıdaki gibi bir model oluşturulabilir.

$$f_j = \frac{\Psi(\tau)}{\langle m \rangle}\, \xi(m,\tau) f_{pos}(\boldsymbol{r},\tau) f_{vel}(\boldsymbol{v},\boldsymbol{r},\tau)\, f_Z(Z,\boldsymbol{r},\tau) \tag{3.48}$$

(3.48) bağıntısında sağ tarafında kalan fonksiyonlar farklı Galaktik bileşenler için farklı şekillerde tanımlanabilirler. Bu bağıntıda verilen kütle dağılım fonksiyonu (IMF) aşağıdaki gibi normalize edilmiştir.

$$\int_{m_{min}}^{m_{max}} \xi(m,\tau) dm = 1 \tag{3.49}$$

ve burada ortalama yıldız kütlesi şöyle tanımlanmıştır:

$$\langle m \rangle = \int_{m_{min}}^{m_{max}} m\, \xi(m) dm \tag{3.50}$$

(3.48) bağıntısında belirtilen metal bolluğu dağılım fonksiyonu logaritmik normal dağılım olarak tanımlanmıştır.

$$f_Z = \frac{1}{\sigma_{log\bar{Z}}(\tau)\sqrt{2\pi}} \exp(-(logZ - log\bar{Z}(\tau))/(2\sigma^2_{\log \bar{Z}}(\tau)) \tag{3.51}$$

Metal bolluğunun ortalama değeri ve dispersiyonu yaşın fonksiyonu olarak verilmiştir. Burada yaşın fonksiyonu olarak verilen metal bolluğunun ortalama değeri, $\bar{Z}(\tau)$, literatürde üzerinde çok durulan bir konu olan yaş-metal bolluğu ilişkisi (AMR) olarak bilinmektedir.

Yıldızların hız dağılım fonksiyonu silindirik koordinatlarda (*R, ϕ, Z*) tanımlanmış üç-eksenli normal dağılım ifadesi ile verilir.

$$f_Z = \frac{1}{\sigma_R \sigma_R \sigma_R (2\pi)^{3/2}} \exp\left(-\frac{v_R^2}{2\sigma_R^2(\tau,R)} - \frac{v_z^2}{2\sigma_z^2(\tau,R)}\right) \times \exp\left(-\frac{\left(v_\phi - v_{circ}(R) - v_{ad}(\tau,R)\right)^2}{2\sigma_\phi^2(\tau,R)}\right) \quad (3.52)$$

(3.52) bağıntısında $v_{circ}(R)$, dairesel hız ve $v_{ad}(\sigma,R)$ de asimetrik sürüklenme hızıdır. Asimetrik sürüklenme Strömberg ilişkisiyle ifade edilir (Binney ve Tremaine, 2008).

$$v_{ad}(R,\tau) = \frac{\sigma_R^2}{2v_c}\left(\frac{d\ ln\rho}{d\ln R} + \frac{d\ ln\sigma_\phi^2}{d\ln R} + 1 - \frac{\sigma_\phi^2}{\sigma_R^2} + 1 - \frac{\sigma_z^2}{\sigma_R^2}\right) \quad (3.53)$$

R, Z ve ϕ hız bileşenlerine ait dispersiyonlar yaşın da bir fonksiyonu olarak Galaktik diskin uzun zamana yayılan ısınma sürecinden dolayı artar. Ayrıca bu bileşenlerde Galaksi merkezine doğru gittikçe saçılma artar. Tüm bu etkiler aşağıdaki gibi modellenmiştir (Binney, 2010):

$$\sigma_{R,\phi,z}^{thin}(R,\tau) = \sigma_{R_o,\phi_o,Z_o}\left(\frac{\tau+\tau_{min}}{\tau_{max}+\tau_{min}}\right)^\beta \left(\frac{\Sigma^{thin}(R)}{\Sigma_\odot^{thin}}\right)^q \quad (3.54)$$

Burada Σ, Galaktik diskin yüzey yoğunluğunu temsil eden ifade olup yaşa bağımlı kısmı Aumer ve Binney'den (2009) alınmıştır.

Bu model iki önemli sınırlamaya sahiptir. Biri (3.48) bağıntısının dinamik olarak tutarlı olmayışıdır. Bu tutarsızlık, Güneş civarındaki Galaktik diskin Galaktik düzleme dik doğrultudaki yapısının belirli bir $v_{circ}(R)$, $\Psi(\tau)$ ve $\sigma_Z(\tau)$ parametreleri için Bienayme vd.'nin (1987) yaklaşımı üzerinden kaldırılır. Diğer sınırlama da yıldızların doğum yarıçaplarına tam olarak bağımlı olmayışıdır.

Galaxia kodunun genel işleyişinin içerisinde tanımlanan modeller kullanılarak sentetik bir yıldız kataloğu şu şekilde elde edilir.

(3.47) bağıntısındaki yıldız dağılım fonksiyonu için ***r*** ve τ'nun bilindiği durumda metal bolluğu dağılımı ve hız dağılımı önemsizdir. Aynı durum yıldızlara bir kütle atfederken de geçerli olup yalnızca tek boyutlu bir kütle dağılımı dikkate alınır.

Bir yıldıza ait yaş, metal bolluğu ve kütlenin bilinmesi durumunda sentetik eş-yaş eğrisi kütüphanesi kullanılarak yıldızların yaş, parlaklık, yüzey çekim ivmesi vb. parametreleri Galaxia koduyla üretilebilir. Burada dikkat edilmesi gereken husus konum ve yaş koordinatlarını üretebilmek için çok boyutlu özel bir analitik fonksiyonun tanımlanabilmesidir:

$$g(\boldsymbol{r},\tau) = \frac{\Psi(\tau) f_{pos}(r,\tau)}{\langle m \rangle} \tag{3.55}$$

(3.55) bağıntısı çok boyutlu analitik dağılımdan elde edilen noktaların üretilmesinde kullanılan en basit yaklaşım *von Neumann* uyarlanabilir ayırma tekniğidir. Buradaki mekanizma öncelikle rastgele bir ($\boldsymbol{r}$,τ) koordinatlarına sahip bir yıldız ürettikten sonra 0 ile g_{max} aralığında rastgele bir x sayısı üretir ve sonunda $x < g(\boldsymbol{r}$,$\tau)$ koşulunu sağlayan yıldızlar sentetik kataloğu oluşturmak üzere kabul edilir. Bu yaklaşım her ne kadar sade bir yapıya sahip gibi görünse de belirlenen uzay hacmi içerisindeki tüm noktalar için sentetik yıldız hesaplamaları çok uzun sürmektedir. Üstelik hesaplama süresiyle üretilen çıktının hacmi farklı ölçeklerdedir. *Galaxia* tüm galaksiyi üretir ve kullanıcı içinden istediği bölgeyi temsil eden yıldızları seçerek kullanmak zorundadır. Bu süreci hızlandırmak üzere tüm hacmi zaman eksenine göre dik doğrultuda düğüm noktalarına bölünür. Her bir alt-düğüm ana düğümün sekizde biri kadardır. Sistem bu şekilde parçalandıktan sonra her bir düğüme *von Neumann* ayırma tekniği uygulanır. Her bir düğüm de eşit sayıda yıldız üretilmesi önemlidir, böylelikle bir yoğunluk gradyentinin meydana gelmesinin önüne geçilir. Bunun için toplamda N_{tot} kadar yıldız için her bir düğümde N_{tot} /10^6 kadar yıldız olacak şekilde bir çözünürlük sınırı belirlenir. Her bir düğümdeki yıldız sayısı belirlenirken sayı yoğunluğunun düğümün hacmi üzerinden integrali alınır. Düğümleri ayırtetmek amacıyla yıldız sayısı şu şekilde hesaplanır:

$$N'_{node} = g_{max}(\boldsymbol{r},\tau,\boldsymbol{l}) l_1 l_2 l_3 l_4 \tag{3.56}$$

Burada $g_{max}(\boldsymbol{r},\tau,\boldsymbol{l})$ analitik yoğunluk fonksiyonu olup bir düğüm içerisindeki sayı yoğunluğunu temsil eder ve l_1, l_2, l_3, l_4 bir düğümün kenar uzunluğunu verir. Bir düğümde bulunan son yıldız sayısı sayı yoğunluğunun, artan uzay ve zaman çözünürlüklü düğüm üzerinden ta ki belirsizlik $0.1\sqrt{N_{node}}$'tan daha az olana kadar nümerik olarak integrasyon yapılmasıyla belirlenir. Bu koşul sağlandığında sonuç beklenen Poisson gürültüsünün yaklaşık onda birine karşılık gelir.

Sonuç olarak, uyarlanabilir *von Neumann* örnek üretme algortiması kullanılarak sentetik bir yıldız kataloğu şöyle oluşturulur: Her bir düğüm için ilk olarak bir N^{node} yani üretilecek yıldız sayısı belirlenir. Sonra, yıldızlara konum ve yaş değerleri atanır. Bu $\boldsymbol{r}$ ve τ değerleri rastgeledir

ve ardından *von Neumann* şeması üzerinden üretilen yıldızlara kabul ve ret işlemi uygulanır. Sonraki aşamada her bir yıldızın *m* kütlesi IMF'den ve metal bolluğu da f_Z (Z,$\boldsymbol{r}$,τ)'den hesaplanır. (Z,τ)'ya karşı gelen en yakın eş-yaş eğrisi seçilir ve kütleye karşı düşen yıldız parametreleri belirlenir. Hızlar, hız dağılım fonksiyonuna uygun hız elipsoidini gözetecek şekilde atanır. Son olarak hangi yıldızın sisteme dahil edileceği ve hangisinin çıkarılacağı seçim fonksiyonuyla belirlenir.

Gözlemlerde yıldızlararası tozdan kaynaklanan sönümlemenin yarattığı bir zorluk vardır. Bu nedenle gözlemsel tarama programlarında oluşturulan gerçek yıldız katalogları ile sentetik yıldız kataloglarının karşılaştırılabilmesi için bu etki sentetik yıldız katalogları için de dikkate alınmalıdır. Bununla birlikte, *Galaxia* kodunda oluşturulan kataloglar sönümleme etkisinin dahil edilmediği yıldızlar üretir. Kullanıcı hangi fotometrik sistem için bu sentetik kataloğu oluşturduysa o sisteme uygun olarak sentetik yıldızlara arındırma işlemi uygulamalıdır.

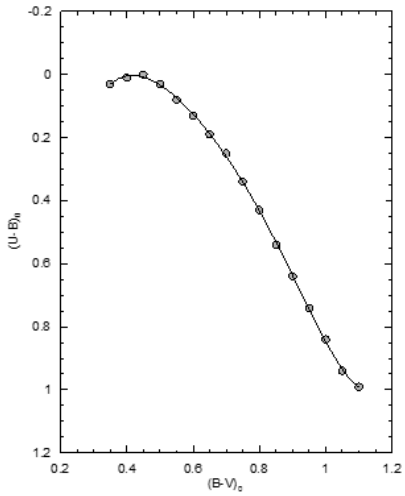
4. BULGULAR

4.1 Metal Bolluğu ve Mutlak Parlaklık Kalibrasyonlarının Oluşturulması

Duyarlı fotometrik metal bolluğu ve fotometrik paralaks kalibrasyonları elde etmek için, literatürde astrofizik parametreleri iyi bilinen Hyades açık kümesine ait üye yıldızların *V*, *B-V*, *U-B* verileri ile trigonometrik paralaksları dikkate alınmıştır (Sandage, 1969; Karaali vd., 2003). Hyades kümesinin (*U-B*, *B-V*) iki-renk diyagramına ait verileri Sandage'in (1969) çalışmasından alınmıştır. Kümenin (*B-V*)–M_V renk-parlaklık diyagramın oluşturulmasında ise Karaali vd.'nin (2003) çalışmasında verilen 45 yıldız dikkate alınmıştır. Bu yıldızların mutlak parlaklıkları yeniden indirgenen *Hipparcos* kataloğundaki (van Leeuwen, 2007) trigonometrik verilerin güncellenmesiyle hesaplanmıştır.

Sandage (1969), Hyades açık kümesinin anakolunun oluşturulmasında kümeye ait yıldızların ortalama *U-B*, *B-V* renklerini kullanmıştır ve *B-V* renk aralığı 0.35 ile 1.10 kadirdir. Örneğimizdeki yıldızların UV morötesi artığının duyarlı hesaplanabilmesi için (*U-B*, *B-V*) iki-renk diyagramında (Şekil 4.1) Hyades kümesinin anakoluna beşinci dereceden bir polinom fit edilmiş ve elde edilen bağıntı aşağıda verilmiştir:

$$(U-B)_0 = 2.791(0.702) - 20.567(5.558)(B-V)_0 + 58.355\,(16.920)(B-V)_0{}^2 - 81.837(24.836)(B-V)_0{}^3 + 59.22(17.631)(B-V)_0{}^4 - 17.115(4.857)(B-V)_0{}^5 \quad (4.1)$$

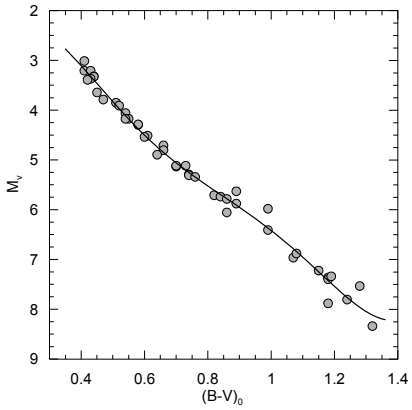


Şekil 4.1 Hyades açık kümesinin iki-renk diyagramı.

Mutlak parlaklıkların hesaplanmasında ise küme üyesi 45 yıldıza ait trigonometrik paralaks ve fotometrik veriler Karaali vd.'nin (2003) çalışmasından alınmış ve *Hipparcos* verilerinin yeniden

indirgenmesi nedeniyle küme üyesi 45 yıldızın trigonometrik paralaks verileri van Leeuwen'in (2007) kataloğundan alınarak güncellenmiştir. Kümenin $(B\text{-}V)_0$–M_V renk-parlaklık diyagramı, Şekil 4.2'de gösterilmiştir. Hyades kümesinin anakolunu belirlemek üzere küme üyesi olan 45 yıldızın verilerine beşinci dereceden bir polinom fit edilmiş ve elde edilen bağıntı aşağıda verilmiştir:

$$\mathrm{M_V} = 5.661(9.955) - 36.582(67.177)(\mathrm{B-V}) + 133.228(174.130)(\mathrm{B-V})_0^2 \\ -188.632(217.207)(\mathrm{B-V})_0^3 + 122.703(130.731)(\mathrm{B-V})_0^4 - 29.961(30.469)(\mathrm{B-V})_0^5 \qquad (4.2)$$



Şekil 4.2 Hyades açık kümesinin anakolda bulunan 45 yıldızının renk-parlaklık diyagramı.

Örneğimizdeki yıldızların Hyades anakolundan olan morötesi artığının hesaplanması için aşağıdaki bağıntı kullanılmıştır:

$$\delta = (U-B)_{\mathrm{Hyades}} - (U-B)_{\mathrm{S}} \, . \qquad (4.3)$$

Yıldızların morötesi artıkları, $(B\text{-}V)_0 = 0.6$ renginde ölçülen morötesi artıklarına normalleştirmek için aşağıdaki bağıntıda verilen *f* faktörüyle çarpılarak $\delta_{0.6}$ değerlerine çevrilmiştir:

$$\delta_{0.6} = f \times \delta \, . \qquad (4.4)$$

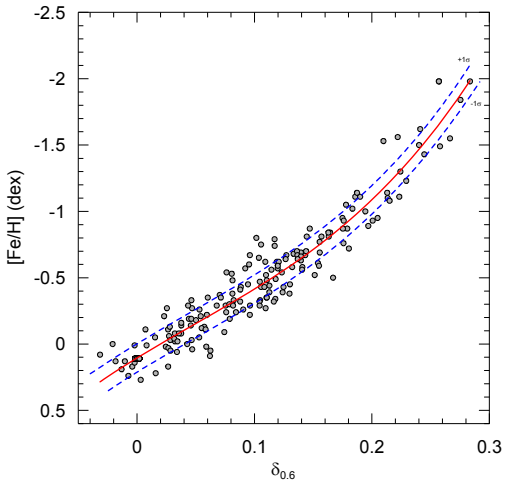
Sandage (1969), fotometrik metal bolluğu kalibrasyonunun oluşturulmasında $0.35 \leq (B\text{-}V)_0 \leq 1.10$ kadir aralığındaki A-K tayf türündeki anakol yıldızlarını dikkate almış ve $(B\text{-}V)_0$ renk indeksine karşılık gelen *f* değerlerini listelemiştir (bakınız Sandage 1969;Tablo 1A).

Fotometrik metal bolluğu kalibrasyonunu oluşturmak için örneğimizdeki yıldızların hesaplanan morötesi artıkları ($\delta_{0.6}$) ve tayfsal yöntemler ile elde edilmiş metal bolluğu ([*Fe*/*H*]) değerleri arasındaki dağılıma bakılmıştır (Şekil 4.3). 168 yıldızın morötesi artığı -0.06 ile 0.28 kadir aralığındadır ve bu değerlere karşılık gelen tayfsal metal bolluğu aralığı da 0.3 ile -2 dex'tir.

Şekil 4.3 incelendiğinde 168 yıldızın morötesi artıklarıyla tayfsal metal bolluk değerleri arasındaki dağılımın uyumlu olduğu görülmektedir. Verileri en iyi temsil eden üçüncü derece polinoma ait katsayılar ve hataları aşağıdaki bağıntıda verilmiştir:

$$[\mathrm{Fe/H}] = 0.105(0.010) - 5.428(0.521)\delta_{0.6} + 7.340(5.895)\delta_{0.6}^{2} - 50.081\ (16.359)\delta_{0.6}^{3}. \qquad (4.5)$$

Bağıntıya ait korelasyon katsayısı ve standart sapma değeri, sırasıyla, R^2= 0.949 ve σ = 0.107'dir.



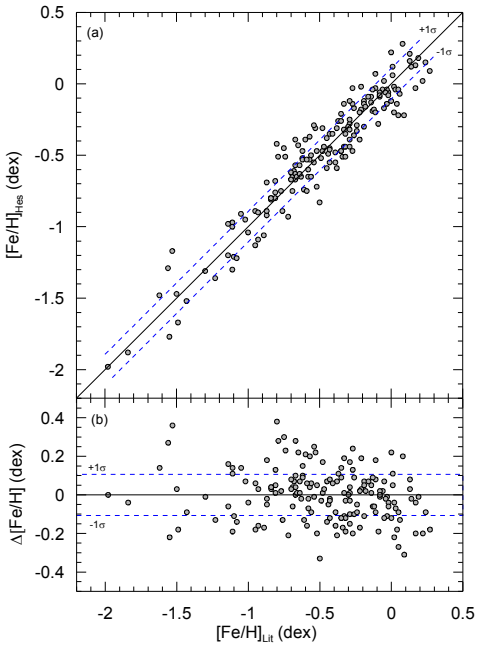
Şekil 4.3 168 yıldızın $\delta_{0.6}$ morötesi artıklarının [*Fe/H*] metal bolluğuna göre değişimi. Düz kırmızı çizgi kalibrasyon eğrisini, kesikli mavi çizgiler de kalibrasyonun $\pm 1\sigma$ değerlerini göstermektedir.

Elde edilen fotometrik metal bolluğu kalibrasyonu, $(B\text{-}V)_0$ renk indeksi 0.30 ile 0.68 kadir aralığındaki F-G tayf türündeki anakol yıldızları için geçerlidir.

Projemizde elde edilen fotometrik metal bolluğu bağıntısının kullanılmasıyla hesaplanan metal bolluklarının tayfsal yöntemlerden elde edilenleri ne derece temsil ettiğini görebilmek için, örneğimizdeki yıldızların tayfsal metal bollukları ile fotometrik metal bollukları arasındaki dağılımına ve farklarına (Δ[Fe/H]=[Fe/H]$_{\text{literatür}}$-[Fe/H]$_{\text{hesaplanan}}$) bakılmış ve Şekil 4.4'te gösterilmiştir. Farkların ortalama değeri ile standart sapma değeri, sırasıyla, 0 ve 0.134 dex'tir.

Örneğimizdeki yıldızlarının morötesi artıklarını kullanarak bir mutlak parlaklık kalibrasyonunun oluşturulması amacıyla renk-parlaklık diyagramı üzerinde, metal bolluğuna duyarlı olduğunu gösterebilmek için, yıldızlar tayfsal metal bollukları -2 < [Fe/H] ≤ -1, -1 < [Fe/H] ≤ -0.5, -0.5 < [Fe/H] ≤ 0 ve 0 < [Fe/H] ≤ +0.5 dex olacak şekilde dört farklı gruba ayrılmış ve Şekil 4.5'teki M_V – $(B\text{-}V)_0$ renk-parlaklık diyagramı üzerinde işaretlenmiştir. Ayrıca aynı şekil üzerinde Hyades anakolu da gösterilmiştir. Şekil 4.5'ten görüleceği gibi metalce fakir yıldızların Hyades

anakoluna paralel ve daha mavi bölgede yer aldıkları, rölatif olarak metalce daha zengin gruplarda bulunan yıldızların ise Hyades anakoluna paralel olarak yaklaştığı görülmektedir. Metalce en zengin olanların da Hyades anakolunun üstünde bulundukları tesbit edilmiştir. Bu durum, morötesi artıklarının mutlak parlaklık hesabı için kullanılabileceğini göstermektedir.

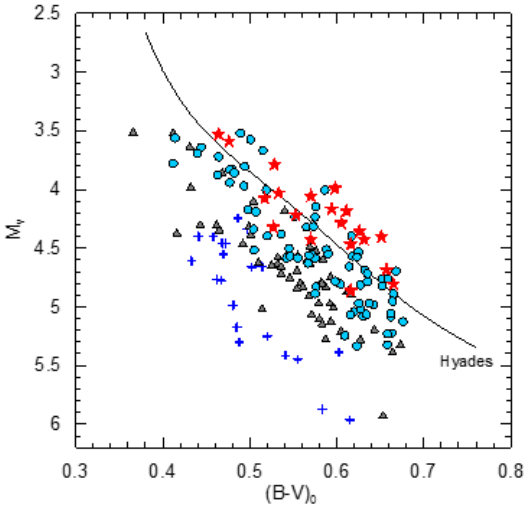


Şekil 4.4 168 yıldızın [*Fe/H*]Hes-[*Fe/H*]Lit karşılaştırılması (**a**). 168 yıldızın Δ[*Fe*/*H*] fark dağılımı (**b**). Kesikli çizgiler $\pm 1\sigma$ standart sapma değerlerini göstermektedir.

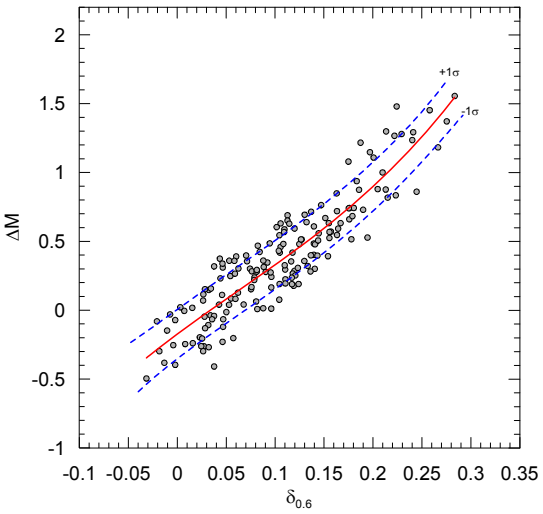
Örneğimizdeki yıldızların $(B\text{-}V)_0$ rengine karşılık gelen Hyades anakolu mutlak parlaklığı (Bağıntı 4.2) ile yıldızın *Hipparcos* verilerinden hesaplanmış mutlak parlaklıkları (Bağıntı 3.15) arasındaki $\Delta M = M_{V(Hipparcos)} - M_{V(\mathrm{Hyades})}$ farkından yararlanarak, morötesi artığının (Bağıntılar 4.3 ve 4.4) fonksiyonu olan bir fotometrik paralaks kalibrasyonu elde edilmiştir. Yıldızların *Hipparcos* ile Hyades mutlak parlaklıkları arasındaki ΔM farkı ile morötesi artıkları arasındaki ilişki Şekil 4.6'da gösterilmiş ve bağıntısı aşağıda verilmiştir:

$$\Delta M = -0.174(0.036) + 5.278(1.141)\,\delta_{0.6} - 5.292(11.007)\,\delta_{0.6}^2 + 28.477(29.237)\,\delta_{0.6}^3 \qquad (4.6)$$

Yıldızların morötesi artığı değerleri -0.03 ile 0.28 kadir aralığında ve bu değerlere karşılık gelen mutlak parlaklık farkları -0.5 ile 2 kadirdir. Bağıntıya ait korelasyon katsayısı ve standart sapma değeri, sırasıyla, R^2 = 0.824 ve σ = 0.176'dur.



Şekil 4.5 168 yıldızın $M_V - (B-V)_0$ renk-parlaklık diyagramı. Mavi artı: $-2 < [Fe/H] \leq -1$ dex, gri üçgen: $-1 < [Fe/H] \leq -0.5$ dex, mavi daire: $-0.5 < [Fe/H] \leq 0$ dex, kırmızı yıldız: $0 < [Fe/H] \leq +0.5$ dex aralıklarındaki yıldızları ve düz çizgi ise Hyades anakolunu göstermektedir.

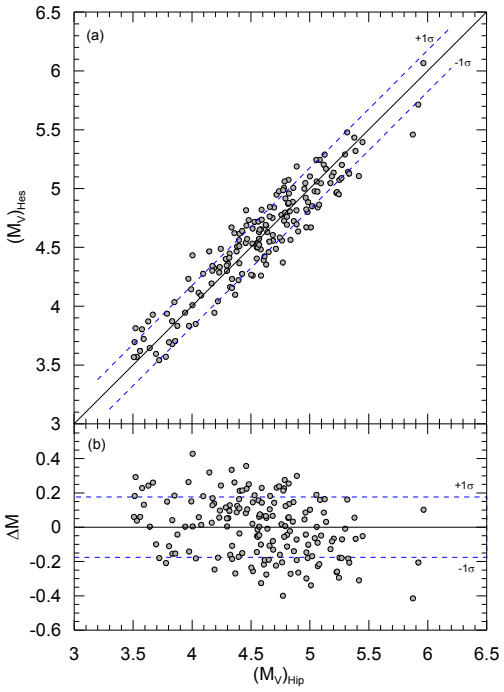


Şekil 4.6 168 yıldızın morötesi artığı-mutlak parlaklık diyagramı. Kırmızı düz çizgi kalibrasyon eğrisini, mavi kesikli çizgiler de kalibrasyona ait $\pm 1\sigma$ değerlerini göstermektedir.

Oluşturulan mutlak parlaklık kalibrasyonundan elde edilen mutlak parlaklıkların, *Hipparcos* trigonometrik paralakslarından hesaplanan mutlak parlaklıkları ne derece temsil ettiğini görebilmek için, örneğimizdeki yıldızların kalibrasyondan hesaplanan mutlak parlaklıkları ile *Hipparcos* mutlak parlaklıkları arasındaki dağılımına ve farklarına bakılmış ve Şekil 4.7'de gösterilmiştir. Farkların ortalama değeri ve standart sapması, sırasıyla, 0 ve 0.174 kadirdir. SDSS fotometrisi için duyarlı metal bolluğu ve mutlak parlaklık kalibrasyonlarının elde edilmesi için *UBV* fotometrisiyle elde edilen kalibrasyonlar dönüşüm formülleriyle (Chonis ve Gaskell, 2008) SDSS fotometrisine dönüştürülmüştür.

[Fe/H] metal bolluğu ve M_g mutlak parlaklığıyla morötesi artığı arasındaki bağıntının oluşturulmasında kullanılan, Hyades'e ait iki renk ve renk-parlaklık diyagramları Sandage (1969) ve Karaali vd.'den (2003) sağlanmıştır. Sandage'e (1969) ait *B-V* ve *U-B* verileri (3.22) ve (3.23) numaralı denklemler kullanılarak $(g\text{-}r)_0$ ve $(u\text{-}g)_0$ renk indekslerine dönüştürülmüş ve bunlardan beşinci dereceden bir polinom eğrisi geçirilmiştir (Şekil 4.8). Bu bağıntıya ait korelasyon katsayısı ve standart sapma, sırası ile, R^2 =0.998 ve σ = 0.027 kadirdir. Söz konusu bağıntı aşağıda verilmiştir:

$$(\mathrm{u}-\mathrm{g})_0 = 0.839(0.241) + 2.756\,(2.397)(\mathrm{g}-\mathrm{r})_0 - 10.744\,(8.618)(\mathrm{g}-\mathrm{r})_0^2$$
$$+24.252\,(14.233)(\mathrm{g}-\mathrm{r})_0^3 - 20.585(10.936)(\mathrm{g}-\mathrm{r})_0^4 + 5.961(3.164)\,(\mathrm{g}-\mathrm{r})_0^5 \qquad (4.7)$$

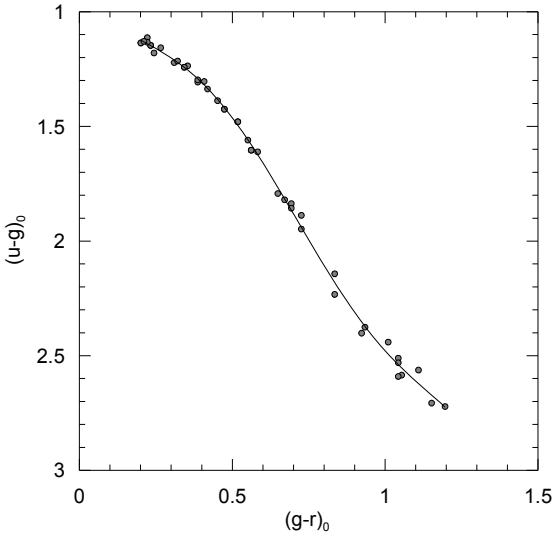


Şekil 4.7 168 yıldızın mutlak parlaklıkları ile hesaplanan mutlak parlaklıklarının karşılaştırılması. (a) 168 yıldızın mutlak parlaklıkları ile hesaplanan mutlak parlaklıkları arasındaki farklar. (b) Mavi kesikli çizgiler $\pm 1\sigma$ standart sapma değerlerini göstermektedir.

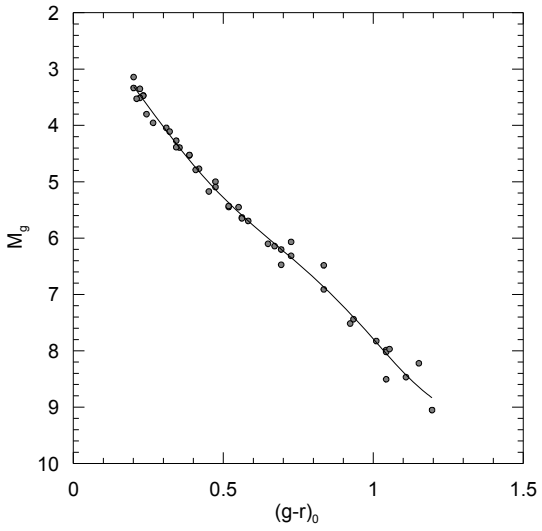
Hyades kümesine ait $(g\text{-}r)_0$ renk indeksinin değişim aralığı $0.20 < (g\text{-}r)_0 < 1.20$ kadirdir. Karaali vd.'ne (2003) ait (M_v, $(B\text{-}V)_0$) verileri, van Leeuwen'in (2007) trigonometrik paralaks değerleri kullanılarak güncelleştirilmiş ve (M_g, $(g\text{-}r)_0$) renk-parlaklık verilerine dönüştürülmüştür. Hyades kümesinin renk-parlaklık diyagramı Şekil 4.9'da gösterilmiştir. Hyades kümesine üye 45 yıldızın verilerini kullanarak, kümenin anakolunu temsil etmek üzere beşinci dereceden bir eğri geçirilmiştir. Şekil 4.9'da çizilmiş olan eğriye ait beşinci dereceden polinom aşağıdaki bağıntıda

verilmiş olup, korelasyon katsayısı ve standart sapması, sırasıyla R^2=0.991 ve σ = 0.164 kadirdir.

$$\mathrm{M_g} = 2.343(1.955) + 0.575(0.177)(\mathrm{g-r})_0 - 32.996(4.130)(\mathrm{g-r})_0^2$$
$$- 71.036(17.207)(\mathrm{g-r})_0^3 - 62.0392(13.731)(\mathrm{g-r})_0^4 - 19.128(13.469)(\mathrm{g-r})_0^5 \quad (4.8)$$



Şekil 4.8 Hyades açık kümesinin iki-renk diyagramı.



Şekil 4.9 Hyades açık kümesinin anakolunda bulunan 45 yıldızının renk-parlaklık diyagramı.

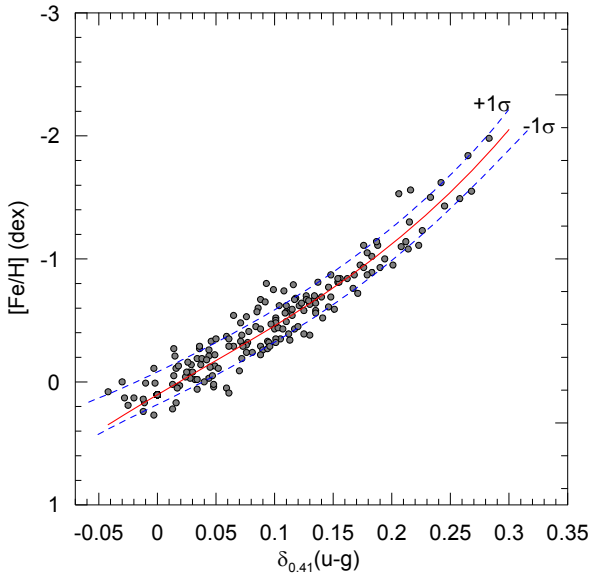
Fotometrik metal bolluğu kalibrasyonunu elde edebilmek için, projemizde kalibrasyon yıldızlarının hesaplanan morötesi artığı ($\delta_{0.41}$) ile tayfsal yöntemlerden elde edilmiş metal bolluğu ([Fe/H]) arasındaki ilişki araştırılmıştır (Şekil 4.10). 168 kalibrasyon yıldızının morötesi artıkları -0.03 ile 0.28 dex aralığında olup bu değerlere karşılık gelen tayfsal metal bollukları 0.3 ile -2 dex aralığındadır. Verileri en iyi temsil eden üçüncü derece polinoma ait katsayılar ve hataları aşağıdaki bağıntıda verilmiştir:

$$[\mathrm{Fe/H}] = 0.105(0.010) - 5.633(0.521)\delta_{0.41} + 2.984(5.895)\delta_{0.41}^2 - 27.209\ (16.359)\delta_{0.41}^3 \quad (4.9)$$

Bağıntının korelasyon katsayısı ve standart sapma değeri, sırasıyla R^2 = 0.949 ve σ = 0.107'dir. Elde edilen bu bağıntı, 0.15 < $(g\text{-}r)_0$ < 0.50 renk indeksi aralığındaki F-G tayf türündeki anakol yıldızları için geçerlidir. Şekil 4.10'daki kırmızı sürekli çizgi ve mavi kesikli çizgiler, sırasıyla kalibrasyonu ve $\pm 1\sigma$ standart sapma değerlerini gösterir.

Elde edilen fotometrik metal bolluğu bağıntısının orijinal veriler arasındaki farklarını görebilmek için 168 kalibrasyon yıldızının tayfsal metal bollukları ile bu çalışmada (4.9) numaralı bağıntıyla

hesaplanan fotometrik metal bollukları arasındaki fark (Δ[Fe/H]=[Fe/H]$_{org}$-[Fe/H]$_{cal}$) grafiği oluşturulmuştur (Şekil 4.11). Burada [Fe/H]$_{org}$ ve [Fe/H]$_{cal}$, sırasıyla, orijinal ve hesaplanan değerleri göstermektedir. Kalibrasyon yıldızlarının orijinal verileriyle hesaplanan değerleri arasındaki farkların ortalama değeri ile farkların standart sapma değeri, sırasıyla 0.00 ve 0.137 dex'tir.



Şekil 4.10 168 kalibrasyon yıldızına ait metal bolluğunun morötesi artığına göre değişimi. Kırmızı düz çizgi kalibrasyon eğrisini, kesikli mavi çizgiler de kalibrasyona ait $\pm 1\sigma$ değerlerini göstermektedir.

Ayrıca, 168 kalibrasyon yıldızının morötesi artıklarına duyarlı bir şekilde mutlak parlaklıkları da hesaplanmıştır. Bu amaç için, yıldızın trigonometrik paralaksı yardımıyla hesaplanan $(M_g)_{org}$ mutlak parlaklığıyla yıldızın $(g\text{-}r)_0$ renk indeksine karşılık gelen Hyades kümesindeki $(M_g)_H$ mutlak parlaklıkları kullanılmıştır.

Kalibrasyon yıldızlarının mutlak parlaklık farkları aşağıdaki bağıntıyla, kalibrasyon yıldızlarının morötesi artıkları da (3.25)-(3.26) numaralı bağıntılar yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\Delta M_g = (M_g)_{org} - (M_g)_H \qquad (4.10)$$

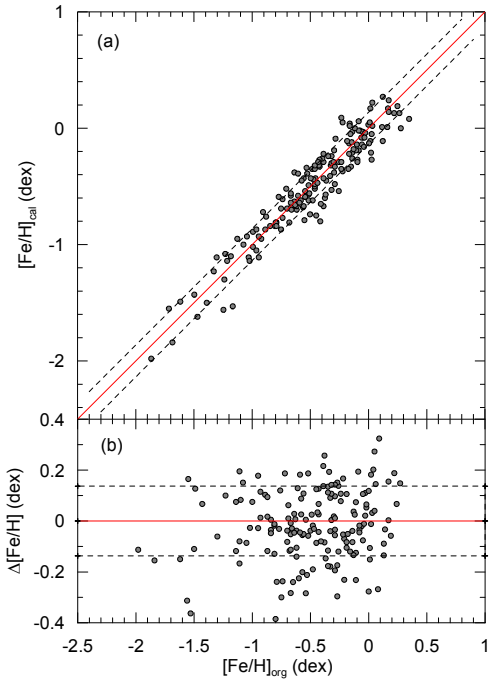
Burada $(M_g)_{org}$ ve $(M_g)_H$ sırasıyla belli bir $(g\text{-}r)_0$ renk indeksindeki bir yıldızı ve Hyades kümesinin aynı $(g\text{-}r)_0$ renk indeksindeki yıldızına ait mutlak parlaklıkları göstermektedir.

168 kalibrasyon yıldızının mutlak parlaklık farklarıyla, morötesi artıkları arasındaki ilişki Şekil 4.12'de gösterilmiştir. Kalibrasyon yıldızlarının morötesi artık değerleri -0.03 ile 0.30 kadir aralığında olup bu değerlere karşılık gelen mutlak parlaklık farkları (ΔM_g) ise -0.6 ile 1.6 kadirdir. Kalibrasyon yıldızlarının morötesi artık değerleri ile mutlak parlaklık farkları arasındaki

dağılımı en iyi temsil eden eğrinin üçüncü dereceden bir polinom olduğu görülmüştür. Verileri en iyi temsil eden üçüncü derece polinoma ait katsayılar ve bu katsayıların hataları aşağıdaki bağıntıda verilmiştir:

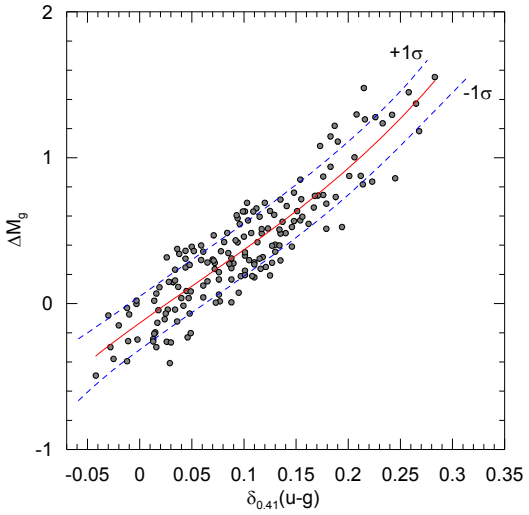
$$\Delta \mathrm{M}_g = -0.133(0.031) + 5.169(0.965)\delta_{0.41} - 3.623(9.978)\,\delta_{0.41}^2 + 21.497(27.799)\,\delta_{0.41}^3 \quad (4.11)$$

Bağıntının korelasyon katsayısı ve standart sapma değeri, sırasıyla, R^2 = 0.816 ve σ = 0.180 kadirdir.



Şekil 4.11 a) 168 kalibrasyon yıldızının $[Fe/H]_{org}$-$[Fe/H]_{cal}$ bağıntısı ve **b)** bu yıldızların metal bolluğu farklarının dağılımı. Kesikli çizgiler $\pm 1\sigma$ standart sapma değerlerini göstermektedir.

Elde edilen mutlak parlaklık kalibrasyonunun ($(M_g)_{cal}$) yeniden indirgenmiş *Hipparcos* verilerinden Pogson bağıntısıyla hesaplanan orijinal mutlak parlaklık değerleriyle ($(M_g)_{org}$) karşılaştırılması için, öncelikle (4.11) numaralı bağıntıdan ΔM_g değeri bulunmuştur. Bu aşamadan sonra $(M_g)_{Hyades}$ mutlak parlaklığı (4.8) numaralı bağıntıdan elde edilmiş ve $\Delta M_g = (M_g)_{cal} - (M_g)_{Hyades}$ bağıntısından da yıldızın $(M_g)_{cal}$ değeri tayin edilmiştir. Hesaplanan mutlak parlaklıklar ($(M_g)_{cal}$) ile orijinal değerler arasındaki $(M_g)_{org}$) farklar Şekil 4.13a'da gösterilmiştir. Hesaplanan mutlak parlaklıklar ($(M_g)_{cal}$) ile orijinal mutlak parlaklık ($(M_g)_{orj}$) arasındaki farklar Şekil 4.13b'de gösterilmiştir. Hesaplanan mutlak parlaklıklar ile orijinalleri arasındaki farkların ortalamasıyla standart sapmaları, sırasıyla, 0.000 ve 0.179 kadirdir. Şekil 4.13'teki düz çizgi birebir doğrusunu, kesikli çizgiler ise $\pm 1\sigma$ standart sapma değerlerini göstermektedir.



Şekil 4.12 168 kalibrasyon yıldızının ΔM_g - $\delta_{0.41}(u\text{-}g)$ bağıntısı. Kırmızı eğri kalibrasyonu, mavi kesikli çizgiler $\pm 1\sigma$ standart sapma değerlerini göstermektedir.

Yıldızların %68'i kalibrasyon eğrisinin $\pm 1\sigma$ standart sapma değerleri içindedir. Hesaplanan mutlak parlaklıklar ile orijinaller arasındaki farkların (Farklar = $(M_g)_{cal}$ - $(M_g)_{org}$) sistematik bir yanlılığının bulunmadığı Şekil 4.13b'de görülmektedir.

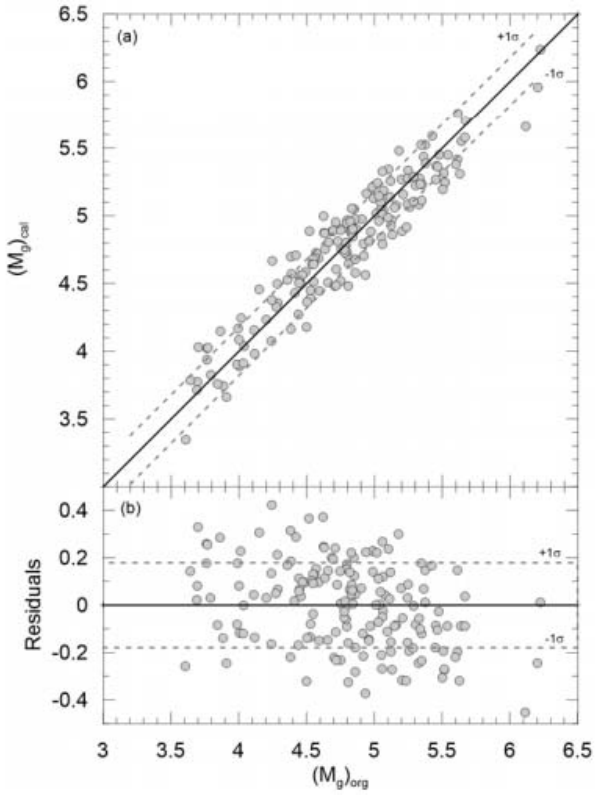
Elde ettiğimiz yeni metal bolluğu ve mutlak parlaklık kalibrasyonu mor ötesi artığının bir fonksiyonu olup, derin bir gökyüzü taraması olan *SDSS*'de gözlenen F-G tayf türündeki anakol yıldızlarının fotometrik metal bolluğu ve mutlak parlaklık kalibrasyonunun hesaplanmasında uygulanabilir.

4.2 Metal Bolluğu ve Mutlak Parlaklık Kalibrasyonlarının Alan Yıldızlarına Uygulanması

Projemizde elde ettiğimiz metal bolluğu bolluğu ve mutlak parlaklık kalibrasyonları, Galaktik enlemi $b \geq 50°$ olan yaklaşık 5,280 derece karelik bir yıldız alanında SDSS fotometrisiyle gözlemleri yapılan F-G tayf türündeki anakol yıldızlarına uygulanmıştır. Yıldızların metal bolluklarıyla Galaktik düzlemden olan dik uzaklıkları dikkate alınarak seçilen yıldız alanı doğrultusunda farklı uzaklık aralıkları için dikey ve radyal metal bolluğu gradyenti hesaplanmıştır.

Fotometrik verilerinin seçiminde SDSS-III'ün son veri sürümü olan DR12 kullanılmıştır (Alam vd., 2015). Galaktik enlemi $b \geq 50°$ olan yaklaşık 5,280 derece karelik bir yıldız alanında 26,

719,324 yıldızın ekvatoral ve Galaktik koordinatları, kızarmadan arındırılmış *ugriz* parlakları ve parlaklık hataları SDSS'in SQL web sayfasından çekilmiştir[5] .

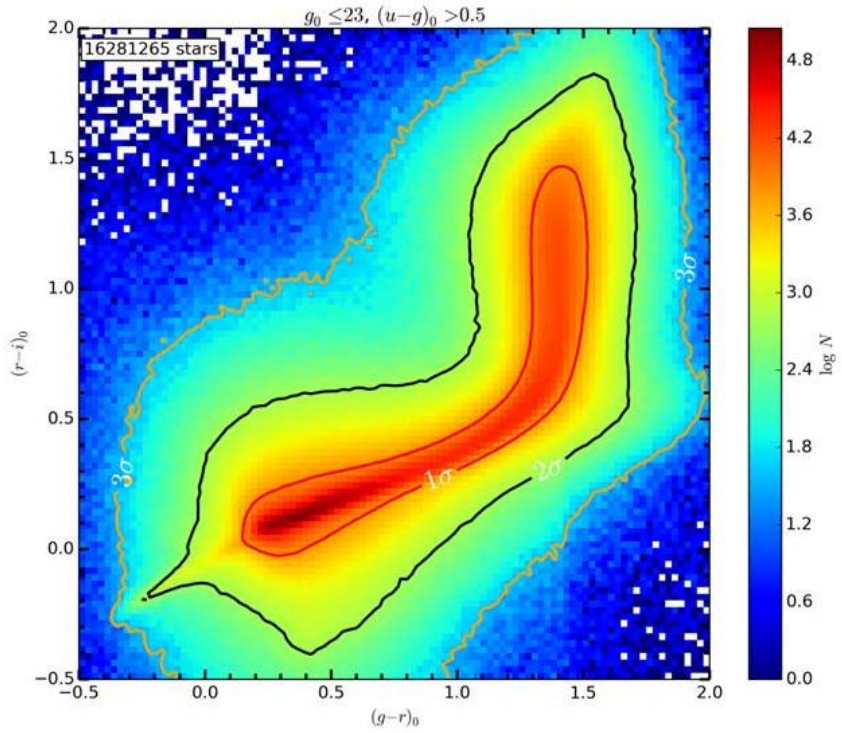


Şekil 4.13 a) 168 kalibrasyon yıldızının mutlak parlaklıkları ile bu çalışmada hesaplanan mutlak parlaklıkların birebir dağılımı ve **b)** bu mutlak parlaklıklar arasındaki farklar

İncelenen yıldız alanı doğrultusundaki kuazar gibi galaksi dışı kaynakların örneği etkilememesi için öncelikle $g_0 \leq 23$ ve $(u\text{-}g)_0 > 0.5$ parlaklık ve renk sınırlaması getirilmiştir (Chen vd., 2001). Bu şartları sağlayan 16,281,265 yıldızın $(g\text{-}r)_0$ - $(r\text{-}i)_0$ iki renk diyagramı Şekil 4.14'te gösterilmiştir. Aynı şekil üzerinde Juric vd.'nin (2008) 4.12 numaralı bağıntıyla verilen ortalama anakol eğrisi çizilmiş ve bu eğriden itibaren 1, 2 ve 3 standart sapma (σ) değerleri hesaplanıp farklı renkli kontürler ile gösterilmiştir. Örneğin oluşturulmasında $\pm 2\sigma$ değeri içinde kalan yıldızlar seçilmiştir. Böylece, yıldız sayısı 15,456,605 olmuştur.

$$g - r = 1.39\,\{1 - \exp[-4.9(r-i)^3 - 2.45(r-i)^2 - 1.68(r-i) - 0.050]\} \qquad (4.12)$$

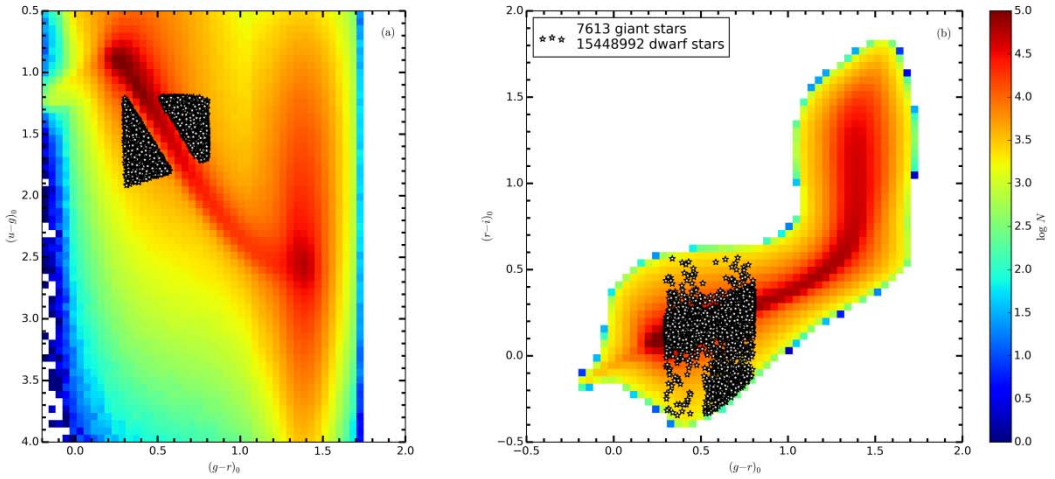
[5] https://skyserver.sdss.org/dr12/en/tools/search/sql.aspx



Şekil 4.14 16,281,265 yıldızın sayı yoğunluğuna göre $(g\text{-}r)_0$ - $(r\text{-}i)_0$ iki renk diyagramı. Kırmızı, siyah ve turuncu sürekli çizgiler, sırasıyla, 1, 2 ve 3 standart sapma değerlerini göstermektedir.

Yıldız örneği içinde anakol yıldızlarını belirleyebilmek için dev yıldızların ayırt edilmesinde Bölüm 3.9'da bahsedilen Helmi vd. (2003) tarafından geliştirilmiş yöntem kullanılmıştır. (3.43), (3.44), (3.45) ve (3.46) numaralı bağıntılar ile belirlenen dev yıldızların sayısı 7,613'tür. Anakol ve dev yıldızların $(u\text{-}g)_0$-$(g\text{-}r)_0$ ve $(g\text{-}r)_0$-$(r\text{-}i)_0$ iki renk diyagramları üzerindeki konumları Şekil 4.15'te gösterilmiştir. Dev yıldızlar istatistik dışı bırakıldığında yıldız alanında belirlenen anakol yıldızlarının sayısı 15,448,992 olmuştur. SDSS sisteminde elde edilen kalibrasyonların geçerli olduğu $0.15 < (g\text{-}r)_0 < 0.50$ renk indeksi aralığı dikkate alındığında F-G tayf türündeki anakol yıldızlarının sayısı 4,402,895 olarak belirlenmiştir.

Anakol yıldızlarının metal bolluğu değerlerinin belirlenmesinde fotometrik hatalar önemlidir ve bu hatalar görünen parlaklıkla büyümektedir. Bu hataların belirlenmesinde yıldızların görünen parlaklıklarına göre parlaklık ve renk hataları dikkate alınmalıdır. Bu nedenle 4,402,895 yıldızın g_o görünen parlaklığına karşın g, $u\text{-}g$ ve $g\text{-}r$ renk hatalarına göre dağılımları Şekil 4.16'da gösterilmiştir. Şekilden de görüleceği gibi görünen parlaklığı $g_0 = 20$ değerine kadar g, $g\text{-}r$ ve $u\text{-}g$ renklerinde oluşan medyan hata değerleri, sırasıyla, 0.006, 0.008 ve 0.022 kadirdir.



Şekil 4.15 Işıma gücü sınıflarına göre ayırımı yapılan örnekteki yıldızların (a) $(u\text{-}g)_0$-$(g\text{-}r)_0$ ve (b) $(g\text{-}r)_0$-$(r\text{-}i)_0$ iki renk diyagramları. İki renk diyagramları üzerinde gösterilen renkler yıldız sayı yoğunluğa göre sınıflanmıştır. Dev yıldızlar içi dolu daire sembolüyle gösterilmiştir.

Bu hataların g_0 = 20 kadirine kadar dikkate alınması anakol yıldızların duyarlı metal bolluğu ve mutlak parlaklıklarının tayin edilebileceğini göstermektedir. Bu nedenle örnek g_0 görünen parlaklığı 14 ile 20 kadir aralığında sınırlandırıldığında F-G tayf türündeki anakol yıldızlarının sayısı 1,895,264 olmuştur. Projemizde oluşturulan metal bolluğu kalibrasyonu -2 ≤ [Fe/H] ≤ 0.2 dex aralığında geçerli olduğundan örneğimizdeki F-G tayf türündeki anakol yıldızlarının sayısı 1,437,467 olarak belirlenmiştir.

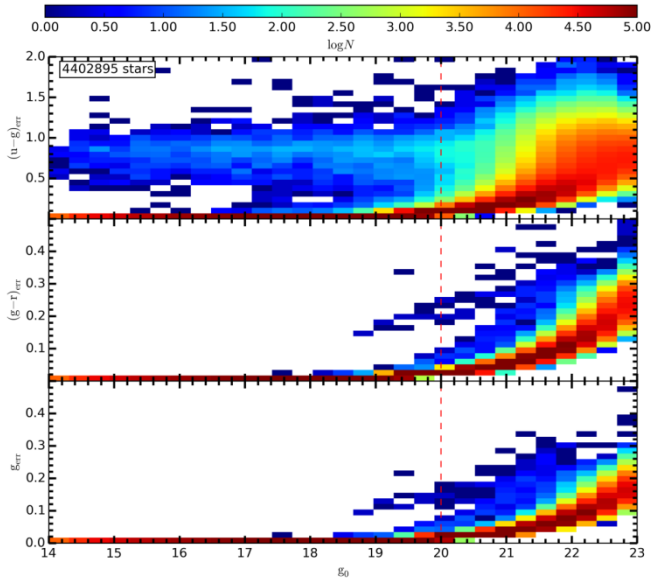
4.2.1 Galaksi Merkezinden Radyal Doğrultudaki Metal Bolluğu Gradyenti

F-G tayf türünde anakol yıldızlarından oluşan örneğe projemizde elde edilen metal bolluğu ve uzaklık kalibrasyonları (Tunçel Güçtekin vd. 2016; 2017) uygulanarak her bir yıldızın fotometrik metal bolluğu ile M_g mutlak parlaklığı hesaplanmış ve yıldızların uzaklıkları Pogson bağıntısı kullanılarak tayin edilmiştir. Yıldızların Galaktik düzlemden dik doğrultudaki uzaklıkları Galaktik enlemlerinin bir fonksiyonu olarak $Z = d \times \sin(b)$ bağıntısı kullanılarak belirlenmiştir. Radyal metal bolluğu hesaplamalarında yıldızların Galaksi merkezine (R) uzaklıklarıyla metal bollukları arasında doğrusal ilişki araştırıldığından incelenen yıldızların Güneş'e olan uzaklıklarının Galaksi merkezine taşınması gerekmektedir.

Bunun için,

$$R = \sqrt{(R_0^2 + d^2 cos^2(b) - 2R_0 d\cos(b)\cos(l))^2 + z^2} \qquad (4.13)$$

bağıntısı kullanılmıştır. Burada *d* yıldızın Güneş'e uzaklığı, R_0 Güneş'in Galaksi merkezine uzaklığı (8 kpc, Majewski 1993), *z* Galaktik düzlemden dik uzaklık ve (*l*, *b*) yıldızın Galaktik koordinatlarıdır.



Şekil 4.16 Örneğimizdeki yıldızların g_0 görünen parlaklığına karşı *g*, *u-g* ve *g-r* parlaklık ve renk hataları.

Radyal metal bolluğu gradyent hesaplarının daha hassas yapılabilmesi için yıldızlar 20'şer derecelik Galaktik boylamlara ayrılmıştır ($0°<l\leq 20°$, $20°<l\leq 40°$, …, $320°<l\leq 340°$ ve $340°<l\leq 360°$). Bu şekilde F-G tayf türündeki 1,437,467 anakol yıldızı 18 alt gruba bölünmüştür. Her bir alt grup da Güneş'ten farklı uzaklık aralıklarına ayrılarak bulundukları uzay hacmindeki yıldız sayısı, medyan *R* ve *Z* değerleri hesaplanmıştır. Bu örneklerdeki ortalama [Fe/H] metal bolluğu değerlerinin hesaplanmasında ise yıldızların metal bolluğu histogramlarına bakılarak karar verilmiştir. Bunun için her bir uzaklık aralığında bulunan yıldızların [Fe/H] histogramları oluşturulmuş ve bu dağılımları en iyi temsil eden Gauss eğrisine fit edilerek grubun ortalama metal bolluğu değeri hesaplanmıştır. Bu işlemler çok sayıda tablo ve grafik içerdiğinden projede örnek bir alt grup ($160^o < l \leq 180^o$) seçilerek tüm analizler seçilen grup üzerinden ayrıntılı olarak yapılmıştır. Diğer alt alanlara ait şekil ve tablolar Ek-1ve EK-2 de verilmiştir.

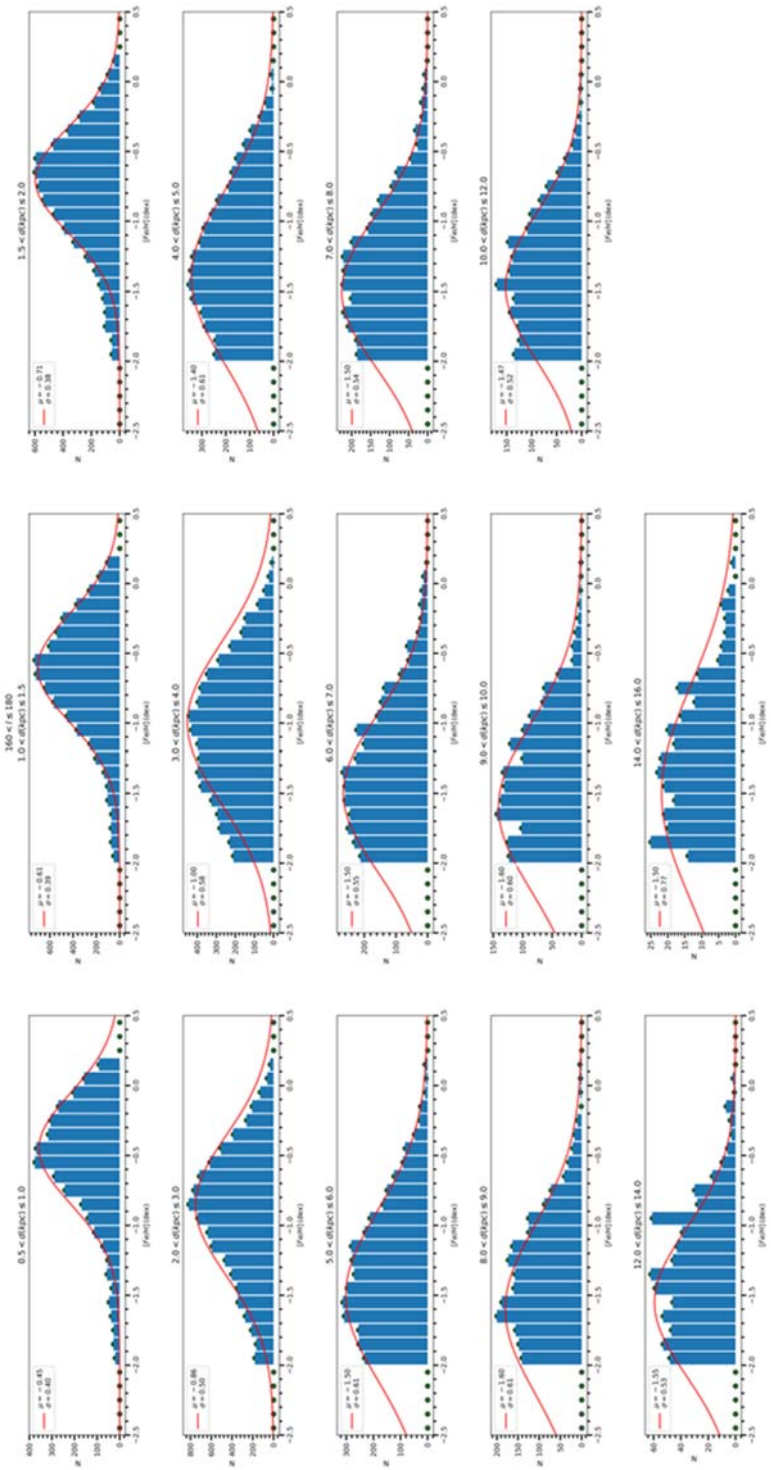
Galaktik boylamı $160^o < l \leq 180^o$ aralığındaki yıldızları öncelikle Güneş'e uzaklıkları bakımından $0.5 < d \leq 2$ kpc aralığı için 0.5 kpc'lik, $2< d \leq 10$ kpc aralığı için 1 kpc'lik ve $10< d \leq 16$ kpc aralığı için de 2 kpc'lik uzaklık aralıklarına ayrılarak bu aralıklara düşen yıldız sayısı, medyan *R* ve *Z* değerleri hesaplanmıştır. Gruptaki yıldızların metal bolluğu değerlerinin tayininde ise her bir uzaklık aralığı için metal bolluğu histogramları çizilmiş ve her bir dağılıma

Gauss eğrisi geçirilmiştir. Bu şekilde her bir uzaklık aralığı için ortalama bir metal bolluğu değeri hatasıyla birlikte hesaplanmıştır. Galaktik boylamı $160^o < l \leq 180^o$ aralığındaki yıldızların metal bolluğu histogramları ve bu histogramlara geçirilen Gauss eğrileri Şekil 4.17'de, yapılan hesaplamalar da Tablo 4.1'de listelenmiştir.

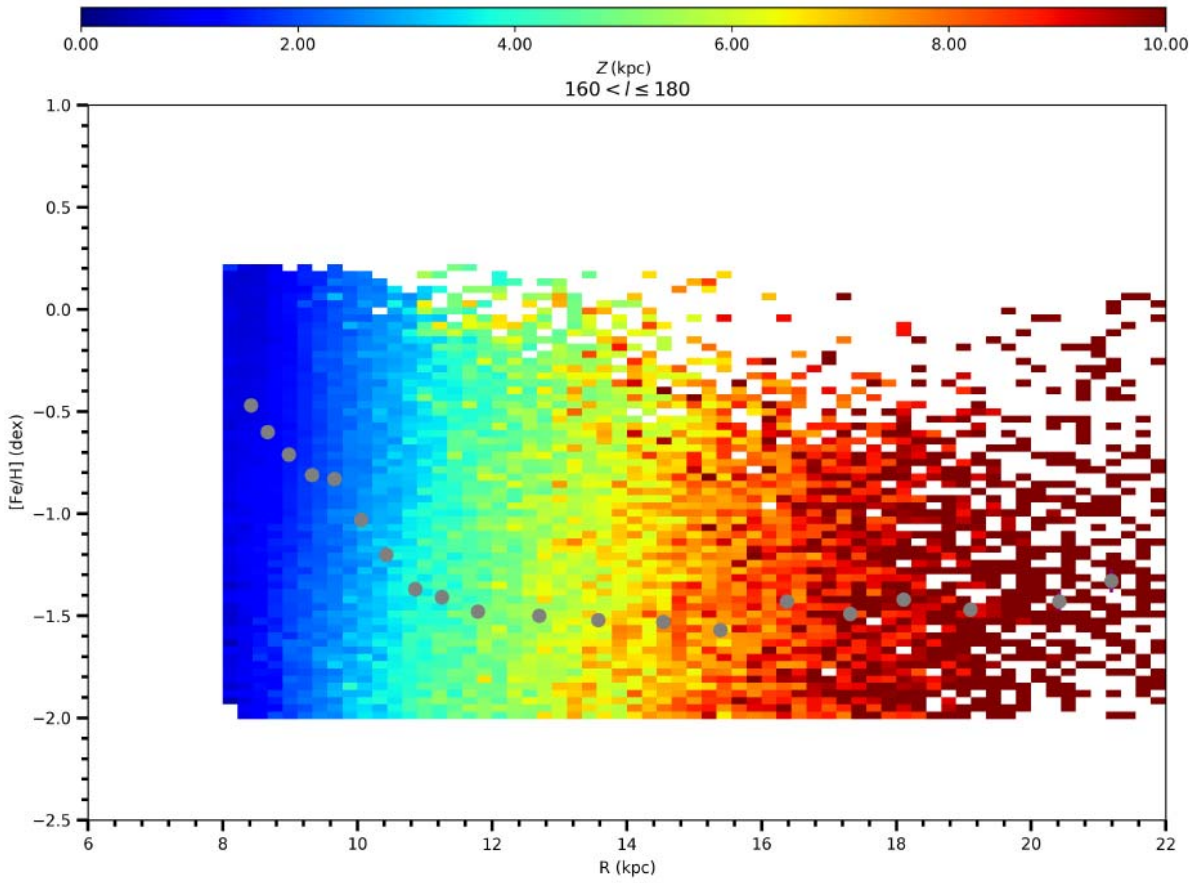
Tablo 4.1 Galaktik boylamı $160^o < l \leq 180^o$ aralığında olan yıldızların Güneş'ten uzaklıklarına göre ayrılmış yıldız sayıları, medyan R ve Z değerleri ve Gauss eğrileriyle belirlenen metal bollukları.

d_1-d_2 (kpc)	Z_1-Z_2 (kpc)	N	$\tilde{R}$ (kpc)	$\tilde{Z}$ (kpc)	[Fe/H] (dex)
0.5-1.0	0.44-0.87	3420	8.42	0.74	-0.45±0.01
1.0-1.5	0.87-1.31	7094	8.67	1.09	-0.61±0.00
1.5-2.0	1.31-1.74	6019	8.98	1.51	-0.71±0.00
2.0-3.0	1.74-2.62	8866	9.44	2.15	-0.86±0.01
3.0-4.0	2.62-3.49	5890	10.20	3.03	-1.00±0.01
4.0-5.0	3.49-4.36	4404	11.00	3.92	-1.40±0.01
5.0-6.0	4.36-5.23	3679	11.78	4.85	-1.50±0.01
6.0-7.0	5.23-6.10	3143	12.70	5.72	-1.50±0.01
7.0-8.0	6.10-6.98	2623	13.58	6.64	-1.50±0.01
8.0-9.0	6.98-7.85	2027	14.54	7.49	-1.60±0.01
9.0-10.0	7.85-8.72	1525	15.39	8.47	-1.60±0.02
10.0-12.0	8.72-10.46	1745	16.75	9.67	-1.47±0.01
12.0-14.0	10.46-12.21	665	18.51	11.60	-1.55±0.02
14.0-16.0	12.21-13.95	280	20.69	13.25	-1.50±0.05

Galaktik boylam aralığı $160^o < l \leq 180^o$ olan yıldızların radyal metal bolluğu gradyentinin hesaplanmasında Tablo 4.1'de verilen R ve [Fe/H] değerleri kullanılmıştır. Yıldız alanı doğrultusundaki metal bolluğu profilinin oluşturulmasında kullanılan medyan R ve ortalama [Fe/H] değerleri Şekil 4.18'de gri daire sembolüyle gösterilmiştir. Ayrıca, Şekil 4.18'de yıldızların Galaktik düzlemden dik uzaklıkları da (Z) üst panelde verilen renk ölçeğinin bir fonksiyonu olarak gösterilmiştir. İncelenen gruptaki yıldızların Galaksi merkezine uzaklıklarının yaklaşık 8 ile 21 kpc aralığında bulunduğu ve artan uzaklıkla birlikte ortalama metal bolluğu değerlerinin yaklaşık -0.50 dex'ten -1.60 dex'e değiştiği görülmektedir.



Şekil 4.17 Galaktik boylamı $160^o < l \leq 180^o$ olan alt grup için farklı uzaklık aralıklarındaki metal bolluğu dağılımları (mavi) ve bu dağılımları temsil eden Gauss eğrileri (kırmızı). Her bir uzaklık grubunun ortalama metal bolluğu ve standart sapma değerleri ilgili şekillerin sol üst kısımlarında verilmiştir.



Şekil 4.18 $160^o < l \leq 180^o$ Galaktik boylam aralığındaki F-G anakol yıldızları kullanılarak elde edilen $R \times$ [Fe/H] diyagramı. Gri daireler Tablo 4.1'de verilen değerleri ve renkler farklı Z aralıklarını ifade etmektedir.

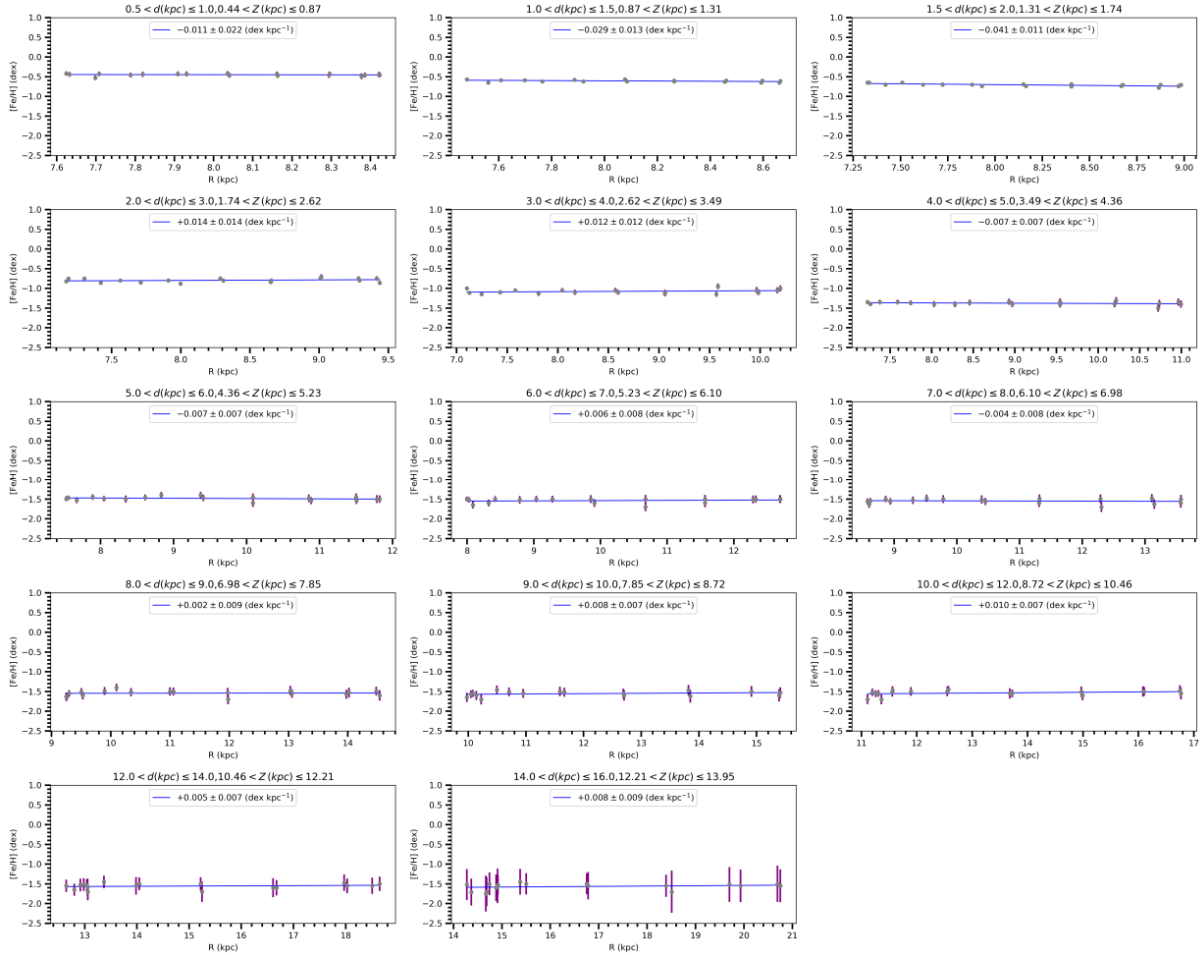
Seçilen alt grup ($160^o < l \leq 180^o$) Galaksimizin ikinci çeyreğinde ($90^o < l \leq 180^o$) yer almakta ve Galaksi merkezinin zıt doğrultusundadır. Ayrıca, SDDS'in gözlem stratejisinden dolayı incelenen yıldız alanları yüksek Galaktik enlemlerde olduklarından ve SDSS veri tabanında bulunan yıldızların büyük kısmı yaşlı ince disk, kalın disk ve halo popülasyonuna aittir. Bu bilginin Şekil 4.18'de verilen yıldız alanına ait metal bolluğu profilinin yorumlanmasında dikkate alınması gerekmektedir. Şekil 4.18'den de görüleceği gibi Galaktik merkezden 8 ile 10 kpc aralığında bulunan yıldızların ortalama radyal metal bolluğunda dikkate değer bir değişim vardır. Galaktik merkeze uzaklıkları 10 ile 14 kpc aralığında bulunan yıldızların metal bollukları değişimi bir önceki uzaklık aralığına göre daha düzdür. 14 kpc'in ötesindeki uzaklıklarda ise metal bolluğu değişimi düz hattta pozitif yöndedir. Şekil üzerinde görülecek bir başka bulgu da Galaksi merkezinden uzaklaştıkça yıldızların ortalama Z uzaklıklarının büyümesidir. Radyal metal bolluğu değerleri Z'nin bir fonksiyonu olarak değerlendirildiğinde en büyük değişimin $Z < 2$ kpc aralığında olduğu ve bu uzaklığın ötesinde hemen hemen bir gradyentin bulunmadığı görülmektedir.

Yukarıda bahsedilen $160^o < l \leq 180^o$ Galaktik boylam aralığındaki F-G tayf türündeki anakol yıldızları için yapılan analizler diğer doğrultulardaki SDSS yıldızları için de uygulanmış ve hesaplanan yıldız sayıları, medyan R ve Z değerleriyle birlikte belirlenen ortalama metal bolluğu değerleri her bir uzaklık aralığı için elde edilmiştir. Elde edilen bulgular Ek-1 ve Ek-2'de verilmiştir.

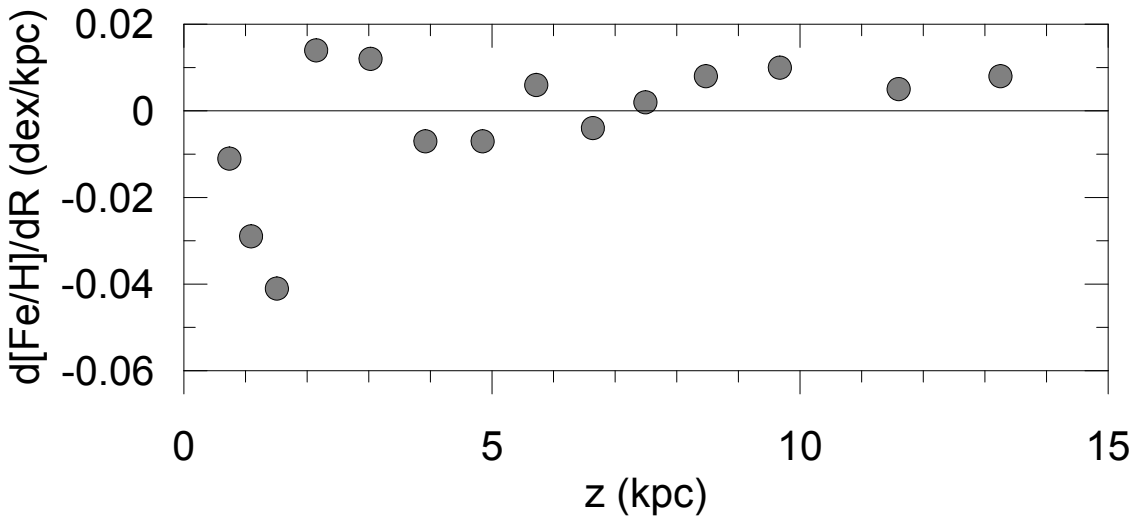
Projemizde $0^o < l \leq 360^o$ Galaktik boylam aralığında 20'şer derecelik gruplara ayrılmış 18 alt grup bulunmaktadır. Ek-1 ve Ek-2'de her bir alt grubun farklı uzaklık aralıkları için elde edilmiş medyan R ve Z ile ortalama metal bolluk değerleri verilmiştir. Farklı doğrultulardaki yıldız alanları için radyal metal bolluğu gradyentinin elde edilmesinde her bir yıldız alanında seçilen uzaklık aralıklarına ait ağırlıklandırılmış metal bollukları ile medyan Galaktik merkezden uzaklıklar arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Bu amaç doğrultusunda 0.5 ile 16 kpc uzaklık (d) aralığı 14 alt uzaklık grubuna ayrılmış ve her bir grup için metal bolluğu ile Galaksi merkezinden uzaklıklar arasında doğrusal fitler (bkz. 3.42 bağıntısı) geçirilerek radyal metal bolluğu gradiyentleri hesaplanmış ve Şekil 4.19'da gösterilmiştir.

Şekil 4.19'daki uzaklık aralıkları için oluşturan paneller ayrıntılı incelendiğinde Güneş civarından uzaklaştıkça ortalama metal bolluğu değerlerinin fakirleştiği, Galaksi merkezinden olan uzaklıklarının da büyüdüğü görülmektedir. Ayrıca, aynı şekil üzerinde Güneş'ten uzaklaştıkça radyal metal bolluğu gradyentlerinin negatif değerlerden önce sıfıra oradan da pozitif değerlere ilerlediği görülmektedir. Radyal metal bolluğu gradyentlerinin negatif olduğu uzaklık aralıkları $0.5 < d < 1$, $1 < d < 1.5$ ve $1.5 < d < 2$ kpc olup bu aralıklar için hesaplanan radyal metal bolluğu gradyent değerleri, sırasıyla, -0.011 ± 0.022, -0.029 ± 0.013 ve -0.041 ± 0.011 dex/kpc'tir.

Her bir uzaklık aralığı için hesaplanan radyal metal bolluğu gradyentleri Galaktik düzlemden dik doğrultuda ölçülen uzaklıklarına göre çizilmiş ve Şekil 4.20'de gösterilmiştir. Genel olarak $Z = 2$ kpc uzaklığına kadar radyal metal bolluğu gradyentleri negatif değerlerdeyken, bu uzaklığın ötesinde metal bolluğu gradyentleri sıfıra yakın ya da pozitif değerlerdedir. Bu, ince disk bileşenin etkin olduğu $Z < 2$ kpc uzaklık aralığında bir radyal metal bolluğu gradyentinin bulunduğunu, kalın disk ve halo bileşenlerinin etkin olduğu bu uzaklığın ötesinde ise hemen hemen güçlü bir gradyentin bulunmadığını göstermektedir. Bu bulgu, Galaksi diskinin ikili çökme modelini destekleyen önemli bir kanıttır (Chiappini ve diğ., 1997) .



Şekil 4.19 Seçilen alan yıldızlarının 14 alt uzaklık aralığı için hesaplanan radyal metal bolluğu gradyentleri. Panellerdeki mavi çizgiler verilere uygulanan doğrusal fitleri, kırmızı çizgiler metal bolluklarına ait standart hataları göstermektedir.



Şekil 4.20 17 farklı uzaklık aralığından elde edilen radyal metal bolluğu gradyentlerinin *z* uzaklığına göre değişimi.

4.2.2 Galaktik Düzleme Dik Doğrultudaki Metal Bolluğu Gradiyenti

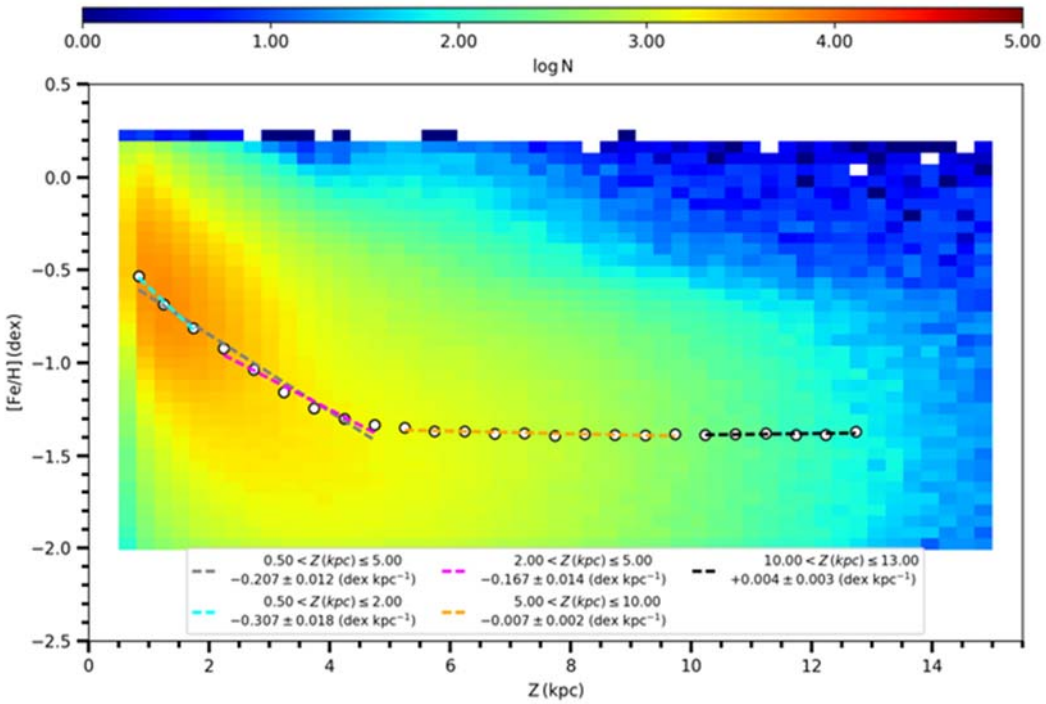
Galaksimizin oluşum ve evrimin anlaşılmasında Galaktik düzleme dik doğrultudaki metal bolluğu gradyentinin araştırılması önemlidir. Bunun için örneğimizde yer alan F-G tayf türündeki 1,437,467 anakol yıldızının *Z*-[Fe/H] diyagramı Şekil 4.21'de gösterilmiştir. Yıldızların sayı yoğunlukları şekil üzerinde verilen renk ölçeğiyle belirtilmiştir. Şekilden görüleceği gibi Z = 5 kpc uzaklığına kadar metal bolluğu değeri -0.30 dex'ten -1.35 dex'e azalmakta, Z = 5 kpc'in ötesinde ise hemen hemen bir değişim görülmemektedir. Metal bolluğu gradyentlerinin daha duyarlı hesaplanabilmesi için 0.5 kpc'lik adımlarla Z uzaklık aralıklarına denk gelen ortalama metal bolluklarının medyan değerleri hesaplanmış ve Şekil 4.21'de içi boş daire sembolüyle gösterilmiştir.

Galaksimizdeki farklı yıldız popülasyonları Galaktik düzlemden farklı Z uzaklıklarında etkindir. Bu popülasyonlardaki metal bolluğu değişimlerini incelemek için projemizde, $0.5 < Z \leq 5$ (Galaksi diski) ve $0.5 < Z \leq 2$ (ince disk), $2 < Z \leq 5$ (kalın disk), $5 < Z \leq 10$ (iç halo), $10 < Z \leq 13$ kpc (dış halo) olacak şekilde farklı Z uzaklıkları kullanılmıştır. Bu uzaklık aralıkları için hesaplanan metal bolluğu gradyentleri Tablo 4.2'de verilmiştir. Galaksi diskini temsil eden $0.5 < Z \leq 5$ kpc aralığı incelendiğinde metal bolluğu gradyentinin d[Fe/H]/dZ = -0.207±0.012 dex/kpc olduğu görülmektedir. $0.5 < Z \leq 2$ kpc aralığını temsil eden ince disk söz konusu olduğunda metal bolluğu gradyent değerinin d[Fe/H]/dZ= -0.307±0.018 dex/kpc'e azaldığı görülmektedir. Kalın disk aralığına karşılık gelen $2 < Z \leq 5$ kpc aralığı için elde edilen gradyent d[Fe/H]/dZ = -0.167±0.014 dex/kpc'tir. İç ve dış haloyu temsil eden, $5 < Z \leq 10$ ve $10 < Z \leq 13$ kpc aralıklarında beklenildiği gibi metal bolluğu gradyent değerleri, sırasıyla, -0.007±0.002 ve +0.004±0.003 dex/kpc'tir.

Sonuç olarak, Z = 5 kpc uzaklığına kadar belirgin bir metal bolluğu gradyentinin varlığı görülürken, Z = 5 kpc uzaklığının ötesinde metal bolluğu gradyenti görülmemektedir.

Tablo 4.2 Galaktik düzleme dik doğrultuda hesaplanmış metal bolluğu gradyent değerleri ve hataları.

Z (kpc)	***d*[Fe/H]/*dZ*** (dex/kpc)
$0.5 < Z \leq 2$	-0.307 ± 0.018
$0.5 < Z \leq 5$	-0.207 ± 0.012
$2 < Z \leq 5$	-0.167 ± 0.014
$5 < Z \leq 10$	-0.007 ± 0.002
$10 < Z \leq 13$	+0.004 ± 0.003



Şekil 4.21 F-G tayf türü 1,437,467 anakol yıldızının Galaktik düzlemden dik doğrultuda hesaplanan metal bolluğu gradyentleri. $0 < Z \leq 5$ kpc aralığı düz gri çizgi, $0 < Z \leq 2$ kpc mavi kesikli çizgi, $2 < Z \leq 5$ kpc aralığı kırmızı kesikli çizgi, $5 < Z \leq 10$ kpc aralığı turuncu kesikli çizgi ve $10 < Z \leq 13$ kpc siyah kesikli çizgi ile gösterilmiştir.

Dik doğrultuda hesaplanan metal bolluğu gradyentlerinin Galaktik çeyrekler ve Galaktik enlemler bazında incelenmesi de projemizde dikkate alınmıştır. Bu amaç için F-G tayf türü anakol yıldızları farklı üç Galaktik enlem ile dört Galaktik boylam aralıklarına ayrılmış ve Galaksi düzlemine dik doğrultuda metal bolluğu gradyentleri hesaplanmıştır. Elde edilen değerler Tablo 4.3'te verilmiştir.

Herhangi bir Z aralığında dikkate alınan Galaktik çeyreklere ait farklı enlemlerdeki ortalama metal bolluğu değerlerinin hemen hemen (±0.05 dex) benzer olduğu görülmektedir. Beklenildiği gibi yıldız sayıları düşük Galaktik enlemlerde yüksek Galaktik enlemlere göre daha fazladır. Fakat hesaplanan dik doğrultudaki metal bolluğu gradiyentleri ise benzer sonuçlar vermektedir. Yani dik doğrultudaki metal bolluğu gradiyentlerinin benzer sonuçlar vermesi farklı Galaktik enlemlerde bulunan yıldız sayılarının on ile yirmi kata varan bir değişiminden etkilenmediğini göstermektedir. Küçük *Z* uzaklık aralıklarından büyük *Z* aralıklarına doğru gidilkdikçe ortalama metal bollukları yaklaşık -0.70 dex'ten -1.40 dex'e doğru azalmaktadır. Bu eğilim her üç Galaktik enlem aralığında ve her Galaktik çeyrekte kendini göstermektedir. Ayrıca küçük *Z* uzaklık aralıklarından büyük *Z* uzaklık aralıklarına gidildikçe dik doğrultudaki metal bolluğu gradyenti -0.30 dex/kpc'ten yaklaşık 0 dex/kpc'ye değişmektedir.

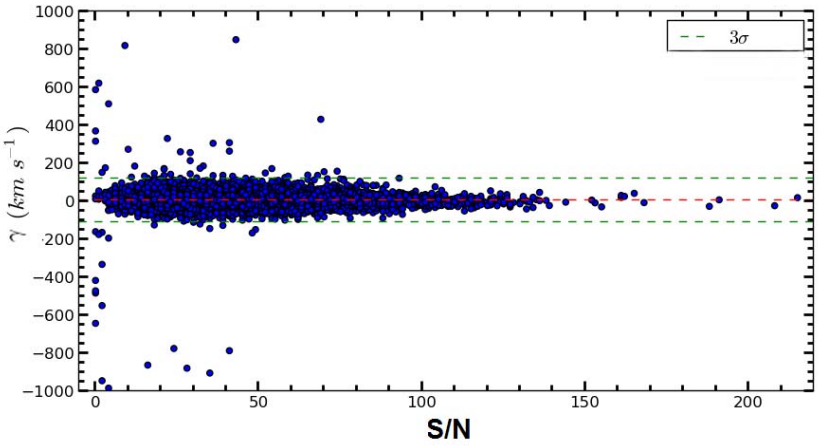
Tablo 4.3 Farklı üç Galaktik enlem ve dört Galaktik boylam aralıkları için F-G tayf türü anakol yıldızlarının sayıları, metal bollukları ve metal bolluğu gradyentleri.

		50° < *b* ≤ 65°			65° < *b* ≤ 80°			80° < *b* ≤ 90°		
Z **(kpc)**	***l*** **(°)**	***N***	**[Fe/H] (dex)**	***d*[Fe/H]/d*Z*** **(dex/kpc)**	***N***	**[Fe/H] (dex)**	***d*[Fe/H]/d*Z*** **(dex/kpc)**	***N***	**[Fe/H] (dex)**	***d*[Fe/H]/d*Z*** **(dex/kpc)**
	0-90	104235	-0.70	−0.298±0.008	33928	-0.73	−0.310±0.011	5095	-0.73	−0.280±0.022
0.5<*Z*≤2	90-180	63546	-0.65	−0.300±0.008	23604	-0.70	−0.286±0.011	4765	-0.68	−0.295±0.022
	180-270	64145	-0.70	−0.318±0.011	24679	-0.72	−0.335±0.012	4532	-0.75	−0.278±0.016
	270-360	71916	-0.68	−0.316±0.009	33661	-0.69	−0.316±0.016	4720	-0.76	−0.298±0.029
	0-90	227737	-0.90	−0.210±0.006	78112	-0.94	−0.227±0.016	12109	-0.94	−0.206±0.006
0.5<*Z*≤5	90-180	120500	-0.84	−0.211±0.005	50991	-0.90	−0.225±0.013	10847	-0.89	−0.206±0.006
	180-270	128906	-0.89	−0.204±0.006	56279	-0.93	−0.242±0.021	10701	-0.97	−0.203±0.007
	270-360	162568	-0.90	−0.207±0.006	83161	-0.90	−0.238±0.019	11847	-0.98	−0.192±0.008
	0-90	123502	-1.12	−0.165±0.008	44184	-1.13	−0.162±0.007	7014	-1.13	−0.174±0.010
2<*Z*≤5	90-180	56954	-1.10	−0.176±0.007	27387	-1.12	−0.173±0.008	6082	-1.09	−0.178±0.009
	180-270	64761	-1.14	−0.161±0.007	31600	-1.13	−0.174±0.007	6169	-1.17	−0.167±0.011
	270-360	90652	-1.12	−0.160±0.008	49500	-1.09	−0.171±0.007	7127	-1.15	−0.157±0.012
	0-90	59800	-1.37	-0.008±0.002	28752	-1.39	-0.011±0.002	5029	-1.40	-0.011±0.005
5<*Z*≤10	90-180	29625	-1.36	-0.004±0.002	18867	-1.38	-0.005±0.002	4659	-1.39	-0.006±0.004
	180-270	38603	-1.37	+0.002±0.003	22577	-1.38	0.004±0.004	4488	-1.41	+0.005±0.005
	270-360	50556	-1.36	-0.012±0.003	34484	-1.36	-0.006±0.003	5241	-1.40	+0.001±0.007
	0-90	4415	-1.38	+0.023±0.008	4237	-1.41	+0.007±0.007	880	-1.37	-0.022±0.045
10<*Z*≤13	90-180	2461	-1.33	+0.036±0.020	2773	-1.39	+0.016±0.007	886	-1.37	−0.049±0.019
	180-270	3738	-1.37	-0.007±0.011	3645	-1.40	-0.006±0.005	827	-1.43	+0.001±0.014
	270-360	4457	-1.38	-0.002±0.009	5110	-1.38	+0.005±0.007	951	-1.42	+0.034±0.025

Bu bulgu Galaksimizin çökerek oluştuğunu gösteren önemli delillerden biridir. En güçlü metal bolluğu gradyentleri 0.5 < *Z* ≤ 2 kpc uzaklık aralığında hesaplanmıştır ve bu gradyentler Galaktik enlem ve boylamla değişmemektedir. 2 < *Z* ≤ 5 kpc uzaklık aralığı için hesaplanan metal bolluğu gradyentleri bir önceki uzaklık aralığına göre daha az olup Galaktik enlem ve boylamla değişim göstermemektedir. 5 kpc'in ötesindeki uzaklıkların hesaplanan metal bolluğu gradyentlerinin 0'a yakın veya pozitif değerlerde olduğu görülmüştür. Diğer uzaklık aralıklarında olduğu gibi Galaktik enlem ve boylamla değişim göstermemektedir. Sonuç olarak, Galaksimiz disk (0.5 < *Z* ≤ 5 kpc) ve halo (*Z* > 5 kpc) bileşenleri olarak incelendiğinde disk bileşeninde güçlü bir metal bolluğu gradyenti görülürken halo bileşeninde belirgin bir gradyent bulunamamıştır. Hatta bu gradyentlerin Galaktik enlem ve boylamla değişmediği de projemizde gösterilmiştir

4.3 Yıldızların Uzay Hızları

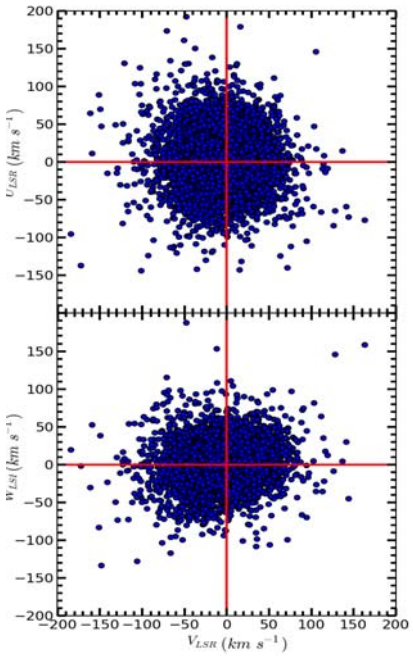
F-G tayf türü anakol yıldızlarının uzay hızlarının duyarlı bir şekilde hesaplanması için diğer yıldızların radyal hızlarından belirgin şekilde yüksek ve düşük *S/N* değerli tayflardan ölçülmüş radyal hızlara sahip yıldızların örnekten çıkartılması gerekmiştir. Bu eleme, radyal hız dağılımının ortalamasından itibaren $\pm 3\sigma$ aralığında kalan yıldızların seçilmesi ile yapılmıştır. Bu yıldızların radyal hızlarının *S/N*'ye göre dağılımı Şekil 4.22'de gösterilmiştir.



Şekil 4.22 Seçilen yıldızların *S/N*-radyal hız dağılımı.

Yüksek radyal hız ve düşük *S/N* degerine sahip yıldızlar örnekten çıkartıldıktan sonra, Bölüm 3.5'te anlatıldıgı gibi yıldızların *UVW* uzay hızı bileşenleri elde edilmiş, diferansiyel rotasyon düzeltmesi ve LSR düzeltmesi yapılmıştır. Yapılan diferansiyel düzeltmeler $-19.28 \leq dU \leq 10.95$ ve $-1.25 \leq dV \leq 1.58$ km/s aralığındadır.

Yıldızların toplam uzay hızları ve toplam uzay hızı hataları hesaplandıktan sonra büyük uzay hızı hatasına sahip yıldızların yörünge parametre hesabına etki etmemesi için, toplam uzay hızı hatası (S_{err}) dağılımına bakıldığında dağılımın medyan değeri 3.37 km/s ve standart sapması 2.68 km/s olarak hesaplanmış ve dağılımın medyan değerinin $\pm 1\sigma$ içinde kalan kısmının örneğin %87'sini içerdiği görülmüştür. Bu durum göze alındığında örneğin toplam uzay hızı hatasının medyan değerinin $\pm 2\sigma$ içinde kalan %96'lık kısmı seçilerek analizler için duyarlı bir hale getirilmiştir. Toplam uzay hızı hatasına getirilen sınırlamalar sonucunda oluşan F-G tayf türü anakol yıldızlarının uzay hızı bileşenlerine göre dağılımları Şekil 4.23'te gösterilmiştir.

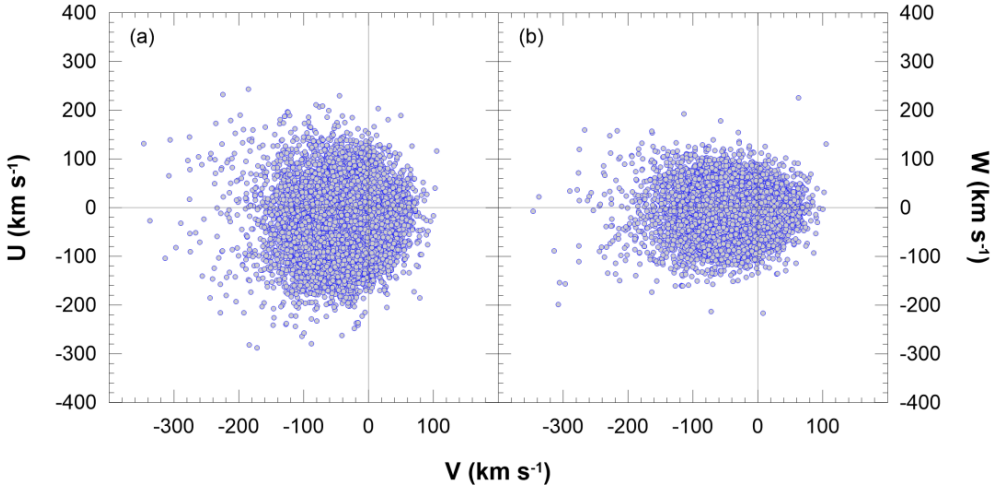


Şekil 4.23 Seçilen F-G tayf türü anakol yıldızlarının *UVW* hız dağılımları.

Projemizde incelenen KY yıldızlarının uzay hızı bileşenleri F-G tayf türü anakol yıldızlarında uygulanan yöntemle hesaplanmış, diferansiyel rotasyon düzeltmesi ve LSR düzeltmesi yapılmıştır. Yapılan diferansiyel düzeltmeler $-61.29 \leq dU \leq 34.12$ ve $-3.76 \leq dV \leq 5.34$ km/s aralığındadır.

Büyük uzay hızı hatasına sahip yıldızların yörünge parametre hesabına etki etmemesi için, toplam uzay hızı hatasının (S_{err}) frekans dağılımı oluşturulmuş ve gerekli istatistiksel hesaplar yapılarak elde edilen toplam uzay hızı hata değeri S_{ht} = 21 km/s'den büyük olan yıldızların örnekten çıkarılmasına karar verilmiştir. Bu değerden büyük uzay hızı hatası olan KY yıldızları istatistik dışı bırakıldığında yıldız sayısı 47,406'ya azalmış olup geriye kalan bu örnek, tüm örneğin %91'ini oluşturmaktadır.

47,406 KY yıldızının hesaplanan *UVW* uzay hızlarının *V*-*U* ve *V*-*W* düzlemlerindeki dağılımları Şekil 4.24'te gösterilmiştir. Yıldızların *V* uzay hız bileşeni, -300 ile +100 km/s arasında, *U* uzay hız bileşeni -300 ile +300 km/s ve *W* uzay hız bileşeni de -200 ile +200 km/s arasında değişmektedir.



Şekil 4.24 KY yıldızlarının uzay hızı bileşenlerinin **(a)** *V*-*U* ve **(b)** *V*-*W* düzlemlerindeki dağılımları.

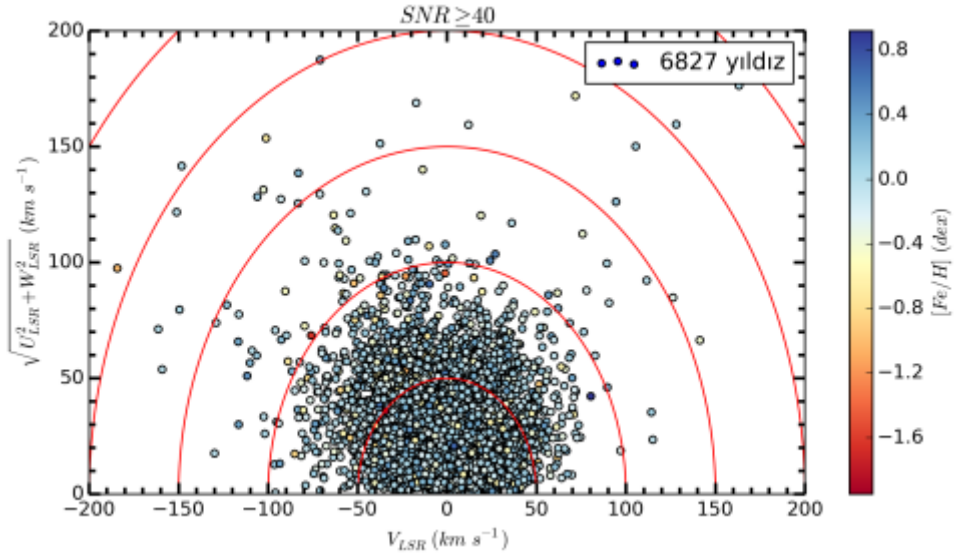
4.4 Yıldızların Galaktik Yörünge Parametreleri ve Popülasyon Türleri

Bölüm 3.6'da anlatıldığı gibi F-G tayf türü anakol yıldızları ve KY yıldızlarının Galaktik yörünge parametrelerini elde etmek için Bovy'nin (2015) geliştirdiği *Python* programlama dilinde yazılan ve *MWPotential2014* modelini içeren *galpy* paketi kullanılmıştır. Yörünge parametrelerinin hesaplanması sayesinde, Galaksinin hangi bileşenine ait oldukları ve popülasyonları tesbit edilmiştir.

Projemizde farklı dogrultulardaki metal bolluğu gradyentleri hesaplanacağı için, yıldızların popülasyon türlerine ayrılması gerekmektedir. Yıldızlarının popülasyon türlerinin belirlenmesi Bölüm 3.6'da anlatılan yıldızların yörünge parametrelerine dayalı bir yöntemle yapılmıştır.

Projemizde RAVE DR4'ten alınan tayf verileri kullanıldıgı için *S/N* degerleri 40'tan büyük seçilerek veri kalitesi artırılmış ve düşük *S/N* degerine sahip verilerden kaynaklanan hataların önüne geçilmesi amaçlanmıştır. Örnegimiz *S/N* ≥ 40 olan yıldızlar ile sınırlandığında [Fe/H] değeri bilinen yıldızların sayısı 6,827, [M/H] değeri bilinen yıldızların sayısı da 7,935 olmuştur. Bu durumda metal bolluğu ([M/H]) bilinen ama demir bollugu ([Fe/H]) bilinmeyen sadece 1,108 yıldız bulunmaktadır. Şekil 4.25 popülasyon ayrımı yapılacak F-G tayf türü anakol yıldızlarının [Fe/H] bolluğuna bağlı Toomre diyagramını gösterilmektedir. Şekil 41'den görüleceği gibi örneğin büyük bir kısmı [Fe/H] bakımından zengin olup, $|S_{LSR}| \leq 100$ km/s içinde yer almaktadır. Bu da Güneş civarındaki disk yıldızlarının uzay hızlarına karşılık gelmektedir (Bensby vd., 2003; 2005). Yıldızların yörünge hareketinden kaynaklanan geçişlerden dolayı, az sayıda [Fe/H] bakımından fakir ve uzay hızları $|S_{LSR}| > 100$ km/s olan halo yıldızları da örnegimizde

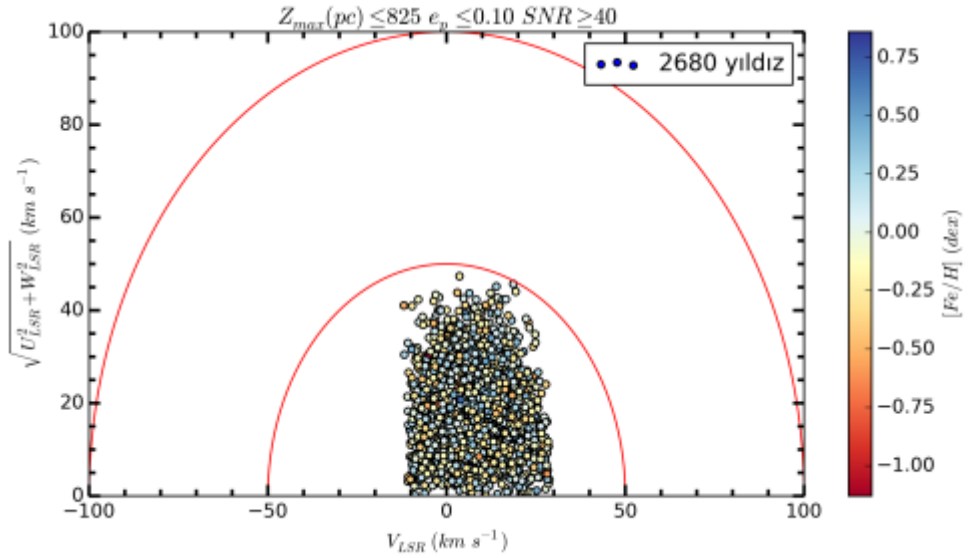
dikkati çekmektedir. Şekil 4.25'ten görüldügü gibi örneğimiz çoğunlukla disk popülasyonundan oluşmaktadır.



Şekil 4.25 Popülasyon ayrımı yapılmamış yıldızların Toomre diyagramı. LSR alt indisi uzay hızlarına LSR düzeltmesi yapıldıgını göstermektedir. Kırmızı çemberler 50'nin katları şeklinde ilerleyen toplam uzay hızı (S) çemberleridir.

Literatür incelendiğinde ince diskte bulunan kalın disk yıldızlarının yoğunluğunun %0 ≤ n_{TK} ≤ %15 arasında değiştiğini, ince ve kalın disk için yükseklik ölçeklerinin 200 ≤ H_{TN} ≤ 350 pc, 500 ≤H_{TK} ≤ 1500 pc aralığında verildiğini görmekteyiz. Monte Carlo simülasyonu yardımıyla, ince disk ve kalın disk yıldızlarının yoğunluklarının eşitlendiği z değerleri elde edilmiş ve benzetim 50,000 defa tekrarlandığında en çok tekrar eden değerin 825 pc olduğu görülmüştür ve bu değer bir ayrım kriteri olarak kullanılmıştır. Ayrıca, ince disk yıldızlarını kalın disk yıldızlarından ayırmak için yıldızlarımızın e_p dağılımının medyan değeri kullanılıp e_p ≤ 0.1 kriteri kabul edilmiştir. Sonuç olarak, yıldız örneğimizdeki ince disk üyelerini belirlemek için e_p ve Z_{max} yörünge parametrelerine e_p ≤ 0.10 ve Z_{max} ≤ 825 pc sınırlamaları ile birlikte S/N ≥ 40 kriteri de uygulandığında ele edilen ince disk olma olasılığı yüksek yıldızların Toomre diyagramı Şekil 4.26'da gösterilmiştir.

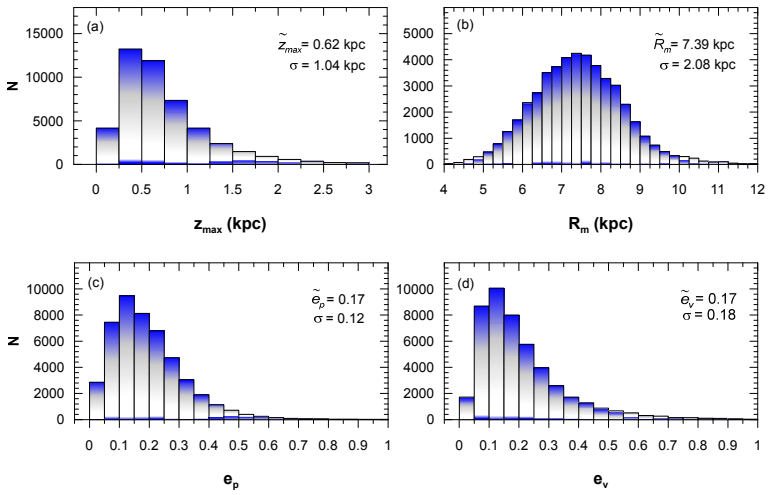
Şekil 4.26 incelendiğinde, ince disk seçim kriterine uyan 2,680 yıldızın 50 km/s çemberinin içinde kaldığı görülmektedir. Bu bulgu seçilen yıldızların yüksek olasılıklı ince disk yıldızı olduğunu gösteren önemli delillerden biridir (Schönrich ve Binney, 2009). Yıldızların [Fe/H] bollukları dikkate alındığında büyük kısmının -0.50 dex'ten zengin olduğu görülmektedir.



Şekil 4.26 Örneğimizdeki ince disk popülasyonuna aday yıldızların Toomre diyagramı.

KY yıldızlarının yörünge dinamiği parametrelerinin hesabında, tıpkı kinematik parametrelerin hesabında olduğu gibi, girdi parametresi olarak yıldızların ekvatoral koordinatları, radyal hız, öz hareket bileşenleri ve uzaklık parametreleri kullanılmıştır. Yörünge parametrelerinin doğru hesaplanabilmesi için yıldızın hareket ettiği potansiyel etrafında kapalı bir yörünge elde edilene kadar yörüngenin integrasyonu gereklidir. İntegrasyon zamanı birçok deneme sonucunda 3 Gyıl olarak belirlenmiş (Coşkunoğlu vd., 2011, 2012 ve Bilir vd., 2012) ve tüm yörünge parametre hesapları bu zaman ölçeğinde 1,000 adımda integre edilerek hesaplanmıştır.

KY yıldızları için *MWPotential2014*'ten hesaplanan dinamik yörünge parametrelerinin frekans dağılımları Şekil 4.27'de verilmiştir.



Şekil 4.27 47,406 KY yıldızının Galaktik yörünge parametrelerinin dağılımları: **(a)** z_{max}, **(b)** R_m, **(c)** e_p ve **(d)** e_v.

KY yıldızları literatürde bilinen hiçbir istatistiksel, kinematik ya da kimyasal sınırlama getirilerek popülasyon sınıflarına ayrılmamıştır. Bunun yerine hesaplanan metal bolluğu gradiyentinin türüne bağlı olarak yıldızların bugünkü konumlarına göre |*Z*| ya da yörünge parametrelerine göre Z_{max}'a sınırlamalar konularak kaba popülasyon sınırları çizilmiştir. Projemizde ise sınır değerlerin seçiminde Galaktik popülasyonların etkin olduğu iyi bilinen aralıklar dikkate alınmıştır. Ayrıca, projemizde literatürden farklı olarak, KY yıldızlarının yörünge basıklıkları da dikkate alınmıştır. Güneş civarındaki yıldızlar genelde çember yörüngede dolanan ince disk yıldızlarıyken, Galaktik düzlemden çok uzakta bulunan kalın disk ve halo yıldızları basık yörüngelerde dolanırlar. Bu da disk yıldızlarından halo yıldızlarına geçişte yörünge basıklık parametrelerinin çemberden elipse doğru değiştiğini gösterir. Bu nedenle, KY yıldızlarının popülasyon türlerini belirlemek yerine yıldızlar farklı Z_{max} aralıklarına ayrılarak yatay (e_p) ve dikey (e_v) basıklık parametrelerinin oluşturduğu düzlemdeki dağılımlarına bakılmıştır.

4.5. F-G Tayf Türü Anakol Yıldızlarının Metal Bollugu Gradyenti

Projemizde RAVE DR4 kataloğundaki veriler kullanılarak yüksek olasılıkla Galaksimizin ince disk bileşenine ait olduğu belirlenen F-G tayf türü anakol yıldızlarının radyal ve Galaksi düzlemine dik doğrultulardaki metal bolluğu gradyentleri hesaplanmıştır.

4.5.1 Galaksi Merkezinden Radyal Doğrultudaki Metal Bolluğu Gradyentleri

Popülasyon ayırımı yapılan yıldızlar için *Galpy* modülü ve (3.39) numaralı bağıntı yardımı ile R_m değerleri belirlenip, RAVE DR4 kataloğundan alınan [Fe/H] ve [M/H] verileri kullanılarak metal ve demir bolluğu gradyentleri elde edilmiştir. Aynı zamanda Z_{max} aralıklarına göre gruplanarak, Galaktik diskteki bolluk gradyenti daha ayrıntılı bir şekilde incelenmiş, elde edilen sonuçlar Şekil 4.28'de gösterilmiş ve sayısal değerleri Tablo 4.4'te listelenmiştir.

Tablo 4.4 $e_p \leq 0.10$ ve $S/N \geq 40$ koşulunu sağlayan yıldızların farklı Z_{max} değer aralıkları için demir ve metal bolluğu gradyentleri.

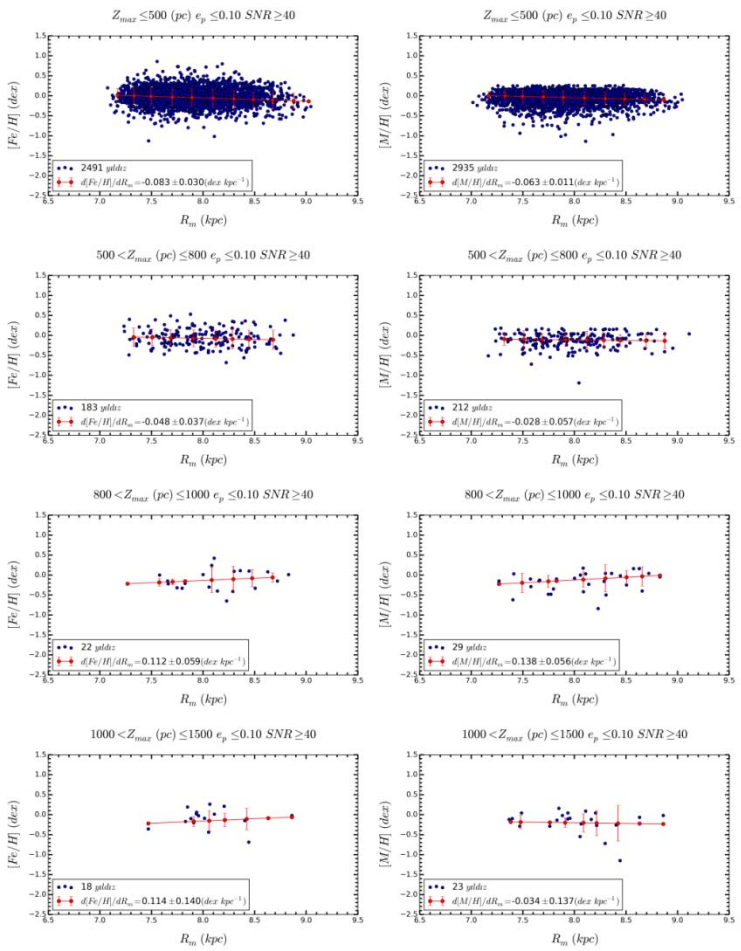
Z_{max} (pc)	$d[Fe/H]/dR_m$ (dex kpc^{-1})	N	$d[M/H]/dR_m$ (dex kpc^{-1})	N
≤ 825	-0.081 ± 0.029	2680	-0.060 ± 0.012	3153
≤ 500	-0.083 ± 0.030	2491	-0.063 ± 0.011	2935
$500 - 800$	-0.048 ± 0.037	183	-0.028 ± 0.057	212
$800 - 1000$	$+0.112 \pm 0.059$	22	$+0.138 \pm 0.056$	29
$1000 - 1500$	$+0.114 \pm 0.140$	18	-0.034 ± 0.137	23
$1500 \geq$	–	5	–	5
Toplam	–	2719	–	3199

4.5.2 Galaktik Düzleme Dik Doğrultudaki Metal Bolluğu Gradyentleri

Galaksimizin oluşum mekanizmalarını anlamak için metal bolluğu gradyenti incelenirken, Galaksiyi oluşturan ilkel maddenin nasıl ve hangi hızla çöktüğünü anlamak için Galaksi diski içindeki metal bolluğu gradyentinin sadece radyal doğrultuda değil, aynı zamanda Galaksi düzlemine dik doğrultuda da araştırılması gerekmektedir. Bu amaçla ince disk yıldızı olarak belirlenen yıldızlar için, iki farklı Z_{max} yüksekliği ($Z_{max} \leq 825$ pc ve $Z_{max} \leq 1500$ pc) üst sınır alınarak metal ve demir bolluğu gradyentleri hesaplanmış ve sonuçlar Şekil 4.29 ve 4.30'da gösterilmiştir.

4.6. Kırmızı Yığın Yıldızlarının Metal Bolluğu Gradyenti

Projemizde RAVE DR4 kataloğundaki veriler kullanılarak KY yıldızlarının radyal ve Galaksi düzlemine dik doğrultulardaki metal bolluğu gradyentleri hesaplanmıştır.

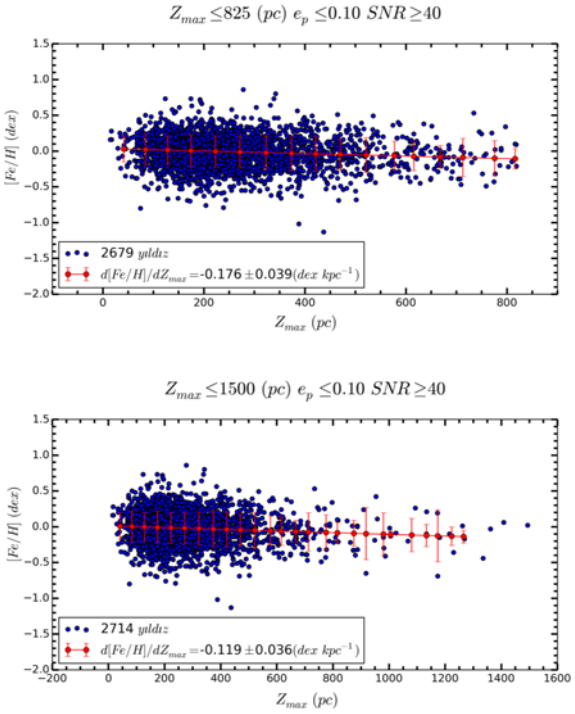


Şekil 4.28 $e_p \leq 0.1$ ve $S/N \geq 40$ koşullarına göre ve farklı Z_{max} aralıkları için elde edilen (d[*Fe/H*]/dR_m) demir bolluğu ve (d[*M/H*]/dR_m) metal bolluğu gradyentleri.

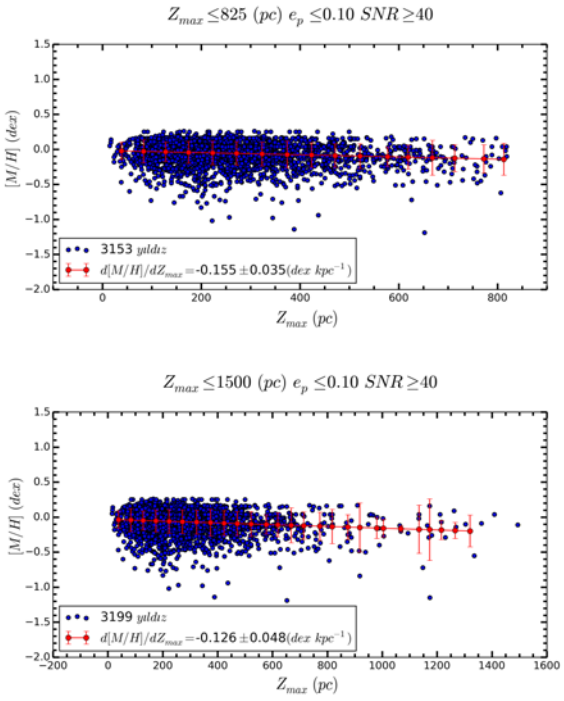
4.6.1 Bugünkü Konumlarına Göre Radyal Doğrultudaki Metal Bolluğu Gradyentleri

KY yıldızlarının metal bolluğu gradiyenti yıldızların bugünkü konumlarına (|*Z*|) ve yörünge parametrelerine göre Z_{max}'a sınırlamalar konularak hesaplanmıştır. Ayrıca, projemizde literatürden farklı olarak, metal bolluğu gradiyentlerinin araştırılmasında, KY yıldızlarının yörünge basıklıkları dikkate alınmıştır. Yıldızlar farklı Z_{max} aralıklarına ayrılarak yatay (e_p) ve dikey (e_v) basıklık parametrelerinin oluşturduğu düzlemdeki dağılımlarına bakılmış ve KY yıldız örneğine getirilen Z_{max} sınırlamasıyla birlikte e_p parametresine de sınırlama getirilerek radyal metal bolluğu gradiyenti hesaplanmıştır.

KY yıldızlarının bugünkü konumlarına göre radyal metal bolluğu gradiyentleri, Galaktik düzlemden dik doğrultuda 3 kpc'e kadar uzanan yıldız örneği için $0 < |Z| \leq 0.5$, $0.5 < |Z| \leq 1$ ve $1 < |Z| \leq 3$ kpc aralıklarına ayrılarak R_{gc} uzaklığına göre hesaplanmıştır.



Şekil 4.29 İnce disk yıldızlarını temsil eden iki farklı iki Z_{max} değeri için [Fe/H] dağılımı.



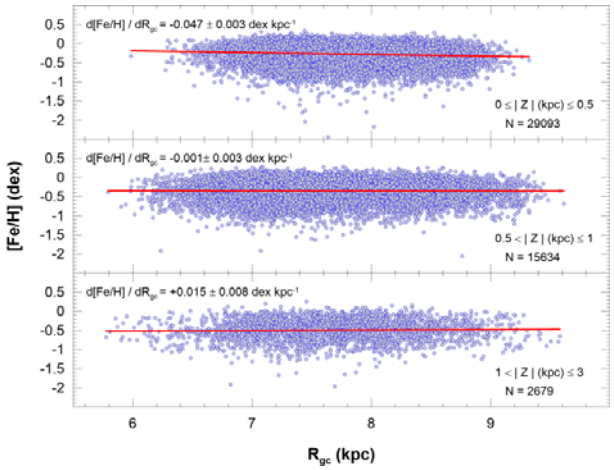
Şekil 4.30 İnce disk yıldızlarını temsil eden farklı Z_{max} değeri için [M/H] dağılımı.

Galaktik düzlemden uzaklaştıkça genç ince disk $0 < |Z| \leq 0.5$ kpc aralığında etkin, yaşlı ince disk ile kalın disk ise $0.5 < |Z| \leq 1$ kpc aralığında hemen hemen eşit sayı yoğunluğunda bulunur. $1 < |Z| \leq 3$ kpc aralığında ise kalın disk yıldızları sayıca baskınlaşır ve az sayıda halo yıldızına rastlanır. Her bir uzaklık aralığında bulunan KY yıldızlarının metal bollukları ile Galaksi

merkezinden olan uzaklıklarına göre hesaplanan radyal metal bolluğu gradiyentleri Şekil 4.31'de gösterilmiş ve elde edilen sonuçlar da Tablo 4.5'te verilmiştir.

Tablo 4.5 |*Z*| uzaklık aralıklarına ayrılmış KY yıldızlarının Galaksi merkezine bugünkü uzaklıklarına göre hesaplanan radyal metal bolluğu gradiyentleri. Burada *N*, yıldız sayısını, ⟨[Fe/H]⟩ grubun ortalama metal bolluğunu, d[Fe/H]$/dR_{gc}$ radyal metal bolluğu gradiyentini göstermektedir.

$\|Z\|$ aralığı (kpc)	N	$\langle$[Fe/H]$\rangle$ (dex)	d[Fe/H]/dR_{gc} (dex kpc^{-1})
0-0.5	29,093	-0.26	-0.047±0.003
0.5-1	15,635	-0.29	-0.001±0.003
1-3	2,678	-0.42	+0.015±0.008



Şekil 4.31 Galaksi düzlemine dik doğrultudaki uzaklıklarına göre 0 ≤ |*Z*| ≤ 0.5, 0.5 < |*Z*| ≤ 1 ve 1 < |*Z*| ≤ 3 kpc aralıklarına ayrılmış KY yıldızlarının Galaksi merkezine bugünkü uzaklıklarına göre hesaplanan radyal metal bolluğu gradyentleri.

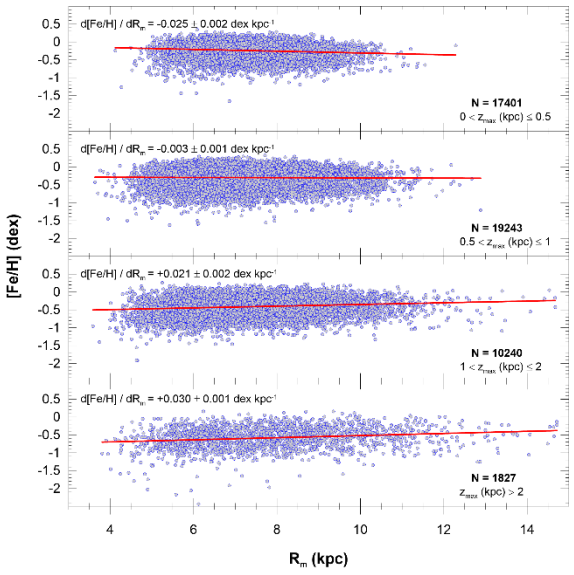
Tablo 4.5'te, üç farklı |*Z*| uzaklık aralığındaki KY alt-örneklerinin yıldız sayıları, ortalama metal bollukları ve radyal metal bolluğu gradiyentleri verilmiştir. Şekil 4.31'de mavi noktalar verileri ve kırmızı düz çizgiler doğrusal fitleri temsil etmektedir. Buna göre Galaktik düzlemden uzaklaştıkça KY yıldız örneğinin ortalama metal bolluklarının -0.26 dex'ten -0.42 dex'e doğru fakirleştiği görülmektedir. En küçük |*Z*| uzaklık aralığında bulunan KY yıldızlarından hesaplanan radyal metal bolluğu gradiyenti -0.047 ± 0.003 dex kpc^{-1} iken, Galaktik düzlemden en uzak aralıktaki yıldızlar için bu değer +0.015 ± 0.008 dex kpc^{-1} bulunmuştur. Radyal metal bolluğu gradiyentinin özellikle Galaktik düzleme yakın olan yıldızlardan elde edildiği görülmüştür. Kalın disk yıldızlarının baskın olduğu son aralık için elde edilen pozitif gradiyent, literatürde verildiği gibidir.

4.6.2 Galaksi Merkezine Ortalama Uzaklıklarına Göre Radyal Doğrultudaki Metal Bolluğu Gradyentleri

Yıldızların yörünge dinamiği parametreleriyle (R_m, Z_{max}) hesaplanan metal bolluğu gradiyentlerinin hesabında tüm örneğin %99'unu içeren $0 < Z_{max} < 3$ kpc aralığında bulunan KY yıldızları kullanılmıştır. Yıldızların nükleer evrimleri boyunca Galaksi düzlemine dik doğrultuda çıkabilecekleri en büyük uzaklıklara göre KY yıldızları dört alt-örneğe ayrılmıştır: $0 < Z_{max} \leq 0.5$, $0.5 < Z_{max} \leq 1$, $1 < Z_{max} \leq 2$ ve $Z_{max} > 2$ kpc. Radyal metal bolluğu gradiyentleri seçilen Z_{max} aralıklarındaki yıldız örnekleri dikkate alınarak [Fe/H] ve R_m arasındaki değişimlere göre incelenmiştir. Yıldızların yörünge dinamiği parametrelerine göre hesaplanan radyal metal bolluğu gradiyenti sonuçları Tablo 4.6'da verilmiş ve Şekil 4.32'de gösterilmiştir.

Tablo 4.6 Z_{max} uzaklık aralıklarına ayrılmış KY yıldızlarının Galaksi merkezine ortalama uzaklıklarına göre hesaplanan radyal metal bolluğu gradiyentleri. Burada N, yıldız sayısını, ⟨[Fe/H]⟩ grubun ortalama metal bolluğunu, d[Fe/H]$/dR_m$ radyal metal bolluğu gradyentini göstermektedir.

z_{max} aralığı (kpc)	N	⟨[Fe/H]⟩ (dex)	d[Fe/H]/dR_m (dex kpc^{-1})
0-0.5	17401	-0.22	-0.025±0.002
0.5-1	19243	-0.28	-0.003±0.001
1-2	8935	-0.39	+0.024±0.002
> 2	1827	-0.57	+0.030±0.001

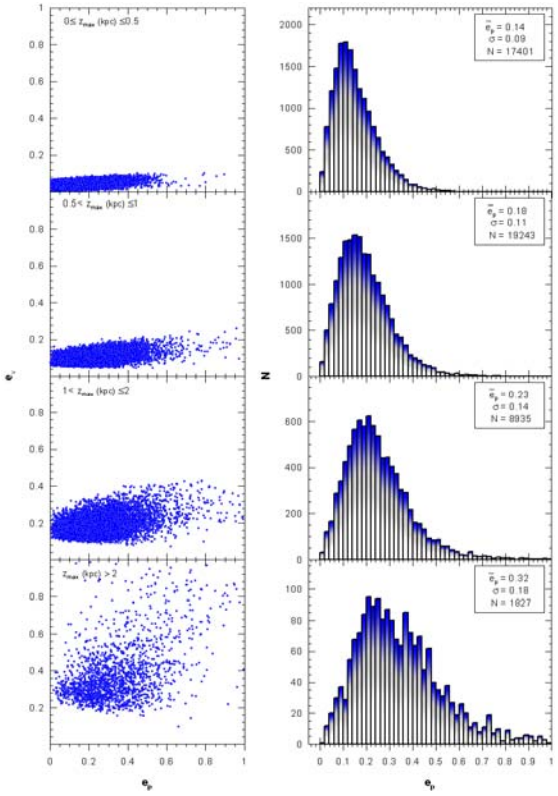


Şekil 4.32 KY yıldızlarının Galaktik düzlemden en büyük dik uzaklıklarına göre alt-örneklere ayrıldığı, $0 \leq Z_{max} \leq 0.5$, $0.5 < Z_{max} \leq 1$, $1 < Z_{max} \leq 2$ ve $Z_{max} > 2$ kpc, aralıklar için Galaksi merkezinden yıldızların ortalama yörünge uzaklığına göre hesaplanan radyal metal bolluğu gradyentleri.

Tablo 4.6'da dört farklı Z_{max} aralığındaki KY alt-örneklerinin yıldız sayıları, ortalama metal bollukları ve radyal metal bolluğu gradiyentleri verilmiştir. Şekil 4.32'de mavi noktalar verileri ve kırmızı düz çizgiler doğrusal fitleri temsil etmektedir. Buna göre Galaktik düzlemden uzaklaştıkça KY yıldız örneğinin ortalama metal bolluklarının -0.22 dex'ten -0.57 dex'e doğru fakirleştiği görülmektedir. Her bir aralık için radyal metal bolluğu gradiyentleri, $0 < Z_{max} \leq 0.5$, $0.5 < Z_{max} \leq 1$, $1 < Z_{max} \leq 2$ ve $Z_{max} > 2$ kpc aralıkları için sırasıyla -0.025±0.002, -0.003±0.001, +0.021±0.002 ve +0.030±0.001 dex/kpc olarak hesaplanmıştır. Galaksi düzlemine yakın Z_{max} aralıklarından uzak Z_{max} aralıklarına ilerledikçe her bir aralık için hesaplanan metal bolluğu gradiyentleri negatif değerlerden pozitif değerlere sahip olmaktadır.

4.6.3 Yörünge Basıklıklarına Göre Radyal Doğrultudaki Metal Bolluğu Gradyentleri

KY yıldızlarının, farklı Z_{max} aralıklarına ayrılarak yatay (e_p) ve dikey (e_v) basıklık parametrelerinin oluşturduğu düzlemdeki dağılımları ve frekansları Şekil 4.33'te gösterilmiştir.



Şekil 4.33 KY yıldızlarının dört farklı Z_{max} uzaklık aralığındaki e_p-e_v (sol panel) ve e_p frekans dağılımları (sağ panel).

Şekil 4.33'te $0 < Z_{max} \leq 0.5$, $0.5 < Z_{max} \leq 1$, $1 < Z_{max} \leq 2$, $Z_{max} > 2$ kpc aralıklarında bulunan KY yıldızlarının e_p-e_v diyagramları (sol panel) ve her bir Z_{max} aralığı için e_p frekans dağılımları (sağ

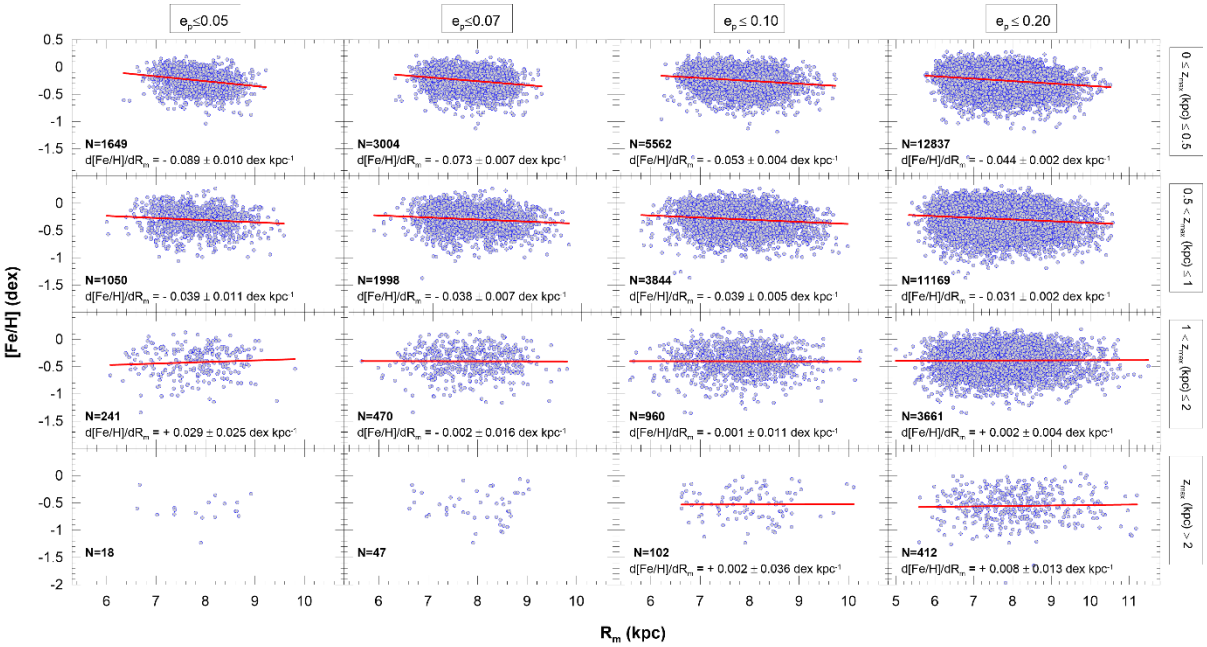
panel) gösterilmiştir. Diyagramda KY yıldızlarının küçük Z_{max} aralıklarından büyük Z_{max} aralıklarına doğru ilerledikçe e_v ve e_p basıklıklarının genel itibariyle çember yörüngelerden basık yörüngelere geçtiği görülmektedir (sol panel e_v, sağ panel e_p için). Fakat diyagramlarda görülen bir başka özellik de küçük Z_{max} uzaklıklarında bulunması beklenmeyen büyük e_p (>0.4) değerli yıldızların olmasıdır. Bu da ince disk içinde farklı kinematik özelliklere sahip yıldızların bulunduğunu göstermektedir. Söz konusu yıldızların metal bolluğu gradiyentlerine etkilerini görebilmek için KY örneğinin Z_{max} sınırlamasının yanı sıra e_p basıklık parametresine getirilecek sınırlamalarla da analiz edilmesi düşünülmüştür. KY yıldız örneğine Z_{max} sınırlamasıyla birlikte e_p parametresine getirilen dört sınır değer ($e_p \leq 0.05$, $e_p \leq 0.07$, $e_p \leq 0.10$ ve $e_p \leq 0.20$) ile metal bolluğu gradiyentleri yeniden hesaplanmıştır. Radyal metal bolluğu gradiyenti hesaplamalarından elde edilen sonuçlar Tablo 4.7'de verilmiş ve Şekil 4.34'te gösterilmiştir.

Tablo 4.7 KY yıldızlarının birikimli e_p alt gruplarındaki metal bolluğu gradyentlerinin artan Z_{max} aralıklarına göre değişimi. Burada *N*, yıldız sayısını, ⟨[Fe/H]⟩ grubun ortalama metal bolluğunu, d[Fe/H]$/dR_m$ metal bolluğu gradyentini göstermektedir.

	$e_p \leq 0.05$			$e_p \leq 0.07$		
Z_{max} aralığı (kpc)	***N***	**⟨[Fe/H]⟩** (dex)	**d[Fe/H]/dR_m** (dex kpc^{-1})	***N***	**⟨[Fe/H]⟩** (dex)	**d[Fe/H]/dR_m** (dex kpc^{-1})
0-0.5	1649	-0.23	-0.089±0.010	3004	-0.23	-0.073±0.007
0.5-1	1050	-0.28	-0.039±0.011	1998	-0.27	-0.038±0.007
1-2	241	-0.39	+0.029±0.025	470	-0.39	-0.002±0.016
> 2	18	-	-	47	-	-
	$e_p \leq 0.10$			$e_p \leq 0.20$		
Z_{max} aralığı (kpc)	***N***	**⟨[Fe/H]⟩** (dex)	**d[Fe/H]/dR_m** (dex kpc^{-1})	***N***	**⟨[Fe/H]⟩** (dex)	**d[Fe/H]/dR_m** (dex kpc^{-1})
0-0.5	5562	-0.23	-0.053±0.004	12837	-0.22	-0.044±0.002
0.5-1	3844	-0.27	-0.039±0.005	11169	-0.26	-0.031±0.002
1-2	960	-0.40	-0.001±0.011	3661	-0.37	+0.002±0.004
> 2	102	-0.52	+0.020±0.036	412	-0.55	+0.008±0.013

Her bir e_p aralığında Galaktik düzlemden uzaklaştıkça ortalama metal bollukları fakirleşme eğilimindedir. Benzer bir durum radyal metal bolluğu gradiyentlerinde de görülmektedir. Galaktik düzlemden uzaklaştıkça hesaplanan radyal metal bolluğu gradiyentleri negatif değerlerden, pozitif değerlere dönüşmektedir. Metal bolluğu gradiyent değerleri Galaktik düzlemden dik doğrultuda 0 ile 1 kpc arasında görülmektedir. Ayrıca $0 < Z_{max} \leq 0.5$ kpc uzaklık aralığında ve $e_p \leq 0.05$, $e_p \leq 0.07$, $e_p \leq 0.10$ ve $e_p \leq 0.20$ aralıklarında radyal metal bolluğu gradiyentleri, sırasıyla, -0.089±0.010, -0.073±0.007, -0.053±0.004 ve -0.044±0.002 dex kpc^{-1} olarak hesaplanmıştır. Bu uzaklık aralığı radyal metal bolluğu gradiyentlerinin en kuvvetli görüldüğü bölge olup basıklık değerlerinin artmasıyla gradiyent değerleri hata mertebeleri içinde yarı yarıya azalmaktadır. $0.5 < Z_{max} \leq 1$ kpc uzaklık aralığı dikkate alındığında radyal metal bolluğu gradiyentlerinin -0.39±0.011 ile -0.31±0.002 dex kpc^{-1} aralığında değiştiği görülmekle beraber gradiyentin hemen hemen sabit olduğu söylenebilir. $Z_{max} > 1$ kpc olan

uzaklıklar dikkate alındığında radyal metal bolluğu gradiyentlerinin genelde pozitif değerlerde bulunduğu ve e_p değeriyle bir değişim göstermediği tespit edilmiştir.

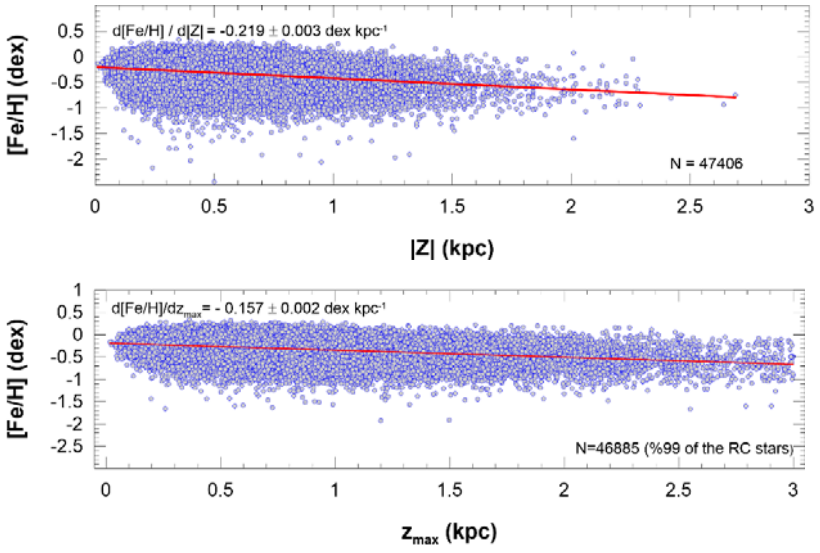


Şekil 4.34 47,406 KY yıldızının Z_{max} ve e_p parametrelerine getirilen sınırlamalarla oluşturulan birikimli alt-örneklerin Galaksi merkezine ortalama uzaklıklarına göre hesaplanan metal bolluğu gradyentleri.

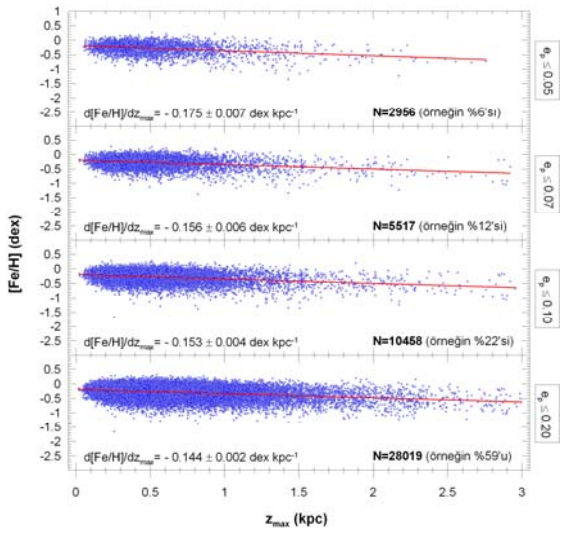
4.6.4 Galaksi Düzlemine Dik Doğrultudaki Metal Bolluğu Gradyentleri

KY yıldızlarının radyal metal bolluğu gradiyentlerinin hesabında olduğu gibi dikey metal bolluğu gradiyentlerinin hesaplanmasında da önceki bölümde bahsedilen üç yöntem kullanılmıştır. Fakat en büyük farklılık yıldızların $|Z|$ ve Z_{max} uzaklık alt gruplarına ayrılmamasıdır. 47,406 KY yıldızının dikey metal bolluğu gradiyenti bugünkü Z uzaklıkları dikkate alınarak hesaplanmıştır. Yıldızların Z uzaklıkları ve [*Fe/H*] metal bollukları arasındaki ilişki Şekil 4.35'in üst panelinde gösterilmiştir. Verileri temsil eden doğrusal fit de aynı şekil üzerinde kırmızı düz çizgi ile gösterilmiştir. Doğrusal fitten elde edilen metal bolluğu gradiyenti -0.219±0.003 dex kpc^{-1} hesaplanmıştır. Benzer şekilde KY yıldızlarının yörünge dinamiği parametrelerinden hesaplanan dikey metal bolluğu gradiyentlerin yıldızların Galaksi düzlemine dik doğrultuda ulaşabilecekleri ne büyük uzaklık dikkate alınarak hesaplanmıştır. Yıldızların Z_{max} uzaklıkları ve [Fe/H] metal bollukları arasındaki ilişki (mavi noktalar) Şekil 4.35'in alt panelinde gösterilmiştir. Verileri temsil eden doğrusal bir fit de aynı şekil üzerinde kırmızı düz çizgi ile gösterilmiştir. Doğrusal fitten elde edilen metal bolluğu gradiyenti -0.157±0.002 dex kpc^{-1} hesaplanmıştır.

KY yıldızlarının yatay yörünge basıklığı parametresine getirilen kısıtlamalar (birikimli artan e_p sınırları için) ile benzer analizler, $0 < Z_{max} < 3$ kpc aralığındaki tüm KY yıldızları için tekrar edilmiştir. Şekil 4.36'da e_p alt örnekleri için hesaplanan dikey metal bolluğu gradiyentleri gösterilmiştir. Her bir uzaklık aralığı için gelen hatalar istatistiksel olarak küçük ve anlamlıdır. Yörünge basıklıkları $e_p \leq 0.05$ olan KY yıldızları için hesaplanan dikey metal bolluğu gradiyenti -0.175±0.007 dex kpc^{-1} iken $e_p \leq 0.07$, $e_p \leq 0.10$ ve $e_p \leq 0.20$ olan alt-örnekler için hesaplanan değerler, sırasıyla, -0.156±0.006, -0.153±0.004 ve -0.144±0.002 dex kpc^{-1}'tir. Şekil 4.36'dan da görüleceği gibi dikey metal bolluğu gradiyentleri Galaktik düzlem üzerindeki yörünge basıklıklarına doğrudan bağlı değildir.



Şekil 4.35 Üst panel: 47,406 KY yıldızının Galaktik düzlemden bugünkü dik uzaklıklarına göre hesaplanan dikey metal bolluğu gradiyenti. **Alt panel:** 47,406 KY yıldızının Galaktik düzlemden en büyük dik uzaklıklarına göre hesaplanan dikey metal bolluğu gradiyenti.



Şekil 4.36 KY yıldızlarının birikimli e_p alt-örneklerinden hesaplanan dikey metal bolluğu gradiyentleri.

Sonuç olarak, metal bolluğu gradiyentleri söz konusu olduğunda, literatürde en yaygın kullanılan yöntem olan, yıldızların Galaksi merkezine göre bugünkü konumlarından hesaplanan gradiyentlerin, Güneş civarında incelenen uzay hacmi içerisinde farklı popülasyonlara ait olup da bu bölgeden geçiş yapan cisimlerden çok etkilendikleri görülmüştür. Dolayısıyla yıldızların Galaksi düzleminden bugünkü dik uzaklıklarına (Z) uygulanan sınırlamalar, bu tür gradiyent hesaplarında yanıltıcı olmaktadır.

Diğer bir yöntemde ise KY yıldızlarının Galaksi merkezi etrafında 3 Gyr içerisinde tamamladıkları yörünge dinamiği parametreleri dikkate alınarak metal bolluğu gradiyentleri hesaplanmıştır. Yörünge dinamiğine göre, yıldızların Galaksi diski üzerinde ulaşabildikleri en büyük ve en küçük konumsal uzanımları bilindiğinden, metal bolluğu gradiyenti hesaplarında yıldız popülasyonları problemi daha gerçekçi bir bakış açısından ele alınmış olur. Böylece, projemizde yıldızların Galaksi düzleminden dik doğrultuda ulaşabilecekleri en büyük uzaklıklara göre çeşitli Galaktik popülasyonların baskın olduğu ya da geçiş yaptığı bilinen uzaklık aralıklarına bölünerek oluşturulan alt-örneklerden hesaplanan metal bolluğu gradiyentleri, Galaksi diskinin oluşumu hakkında şu sonuçları vermiştir:

Radyal metal bolluğu gradiyentlerine bakıldığında, ince diskin baskın olduğu $Z_{max} \leq 0.5$ kpc uzaklık aralığında rölatif olarak zayıf bir metal bolluğu gradiyenti bulunmuştur. Bu sonuç, Chiappini, Matteucci ve Graton'un (1997) önerdiği ikili çökme modelinin bir parçası olan içten dışa doğru oluşum teorisini, yani Galaksi diskinin ilk çöküşle meydana gelen şişkin bölgedeki yıldızların nükleer evriminin ve ikinci çökme döneminde dışta bulunan uydu galaksilerle birleşme ve gaz çalma olayları sonucunda bu gazın yeni bir yıldız oluşumu patlamasını tetikleyip çok uzun bir zamanda (~8 Gyıl) çökerek Galaksi diskini oluşturduğu teoriyi desteklemektedir.

Dikey metal bolluğu gradiyenti sonuçlarına bakıldığında ise Galaksi düzlemine dik doğrultuda içten dışa doğru Galaksimizde belirgin bir gradiyent hesaplanmıştır ki bu sonuç da Galaksimizin 3 kpc'lik bu kısmının bir bütün olarak çöktüğünü doğrular niteliktedir.

4.6.5 Kırmızı Yığın Yıldızlarının Hız Dispersiyonları

Dispersiyon, bir popülasyonda bulunan cisimlerin herhangi bir parametresinin ortalama değere göre sapma miktarını veren, ölçülebilir bir büyüklük olup aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$\sigma_X = \sqrt{\frac{\sum_i^N (X-\bar{X})^2}{N}} \qquad (4.14)$$

Burada σ, dispersiyonu (saçılmayı) temsil ederken, X dispersiyonu hesaplanan grubu, $\bar{X}$, dispersiyonu hesaplanan grubun ortalama değerini ve N, yıldız sayısını gösterir. KY yıldızlarının U, V ve W uzay hızı bileşenleri hesaplanırken verilere uygulanan LSR düzeltmesi ortalama hız terimi yerine geçtiği için U, V ve W uzay hızı dispersiyonlarının hesabı (4.15)'teki bağıntılara göre yapılmıştır.

$$\sigma_U = \sqrt{\frac{\sum_i^N (U_{LSR,i}^2)}{N}} \qquad \sigma_V = \sqrt{\frac{\sum_i^N (V_{LSR,i}^2)}{N}} \qquad \sigma_W = \sqrt{\frac{\sum_i^N (W_{LSR,i}^2)}{N}} \tag{4.15}$$

Toplam uzay hızı dispersiyonu ise aşağıdaki bağıntıyla hesaplanmıştır:

$$\sigma_{top} = \sqrt{\sigma_U^2 + \sigma_V^2 + \sigma_W^2}\ . \tag{4.16}$$

Benzer şekilde uzay hızı bileşenlerinin dispersiyonlarındaki belirsizlikler ise (4.17) bağıntılarıyla hesaplanmıştır.

$$\sigma_{U,ht} = \frac{\sum_i^N \sigma_{U,i}}{N} \qquad \sigma_{V,ht} = \frac{\sum_i^N \sigma_{V,i}}{N} \qquad \sigma_{W,ht} = \frac{\sum_i^N \sigma_{W,i}}{N} \tag{4.17}$$

KY yıldızlarının uzay hızı bileşenleri ve hız dispersiyonlarının değişimi yıldızların Galaktik yörünge parametreleri ve metal bollukları açısından incelenmiştir. Tüm KY örneğinden hesaplanan uzay hızı bileşenleri ve bunlara ait hız dispersiyonlarının ortalama değerleri Tablo 4.8'de verilmiştir.

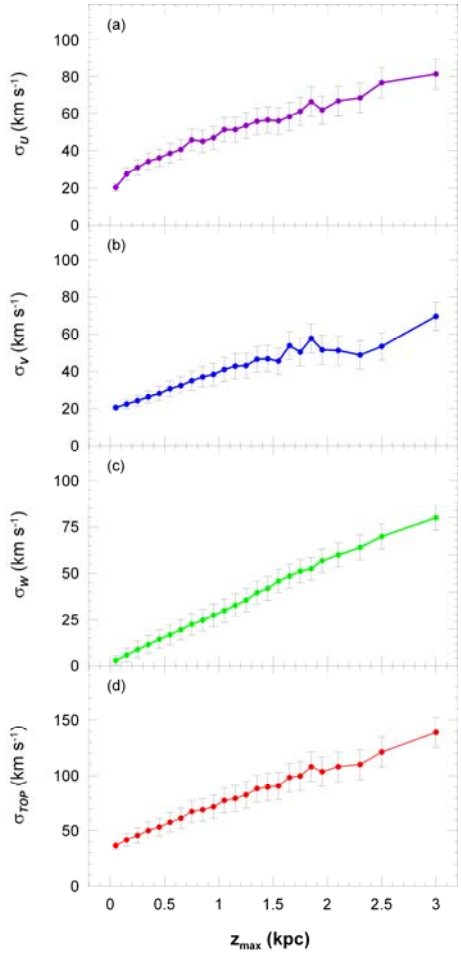
Tablo 4.8 47,406 KY yıldızının genel kinematik parametreleri.

$\langle U_{LSR} \rangle$ (km/s)	$\langle V_{LSR} \rangle$ (km/s)	$\langle W_{LSR} \rangle$ (km/s)	S (km/s)
-1.48±0.03	-11.24±0.02	0.09±0.03	11.34±0.04
σ_U (km/s)	σ_V (km/s)	σ_W (km/s)	σ_{top} (km/s)
44.39±5.50	35.98±4.83	27.77±5.45	68.73±9.44

47,406 KY yıldızının uzay hızı bileşenleri, Güneş civarındaki yıldızların uzay hızı bileşenlerine benzerken, hız bileşenlerinin dispersiyonlarına bakıldığında literatüre göre ince disk ve kalın disk için verilen dispersiyonlar arasında bulundukları görülmüştür (Bensby vd. 2014). Bu da örneğimizdeki KY yıldızlarının ağırlıklı olarak ince ve kalın disk popülasyonlarına ait olduklarını göstermektedir.

KY yıldızlarının uzay hızı dispersiyonlarının Z_{max} ile değişimleri incelenirken 2 kpc'e kadar olan yıldızlar 0.1 kpc'lik alt-örneklere ayrılmış, 2 kpc'ten daha büyük uzaklıklarda ise istatistiksel sonuçları anlamlı kılacak şekilde uzaklık aralıkları seçilmiştir. Her bir alt-örneğin ortalama Z_{max} değeri, uzay hızı bileşenlerine ait hız dispersiyonları ve toplam hız dispersiyonları Tablo 4.9'da verilmiştir. KY yıldızlarının uzay hızı bileşenlerine ait dispersiyonların Z_{max} aralıklarına göre değişimleri Şekil 4.37'de gösterilmiştir.

Şekil 4.37'den görüleceği gibi, Galaktik düzlemden Z_{max} = 2 kpc uzaklığa doğru gidildikçe *U* ve *V* uzay hızı dispersiyonlarının 20 km/s'den 60 km/s'e doğru düzenli arttığı ve Galaktik düzlemden daha uzak mesafelerde ise bu artışın yerini bir düzleşmeye bıraktığı görülüyor. Bunun aksine *W* hız dispersiyonu ise Z_{max} = 3 kpc'e kadar 0 km/s'den 75 km/s doğrusal olarak artmaktadır. Toplam uzay hız dispersiyonu dikkate alındığında da, *W* hız dispersiyonlarında olduğu gibi, belirgin bir doğrusal artış olduğu görülmektedir.



Şekil 4.37 KY yıldızlarına ait uzay hızı dispersiyonlarının Z_{max} ile değişimleri: (a) σ_U-Z_{max}, (b) σ_V-Z_{max}, (c) σ_W-Z_{max} ve (d) σ_{TOP}-Z_{max}.

Tablo 4.9 KY yıldızlarına ait uzay hızı dispersiyonları ve toplam uzay hızlarının Z_{max} ile değişimleri.

Z_{max} (kpc)	$\langle Z_{max} \rangle$ (kpc)	N (yıldız)	σ_U (km/s)	σ_V (km/s)	σ_W (km/s)	σ_{TOP} (km/s)
[0.00, 0.10]	0.05	201	20.34±0.15	20.49±0.11	2.82±0.17	36.31±0.26
(0.10, 0.20]	0.15	1980	27.47±0.07	22.32±0.06	5.73±0.09	41.56±0.13
(0.20, 0.30]	0.25	4320	30.90±0.06	24.15±0.04	8.81±0.07	45.62±0.11
(0.30, 0.40]	0.35	5392	34.21±0.06	26.20±0.05	11.61±0.07	50.17±0.11
(0.40, 0.50]	0.45	5508	36.11±0.06	28.16±0.05	14.45±0.07	53.30±0.11
(0.50, 0.60]	0.55	5242	38.56±0.07	30.71±0.06	16.85±0.07	57.70±0.12
(0.60, 0.70]	0.65	4754	40.67±0.08	32.43±0.07	19.65±0.08	61.34±0.13
(0.70, 0.80]	0.75	3697	45.76±0.09	35.03±0.08	22.60±0.09	67.50±0.16
(0.80, 0.90]	0.85	3065	45.02±0.11	37.05±0.10	24.76±0.10	68.96±0.19
(0.90, 1.00]	0.95	2485	46.92±0.12	38.32±0.12	27.48±0.12	71.90±0.22
(1.00, 1.10]	1.05	1932	51.32±0.15	40.97±0.15	29.99±0.14	77.69±0.26
(1.10, 1.20]	1.15	1561	51.28±0.17	42.82±0.17	32.83±0.16	79.49±0.30
(1.20, 1.30]	1.25	1282	53.50±0.20	43.06±0.19	35.55±0.18	82.62±0.33
(1.30, 1.40]	1.35	977	55.79±0.23	46.55±0.22	39.65±0.20	88.47±0.38
(1.40, 1.50]	1.45	788	56.54±0.25	46.82±0.25	41.88±0.22	89.83±0.43
(1.50, 1.60]	1.55	668	56.04±0.28	45.49±0.28	45.86±0.24	90.79±0.47
(1.60, 1.70]	1.65	572	58.28±0.31	53.88±0.31	48.50±0.27	98.40±0.54
(1.70, 1.80]	1.75	445	61.16±0.37	50.40±0.36	51.15±0.30	99.66±0.61
(1.80, 1.90]	1.85	378	66.44±0.41	57.69±0.40	52.50±0.32	108.12±0.68
(1.90, 2.00]	1.95	332	61.92±0.42	51.55±0.43	56.84±0.35	103.64±0.72
(2.00, 2.20]	2.10	462	66.82±0.38	51.18±0.36	59.93±0.30	108.08±0.63
(2.20, 2.40]	2.30	341	68.51±0.44	48.81±0.42	63.96±0.36	110.04±0.73
(2.40, 2.60]	2.50	235	76.85±0.54	53.39±0.48	69.84±0.43	121.29±0.88
(2.60, 3.40]	3	438	81.55±0.39	69.54±0.37	79.86±0.32	139.05±0.65
(3.40, 4.60]	4	215	87.51±0.54	91.21±0.49	97.81±0.49	165.76±0.91
(4.60, 5.40]	5	50	123.38±1.30	106.46±1.05	110.05±1.04	202.5±2.06

4.7 Metal Bolluğu Haritası

Projemizinin amaçlarından biri de Galaksimizdeki yıldızların metal bolluklarını belirleyerek iki ve üç boyutlu metal bolluğu haritalarını oluşturmaktır. Projemizde metal bollukları iki farklı gökyüzü taraması olan RAVE DR4 ve SDSS-III DR12'deki veriler kullanılarak belirlenmiştir. Bilindiği gibi RAVE tayfsal bir gökyüzü taraması olduğundan orta çöznürlüklü tayflardan yıldızların atmosfer model parametreleri belli bir algortima ile otomatik olarak hesaplanmaktadır. Bu algoritma sonucunda incelenen yıldızın radyal hızı, etkin sıcaklığı, yüzey çekim ivmesi ve metal bolluğu tayin edilir. SDSS gökyüzü taraması çok sayıdaki yıldızın fotometrik ölçümüne dayalı olduğundan veri tabanındaki yıldızların durumu RAVE gökyüzü tarama prgramından oldukça farklıdır. Bu nedenle, tarama sonucunda fotometrik verileri elde

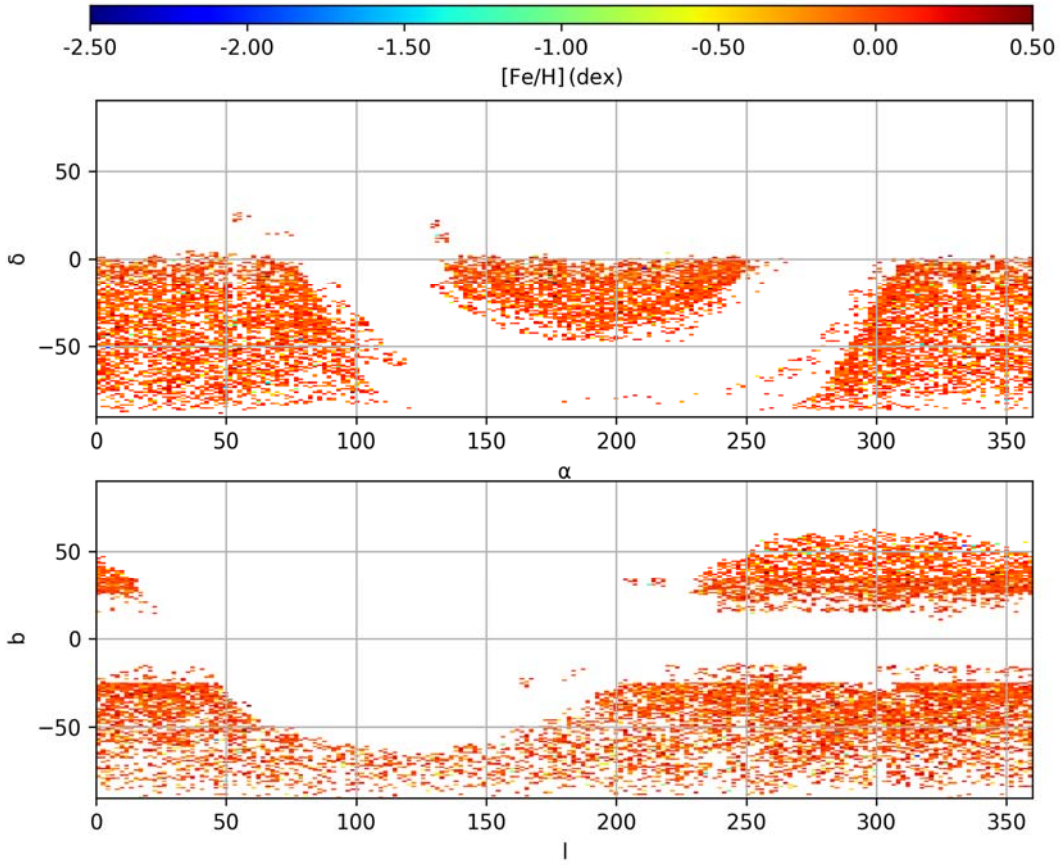
edilen yıldızların metal bolluğu ve mutlak parlaklık gibi temel astrofizik parametreleri farklı kalibrasyonlar kullanılarak belirlenir. SDSS-III DR12 veri tabanındaki F-G tayf türü anakol yıldızlarının metal bollukları projemizin amaçlarına uygun bir şekilde tasarlanan metal bolluğu ve mutlak parlaklık kalibrasyonlarıyla hesaplanmıştır. Konuyla ilgili ayrıntılı bilgiler Bölüm 3.4'te verilmiştir. Projemizin bu aşamasında RAVE yıldızlarının metal bollukları tayfsal verilerinden, SDSS yıldızlarının metal bollukları ise elde ettiğimiz yeni kalibrasyonlardan hesaplanmıştır.

Projemizde, RAVE DR4 veri tabanındaki yıldızlar hem anakol hem de dev ışıma gücü sınıfında bulunan kaynaklardan oluşmaktadır. 14,361 F-G tayf türü anakol yıldızının metal bolluğuna göre ekvatoral ve Galaktik koordinatlardaki dağılımları Şekil 4.38'de gösterilmiştir. Dev ışıma gücü sınıfındaki 46,818 KY yıldızının metal bolluğuna bağlı ekvatoral ve Galaktik koordinatlardaki dağılımı da Şekil 4.39'da gösterilmiştir. Bu şekillerde yıldızların metal bolluğu değerleri ilgili şekillerin üzerinde verilen renk ölçeğiyle ifade edilmiştir. RAVE tarama programı çoğunlukla Güney gökyüzünü taradığından incelenen yıldızların deklinasyon değerleri $\delta < 0^{\circ}$'tür. Şekil 4.38 ve 4.39'da, Güney gökyüzünün belli bir bölgesinde boş yarım daire olarak dikkat çeken bölge Galaksimizin Galaktik düzlemini ve onun etrafındaki 10°'lik bölgeyi ifade etmektedir. Yoğun yıldızlararası ortamdan kaynaklanan sönümleme ve kızarma etkisinin fazla olduğu Galaktik düzlem ve onun çevresindeki bu bölge RAVE gökyüzü tarama programında yer almamaktadır. Söz konusu bu durum, ilgili şekillerin alt panellerindeki Galaktik koordinatlardan kolaylıkla görülebilmektedir.

F-G tayf türü anakol yıldızları RAVE gökyüzü taramasının gözlem programından dolayı $9 < I < 12$ kadir aralığında seçildiğinden rölatif olarak Güneş komşuluğundadırlar. Bu yıldızların medyan uzaklıkları yaklaşık 275 pc civarında olduğundan Güneş metal bolluğunda olması beklenir. Şekil 4.38'den de görülebileceği gibi anakol yıldızlarının büyük kısmı kırmızı renkte bulunduğundan, yukarıda ifade edildiği gibi, bu durumun gözlemler ile uyuştuğu söylenebilir. İncelenen F-G tayf türü anakol yıldızları [Fe/H] > -0.30 dex civarındadır ve ince disk popülasyonunun ortalama metal bolluğu değeriyle uyumludur.

KY yıldızlarının ekvatoral ve Galaktik koordinatlardaki dağılımları incelendiğinde (Şekil 4.39), yıldızların genellikle turuncu renkte, düşük enlemdekilerin ise yeşil renklerde olduğu görülmektedir. İlgili şekildeki renk ölçeğine bakıldığında bu renkler, sırasıyla, -0.50 ve -1.00 dex metal bolluklarına karşılık geldiğinden KY yıldızlarının anakol yıldızlarına göre metal bolluğu açısından daha fakir oldukları söylenebilir. Bu şaşırtıcı bir durum değildir. Çünkü RAVE gökyüzü tarama programı parlaklıkla sınırlı olduğundan ve dev yıldızların da mutlak parlaklıkları anakol yıldızlarına göre daha parlak olduğundan projemizde incelenen KY yıldız

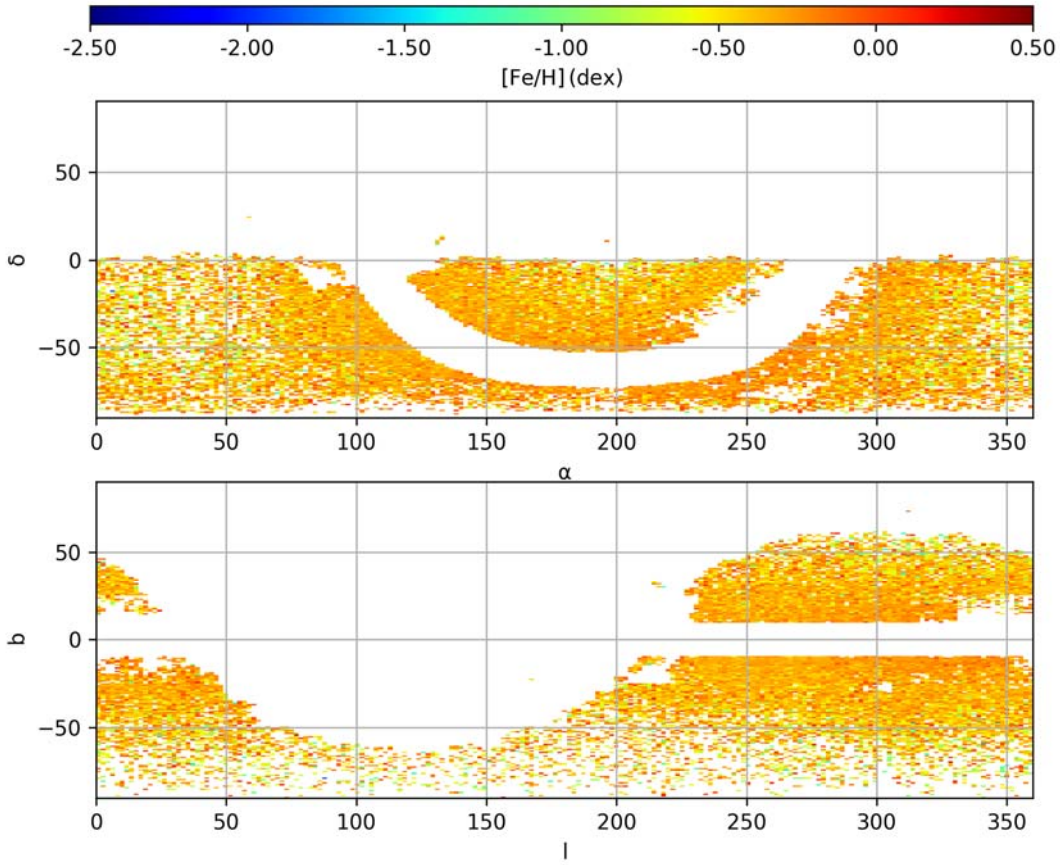
örneği Güneş komşuluğunda daha büyük bir uzay hacmine yayılır. Bu da farklı Galaktik popülasyonlardaki yıldızların çalışmaya dâhil olabileceğini gösteren önemli bir kanıttır. Projemizde incelenen KY yıldızlarının 3 kpc'e kadar uzandığı ve medyan uzaklığın da 1 kpc olduğu hesaplanmıştır. Bu, incelenen KY yıldızlarının bir kısmının kalın diskte ait olabileceğini göstermektedir.



Şekil 4.38 F-G tayf türü14,361 RAVE DR4 anakol yıldızının ekvatoral (**üst panel**) ve Galaktik (**alt panel**) koordinatlardaki dağılımı. Yıldızların metal bollukları şeklin üst panelinde verilen renk ölçeğinin bir fonksiyonu olarak gösterilmiştir.

Projemizdeki F-G tayf türü SDSS anakol yıldızlarının metal bolluklarına göre oluşturulan ekvatoral ve Galaktik koordinatlardaki dağılımları Şekil 4.40'ta gösterilmiştir. Bu şeklin alt panelinde Galaktik koordinatlara göre F-G tayf türü anakol yıldızlarının SDSS gökyüzü tarama programının gözlem statejisinden dolayı Galaktik enlemi 50 dereceden büyük olan bölgelerde dağıldığı görülmektedir. Şekil 4.40'ta 1,437,467 anakol yıldızının metal bolluklarını ifade eden baskın rengin yeşil olduğu ama daha dikkatli bakıldığında mavi renk ağırlıklı bölgelerin de bulunduğu görülmektedir. İlgili şekildeki renk ölçeği dikkate alındığında yeşil renk -1 dex, mavi ise -1.5 dex metal bolluğu değerine karşılık gelmektedir. SDSS derin bir gökyüzü tarama programı olduğundan (g > 14 kadir) özellikle kalın disk ve halo popülasyonundaki yıldızları

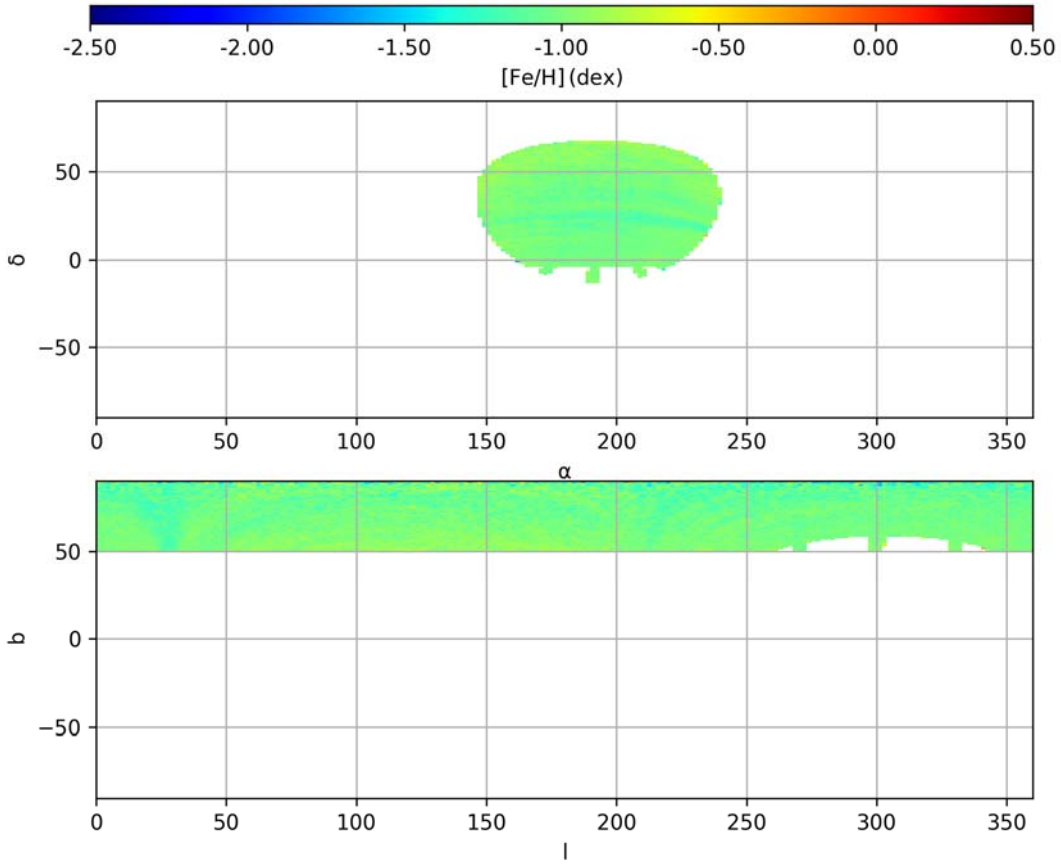
içerir. Projemizde incelenen F-G tayf türü SDSS anakol yıldızlarının metal bollukları [Fe/H] < -1 dex'tir.



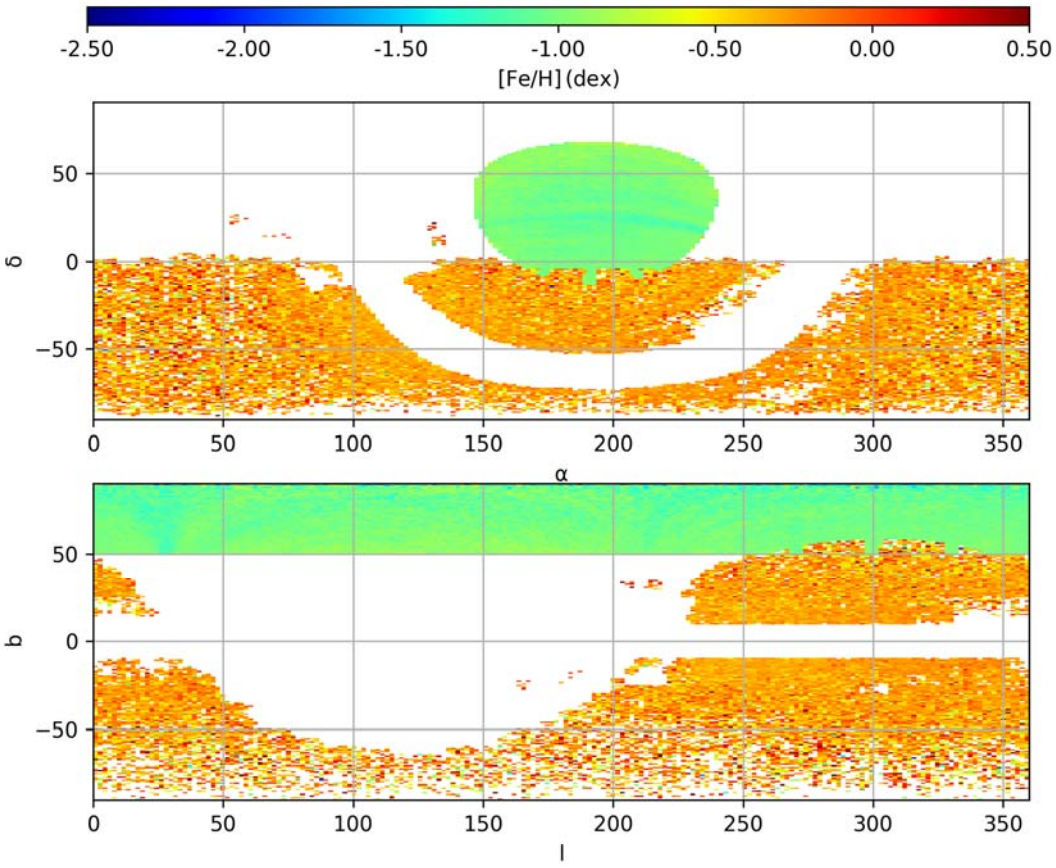
Şekil 4.39 46,818 RAVE DR4 KY yıldızının ekvatoral (**üst panel**) ve Galaktik (**alt panel**) koordinatlardaki dağılımı. Yıldızların metal bollukları şeklin üst panelinde verilen renk ölçeğinin bir fonksiyonu olarak gösterilmiştir.

İki gökyüzü taraması farklı yarı kürelerden yapıldığından bu taramalara ait iki veri setinin birlikte incelenmesinden Samanyolu Galaksisi'nin metal bolluğu dağılımı hakkında bir fikir sahibi olunabilir. Bu nedenle, tayfsal RAVE ve fotometrik SDSS verilerinden elde edilen metal bollukları bir araya getirilerek ekvatoral ve Galaktik koordinatlardaki dağılımları Şekil 4.41'de gösterilmiştir. Bu şekil oluşturulurken yaklaşık 1.5 milyon yıldız kullanılmıştır. Böylece, iki veri seti birleştirilerek farklı metal bolluklarındaki farklı Galaktik popüasyonları içeren geniş bir metal bolluğu haritası elde edilmiştir. Oluşturulan metal bolluğu haritaları iki boyutludur. Projemizde yıldızların Güneş'e uzaklıkları da hesaplandığından metal bolluğu haritaları 3 boyutlu bir şekle getirilebilir. Bu amaç doğrultusunda aynı düzlemler üzerinde yıldızlar farklı uzaklık aralıklarına ayrılarak üç boyutlu metal bolluğu haritaları oluşturulmuştur. Yıldızların Güneş'e uzaklıkları

$0 < d \leq 0.5$, $0.5 < d \leq 1$, $1 < d \leq 2$, $2 < d \leq 5$ ve $5 < d \leq 20$ kpc olacak şekilde sınıflandırılmıştır. Bu uzaklık aralıklarında, sırasıyla, 16,674, 96,304, 343,894, 554,971 ve 481,081 yıldız bulunmaktadır.

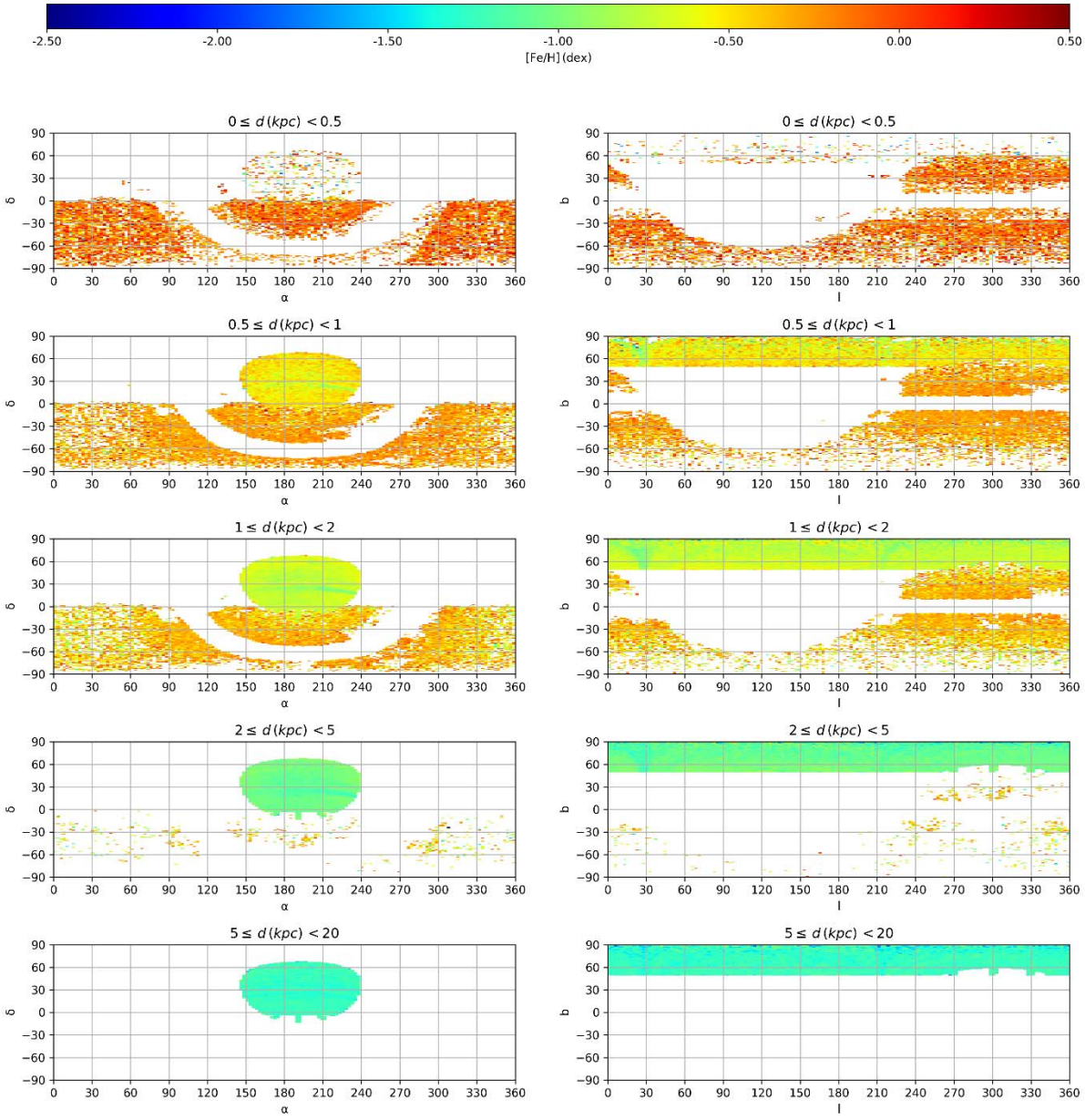


Şekil 4.40. F-G tayf türü 1,437,467 SDSS-III DR12 anakol yıldızının ekvatoral (**üst panel**) ve Galaktik (**alt panel**) koordinatlardaki dağılımı. Yıldızların metal bollukları şeklin üst panelinde verilen renk ölçeğinin bir fonksiyonu olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.41. Projede incelenen 1,498,646 RAVE DR4 ve SDSS-III DR12 yıldızının ekvatoral (**üst panel**) ve Galaktik (**alt panel**) koordinatlardaki dağılımı. Yıldızların metal bollukları şeklin üst panelinde verilen renk ölçeğinin bir fonksiyonu olarak gösterilmiştir.

Şekil 4.42'de yıldızların Güneş'e uzaklıkları üst panelden alta doğru artmaktadır. Güneş'e en yakın yıldızların oluşturduğu ilk panellerde yıldızların büyük kısmının metal bolluğu açısından Güneş'e benzer olduğu, Güneş'ten uzaklaştıkça metal bolluğu değerlerinin önce turuncu, sonra yeşil ve yeşil/mavi renk aralığında bulunduğu görülmektedir. Renk değerlerindeki bu değişiklik projemizde incelenen yıldızların metal bolluklarının Güneş'ten uzaklaştıkça fakirleştiğini gösteren önemli bulgulardan biridir. Böylece, metal bolluğu gradyentlerinin varlığı doğrudan öngörülebilmektedir.



Şekil 4.42. Projede incelenen 1,498,646 RAVE DR4 ve SDSS-III DR12 yıldızlarının uzaklığının da bir fonksiyonu olarak ekvatoral (**sol panel**) ve Galaktik (**sağ panel**) koordinatlardaki dağılımları. Yıldızların metal bollukları şeklin üst panelinde verilen renk ölçeğinin bir fonksiyonu olarak gösterilmiştir.

5. TARTIŞMA/SONUÇ

Projemizde, RAVE DR4 ve SDSS-III DR12 veri setlerindeki anakol ve dev yıldızlar seçilerek Galaksi merkezinden radyal doğrultuda ve Galaktik düzleme dik doğrultuda metal bolluğu gradyentleri hesaplanmıştır. RAVE DR4 tayfsal veriler içerirken, SDSS-III DR12 ise fotometrik verilerden oluşmaktadır. Tayfsal bir gökyüzü tarama programı olan RAVE'de incelenen yıldızların atmosfer model parametreleri ve radyal hızlarının tayini RAVE konsorsiyumu tarafından literatüre kazandırılmıştır. Derin ve duyarlı bir fotometrik gökyüzü tarama programı olan SDSS verilerinden hassas astrofizik parametreleri (metal bolluğu ve mutlak parlaklık) hesaplayabilmek için projemizde yeni kalibrasyonlar oluşturulmuştur. Böylece, yaklaşık 1.5 milyon anakol ve KY yıldızının metal bollukları ve uzaklıkları belirlenmiştir. Bu veriler kullanılarak da metal bolluğu haritası oluşturulmuş ve metal bolluğu gradyentleri hesaplanmıştır. Elde edilen bulgular, Galaksimizin oluşum ve evrimine ait modellerin sınanmasında kullanılmıştır.

5.1 Metal Bolluğu Gradyentleri

Samanyolu'nun evrim ve oluşumunun anlaşılmasında Galaksimizde yer alan nesnelerin kimyasal bollukları ve uzaklıkları önemlidir. Büyük kütleli ilkel yıldızlar merkezlerinde ürettikleri ağır elementleri süpernova patlamalarıyla uzaya saçmışlar ve ağır element içerikli gaz açısal momentumun korunumuna uygun olarak Galaktik şişkin bölge ve Galaktik düzleme doğru akarak ikinci kuşak yıldızlar oluşmuştur. İlkel Galaktik bulutsunun çökerek yıldız oluşturması aşamasından sonra, cüce galaksilerin Samanyoluyla etkileşimleri başlamış ve Galaksimizin ince diski ile karanlık halosunun boyutları büyümeye başlamıştır. Bu durumun gerçekleşmesi halinde hem Galaksi merkezinden itibaren radyal doğrultuda hem de Galaksi düzlemine dik doğrultuda metal bolluğu gradyentlerinin olması beklenir. Projemizde RAVE DR4 verilerinden seçilen F-G anakol ve KY yıldızları kullanılarak metal bolluğu gradyentlerinin araştırılması amaçlanmıştır. Bu yıldızların hem bugünkü hem de Galaktik yörünge parametrelerinden hesaplanan konumlarından Galaksi merkezinden itibaren radyal doğrultuda ve Galaksi düzlemine dik doğrultuda metal bolluğu gradyentleri hesaplanmıştır. Projemizde SDSS verilerinden hesaplanan metal bolluğu gradyentleti için sadece yıldızların bugünkü konumları dikkate alınmıştır.

Çalışmamızda elde ettiğimiz sonuçların literatürde verilen değerlerle uyumları veya farklılıklarını gösterebilmek için geçen 15 yılı kapsayan ayrıntılı bir tarama yapılmış ve sonuçlar çalışmaların türüne ve kullanılan nesnelere göre sınıflanarak Tablo 5.1-5.4'te listelenmiştir.

Tablo 5.1 Literatürde son onbeş yıl için nesnelerin bugünkü konumlarından (R_{gc}) hesaplanan radyal metal bolluğu gradyent değerleri. Gradyent, uzaklık ve yaş değerleri, sırasıyla, dex/kpc, kpc ve Gyıl birimlerindedir.

Yazar	Nesne	d[Fe/H]$/dR_{gc}$	Açıklama	Bibliyografik Kod
Jacobson vd. (2016)	Açık küme	-0.100±0.020	6<R_{gc}<12	2016A&A...591A..37J
Cunha vd. (2016)	Açık küme	-0.035±0.007	6<R_{gc}<25	2016AN....337..922C
Netopil vd. (2016)	Açık küme	-0.086±0.009	5<R_{gc}<12	2016A&A...585A.150N
		-0.082±0.013	1<τ<2.5	
Huang vd. (2015)	KY	-0.082±0.003	|Z|≤0.1	2015RA&A....15.1240H
		-0.072±0.004	0.1<|Z|≤0.3	
		-0.052±0.005	0.3<|Z|≤0.5	
		-0.041±0.005	0.5<|Z|≤0.7	
		-0.028±0.005	0.7<|Z|≤0.9	
		-0.020±0.007	0.9<|Z|≤1.1	
Xiang vd. (2015)	DnY	-0.100±0.003	|Z|≤0.1; 2<τ<16	2015RA&A....15.1209X
		-0.050±0.002	0.4<|Z|≤0.6;2<τ<16	
		-0.010±0.002	0.9<|Z|≤1.1;2<τ<16	
Recio-Blanco vd. (2014)	FGK anakol	-0.058±0.008	İnce disk *[M/H]*	2014A&A...567A...5R
		+0.006±0.008	Kalın disk *[M/H]*	
Mikolaitis vd. (2014)	FGK anakol	-0.044±0.009	Ana ince disk	2014A&A...572A..33M
		-0.028±0.018	Temiz ince disk	
		+0.008±0.007	Ana kalın disk	
		+0.008±0.007	Temiz kalın disk	
Genovali vd. (2014)	Sefeid	-0.021±0.029	5<R_{gc}<19	2014A&A...566A..37G
Andreuzzi vd.(2011)	Açık küme	-0.04	6<R_{gc}<22	2011MNRAS.412.1265A
Hayden vd. (2014)	KD	-0.090±0.002	0.00<|Z|<0.25 R_{gc}<15	2014AJ....147..116H
		-0.076±0.003	0.25<|Z|<0.50 R_{gc}<15	
		-0.057±0.003	0.50<|Z|<1.00 0<R_{gc}<15	
		-0.030±0.006	1<|Z|<2 0<R_{gc}<15	
Frinchaboy vd. (2013)	Açık küme	-0.090±0.030	7.9≤ R_{gc} ≤ 14.5	2013ApJ...777L...1F
		-0.200±0.080	7.9≤ R_{gc} ≤ 10.0	
		-0.020±0.090	10<R_{gc} ≤ 14.5	
Boeche vd. (2013)	FG anakol	-0.029±0.011	7.6<R_{gc}<8.3	2013A&A...559A..59B
Carrell vd. (2012)	FGK anakol	+0.015±0.005	0.5<|Z|<1.0	2012AJ....144..185C
		+0.017±0.005	0.5<|Z|<1.0	
Cheng vd. (2012)	DnY	$-0.066^{+0.030}_{-0.044}$	0.15<|Z|<0.25	2012ApJ...746..149C
		$-0.064^{+0.015}_{-0.004}$	0.25<|Z|<0.50	
		$-0.013^{+0.009}_{-0.002}$	0.50<|Z|<1.00	
		$+0.028^{+0.007}_{-0.005}$	1.00<|Z|<1.50	
Yong vd. (2012)	Açık küme	$-0.120^{+0.010}_{-0.140}$	τ ≥ 2.5; R_{gc}<13	2012AJ....144...95Y
Karataş ve Klement (2012)	Anakol	-0.07±0.01	0<z_{max}<5	2012NewA...17...22K
Luck ve Lambert (2011)	Sefeid	-0.062±0.002	4<R_{gc}<17	2011AJ....142..136L

Tablo 5.1 (devam)

Yazar	Nesne	d[Fe/H]$/dR_{gc}$	Açıklama	Bibliyografik Kod
Ruchti vd. (2011)	KD,KY, YK,AD, anakol	+0.010±0.040	5<R_{gc}<10 |Z|<3	2011ApJ...737....9R
Luck vd. (2011)	Sefeid	-0.055±0.003	4<R_{gc}<16	2011AJ....142...51L
Friel vd. (2010)	Açık küme	-0.076±0.018	tüm örnek	2010AJ....139.1942F
Wu vd. (2009)	Açık küme	-0.070±0.011	6≤ R_{gc}≤13.5	2009MNRAS.399.2146W
Pedicelli vd. (2009)	Sefeid	-0.051±0.004	tüm örnek	2009A&A...504...81P
Magrini vd. (2009)	Açık küme	-0.053±0.029	7< R_{gc} <12, τ ≤0.8	2009A&A...494...95M
Lemasle vd. (2008)	Sefeid	-0.052±0.003	5< R_{gc} <17	2008A&A...490..613L
Lemasle vd. (2007)	Sefeid	-0.061±0.019	8< R_{gc} <12	2007A&A...467..283L
Allende Prieto vd. (2006)	FG anakol	0	1<|Z|≤3	2006ApJ...636..804A
Chen vd. (2003)	Açık küme	-0.063±0.008	6< R_{gc} <15	2003AJ....125.1397C
Hou vd. (2002)	Açık Küme	-0.099±0.008	6.5< R_{gc} <16	2002ChJAA...2...17H
Friel vd. (2002)	Açık küme	-0.060±0.010	7< R_{gc} <16	2002AJ....124.2693F
		-0.023±0.019	τ<2	
		-0.053±0.018	2≤ τ ≤ 4	
		-0.075±0.019	τ>4	
Andrievsky vd. (2002)	Sefeid	-0.130±0.030	iç disk	2002A&A...392..491A

** Kısaltmalar: AD, alt dev; DnY, dönüm noktası yıldızı; KD, kırmızı dev; YK, yatay kol.*

Tablo 5.2 Literatürde son onbeş yıl için nesnelerin Galaktik yörünge parametrelerine göre Galaksi merkezinden ortalama uzaklıklarından (R_m) hesaplanan metal bolluğu gradyent değerleri. Gradyent, uzaklık ve yaş değerleri, sırasıyla, dex/kpc, kpc ve Gyıl'dır.

Yazar	Nesne	d[Fe/H]$/dR_m$	Açıklama	Bibliyografik Kod
Plevne vd. (2015)	F-G anakol	-0.083±0.030	0<z_{max}≤0.5 *[Fe/H]*	2015PASA...32...43P
		-0.048±0.037	0.5<z_{max}≤0.8 [Fe/H]	
		-0.063±0.011	0<z_{max}≤0.5 [M/H]	
		-0.028±0.057	0.5<z_{max}≤0.8[M/H]	
Bilir vd. (2012)	KY	-0.041±0.003	*TD/D*≤ 0.1	2012MNRAS.421.3362B
		-0.041±0.007	e_v≤ 0.07	
		-0.025±0.040	e_v≤ 0.12	
Coşkunoğlu vd. (2012)	F-G anakol	-0.043±0.005	F, *TD/D*≤0.1	2012MNRAS.419.2844C
		-0.033±0.007	G, *TD/D*≤0.1	
		-0.051±0.005	F, e_v≤ 0.04	
		-0.020±0.006	G, e_v≤ 0.04	
Karataş ve Klement (2012)	Anakol	-0.070±0.010	0< z_{max} < 5	2012NewA…17…22K
Wu vd. (2009)	Açık küme	-0.082±0.014	6< R_m < 20	2009MNRAS.399.2146W
Nordström vd. (2004)	F-G anakol	-0.076±0.014	τ≤1.5	2004A&A...418..989N
		-0.099±0.011	4<τ≤6	
		+0.028±0.036	τ>10	

Tablo 5.3 Literatürde son onbeş yıl için nesnelerin Galaksi düzleminden olan bugünkü dik uzaklıklarına göre hesaplanan (|*Z*|) metal bolluğu gradyent değerleri. Gradyent ve uzaklık değerleri, sırasıyla, dex/kpc ve kpc birimlerindedir.

Yazar	Nesne	*d*[Fe/H]/*dZ*	Açıklama	Bibliyografik Kod
Xiang vd. (2015)	DnY	-0.110±0.020	*r*>11	2015RAA....15.1209X
Huang vd. (2015)	KY	-0.206±0.006	|*Z*|≤1 7<R_{gc}≤8	2015RAA....15.1240H
		-0.116±0.008	|*Z*|≤1 8< R_{gc} ≤9	
		-0.052±0.010	|*Z*|≤1 9< R_{gc} ≤10	
		~0.000±0.012	|*Z*|≤1 10< R_{gc} ≤11	
		+0.008±0.008	|*Z*|≤1 11< R_{gc} ≤12	
Mikolaitis vd. (2014)	F-G-K anakol	-0.107±0.009	İnce disk (ana)	2014A&A...572A..33M
		-0.057±0.016	İnce disk (temiz)	
		-0.072±0.006	Kalın disk (ana)	
		-0.037±0.016	Kalın disk (temiz)	
Schlesinger vd. (2014)	G anakol	$-0.243^{+0.039}_{-0.053}$	Tüm örnek	2014ApJ...791..112S
Boeche vd. (2014)	KY	-0.112±0.007	0<|*Z*|≤2	2014A&A...568A..71B
Hayden vd. (2014)	KD	-0.305±0.011	0<|*Z*|≤2	2014AJ....147..116H
Bergemann vd. (2014)	F-G-K anakol	-0.068±0.014	|*Z*|≤0.3	2014A&A...565A..89B
		-0.114±0.009	0.3<|*Z*|≤0.8	
Carrell vd. (2012)	F-G-K anakol	-0.113±0.010	7<R_{gc}<10.5	2012AJ....144..185C
	F-G-K anakol	-0.125±0.008	7< R_{gc} <10.5	
Peng vd. (2012)	anakol	-0.210±0.050	0<*Z*<2	2012MNRAS.422.2756P
Katz vd. (2011)	KD, KY,YK	-0.068±0.009	Kalın disk	2011A&A...525A..90K
Chen vd. (2011)	KY	-0.120±0.010	0.5<|*Z*|<3	2011AJ....142..184C
		-0.220±0.070	1<|*Z*|<3	
Kordopatis vd. (2011)	FGK anakol	-0.140±0.050	1≤ *Z*≤ 4	2011A&A...535A.107K
Ruchti vd. (2011)	KD, KY,YK	-0.090±0.050	6<R_{gc}<10,	2011ApJ...737....9R
	AD, anakol		|*Z*|<3	
Yaz vd. (2010)	G anakol	-0.320±0.010	*Z*<2.5	2010NewA...15..234Y
		-0.300±0.060	3<*Z*<5.5	
		-0.010±0.010	6<*Z*<10	
Siegel vd. (2009)	F anakol	-0.15	*Z*<4	2009MNRAS.395.1569S
Soubiran vd. (2008)	KY	-0.300±0.030	*d*<1	2008A&A...480...91S
Ak vd. (2007a)	G anakol	-0.380±0.060	3 ≤ *Z*<5	2007NewA...12..605A
		-0.080±0.070	5 ≤ *Z*<10	
Ak vd. (2007b)	G anakol	-0.160±0.020	*Z*<3 Kuzey	2007AN....328..169A
		-0.220±0.020	*Z*<3 Güney	
Allende Prieto vd. (2006)	FG anakol	0.03	1<|*Z*|≤3; *[Fe/H]*>-1.2	2006ApJ...636..804A
Marsakov ve Borkova (2006)	F anakol	-0.290±0.060	İnce disk	2006A&AT...25..157M
Karaali vd. (2003b)	G anakol	-0.2	*Z*≤8	2003MNRAS.343.1013K
Bartasiute vd. (2003)	F anakol	-0.230±0.040	*Z*<1.3	2003BaltA..12..539B

** Kısaltmalar: AD, alt dev; DnY, dönüm noktası yıldızı; KD, kırmızı dev; YK, yatay kol.*

Tablo 5.4 Literatürde son onbeş yıl için nesnelerin Galaktik yörünge parametrelerine göre Galaksi düzleminden dik uzaklıkları (Z_{max}) için hesaplanan metal bolluğu gradyent değerleri. Gradyent ve uzaklık değerleri, sırasıyla, dex/kpc ve kpc birimlerindedir.

Yazar	Nesne	d[Fe/H]/dZ_{max}	Açıklama	Bibliyografik Kod
Plevne vd. (2015)	FG anakol	-0.176±0.039	$0<Z_{max}\leq 0.825$	2015PASA...32...43P
		-0.119±0.036	$0< Z_{max} \leq 1.5$	
Bilir vd. (2012)	KY	-0.109±0.008	$TD/D \leq 0.1$	2012MNRAS.421.3362B
	KY	-0.260±0.031	$e_v \leq 0.07$	
		-0.310±0.060	$0\leq Z_{max} <1.2$	2008A&A...480...91S
Chen vd. (2003)	Açık küme	-0.295±0.050	$6 < R_{gc} <15$	2003AJ....125.1397C

5.2. RAVE Yıldızlarından Radyal Metal Bolluğu Gradyentleri

5.2.1. Yıldızların Bugünkü Konumlarından

F-G tayf türündeki anakol yıldızlarının Güneş'ten olan bugünkü uzaklıkları, J bandındaki görünen parlaklığı ile Bilir vd.'nin (2008b) elde ettiği kalibrasyon kullanılarak hesaplanan M_J mutlak parlaklıklarının Pogson bağıntısına yerleştirilmesiyle belirlenmiştir. KY yıldızlarının uzaklıkları benzer şekilde K_s bandındaki görünen parlaklığı ile Groenewegen'in (2006) bu bant için hesapladığı M_{Ks}=-1.54±0.04 kadir değeri kabul edilerek Pogson bağıntısından hesaplanmıştır. Yıldızların bugünkü konumları için radyal metal bolluğu gradyentleri hesaplanırken metal bollukları ([Fe/H]) RAVE DR4 kataloğundan alınmış ve Güneş'ten uzaklıkları ise Galaksi merkezinden olan uzaklıklarına çevrilerek kullanılmıştır. F-G tayf türündeki anakol yıldızları Güneş civarında yaklaşık 275 pc medyan uzaklık değerine sahip olduklarından bugünkü konumlarına göre radyal metal bolluğu gradyentleri hesaplanamamıştır. KY yıldızları rölatif olarak daha geniş bir uzay hacmi içinde yer aldığından ($5.7 < R_{gc} < 9.7$ kpc) radyal metal bolluğu gradyentleri, yıldızların bugünkü konumlarına (R_{gc}) göre Galaksi düzleminden dik doğrultuda üç $|Z|$ aralığı için hesaplanmıştır. Verilere geçirilen doğrusal fitlerden $0 < |Z| \leq 0.5$, $0.5 < |Z| \leq 1$ ve $1 < |Z| \leq 3$ kpc uzaklık aralıkları için metal bolluğu gradyentleri, sırasıyla, -0.047±0.003, -0.001±0.003 ve +0.015±0.008 dex/kpc bulunmuştur. Galaktik düzlemden uzaklaştıkça bir azalma dikkat çekmektedir. Elde edilen sonuçlar projemizde uyguladığımız sınırlamalarla örtüşen ve Tablo 5.1'de verilen literatürdeki nesnelerin bugünkü konumlarından hesaplanan radyal metal bolluğu gradyentleriyle karşılaştırılmıştır. Huang vd. (2015), LAMOST gökyüzü taramasından seçilen KY yıldızlarının Galaksi düzleminden dik doğrultudaki uzaklıklarını 0.2 kpc'lik aralıklara ayırarak radyal metal bolluğu gradyentlerini hesaplamıştır. Analizlerinde Galaktik düzlemden 1 kpc uzaklığa

gidildikçe radyal metal bolluğu gradyentinin -0.082±0.003 dex/kpc'ten -0.020±0.007 dex/kpc'e düzgün bir şekilde değiştiğini göstermiştir. LAMOST gökyüzü taramasından seçilen 2 ile 16 Gyıl yaş aralığındaki dönüm noktası yıldızlarını kullanan Xiang vd. (2015), örneğini Galaksi düzleminden dik uzaklıklarına göre 1 kpc'e kadar uzanan üç gruba ayırarak radyal metal bolluğu gradyentlerini elde etmiştir. Radyal metal bolluğu gradyentlerinin Galaksi düzleminden dik doğrultuda 1.1 kpc'e doğru gittikçe -0.100±0.003'ten -0.010±0.007 dex/kpc'e düzgün bir şekilde azaldığını göstermiştir. Bu iki çalışmada bulunan eğilim projemizdekine benzemekle beraber elde ettiğimiz radyal metal bolluğu gradyentleri daha küçüktür. F, G ve K tayf türündeki anakol yıldızlarının radyal metal bolluğu gradyentlerini Galaktik popülasyonlara ayırarak inceleyen Recio-Blanco vd. (2014) ve Mikolaitis vd., (2014) ince disk bileşeni için, sırasıyla, -0.058±0.008 dex/kpc ve -0.044±0.009 dex/kpc ve kalın disk bileşeni için, sırasıyla, -0.006±0.008 dex/kpc ve -0.008±0.007 dex/kpc değerlerini elde etmişlerdir. Bu projede yoğun olarak ince disk yıldızlarının bulunduğu $|Z| \leq 0.5$ kpc uzaklık aralığı ile kalın disk yıldızlarının hâkim olduğu $1 < |Z| \leq 3$ kpc'lik uzaklık aralıkları için hesaplanan -0.047±0.003 ve +0.015±0.008 dex/kpc değerleri hatalar mertebesinde iki çalışmayla da uyumludur. Hayden vd. (2014) APOGEE taramasından belirledikleri kırmızı dev yıldızları kullanarak $0.5<|Z|\leq1$ kpc'lik uzaklık aralığı için radyal metal bolluğu gradyentini -0.057±0.003 dex/kpc olarak hesaplamıştır. Bu projede aynı uzaklık aralığı için hesaplanan -0.001±0.003 dex/kpc değeri Hayden vd'ne (2014) göre oldukça farklıdır. Bu farkın nedeni projemizdeki KY yıldızlarının APOGEE gözlemlerine göre daha kısa uzaklık aralığı için hesaplanmasından kaynaklanabilir. Lemasle vd.'nin (2007), $8 < R_{gc} < 12$ kpc aralığındaki sefeid değişenlerini kullanarak hesapladıkları -0.061±0.019 dex/kpc'lik radyal metal bolluğu gradyenti değeri $0 < |Z| \leq 0.5$ kpc aralığı için bulduğumuz -0.047±0.003 dex/kpc değeriyle hata mertebeleri içinde uyumludur. SEGUE gökyüzü taramasından seçilen F-G anakol yıldızlarının tayfsal analizini yapan Allende Prieto vd. (2006), $1 < |Z| \leq 3$ kpc uzaklık aralığı için radyal metal bolluğu gradyentini 0 dex bulmuştur. Bu sonuç projemizde aynı aralık için elde edilen değere çok yakındır. Tablo 5.1'den görüleceği gibi elde ettiğimiz radyal metal bolluğu gradyentleri farklı nesnelerden hesaplanan gradyentlerle uyumludur.

5.2.2. Yıldızların Z_{max} Dağılımlarına Göre

RAVE DR4 verilerinden seçilen F-G tayf türü anakol ve KY yıldızlarının Galaktik yörünge parametreleri Bovy'nin (2015) *galpy* paketindeki *MWPotential2014* kodunda tanımlanan Galaktik potansiyel bileşenlerine uygun olarak hesaplanmıştır. Yıldızların Galaksi merkezine olan ortalama uzaklıklıklarına (R_m) göre radyal metal bolluğu gradyentleri anakol yıldızları için $0 < Z_{max} \leq 0.5$, $0.5 < Z_{max} \leq 0.8$, $0.8 < Z_{max} \leq 1$ ve $1 < Z_{max} \leq 1.5$ kpc uzaklık aralıklarında,

sırasıyla, -0.083±0.030, -0.048±0.037, +0.112±0.059 ve +0.114±0.140 dex/kpc olarak hesaplanmıştır. Proje çalışmasındaki KY yıldızları için ise $0 \leq Z_{max} \leq 0.5$, $0.5 < Z_{max} \leq 1$, $1 < Z_{max} \leq 2$ ve Z_{max}>2 kpc uzaklık aralıkları için, sırasıyla, -0.025±0.002, -0.003±0.001, +0.024±0.004 ve +0.030±0.001 dex/kpc olarak hesaplanmıştır. Her iki grup yıldızın dört farklı Z_{max} aralığı için hesaplanan radyal metal bolluğu gradyentleri Galaktik düzlemden uzaklaştıkça negatif değerlerden önce sıfır değerine ardından pozitif değerlere ulaşmaktadır. Bu bulgular radyal metal bolluğu gradyentlerinin Galaksimizin ince disk popülasyonun etkin olduğu bölgelerde negatif, kalın disk bileşenin etkin olduğu bölgelerde ise pozitif değerlerde bulunduğunu göstermektedir.

Galaktik yörünge parametrelerine göre hesaplanan radyal metal bolluğu gradyentlerinin literatür taraması Tablo 5.2'de verilmiştir. Bu yöntemle Galaktik disk incelemelerinde kullanılan nesneler F-G anakol yıldızları, KY yıldızları ve açık kümelerdir. Bu yöntemi kullanan güncel bir çalışma projemizde üretilen ve sonuçları SCI kapsamındaki bir dergide yayımlanan Plevne vd.'ne (2015) aittir. RAVE DR4 kataloğundaki F-G tayf türü anakol yıldızlarını seçerek [Fe/H] ve [M/H] parametreleri için R_m uzaklıklarına göre radyal metal bolluğu gradyentleri elde edilmiştir. [Fe/H] ve [M/H] bollukları için $0 \leq Z_{max} \leq 0.5$ ve $0.5 < Z_{max} \leq 0.8$ kpc uzaklık aralıklarında hesaplanan gradyentler, sırasıyla, (-0.083±0.030, -0.063±0.011) ve (-0.048±0.037, -0.028±0.057) dex/kpc'tir. Projemizdeki KYyıldızlarından hesaplanan metal bolluğu gradyentleri Önal Taş vd. (2016) tarafından literatüre kazandırılmıştır. Projemizdeki aynı uzaklık aralıkları ve [Fe/H] bollukları için sırasıyla, -0.025±0.002 ve -0.003±0.001 dex/kpc bulunmuştur. İki çalışmanın karşılaştırılmasından Önal Taş vd.'den (2016) bulunan sonuçların Plevne vd.'ne (2015) göre, sırasıyla, yaklaşık 3.3 ve 16 kat daha pozitif değerlerde bulunduğu görülmüştür.

RAVE DR3 verilerinden seçilen F-G tayf türü anakol yıldızlarını kullanan Coşkunoğlu vd. (2011), Bensby vd.'nin (2003; 2005) yüksek olasılıklı ince disk yıldızları (*TD/D≤0.1*) için ve yıldızların Galaktik yörünge parametrelerinden hesaplanan dikey basıklık parametresine göre ($e_v \leq 0.04$) her bir tayf türü için radyal metal bolluğu gradyentlerini ayrı ayrı hesaplamıştır. F-G tayf türündeki anakol yıldızların olasılık sınırlamasına (*TD/D≤0.1*) göre hesaplanan radyal metal bolluğu gradyentleri, sırasıyla, -0.043±0.005 ve 0.033±0.007dex/kpc'dir. Öte yandan dikey yörünge basıklığından ($e_v \leq 0.04$) ince diski en iyi temsil eden örnek seçildiğinde F-G tayf türündeki anakol yıldızları için hesaplanan radyal metal bolluğu gradyentleri ise -0.051±0.005 ve -0.020±0.006 dex/kpc'dir. Coşkunoğlu vd.'nin (2011) *TD/D≤0.1* ve $e_v \leq 0.04$ sınırlamalarıyla seçilen G tayf türü anakol yıldızlarından hesaplanan radyal metal bolluğu gradyentleri,

projemizde $0 \leq Z_{max} \leq 0.5$ kpc aralığındaki KY yıldızlarından hesaplanan değerlerle uyumludur. F tayf türündeki anakol yıldızlarından hesaplanan metal bolluğu gradyentleri ise çalışmamızda hesaplanan değerlerden yaklaşık iki kat büyüktür.

Bilir vd. (2012), RAVE DR3 verilerinden 6781 KY yıldızını seçerek Coşkunoğlu vd.'nin (2011) izlediği yöntemle yıldızları popülasyon türlerine ve dikey yörünge basıklıklarına ayırarak radyal metal bolluğu gradyentlerini hesaplamıtır. Bensby vd.'nin (2003; 2005) yüksek olasılıklı ince disk popülasyonu kriterine (*TD/D≤0.1*) göre hesaplanan radyal metal bolluğu gradyenti -0.041±0.003 dex/kpc ve dikey basıklık sınırına ($e_v \leq 0.07$) göre hesaplanan radyal metal bolluğu gradyenti de -0.041±0.007 dex/kpc'dir. Ayrıca bu araştırmacılar dikey basıklık sınırını $e_v \leq 0.07$'den $e_v \leq 0.12$'ye çektiklerinde örnekteki yıldız sayısı üç kat artmış ve radyal metal bolluğu -0.025±0.040 dex/kpc olarak hesaplanmıştır. Aynı yıldız türünü inceleyen bu iki çalışmadaki radyal metal bolluğu gradyentleri karşılaştırıldığında hem yıldız popülasyonlarından hem de dikey basıklık parametresine uygulanan sınırlamadan ($e_v \leq 0.07$) elde edilen değerler bu projedekinden iki kat daha büyükken, dikey basıklık parametresi sınırının $e_v \leq 0.12$'ye çekilmesiyle hesaplanan radyal metal bolluğu gradyentleri projemizdeki $0 \leq Z_{max} \leq 0.5$ kpc uzaklık aralığı için birebir uyumludur.

5.2.3. Yıldızların Z_{max} ve e_p Dağılımlarına Göre

Tablo 5.2'den görülebileceği gibi literatürdeki radyal metal bolluğu gradyenti çalışmalarında çok farklı sonuçlar elde edilmiştir. Bunun ana nedeni hem diski temsil eden nesnelerden hem de kullanılan nesnenin uzaklık tayin yönteminden kaynaklanmaktadır. Projemizde literatürde kullanılan yöntemler dışında yeni bir sınırlama daha getirilerek daha güçlü radyal metal bolluğu gradyentlerinin hesaplanabilir olduğu gösterildi. İncelenen yıldız örneğinin hem Galaktik düzlemden olan dik uzaklıklarının hem de yörünge düzlemi üzerindeki basıklık değerlerinin dikkate alınması durumunda literatürde verilen tüm değerlerin sağlanabildiği gösterilmiştir. RAVE F-G tayf türü ana kol yıldızlarının Z_{max} ve e_p parametrelerine getirilen sınırlamaların ancak kısıtlı bir uzaklık aralığı için (800 pc'e kadar) kullanılabileceği projemizde ve Plevne vd.'nin (2015) çalışmasında gösterilmiştir. Projemizdeki KY yıldızları için yeni yöntemin uygulanmasında Galaktik düzlemden olan dik uzaklık aralıkları (Z_{max}) $0 \leq Z_{max} \leq 0.5$, $0.5 < Z_{max} \leq 1$, $1 < Z_{max} \leq 2$ ve $Z_{max} > 2$ kpc olarak ve her bir Z_{max} aralığı da dört farklı yatay basıklık (e_p) değerine göre gruplanmış, $e_p \leq 0.05$, $e_p \leq 0.07$, $e_p \leq 0.10$ ve $e_p \leq 0.20$, ve her grup için radyal metal bolluğu gradyentleri hesaplanmıştır (ayrıntılar için bkz. Önal Taş vd., 2016). Yapılan analizlerde en güçlü gradyentin $0 \leq z_{max} \leq 0.5$ kpc aralığında olduğu görülmektedir. Yörünge

basıklıklarının artmasıyla birlikte ($e_p \leq 0.05$'ten, $e_p \leq 0.20$'ye doğru) radyal metal bolluğu gradyentleri -0.089±0.010 dex/kpc'ten -0.044±0.002 dex/kpc'e azalmıştır. $0.5 < Z_{max} \leq 1$ kpc uzaklık aralığında ise aynı yörünge basıklığı değişimi için radyal metal bolluğu gradyentleri -0.039±0.011 dex/kpc'ten, -0.031±0.002 dex/kpc'e azalmıştır. Fakat bu değişim hemen hemen sabittir. Son iki uzaklık aralığında ise, $Z_{max} > 1$ kpc, yörünge basıklık değişimlerinden sıfır ya da pozitif radyal metal bolluğu gradyentleri elde edilmiştir. Bu sonuçlar küçük Z_{max} aralıklarında güçlü, büyük Z_{max} aralıklarında ise zayıf veya pozitif radyal metal bolluğu gradyentlerini vermektedir. Sonuçlar Tablo 5.2'de verilen literatür değerleriyle uyumludur. Elde edilen bu bulgular, Chiappini vd.'nin (1997) Galaksinin ikili çökme modeliyle uyumludur. İnce diskte görülen negatif radyal metal bolluğu gradyenti içten dışı doğru oluşumu desteklerken, kalın disk popülasyonunda görülen pozitif radyal metal bolluğu gradyenti ise birleşme senaryolarının etkin olduğunu göstermektedir.

5.3. RAVE Yıldızlarının Galaktik Düzleme Dik Doğrultudaki Metal Bolluğu Gradyentleri

5.3.1. Yıldızlarının Bugünkü Konumlarından

Projemizdeki anakol yıldızlarının Güneş civarına çok yakın bulunmaları nedeniyle Galaktik düzleme dik doğrultuda metal bolluğu gradyentleri hesaplanmamıştır. Fakat projemizdeki KY yıldızları $0 < |Z| < 3$ kpc aralığında bulunduklarından bugünkü konumlarına göre Galaktik düzleme dik doğrultuda metal bolluğu gradyenti hesabı yapılarak -0.219±0.003 dex/kpc değeri bulunmuştur. Son onbeş yıl içerisinde Galaksinin farklı bölgelerine uzanan çeşitli nesneler kullanılarak elde edilen Galaktik düzleme dik doğrultudaki metal bolluğu gradyent çalışmaları Tablo 5.3'te listelenmiştir. Projede hesaplanan Galaktik düzleme dik doğrultudaki metal bolluğu gradyent değeri literatürdeki benzer uzaklık sınırları içerisinde farklı yıldız türleriyle yapılan çalışmalarla kıyaslandığında genel olarak uyumludur. Farklı nesnelerle ve bugünkü konumlarına göre hesaplanan Galaktik düzleme dik doğrultudaki metal bolluğu gradyent çalışmaları, projede elde edilen sonuçla karşılaştırılarak aşağıda ayrıntılı olarak verilmiştir.

Peng vd.'nin (2012) BATC ve SDSS taramasından seçtikleri orta Galaktik enlemlerdeki yıldız alanlarında ve $0<Z<2$ kpc uzaklık aralığında bulunan anakol yıldızlarından hesapladıkları dikey metal bolluğu değeri, -0.210±0.003 dex/kpc olup bu değer çalışmamızdakine çok yakındır. Chen vd. (2011), SDSS taramasının DR8 verilerinden seçilen, $1<|Z|<3$ kpc aralığındaki kırmızı yatay kol yıldızlarını kullanarak dikey metal bolluğu gradyentini -0.220±0.020 dex/kpc bulmuştur. Ak vd.'nin (2007b) SDSS verilerinden seçilen kuzey ve güney Galaktik yarı kürelerde bulunan G-tayf türü anakol yıldızlarını kullanarak, $Z<3$ kpc dik uzaklık aralığı için hesapladıkları dik doğrultudaki metal bolluğu gradyentleri, sırasıyla, -0.160±0.020 dex/kpc ve

-0.220±0.020 dex/kpc'tir. Özellikle güney Galaktik yarı küredeki yıldızlardan hesaplanan dik doğrultudaki metal bolluğu gradyent değeri, çalışmada hesaplanan değerle uyumlu olmakla beraber kuzey Galaktik yarıküre için hesaplanan gradyent değeri hata mertebeleri içerisinde projemizdekiyle uyumludur. Bartasiute vd.'nin (2003) Z < 1.3 kpc uzaklık aralığındaki F tayf türü anakol yıldızlarıyla yaptığı çalışmada dik doğrultuda kiloparsek başına -0.230±0.040 dex'lik bir metal bolluğu gradyenti hesaplanmıştır. Projedeki RAVE KY yıldızlarının bugünkü konumlarına göre hesaplanan Galaktik düzleme dik doğrultudaki metal bolluğu gradyentlerinin benzer uzaklık aralığında farklı tarama programlarıyla farklı nesneler kullanılarak yapılan ve sonuçları Tablo 5.3'de verilen çalışmalarla uyumlu olduğu görülmüştür.

5.3.2. Yıldızlarının Z_{max} Dağılımlarına Göre

Galaktik yörünge parametrelerine göre hesaplanan Galaktik düzlemden dik doğrultudaki metal bolluğu gradyenti için güncel çalışma projemizden elde edilen sonuçların SCI kapsamındaki bilimsel bir dergide yayımlanan Plevne vd.'ne (2015) aittir. RAVE DR4'teki F-G tayf türü anakol yıldızlarının incelenmesiyle Z_{max} ≤ 825 pc ve Z_{max} ≤ 1.5 kpc uzaklıklarında Galaktik düzlemden dik doğrultudaki metal bolluğu gradyentlerini, sırasıyla, -0.176±0.039 ve -0.119±0.036 dex/kpc hesaplamıştır. KY yıldızlarının Galaktik yörünge parametrelerinin elde edilmesiyle hesaplanan Galaktik düzlemden dik doğrultudaki metal bolluğu gradyentlerinin hesabı yıldızların %99'unun Z_{max} ≤ 3 kpc içerisinde yer aldığı uzaklık aralığı için yapılmış ve Galaktik düzlemden dik doğrultudaki metal bolluğu gradyenti -0.157±0.002 dex/kpc olarak bulunmuştur (Önal Taş vd. 2016). Elde edilen bu sonuç yıldızların bugünkü konumlarından itibaren hesaplanan Galaktik düzlemden dik doğrultudaki metal bolluğu gradyentinden (-0.219±0.003 dex/kpc) mutlak olarak daha küçüktür. Bunun nedeni Galaktik düzlemden dik doğrultudaki metal bolluğu gradyent hesaplarında incelenen $|Z|$ ve Z_{max} aralıklarındaki yıldız uzaklıklarının homojen bir dağılım göstermemesidir. Projemizde elde edilen sonuçlar ile literatürden derlenen Galaktik düzlemden dik doğrultudaki metal bolluğu gradyenti çalışmaları Tablo 5.4'de listelenmiştir. Farklı nesnelerle ve Galaktik yörünge parametrelerine göre hesaplanan Galaktik düzlemden dik doğrultudaki metal bolluğu gradyent çalışmaları, projemizde elde edilen sonuçla karşılaştırılarak aşağıda ayrıntılı olarak verilmiştir.

RAVE DR3 verilerindeki 6,781 KY yıldızını inceleyen Bilir vd. (2012), yıldızların kinematik ve dikey Galaktik yörünge basıklığına sınır getirerek, dik doğrultudaki metal bolluğu gradyentlerini hesaplamışlardır (Tablo 5.2). Bensby vd.'nin (2003; 2005) kinematik ayrımını (TD/D) dikkate alan araştırmacılar, en yüksek olasılıklı ince disk yıldızlarını (TD/D≤ 0.1) ve ayrıca dikey basıklık oranına (e_v<0.07) sınırlama getirerek dikey metal bolluğu gradyentlerini, sırasıyla,

-0.109±0.008 ve -0.260±0.031 dex/kpc olarak hesaplamıştır. Bilir vd.'nin (2012) elde ettiği bu değerler projede bulunan değere daha yakındır. Fakat Bilir vd.'nin (2012) kinematik kriterlere göre seçtiği örnek Z_{max}=3 kpc'e kadar ulaşmasına karşın, örneğin büyük kısmı 1.5 kpc'ten daha küçük uzaklıklarda yer almaktadır. Yapılan bu proje çalışmasında ise KY yıldızları Bilir vd.'ne (2012) göre üç kat daha fazla yıldız içermekte ve Galaktik düzleme dik doğrultudaki metal bolluğu gradyent hesabında dikkate alınan Z_{max} aralıklarına hemen hemen eşit sayıda yıldız düşmektedir; bu da elde edilen istatistiksel sonuçların duyarlılığını arttırmaktadır. *Hipparcos* uydu verilerini kullanan Soubiran vd. (2008), Güneş civarında 1 kpc'lik uzay hacmi içinde bulunan KY yıldızlarını belirleyerek Galaktik düzleme dik doğrultudaki metal bolluğu gradyentini -0.300±0.030 dex/kpc olarak hesaplamıştır. Ayrıca araştırmacılar örneklerindeki KY yıldızlarının Galaktik yörünge parametrelerini hesaplayarak $Z_{max} \leq$ 1.2 kpc aralığındaki yıldızlardan Galaktik düzleme dik doğrultudaki metal bolluğu gradyentini -0.310±0.060 dex/kpc bulmuştur. Bu gradyent değerlerinin projemizde elde edilen sonuçla karşılaştırıldığında daha dik olduğu görülmektedir. Bunun nedeni Soubiran vd.'nin (2008) kullandığı KY yıldızlarının çoğunlukla ince disk bileşenine ait olmasıdır. Projemizdeki KY yıldızları ise $Z_{max} \leq$ 3 kpc'e kadar uzandığından iki farklı popülasyonun etkisini içermektedir. Bu da Galaktik düzleme dik doğrultuda hesaplanan metal bolluğu gradyentinin daha sığ çıkmasına neden olmaktadır. Çalışmamızda elde edilen Galaktik düzleme dik doğrultudaki metal bolluğu gradyenti Galaksi diskinin bütünü için verilmiştir.

5.3.3 Yıldızların Z_{max} ve e_p Dağılımlarına Göre

Projemizde metal bolluğu gradyentinin hesaplanması için literatüre yeni bir yöntem önerilmiştir. Galaktik diskteki metal bolluğu gradyentlerinin hesaplanmasında yıldızların Galaktik düzlemden olan dik uzaklıklarıyla, Galaktik düzlem üzerindeki yörünge basıklığının dikkate alınması durumunda duyarlı sonuçlara ulaşıldığı görülmüştür. Galaktik düzlemden 0 ile 3 kpc aralığındaki KY yıldızları kullanılarak dikey doğrultudaki metal bolluğu gradyentleri $e_p \leq 0.05$, $e_p \leq 0.07$, $e_p \leq 0.10$ ve $e_p \leq 0.20$ aralıkları için sırasıyla, $d[Fe/H]/dZ_{max}$=-0.175±0.007, -0.156±0.006, -0.153±0.004, -0.144±0.002 dex/kpc olarak hesaplanmıştır. Yatay yörünge basıklığına getirilen ilk sınırlama ($e_p \leq 0.05$) ile son sınırlama ($e_p \leq 0.20$) yıldız sayısı bakımından dikkate alındığında yaklaşık 10 katlık bir artış olmasına rağmen, hesaplanan Galaktik düzleme dik doğrultuda metal bolluğu gradyentleri birbirine çok yakındır. Bu sonuçlar Galaksi diskine ait Galaktik düzleme dik doğrultuda metal bolluğu gradyentinin -0.175±0.007 ile -0.144±0.002 dex/kpc aralığında değiştiğini göstermektedir ki bu da literatürde şimdiye kadar Güneş civarındaki KY yıldızlarından itibaren yapılmış en büyük örnekten elde edilmiştir.

5.4. SDSS Yıldızlarından Radyal Metal Bolluğu Gradyentleri

F-G tayf türü anakol yıldızlarından oluşan SDSS örneğine projemizde elde edilen metal bolluğu ve uzaklık kalibrasyonları uygulanarak her bir yıldızın [Fe/H] fotometrik metal bolluğu ile M_g mutlak parlaklığı hesaplanmış ve yıldızların uzaklıkları Pogson bağıntısı kullanılarak tayin edilmiştir (Tunçel Güçtekin vd. 2016; 2017). SDSS yıldızları kullanılarak radyal metal bolluğu gradyent hesabı için yıldızların Güneş'e uzaklıkları, Galaksi merkezine 4.13 bağıntısıyla taşınmıştır. Yıldızlar Galaktik boylamlarına göre 20'şer derecelik boylam aralıklarına bölünerek 18 alt grupta toplanmıştır. Her bir gruptaki yıldızlar da Güneş'e uzaklıkları bakımından $0.5 < d \leq 2$ kpc aralığı için 0.5 kpc'lik, $2 < d \leq 10$ kpc aralığı için 1 kpc'lik ve $10 < d \leq 16$ kpc aralığı için de 2 kpc'lik uzaklık aralıklarına ayrılarak bu aralıklara düşen yıldız sayısı, medyan R ve Z değerleri hesaplanmıştır. Gruptaki yıldızların metal bolluğu değerlerinin tayininde ise her bir uzaklık aralığı için metal bolluğu histogramları çizilmiş ve her bir dağılıma Gauss eğrisi geçirilmiştir. Bu şekilde her bir uzaklık aralığı için ortalama bir metal bolluğu değeri hatasıyla birlikte hesaplanmıştır. Daha sonra her bir grubun yoğunluk profilleri oluşturularak radyal metal bolluğu gradyentinin hesaplanmasına hazır hale getirilmiştir.

RAVE yıldızlarına uygulanan yöntemin aksine SDSS yıldızlarından hesaplanan radyal metal bolluğu gradyentlerinde her bir alt grupta seçilen uzaklıklara karşılık gelen metal bolluğu değerleri bir arada değerlendirilerek radyal metal bolluğu gradyentleri Galaktik enlemin bir fonksiyonu olarak hesaplanmıştır. Şekil 4.19'dan da görüleceği gibi $0.5 < d \leq 1$, $1 < d \leq 1.5$ ve $1.5 < d \leq 2$ kpc uzaklık aralıkları için radyal metal bolluğu gradyentleri, sırasıyla, -0.011 ± 0.022, -0.029 ± 0.013 ve -0.041 ± 0.011 dex/kpc olarak elde edilmiştir. 2 kpc'ten öte uzaklıklarda ise metal bolluğu gradyentleri sıfır veya pozitif değerlerde hesaplanmıştır. $0.5 < d \leq 2$ kpc uzaklık aralığında elde edilen metal bolluğu gradyentleri -0.01 ile -0.041 dex/kpc aralığında olup proje çalışmasında Tablo 5.1-5.4'te listelenen literatür verileriyle genel bir uyum içindedir. Cunha vd. (2016) Galaksi merkezinden $6 < R_{gc} < 25$ kpc uzaklık aralığında yer alan açık kümelerden -0.035 ± 0.007 dex/kpc, Mikolatis vd. (2014) ince diskte bulunan FGK tayf türündeki anakol yıldızlarından -0.044 ± 0.009 dex/kpc, Boeche vd. (2013) FG tayf türündeki anakol yıldızlarından itibaren $7.6 < R_{gc} < 8.3$ kpc aralığı için radyal metal bolluğu gradyentini -0.029 ± 0.011 dex/kpc olarak hesaplamışlardır. Proje çalışmamızda Güneş'ten 2 kpc ötede seçilen uzaklık aralıklarından hesaplanan radyal metal bolluğu gradyentleri -0.007 ile +0.014 dex/kpc aralığındadır. İncelenen bu uzaklıkların Galaktik düzlemden olan dik uzaklıkları 1.75 kpc'den daha büyüktür. Recio-Blanco vd. (2014) ve Mikolaitis vd. (2014) Galaksimizin kalın disk popülasyonuna ait FGK anakol yıldızlarını analiz ederek radyal metal bolluğu gradyentini, sırasıyla, $+0.006 \pm 0.008$ ve $+0.008 \pm 0.007$ dex/kpc olarak hesaplamışlardır. Ruchti vd. (2011)

$5<R_{gc}<10$ ve $|Z|<3$ kpc uzaklıklarında bulunan yatay kol, kırmızı yığın, alt dev ve anakol yıldızı gibi farklı ışıma gücündeki yıldızları kullanarak radyal metal bolluğu gradyentini +0.010 ± 0.040 dex/kpc olarak hesaplamıştır. Ayrıca $1<|Z|\leq3$ kpc uzaklık aralığında bulunan F-G tayf türü anakol yıldızlarının düşük çözünürlüklü SEGUE tayflarının analizini yapan Allende Prieto vd. (2006) radyal metal bolluğu gradyentini 0 dex/kpc olarak hesaplamıştır. Bu sonuçlar proje çalışmasında elde edilen değerlerle uyum içindedir.

5.5. SDSS Yıldızlarından Galaktik Düzleme Dik Doğrultudaki Metal Bolluğu Gradyentleri

SDSS yıldızları kullanılarak Galaktik düzleme dik doğrultudaki metal bolluğu gradyentinin hesaplanmasında Tunçel Güçtekin vd.'nin (2017) projemizde oluşturduğu metal bolluğu ve uzaklık kalibrasyonları kullanılmıştır. Yıldızların Güneş'e uzaklıkları ve Galaktik enlemleri dikkate alınarak Galaktik düzlemden olan dik uzaklıkları belirlenmiş ve metal bolluklarıyla aralarındaki ilişkiler araştırılmıştır. Projede popülasyonların etkinlik sınırlarına göre belirlenen $0.5 < Z \leq 5$, $0.5 < Z \leq 2$, $2 < Z \leq 5$, $5 < Z \leq 10$ ve $10 < Z \leq 13$ kpc uzaklıklarındaki yıldızlar dikkate alınarak Galaktik düzleme dik doğrultudaki metal bolluğu gradyentleri,sırasıyla, -0.207 ± 0.012, -0.307 ± 0.018, -0.167 ± 0.014, -0.007 ± 0.002 ve +0.004 ± 0.003 dex/kpc olarak hesaplanmıştır. İncelenen ilk uzaklık aralığı Galaksi diskinin etkin olduğu bölgeyi ifade etmekte olup yaklaşık -0.2 dex/kpc'lik metal bolluğu değişimini göstermektedir. Galaktik düzlemden 5 kpc uzaklıktaki bölgelerden elde edilen metal bolluğu gradyentleri sıfır veya pozitif değerlerdedir. Bu sonuçlar Galaktik diskte bir metal bolluğu gradyentinin varlığına işaret ederken haloda bir gradyentin bulunmadığını göstermektedir. Proje çalışmasındaki bu sonuçlar Bölüm 5.1'de verilen Tablo 5.3 ile uyum içindedir. Hayden vd. (2014) $0 < Z \leq 2$ kpc uzaklık aralığındaki kırmızı dev yıldızları kullanarak Galaktik düzlemden dik doğrultudaki metal bolluğu gradyentini -0.305 ± 0.011 dex/kpc bulmuştur. Orta Galaktik enlemli ve Galaktik düzlemden $Z \leq 2.5$ kpc uzaklığında bulunan F-G tayf türü anakol yıldızlarını kullanarak Galaktik düzleme dik doğrultuda metal bolluğu gradyentini araştıran Yaz vd. (2010) -0.32 dex/kpc sonucunu elde etmiştir. Ayrıca $6 < Z < 10$ kpc uzaklık aralığındaki aynı tür yıldızları kullanarak metal bolluğu gradyentini -0.01 ± 0.01 dex/kpc olarak hesaplamıştır. Yüksek çözünürlüklü ESO tayf verilerini analiz eden Kordopatis vd. (2011) $1 \leq Z \leq 4$ aralığında bulunan FGK anakol yıldızları için metal bolluğu gradyentini -0.140 ± 0.050 dex/kpc hesaplamıştır. Proje çalışmasında literatürdekine benzer uzaklık aralığı ($2 < Z \leq 5$ kpc) için hesaplanan -0.167 ± 0.014 dex/kpc değeriyle uyumludur. Literatür karşılaştırmalarından görüleceği gibi projemizde farklı uzaklık aralıkları için elde edilen metal bolluğu gradyent değerleri farklı araştırmacıların benzer uzaklık aralıkları için elde edilenlerle uyum içindedir.

5.6. SDSS Yıldızlarından Elde Edilen Sonuçların Galaxia Modeliyle Karşılaştırılması

Projemizde kullanılan F-G tayf türü anakol yıldızlarından itibaren hesaplanan Galaktik düzleme dik doğrultudaki metal bolluğu gradyentleri bir önceki bölümde ayrıntılı bir şekilde anlatılmış ve literatürdeki benzer çalışmalarla karşılaştırılmıştır. Projemizde sentetik yıldız sayımı yapan *Galaxia* programı çalışmamızda kullanılan yıldız alanlarına uygulanmıştır. Uygulamada kolaylık olması açısından dört Galaktik çeyrek ($0^o < l \leq 90^o$, $90^o < l \leq 180^o$, $180^o < l \leq 270^o$ ve $270^o < l \leq 360^o$) ve üç Galaktik enlem ($50^o < b \leq 65^o$, $65^o < b \leq 80^o$ ve $80^o < b \leq 90^o$) aralıklarında 500 derecekarelik yıldız alanlarında *Galaxia* programı kullanılarak sentetik yıldızlar üretilmiştir. Daha önce söz edildiği gibi projemizdeki SDSS verileri 5,280 derecekare büyüklüğündeki alanlarda bulunurken, sentetik olarak *Galaxia* programından oluşturulan yıldızlar 4,500 derecekare büyüklüğündeki gökyüzü alanları için üretilmiştir.

Galaktik düzleme dik doğrultuda hesaplanan metal bolluğu gradyentlerinin Galaktik enlem ve boylama bağlı olup olmadığını araştırmak ve buradan elde edilecek sonuçların *Galaxia* programıyla karşılaştırmak için SDSS yıldızları dört Galaktik boylam ve üç Galaktik enlem aralıklarına ayrılmıştır. *Galaxia*'dan elde edilecek sonuçlar için her bir Galaktik çeyrek ile bulundukları Galaktik enlemin merkezi koordinatları belirlenerek bu noktaların etrafında 500 derece kare büyüklüğündeki yıldız alanları için sentetik yıldızlar üretilmiştir. Üretilen bu yıldızlarda SDSS fotometrik verilerini ve F-G tayf türü anakol yıldızlarını belirleyecek şekilde bazı kısıtlamalara gidilmiştir. Bunun için sentetik yıldızların ışıma gücü sınıfında $4 < \log g$ (cgs) < 5 ve sıcaklıkta $5310 \leq T_{eff}$ (K) ≤ 7310 sınırlamaları getirilmiştir. Proje çalışmasındaki gözlemsel SDSS verileri $14 < g_o \leq 20$ kadir aralığında bulunduğundan bu şart son bir sınırlama olarak dikkate alınıp *Galaxia* verilerine uygulanmıştır.

Projemizde Galaktik düzlemden itibaren beş farklı uzaklık aralığı için elde ettiğimiz metal bolluğu gradyentlerini Galaktik çeyrekler ve Galaktik boylam aralıkları için yeniden hesaplayarak metal bolluğu gradyentlerinin Galaktik enlem ve boylamla değişimleri daha ayrıntılı incelenmiş ve elde edilen bulgular Tablo 4.3'te verilmiştir. Benzer bir tablo, *Galaxia* modelinden elde edilen sonuçlar için oluşturulmuş ve Tablo 5.5'te listelenmiştir.

Galaxia programından $0.5 < Z \leq 2$ kpc'lik uzaklık aralığı ve üç farklı Galaktik enlem aralığı için hesaplanan Galaktik düzlemden dik doğrultudaki metal bolluğu gradyentleri değerlendirildiğinde ortalama olarak yaklaşık -0.34, -0.30 ve -0.28 dex/kpc sonuçları elde edilmektedir. Bu sonuçlar Galaktik çeyreklerde bir fark göstermemektedir. $0.5 < Z \leq 2$ kpc'lik uzaklık aralığındaki gözlemsel sonuçlar da *Galaxia*'nın elde ettiği sonuçlara çok yakın değerlerde olup gözlemsel veriler modelle uyum içerisindedir.

Tablo 5.5 Üç farklı Galaktik enlem ve dört farklı Galaktik boylam aralıklarını ifade eden koordinatlarda 4,500 derece karelik alanlar için hesaplanan (*Galaxia*) F ve G anakol yıldızlarının sayıları, metal bollukları ve metal bolluğu gradyentleri.

		⟨*b*⟩=57°			⟨*b*⟩=72°			⟨*b*⟩=85°		
Z **(kpc)**	***l*** **(°)**	***N***	**[Fe/H] (dex)**	**d[Fe/H]/d*Z*** **(dex/kpc)**	***N***	**[Fe/H] (dex)**	**d[Fe/H]/d*Z*** **(dex/kpc)**	***N***	**[Fe/H] (dex)**	**d[Fe/H]/dZ (dex/kpc)**
	45	121799	-0.71	-0.340±0.025	68580	-0.72	−0.300±0.022	54203	-0.72	−0.287±0.021
0.5<*Z*≤2	135	79498	-0.67	−0.340±0.019	56180	-0.70	−0.310±0.020	51273	-0.71	−0.297±0.021
	225	80405	-0.67	−0.344±0.021	57177	-0.70	−0.309±0.021	52242	-0.72	−0.282±0.021
	315	124116	-0.70	−0.346±0.027	70491	-0.72	−0.288±0.024	55185	-0.72	−0.275±0.020
	45	313339	-0.83	−0.120±0.008	169134	-0.85	−0.142±0.006	127447	-0.85	−0.159±0.007
0.5<*Z*≤5	135	148210	-0.81	−0.200±0.007	116955	-0.83	−0.192±0.007	114662	-0.84	−0.177±0.007
	225	146569	-0.81	−0.221±0.008	118361	-0.83	−0.194±0.008	117136	-0.84	−0.174±0.007
	315	318279	-0.83	−0.120±0.008	172913	-0.85	−0.141±0.006	129679	-0.85	−0.161±0.006
	45	191540	-0.91	−0.087±0.004	100554	-0.93	−0.141±0.007	73244	-0.95	−0.173±0.011
2<*Z*≤5	135	68712	-0.96	−0.217±0.012	60775	-0.96	−0.218±0.012	63389	-0.96	−0.200±0.013
	225	66164	-0.97	−0.256±0.013	61184	-0.96	−0.222±0.012	64894	-0.95	−0.201±0.012
	315	194163	-0.91	−0.086±0.004	102422	-0.93	−0.139±0.008	74494	-0.94	−0.177±0.010
	45	79628	-1.55	-0.107±0.017	54736	-1.65	-0.074±0.012	43325	-1.67	-0.058±0.010
5<*Z*≤10	135	30681	-1.72	-0.039±0.007	33369	-1.71	-0.044±0.008	37576	-1.69	-0.050±0.008
	225	30481	-1.72	-0.025±0.006	33515	-1.71	-0.042±0.006	37563	-1.69	-0.047±0.008
	315	80223	-1.54	-0.104±0.017	56071	-1.64	-0.077±0.013	43341	-1.67	-0.062±0.010
	45	14027	-1.74	-0.008±0.005	13195	-1.78	-0.011±0.006	11607	-1.78	-0.015±0.007
10<*Z*≤13	135	7559	-1.82	-0.016±0.010	9188	-1.80	-0.017±0.006	10627	-1.79	−0.006±0.007
	225	7759	-1.78	+0.003±0.004	9526	-1.78	-0.006±0.008	1000	-1.35	-0.008±0.009
	315	13716	-1.71	-0.016±0.004	13501	-1.78	-0.010±0.005	1143	-1.34	−0.006±0.004

Galaxia programından 0.5 < *Z* ≤ 5 kpc'lik uzaklık aralığı ve üç farklı Galaktik enlem aralığı için hesaplanan Galaktik düzlemden dik doğrultudaki metal bolluğu gradyentleri değerlendirildiğinde ikinci ve üçüncü Galaktik çeyreklerdeki sonuçlar ile birinci ve dördüncü Galaktik çeyreklerdeki sonuçların birbiriyle uyumlu olduğu ve aralarında yaklaşık 0.1 dex/kpc'lik bir fark olduğu görülmektedir; yani birinci ve dördüncü galaktik çeyreklerde elde edilen gradyentler, ikinci ve üçüncü çeyreklerdekilere göre daha küçüktür. Bu durum her üç Galaktik enlemde de aynı olmakla birlikte artan enlemle birlikte fark azalmaktadır. Aynı uzaklık aralığındaki gözlemsel sonuçlar (Tablo 4.3) Galaktik enlem ve boylama göre incelendiğinde metal bolluğu gradyentlerinin hemen hemen birbirine yakın ve yaklaşık olarak -0.20 dex/kpc değerinde olduğu tespit edilmiştir. Gözlemlerdeki

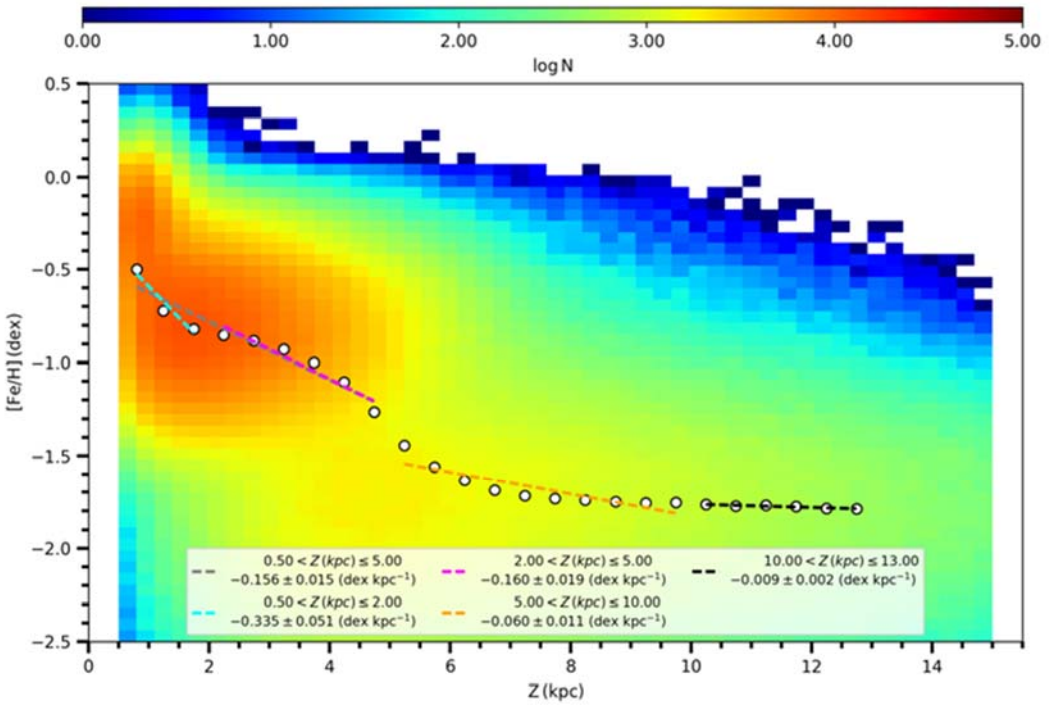
bu sonuç, *Galaxia*'nın ikinci ve üçüncü Galaktik çeyreklerdeki sonuçlarıyla birebir aynıyken, birinci ve dördüncü çeyrektekilerden yaklaşık 0.1 dex/kpc'lik bir fark göstermektedir.

Kalın diskin etkin olduğu $2 < Z \leq 5$ kpc'lik uzaklık aralığı için *Galaxia* programının elde edilen sonuçlar incelendiğinde (Tablo 5.5) ikinci ve üçüncü Galaktik çeyrekler için elde edilen metal bolluğu gradyentlerinin birinci ve dördüncü Galaktik çeyreklerdekine göre 0.15 dex/kpc'ye varan değişimler gösterdiği tespit edilmiştir. Yüksek enlemlere doğru bu fark 0.03 dex/kpc'e kadar azalmaktadır. Aynı uzaklık aralığının gözlemsel verileri analiz edildiğinde ortalama metal bolluğu gradyentinin -0.16 ile -0.17 dex/kpc aralığında bulunduğu görülmektedir. Bu sonuçlar, Galaktik çeyrekler ve Galaktik enlemle bir değişim göstermemektedir.

Galaksimizin iç halosunun baskın olduğu $5 < Z \leq 10$ kpc'lik uzaklık aralığı için *Galaxia* programının ürettiği sonuçlar dikkate alındığında, ikinci ve üçüncü çeyreklerdeki metal bolluğu gradyentlerinin birinci ve dördüncü çeyreklerdekilere göre daha küçük olduğu belirlenmiştir. Bu fark, Galaktik enlem büyüdükçe kapanmakta ve eşitlenmektedir. Diğer bölgelerin aksine bu uzaklık aralığında ikinci ve üçüncü çeyreklerdeki değerler birinci ve dördüncüden daha küçüktür. $5 < Z \leq 10$ kpc'lik uzaklık aralığındaki gözlemsel sonuçlar dikkate alındığında metal bolluğu gradyentlerinin 0 değeri civarında dalgalandığı ve ne Galaktik enlemle ne de Galaktik boylamla bir değişim göstermediği görülmüştür.

Son olarak, Galaksimizin dış halosunun etkin olduğu $10 < Z \leq 13$ kpc uzaklık aralığındaki metal bolluğu gradyentleri Galaktik enlem ve boylama göre incelendiğinde 0 değeri civarında hatalar mertebesinde birbirine benzer değerlerde bulunduğu görülmektedir. Gözlemsel sonuçlara bakıldığında ise modellerde belirlenen değerlerle uyumlu olduğu görülmektedir.

Galaxia programından üretilen F-G tayf türü anakol yıldızlarının metal bolluğu profili Şekil 5.1'de verilmiş olup yıldızlar sayı yoğunluklarına göre şeklin üzerinde verilen renk ölçeğinin bir fonksiyonu olarak gösterilmiştir. Gözlemsel verilerden elde edilen Galaktik düzleme dik doğrultudaki metal bolluğu gradyentlerinin karşılaştırılmasını yapabilmek için proje çalışmasının bulgular kısmında belirlenen uzaklık aralıkları *Galaxia* için uyarlanarak Galaktik düzleme dik doğrultuda metal bolluğu gradyentleri elde edilmiştir.



Şekil 5.1 *Galaxia* programı kullanılarak üretilen F-G tayf türü anakol yıldızlarının Galaktik düzlemden dik doğrultuda hesaplanan metal bolluğu gradyentleri. $0 < Z \leq 5$ kpc aralığı düz gri çizgi, $0 < Z \leq 2$ kpc mavi kesikli çizgi, $2 < Z \leq 5$ kpc aralığı kırmızı kesikli çizgi, $5 < Z \leq 10$ kpc aralığı turuncu kesikli çizgi ve $10 < Z \leq 13$ kpc siyah kesikli çizgi ile gösterilmiştir.

Tablo 5.6 Gözlemsel ve sentetik yıldızlar için hesaplanan metal bolluğu gradyent değerleri ve hataları.

Z (kpc)	$(d[Fe/H]/dZ)_{göz}$ (dex/kpc)	$(d[Fe/H]/dZ)_{galaxia}$ (dex/kpc)
$0.5 < Z \leq 2$	-0.307 ± 0.018	-0.335 ± 0.051
$0.5 < Z \leq 5$	-0.207 ± 0.012	-0.156 ± 0.015
$2 < Z \leq 5$	-0.167 ± 0.014	-0.160 ± 0.019
$5 < Z \leq 10$	-0.007 ± 0.002	-0.060 ± 0.011
$10 < Z \leq 13$	+0.004 ± 0.003	-0.009 ± 0.002

Tablo 5.6'da gözlemsel ve sentetik verilerden elde edilen Galaktik düzleme dik doğrultudaki metal bolluğu gradyentleri karşılaştırıldığında her bir uzaklık aralığına hesaplanan gradyent değerlerinin birbirleriyle oldukça uyumlu olduğu görülmektedir. Elde edilen bu sonuçların hem literatürdeki gözlemsel sonuçlarla hem de sentetik yolla hesaplanan gradyent sonuçlarıyla uyumlu olması çalışmamızda üretilen kalibrasyonların başarısını ortaya koymaktadır.

5.7. Sonuçların Galaksi Oluşum Modelleriyle Karşılaştırılması

Samanyolu Galaksisi'nin oluşum ve evriminin gözlemsel ve teorik yöntemlerle açıklanması uzun yıllardır üzerinde durulan sıcak bir konudur. Galaksimizin yapısı, oluşumu ve evrimi hakkında bilgilerimizin artması bugün Evrende farklı kırmızıya kayma gösteren ve farklı evrim aşamalarındaki galaksilerin oluşumlarının anlaşılmasına zemin hazırlamaktadır. Bu nedenle öncelikle kendi Galaksimizin oluşumunun ve evriminin modern gözlem teknikleriyle ortaya konması ve bu bulgulardan kimyasal ve dinamik süreçleri içeren galaksi oluşum modellerinin tasarlanması gerekmektedir. Bunlardan ilki ELS'nin (1962) Güneş civarındaki sınırlı bir örnekten itibaren yıldızların yörünge basıklığı, *W* uzay hızı bileşeni ve yörüngesel açısal momentumlarını dikkate alarak geliştirdiği modeldir. Bu model, halo ile disk arasında Galaktik düzleme dik doğrultuda bir metal bolluğu gradyenti olmasını gerektirir. SZ (1978) modeli ise Galaksimizin halosunda yer alan küresel kümelerin farklı metal bolluklarında bulunmasını dikkate alarak halonun oluşumu için yekpare çöküşü takiben, Galaksimizin cüce galaksilerle birleşmesiyle Galaktik halonun farklı kimyalarda bulunan nesnelerden meydana geldiğini iddia eder. Bu oluşum modeline göre de Galaksinin halosunda Galaktik düzleme dik doğrultuda bir metal bolluğu gradyentinin bulunmaması gerekir. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte Güneş civarında daha geniş bir uzay hacminde bulunan nesnelerin gözlenmesi, yerel grup içerisindeki cüce galaksilerle etkileşimlerin ortaya çıkması Galaksi oluşumunun ve evriminin beklenenden çok farklı olduğunu göstermiştir. Özellikle, SMC ve LMC'den Galaksimize akan madde köprülerinin keşfiyle Samanyolu evriminin izole olmadığı gösterilmiştir (Putman vd. 1998; Lehner, 2001; Fox vd. 2014). Chiappini vd. (1997), Galaksimizin içerisindeki yüksek hızlı bulutların varlığını ve cüce galaksilerden gelen maddeyle birlikte ince diskin zamanla boyutlarının büyüdüğünü gösteren ikili çökme modelini önermişlerdir. Bu modele göre ELS'nin (1962) yekpare çöküş senaryosu kabul edilerek hızlı bir çökmeyle Galaksinin halo ve şişkin bölge bileşenleri meydana gelmiş ve daha sonra yavaş ilerleyen ikinci bir çökmeyle Galaksi diski oluşmuştur. Diskin meydana gelmesinden sonraki süreçte Galaksi birleşmeleri yoluyla Galaksi diski büyümeye devam etmiştir. Galaksi merkezinde yıldızlararası madde daha yoğun ve dinamik etkilere de açık olduğundan, Galaksi sınırındaki bölgelere göre yıldız oluşum oranı açısından daha aktiftir. Bu nedenle, Galaksi merkezine yakın bölgelerdeki yıldızlar metalce zengin olurken, Galaksi merkezinden daha uzaktakiler metalce daha fakirdir. Bu oluşum modelinin bir sonucu olarak, Galaktik merkezinden Galaksi sınırlarına doğru radyal metal bolluğu gradyentinin oluşması beklenir.

Projemizde, ELS'nin (1962) iddia ettiği gibi, Galaksimizin yekpare çökmesiyle dik doğrultuda bir metal bolluğu gradyentinin olduğu farklı türden yıldızlar kullanılarak gösterilmiştir. Bu durum, projemizdeki yıldızların hem Galaktik düzleme dik doğrultuda bugünkü konumlarından

hem de yıldızların Galaktik düzleme dik doğrultuda ulaştıkları en büyük dik uzaklıklardan ve yatay basıklık parametresine göre ayrılan alt-örneklerden elde edilen metal bolluğu gradyentlerinin hesaplanmasıyla gösterilmiştir. Galaktik yörünge parametrelerine göre hesaplanan Galaktik düzleme dik doğrultudaki metal bolluğu gradyentleri, Galaksimizin diski için yaklaşık -0.15 dex/kpc'lik bir sonuç vermektedir. Benzer sonuçlar literatürde Galaktik düzleme dik doğrultudaki metal bolluğu gradyentlerinin, yıldızların bugünkü konumları ve Z_{max} değerlerine göre F-G tayf türü anakol yıldızları, KY yıldızları ve açık kümelerden elde edilmiştir (Önal Taş vd. 2016; Plevne vd. 2015; Xiang vd. 2015; Huang vd. 2015; Mikolaitis vd. 2014; Schlesinger vd. 2014; Bilir vd. 2012). Ayrıca Sharma vd. (2011) tarafından geliştirilen Galaxia sentetik yıldız sayım programı projemizde kullanılmış ve gözlemsel sonuçlarla da uyumlu olduğu gösterilmiştir.

Sonuç olarak, bu proje çalışmasında iki farklı gökyüzü tarama programından seçilen yaklaşık 1,5 milyon anakol ve dev yıldız kullanılarak Galaksi merkezine göre radyal doğrultuda ve Galaktik düzleme dik doğrultuda metal bolluğu gradyentleri elde edilmiş, sonuçlar literatürle karşılaştırılmış ve sonuçların uyumlu olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, güncel bir sentetik yıldız sayımı programı kullanılarak çalışmamızda elde ettiğimiz sonuçlar modellerle karşılaştırılmıştır. Buradan da gözlemsel sonuçların kuramsal sonuçlarla uyumlu olduğu görülmüştür.

Bu proje çalışmasının önemli çıktılarından biri de literatürde ilk kez büyük bir veri setinden itibaren bu tür bir metal bolluğu çalışması yapılmış olmasıdır. Bu motivasyonla, güncel iki gökyüzü tarama programına ait yıldızlardan iki ve üç boyutlu metal bolluğu haritaları oluşturulmuş ve metal bolluğunun uzaklıkla değişimi doğrudan ortaya konmuştur.

Proje çalışmasında elde edilen bu sonuçlar *Gaia* uydu verileri ve yer tabanlı ve yüksek çözünürlüklü tayfsal çalışmaların bir arada değerlendirilmesiyle Galaksimizin oluşumu ve evrimi üzerine olan modellerin sınanmasında önemli sonuçlara ulaşılmasına yol açacaktır. Önümüzdeki birkaç sene içerisinde Galaksi astrofiziği için heyecanlı keşiflerin ve yeni nesil Galaktik evrim modellerinin oluşturulmasına tanık olacağız.

KAYNAKLAR

Ahn, C. P., Alexandroff, R., Allende P. C., vd. 2014. "The Tenth Data Release of the Sloan Digital Sky Survey: First Spectroscopic Data from the SDSS-III Apache Point Observatory Galactic Evolution Experiment'', *The Astrophysical Journal Supplement*, 211, article id. 17, 16.

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

Ak, S., Bilir, S., Karaali, S., Buser, R., Cabrera-Lavers, A. 2007b. "The Metallicity Distributions in High-Latitudes with SDSS", *New Astronomy*, 12, 605.

Ak, T., Bilir, S., Özdönmez, A., Soydugan, F., Soydugan, E., Püsküllü, Ç., Ak, S., Eker, Z. 2015. "The Galactic Kinematics of Cataclysmic Variables'', *Astrophysics and Space Science*, 357, article id.72, 14.

Alam, S., Albareti F.D.; Allende P. C., vd. 2015. "The Eleventh and Twelfth Data Releases of the Sloan Digital Sky Survey: Final Data from SDSS-III", *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 219, article id. 12, 27.

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

Allende Prieto, C., Majewski, S. R., Schiavon, R., vd. 2008. "APOGEE: the Apache Point Observatory Galactic Evolution Experiment", *Astronomische Nachrichten*, 329, 1018.

Andreuzzi, G., Bragaglia, A., Tosi, M., Marconi, G. 2011. "Old Open Clusters and the Galactic Metallicity Gradient: Berkeley 20, Berkeley 66 and Tombaugh 2", *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 412, 1265.

Andrievsky, S. M., Kovtyukh, V. V., Luck, R. E., Lépine, J. R. D., Maciel, W. J., Beletsky, Yu. V. 2002. "Using Cepheids to Determine the Galactic Abundance Gradient. III. First Results for the Outer Disc", *Astronomy and Astrophysics*, 392, 491.

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

Bahcall, J. N., Soneira, R. M. 1980. "The Universe at Faint Magnitudes. I - Models for the Galaxy and the Predicted Star Counts", *Astrophysical Journal Supplement Series*, 44, 73.

Bartašiūtė, S., Aslan, Z., Boyle, R. P., Kharchenko, N. V., Ossipkov, L. P., Sperauskas, J. 2003. "Stellar Populations of the Galactic Disk: Metallicity Distribution and Kinematics", *Baltic Astronomy*, 12, 539.

Bensby, T., Feltzing, S., Lundström, I. 2003. "Elemental Abundance Trends in the Galactic Thin and Thick Disks as Traced by nearby F and G Dwarf Stars", *Astronomy and Astrophysics*, 410, 527.

Bensby, T., Feltzing, S., Lundström, I., Ilyin, I. 2005. "α-, r-, and s-process Element Trends in the Galactic Thin and Thick Disks", *Astronomy and Astrophysics*, 433, 185.

Bensby, T., Feltzing, S., Oey, M. S. 2014. "Exploring the Milky Way Stellar Disk. A Detailed Elemental Abundance Study of 714 F and G Dwarf Stars in the Solar Neighbourhood", *Astronomy and Astrophysics*, 562, id.A71, 28.

Bergemann, M., Ruchti, G. R., Serenelli, A., vd. 2014. "The Gaia-ESO Survey: Radial Metallicity Gradients and Age-metallicity Relation of Stars in the Milky Way Disk", *Astronomy and Astrophysics*, 565, id.A89, 11.

Bienayme, O., Robin, A. C., Creze, M. 1987. "The Mass Density in Our Galaxy, *Astronomy and Astrophysics*", 180, 94.

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

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

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

Bilir, S., Karaali, S., Ak, S., Yaz, E., Cabrera-Lavers, A., Coşkunoğlu, K. B. 2008b. "Luminosity-Colour Relations for Thin-Disc Main-Sequence Stars", *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society,* 390, 1569.

Bilir, S., Karaali, S., Ak, S., Önal, Ö., Dağtekin, N. D., Yontan, T., Gilmore, G., Seabroke, G.M. 2012. "Local Stellar Kinematics from RAVE Data - III. Radial and Vertical Metallicity Gradients Based on Red Clump Stars", *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 421, 444.

Bilir, S., Ak, T., Ak, S., vd. 2013a. "A New Absolute Magnitude Calibration for Red Clump Stars", *New Astronomy*, 23, 88.

Bilir, S., Önal, Ö., Karaali, S., vd. 2013b. "Luminosity-Colour Relations for Red Clump Stars", *Astrophysics and Space Science*, 344, 417.

Binney, J., Tremaine, S. 2008. "*Galactic Dynamics: Second Edition"*, Galactic Dynamics: Second Edition, by James Binney and Scott Tremaine. ISBN 978-0-691-13026-2 (HB).

Binney, J. 2010. "Distribution Functions for the Milky Way", *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 401, 2318.

Blaauw, A., Gum, C. S., Pawsey, J. L., vd. 1960. "The New I. A. U. System of Galactic Coordinates (1958 revision)", Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 121, 123.

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

Boeche, C., Siebert, A., Piffl, T., vd. 2014. "Chemical Gradients in the Milky Way from the RAVE Data. II. Giant Stars", *Astronomy and Astrophysics*, 568, id.A71, 13.

Bovy, J. 2015. "Galpy: A python Library for Galactic Dynamics", *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 216, id.A29, 27.

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

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

Buser, R. 2000. "The Formation and Early Evolution of the Milky Way Galaxy", Science, 287, No. 5450, 69.

Carney, B. W., Latham, D. W., Laird, J. B. 1990. "A Survey of Proper-motion Stars. X - The Early Evolution of the Galaxy's Halo", *Astronomical Journal*, 99, 572-589

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

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

Chen, L., Hou, J. L., Wang, J. J., 2003, "On the Galactic Disk Metallicity Distribution from Open Clusters. I. New Catalogs and Abundance Gradient", *The Astronomical Journal*, 125, 1397.

Chen, Y. Q., Zhao, G., Carrell, K., Zhao, J. K. 2011. "The Metallicity Gradient of the Thick Disk Based on Red Horizontal-branch Stars from SDSS DR8", *The Astronomical Journal*, 142, article id. 184, 8.

Cheng, J. Y., Rockosi, C. M., Morrison, H. L., vd. 2012. "Metallicity Gradients in the Milky Way Disk as Observed by the SEGUE Survey", *The Astrophysical Journal*, 746, article id. 149, 23.

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

Chonis, T. S., Gaskell, C. M. 2008. “Setting UBVRI Photometric Zero-Points Using Sloan Digital Sky Survey ugriz Magnitudes”, *The Astronomical Journal*, 135, 264.

Coşkunoğlu, B., Ak, S., Bilir, S., vd. 2011. “Local Stellar Kinematics from RAVE Data - I. Local Standard of Rest”, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 412, 1237.

Coşkunoğlu, B., Ak, S., Bilir, S., Karaali, S., Önal, Ö., Yaz, E., Gilmore, G., Seabroke, G. M. 2012. “Local Stellar Kinematics from RAVE Data - II. Radial Metallicity Gradient”, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 419, 2844.

Cox, A. N. 2000. “Allen's Astrophysical Quantities”, *Allen's Astrophysical Quantities*, 4th ed. Publisher: New York: AIP Press; Springer, Edit by Arthur N. Cox. ISBN: 0387987460.

Cunha, K., Frinchaboy, P. M., Souto, D., vd. 2016. “Chemical Abundance Gradients from Open Clusters in the Milky Way Disk: Results from the APOGEE Survey”, *Astronomische Nachrichten,* 337, 922.

Cutri, R. M., Skrutskie, M. F., van Dyk, S., vd. 2003. “2MASS All Sky Catalog of Point Sources”, The IRSA 2MASS All-Sky Point Source Catalog, NASA/IPAC Infrared Science Archive. http://irsa.ipac.caltech.edu/applications/Gator/

Dawson, K. S., Schlegel, D. J., Ahn, C. P., vd. 2013. “The Baryon Oscillation Spectroscopic Survey of SDSS-III”, *The Astronomical Journal*, 145, article id. 10, 41.

Dohm-Palmer, R. C., Helmi, A., Heather, M., vd. 2001. “Mapping the Galactic Halo. V. Sagittarius Dwarf Spheroidal Tidal Debris 60° from the Main Body”, *The Astrophysical Journal*, 555, L37.

Du, C., Zhou, X., Ma, J., vd. 2003. “Galactic Structure Studies with BATC Star Counts”, *Astronomy and Astrophysics*, 407, 541.

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.

ESA. 1997. “*The HIPPARCOS and TYCHO Catalogues”*. Astrometric and Photometric Star Catalogues Derived from the ESA HIPPARCOS Space Astrometry Mission, The Hipparcos and Tycho catalogues. Astrometric and Photometric Star Catalogues Derived from the ESA Hipparcos Space Astrometry Mission, Publisher: Noordwijk, Netherlands: ESA Publications Division, Series: ESA SP Series vol no: 1200, ISBN: 9290923997 (set).

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

Ekström, S., Georgy, C., Eggenberger, P., vd. 2012. “Grids of Stellar Models with Rotation. I. Models from 0.8 to 120 $M_{\odot}$ at Solar Metallicity (Z = 0.014)”, *Astronomy and Astrophysics*, 537, id.A146, 18.

Feltzing, S., Holmberg, J. 2001. “Old Moving Groups - The Case of HR 1614, Dynamics of Star Clusters and the Milky Way”, ASP Conference Series, 228. Edited by S. Deiters, B. Fuchs, R. Spurzem, A. Just, and R. Wielen. San Francisco: *Astronomical Society of the Pacific*. ISBN: 1-58381-060-9, 2001, 335.

Fiorucci, M., Munari, U. 2003. “The Asiago Database on Photometric Systems (ADPS). II. Band and Reddening Parameters”, *Astronomy and Astrophysics*, 401, 781.

Freeman, K. 2012. “Structure and Evolution of the Milky Way, Red Giants as Probes of the Structure and Evolution of the Milky Way”, *Astrophysics and Space Science Proceedings*, ISBN 978-3-642-18417-8. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 137

Friel, E. D., Janes, K. A. 1993. “Metallicities and Radial Velocities of Old Open Clusters”, *Astronomy and Astrophysics*, 267, 75.

Friel, E. D., Janes, K. A., Tavarez, M., vd. 2002. “Metallicities of Old Open Clusters”, *The Astronomical Journal*, 124, 2693.

Friel, E. D., Jacobson, H. R., Pilachowski, C. A. 2010. “Abundances of Red Giants in Old Open Clusters. V. Be 31, Be 32, Be 39, M 67, NGC 188, and NGC 1193”, *The Astronomical Journal*, 139, 1942-1967.

Frinchaboy, P. M., Thompson, B., Jackson, K. M., vd. 2013. “The Open Cluster Chemical Analysis and Mapping Survey: Local Galactic Metallicity Gradient with APOGEE Using SDSS DR10”, *The Astrophysical Journal Letters*, 777, article id. L1, 7.

Fox, A. J., Wakker, B. P., Barger, K. A., vd. 2014. “The COS/UVES Absorption Survey of the Magellanic Stream III. Ionization, Total Mass, and Inflow Rate onto the Milky Way”, *Astrophysical Journal*, 787, 147.

Fukugita, M., Ichikawa, T., Gunn, J. E., vd. 1996. “The Sloan Digital Sky Survey Photometric System”, *Astronomical Journal*, 111, 1748.

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

Ge, J., Mahadevan, S., Lee, B., vd. 2008. “First Results From The SDSS-III Multi-object APO Radial-velocity Exoplanet Large-area Survey (MARVELS)”, American Astronomical Society, DPS meeting #40, id.1.06; *Bulletin of the American Astronomical Society*, 40, 386.

Genovali, K., Lemasle, B., Bono, G., vd. 2014. “On the Fine Structure of the Cepheid Metallicity Gradient in the Galactic Thin Disk”, *Astronomy and Astrophysics*, 566, id.A37, 30.

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.

Girardi, L., Groenewegen, M. A. T., Hatziminaoglou, E., da Costa, L. 2005. “Star Counts in the Galaxy. Simulating from Very Deep to Very Shallow Photometric Surveys with the TRILEGAL Code”, Astronomy and Astrophysics, 436, 895.

Girardi, Terrence M., van A., William F., vd. 2011. T”he Southern Proper Motion Program. IV. The SPM4 Catalog”, *The Astronomical Journal*, 142, article id. 15, 12.

Groenewegen, M. A. T. 2006. “The Mid- and Far-infrared Colours of AGB and Post-AGB Stars”, *Astronomy and Astrophysics*, 448, 181.

Groenewegen, M. A. T. 2008. “The Red Clump Absolute Magnitude Based on Revised Hipparcos Parallaxes”, *Astronomy and Astrophysics*, 488, 935.

Hayden, M. R., Holtzman, J. A., Bovy, J., vd. 2014. “Chemical Cartography with APOGEE: Large-scale Mean Metallicity Maps of the Milky Way Disk”, *The Astronomical Journal*, 147, article id. 116, 16.

Haywood, M., Robin, A. C., Creze, M. 1997a. “The Evolution of the Milky Way Disc. I. Vertical Structure and Local Constraints”, *Astronomy and Astrophysics*, 320, 428.

Haywood, M., Robin, A. C., Creze, M. 1997b. “The Evolution of the Milky Way Disc. II. Constraints from Star Counts at the Galactic Poles”, *Astronomy and Astrophysics*, 320, 440.

Helmi, A., Ivezić, Ž., Prada, F., vd. 2003. “Selection of Metal-poor Giant Stars Using the Sloan Digital Sky Survey Photometric System”, *The Astrophysical Journal*, 586, 195.

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

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

Hou, J., Chang, R., Chen, L. 2002. “Abundance Gradient from Open Clusters and Implications for the Galactic Disk Evolution”, *Chinese Journal of Astronomy and Astrophysics*, 2, 17.

Huang, Y., Liu, X.-W, Zhang, H.-W., vd. 2015. “On the Metallicity Gradients of the Galactic Disk as Revealed by LSS-GAC Red Clump Stars”, *Research in Astronomy and Astrophysics*, 15, id 1240.

Ivezić, Ž., Sesar, B., Jurić, M., vd. 2008. “The Milky Way Tomography with SDSS. II. Stellar Metallicity”, *The Astrophysical Journal*, 684, article id. 287.

Jacobson, H. R., Friel, E. D., Jílková, L., vd. 2016. “The Gaia-ESO Survey: Probes of the Inner Disk Abundance Gradient”, *Astronomy and Astrophysics*, 591, id.A37, 8.

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.

Jurić, M., Ivezić, Ž., Brooks, A., vd. 2008. “The Milky Way Tomography with SDSS. I. Stellar Number Density Distribution”, *The Astrophysical Journal*, 673, article id. 864.

Karaali, S., Karataş, Y., Bilir, S., Ak, S. G., Hamzaoğlu, E. 2003a. “A New Procedure for the Photometric Parallax Estimation”, *Publications of the Astronomical Society of Australia*, 20, 270.

Karaali, S., Ak, S. G., Bilir, S., Karataş, Y., Gilmore, G. 2003b. “A Charge-coupled Device Study of High-latitude Galactic Structure: Testing the Model Parameters”, *Monthly Notice of the Royal Astronomical Society*, 343, 1013.

Karaali, S., Bilir, S., Hamzaoğlu, E. 2004. “A Different Approach for the Estimation of Galactic Model Parameters”, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 355, 307.

Karaali, S., Bilir, S., Tunçel, S. 2005. “New Colour Transformations for the Sloan Photometry, and Revised Metallicity Calibration and Equations for Photometric Parallax Estimation”, *Publications of the Astronomical Society of Australia*, 22, 24.

Karaali, S., Bilir, S., Ak, S., Yaz, E., Coşkunoğlu, B. 2011. “An Improved Metallicity Calibration with UBV Photometry”, *Publications of the Astronomical Society of Australia*, 28, 95.

Karaali, S., Bilir, S., Yaz Gökçe, E. 2013. “Absolute Magnitude Calibration for Red Clump Stars”, *Astrophysics and Space Science*, 346, 89.

Karaali, S., Bilir, S., Ak, S., vd. 2014. “Local Stellar Kinematics from RAVE Data – V. Kinematic Investigation of the Galaxy with Red Clump Stars”, *Publications of the Astronomical Society of Australia*, 31, 13.

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

Katz, D., Soubiran, C., Cayrel, R., Barbuy, B., Friel, E., Bienaymé, O., Perrin, M.-N. 2011. “Probing the Galactic Thick Disc Vertical Properties and Interfaces”, *Astronomy and Astrophysics*, 525, id.A90, 15.

Keenan, P. C., Barnbaum, C. 1999. “Revision and Calibration of MK Luminosity Classes for Cool Giants by HIPPARCOS Parallaxes”, *The Astrophysical Journal*, 518, 859.

Kordopatis, G., Recio-Blanco, A., de Laverny, P., Bijaoui, A., Hill, V., Gilmore, G., Wyse, R. F. G., Ordenovic, C. 2011. “Automatic Stellar Spectra Parameterisation in the IR Ca II Triplet Region”, *Astronomy and Astrophysics*, 535, id.A106, 16.

Kordopatis, G., Gilmore, G., Steinmetz, M., vd. 2013a. “The Radial Velocity Experiment (RAVE): Fourth Data Release”, *The Astronomical Journal*, 146, article id. 134, 36.

Kordopatis, G., Hill, V., Irwin, M. 2013b. “Through Thick and Thin: Structure of the Galactic Thick Disc from Extragalactic Surveys”, *Astronomy and Astrophysics*, 555, id.A12, 16.

Lehner, N. 2001. “FUSE Observations of the Magellanic Bridge”, *Americal Astronomical Society, 199th AAS Meeting id.65.06 Bulletin of the American Astronomical Society,* 33, 1408.

Lemasle, B., François, P., Bono, G., Mottini, M., Primas, F., Romaniello, M. 2007. “Detailed Chemical Composition of Galactic Cepheids. A Determination of the Galactic Abundance Gradient in the 8-12 kpc Region”, *Astronomy and Astrophysics*, 467, 283-294.

Lemasle, B., François, P., Piersimoni, A., vd. 2008. “Galactic Abundance Gradients from Cepheids. On the Iron Abundance Gradient Around 10-12 kpc”, *Astronomy and Astrophysics*, 490, 613-623.

Laird, John B., Carney, Bruce W., Rupen, Michael P. 1988. “A Survey of Proper-Motion Stars. VII - The Halo Metallicity Distribution Function”, *Astronomical Journal*, 96, 1908.

Lucas, P. W., Hoare, M. G., Longmore, A., vd. 2008. “The UKIDSS Galactic Plane Survey”, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 391, 136.

Luck, R.E., Kovtyukh, V.V., Andrievsky, S.M. 2006. “The Distribution of the Elements in the Galactic Disk”, *Astronomical Journal*, 132, 902.

Luck, R. E., Lambert, D. L. 2011. “The Distribution of the Elements in the Galactic Disk. III. A Reconsideration of Cepheids from l = 30° to 250°”, *The Astronomical Journal*, 142, article id. 136, 16.

Luck, R. E., Andrievsky, S. M., Kovtyukh, V. V., Gieren, W., Graczyk, D. 2011. "The Distribution of the Elements in the Galactic Disk. II. Azimuthal and Radial Variation in Abundances from Cepheids", *The Astronomical Journal*, 142, article id. 51, 12.

Magrini, L., Sestito, P., Randich, S., Galli, D. 2009. "The Evolution of the Galactic Metallicity Gradient from High-resolution Spectroscopy of Open Clusters", *Astronomy and Astrophysics*, 494, 95-108.

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

Marsakov, V. A., Borkova, T. V. 2006. "Magnesium Abundance in the Galactic Thin-disc Stars and Subsystem Formation History", *Astronomical and Astrophysical Transactions*, 25, 157.

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

Mermilliod, J.-C., Mermilliod, M., Hauck, B. 1997. "The General Catalogue of Photometric Data (GCPD). II", *Astronomy and Astrophysics Supplement Series*, 124, 349.

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

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

Morrison, H. L., Mateo, M., Olszewski, E. W., vd. 2000. "Mapping the Galactic Halo. I. The ``Spaghetti'' Survey", *The Astronomical Journal*, 119, 2254.

Netopil, M., Paunzen, E., Heiter, U., Soubiran, C. 2016. "On the Metallicity of Open Clusters. III. Homogenised Sample", *Astronomy and Astrophysics*, 585, id.A150, 17.

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.

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

Odenkirchen, M., Grebel, E. K., Harbeck, D., vd. 2001. "New Insights on the Draco Dwarf Spheroidal Galaxy from the Sloan Digital Sky Survey: A Larger Radius and No Tidal Tails", *The Astronomical Journal*, 122, 2538.

Ojha, D. K., Bienaymé, O., Mohan, V., Robin, A. C. 1999. "New Surveys of UBV Photometry and Absolute Proper Motions at Intermediate Latitude", *Astronomy and Astrophysics*, 351, 945.

Olsen, E. H. 1980. "Estimation of Spectral Classifications for Bright Northern Stars with Interesting Stromgren Indices", *Astronomy and Astrophysics Supplement Series*, 39, 205.

Olsen, E. H. 1983. "Four-Colour UVBY and H-beta Photometry of A5 to G0 Stars Brighter than 8.3^{m}", *Astronomy and Astrophysics Supplement Series*, 54, 55.

Olsen, E. H. 1984. "Preliminary UVBY Calibrations for G and K Type Dwarf Stars", *Astronomy and Astrophysics Supplement Series,* 57, 443.

Olsen, E. H. 1988. "The Intrinsic Colour Calibration of Stromgren Photometry for F-Type Stars", *Astronomy and Astrophysics*, 189, 173.

Önal Taş, Ö., Bilir, S., Seabroke, G. M., vd. 2016. "Local Stellar Kinematics from RAVE data—VII. Metallicity Gradients from Red Clump Stars", *Publications of the Astronomical Society of Australia*, 33, id.e044, 20.

Pedicelli, S., Bono, G., Lemasle, B., vd. 2009. "On the Metallicity Gradient of the Galactic Disk", *Astronomy and Astrophysics*, 504, 81-86.

Peng, X., Du, C., Wu, Z. 2012. "The Stellar Metallicity Distribution in Intermediate-latitude Fields with BATC and SDSS Data", *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 422, 2756.

Plevne, O., Ak, T., Karaali, S., Bilir, S., Ak, S., Bostancı, Z. F. 2015. "Local Stellar Kinematics from RAVE Data - VI. Metallicity Gradients Based on the F-G Main-Sequence Stars", *Publications of the Astronomical Society of Australia*, 32, id.e043, 17.

Putman, M., Gibson, B., Staveley-Smith, L., vd. 1998. "Tidal Disruption of the Magellanic Clouds by the Milky Way", *Nature*, 394, 752.

Puzeras, E., Tautvaišiene, G., Cohen, J., vd., 2010, "High-resolution Spectroscopic Study of Red Clump Stars in the Galaxy: Iron-group Elements", *Monthly Notices of Royal Astronomical Society*, 408, 1225.

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

Reddy, R. R., Nazeer A., Y., Rama G. K., Baba, B. D. 2003. "Estimation of Potential Energy Curves, Dissociation Energies, Franck-Condon Factors and r-centroids of Comet Interesting Molecules", *Astrophysics and Space Science*, 286, 419.

Reddy, B. E., Lambert, D. L., Allende P. C. 2006. "Elemental Abundance Survey of the Galactic Thick Disc", *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 367, 1329.

Robin, A., Creze, M. 1986. "Stellar Populations in the Milky Way - A Synthetic Model", *Astronomy and Astrophysics*, 157, 71.

Robin, A. C., Reylé, C., Derrière, S., Picaud, S. 2003. "A Synthetic View on Structure and Evolution of the Milky Way", *Astronomy and Astrophysics*, 409, 523.

Roeser, S., Demleitner, M., Schilbach, E. 2010. "The PPMXL Catalog of Positions and Proper Motions on the ICRS. Combining USNO-B1.0 and the Two Micron All Sky Survey (2MASS)", *The Astronomical Journal*, 139, 2440.

Ruchti, G. R., Fulbright, J. P., Wyse, R. F. G., vd. 2011. "Observational Properties of the Metal-poor Thick Disk of the Milky Way and Insights into its Origins", *The Astrophysical Journal*, 737, article id. 9, 24.

Sandage, A. 1969. "New Subdwarfs. II. Radial Velocities, Photometry, and Preliminary Space Motions for 112 Stars with Large Proper Motion", *Astrophysical Journal*, 158, 1115.

Schlafly, E. F., Finkbeiner, D. P. 2011. "Measuring Reddening with Sloan Digital Sky Survey Stellar Spectra and Recalibrating SFD", *The Astrophysical Journal*, 737, article id. 103, 13.

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

Schlesinger, K. J., Johnson, J. A., Rockosi, C. M., vd. 2014. "The Vertical Metallicity Gradient of the Milky Way Disk: Transitions in [α/Fe] Populations", *The Astrophysical Journal*, 791, article id. 112, 23.

Searle, L., Zinn, R. 1978. "Compositions of Halo Clusters and the Formation of the Galactic Halo", *Astrophysical Journal*, Part 1, 225, 357.

Sharma, S., Bland-H., Joss, Johnston, K. V., Binney, J. 2011. "Galaxia: A Code to Generate a Synthetic Survey of the Milky Way", *The Astrophysical Journal*, 730, article id. 3, 20.

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

Siegel, M. H., Karataş, Y., Reid, I. N. 2009. "Metallicities and Ages of Stellar Populations at a High Galactic Latitude Field", *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 395, 1569.

Soubiran, C., Bienaymé, O., Mishenina, T. V., Kovtyukh, V. V. 2008. "Vertical Distribution of Galactic Disk Stars. IV. AMR and AVR from Clump Giants", *Astronomy and Astrophysics*, 480, 91.

Soubiran, C., Le C., J.-F., Cayrel de Strobel, G., vd. 2010. "The PASTEL Catalogue of Stellar Parameters", *Astronomy and Astrophysics*, 515, id.A111, 5.

Steinmetz, M., Zwitter, T., Siebert, A., vd. 2006. "The Radial Velocity Experiment (RAVE): First Data Release", *The Astronomical Journal*, 132, 1645.

Strömgren, B. 1963. "Main Sequence Stars, Problems of Internal Constitution and Kinematics (George Darwin Lecture)", *Quarterly Journal of the Royal Astronomical Society*, 4, 8.

Strömgren, B. 1986. “An Investigation of the Relations between Age, Chemical Composition and Parameters of Velocity Distribution Based on uvby-beta Photometry of F Stars within 100 parsec”, The galaxy; Proceedings of the NATO Advanced Study Institute, Cambridge, England, Aug. 4-15, 1986 Dordrecht, D. Reidel Publishing Co., 229-246

Tunçel Güçtekin, S., Bilir, S., Karaali, S., Ak, S., Ak, T., Bostancı, Z. F. 2016. “Metallicity Calibration and Photometric Parallax Estimation: I. UBV Photometry”, *Astrophysics and Space Science*, 361, article id.186, 18.

Tunçel Güçtekin, S., Bilir, S., Karaali, S., Plevne, O., Ak, S., Ak, T., Bostancı, Z. F. 2017. “Metallicity Calibration and Photometric Parallax Estimation: II. SDSS Photometry”, *Astrophysics and Space Science*, 362, article id.17, 17.

Xiang, M., Liu, X., Yuan, H., vd. 2015. “The Evolution of Stellar Metallicity Gradients of the Milky Way Disk from LSS-GAC Main Sequence Turn-off Stars: a Two-phase Disk Formation History?”, *Research in Astronomy and Astrophysics*, 15, article id. 1209.

van Leeuwen, F. 2007. “Validation of the New Hipparcos Reduction”, *Astronomy and Astrophysics*, 474, 653.

Venn, K. A., vd. 2004. “Stellar Chemical Signatures and Hierarchical Galaxy Formation”, *The Astronomical Journal*, 128, 1177.

Vidojević, S., Ninković S., Ninković, S. 2009. “Kinematics and Metallicity Analysis for Nearby F, G and K Stars”, *Astronomische Nachrichten*, 330, 46.

Willman, B., Dalcanton, J., Ivezić, Ž., Jackson, T., Lupton, R., Brinkmann, J., Hennessy, G., Hindsley, R. 2002. “An SDSS Survey for Resolved Milky Way Satellite Galaxies. I. Detection Limits”, *The Astronomical Journal*, 123, 848.

Wright, E. L., Eisenhardt, P. R. M., Mainzer, A. K., vd. 2010. “The Wide-field Infrared Survey Explorer (WISE): Mission Description and Initial On-orbit Performance”, *The Astronomical Journal*, 140, article id. 1868.

Wu, Z., Zhou, X., Ma, J., Du, C. 2009. “The Orbits of Open Clusters in the Galaxy”, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 399, 2146-2164.

Yanny, B., Rockosi, C., Newberg, H. J., vd. 2009. “SEGUE: a Spectroscopic Survey of 240,000 Stars with g=14-20”, *Astronomical Journal*, 137, 5, 4377.

Yaz Gökçe, E., Bilir, S., Öztürkmen, N. D., vd. 2013. “First Identification and Absolute Magnitudes of the Red Clump Stars in the Solar Neighbourhood for WISE”, *New Astronomy*, 25, 19.

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

Yoachim, P., Dalcanton, Julianne J. 2008. “The Kinematics of Thick Disks in Nine External Galaxies”, *The Astrophysical Journal*, 682, article id. 1004.

Yong, D., Grundahl, F., Nissen, P. E., Jensen, H. R., Lambert, D. L. 2005. “Abundances in Giant Stars of the Globular Cluster NGC 6752”, *Astronomy and Astrophysics*, 438, 875.

Yong, D., Carney, B. W., Friel, E. D. 2012. “Elemental Abundance Ratios in Stars of the Outer Galactic Disk. IV. A New Sample of Open Clusters”, *The Astronomical Journal*, 144, article id. 95.

York, D. G., vd. 2000. “The Sloan Digital Sky Survey: Technical Summary”, *The Astronomical Journal*, 120, 1579.

Yoshii, Y., Ishida, K., Stobie, R. S. 1987. “Galactic Structure Towards the North Galactic Pole Based on an Analysis of UBV Star-Count Data”, *Astronomical Journal*, 93, 323.

Zacharias, N., Urban, S. E., Zacharias, M. I., vd. 2004. “The Second US Naval Observatory CCD Astrograph Catalog (UCAC2)”, *The Astronomical Journal*, 127, 3043.

Zacharias, N., Finch, C., Girard, T., vd. 2010. “The Third US Naval Observatory CCD Astrograph Catalog (UCAC3)”, *The Astronomical Journal*, 139, 2184.

Zacharias, N., Finch, C. T., Girard, T. M., Henden, A., Bartlett, J. L., Monet, D. G., Zacharias, M. I. 2013. “The Fourth US Naval Observatory CCD Astrograph Catalog (UCAC4)”, *The Astronomical Journal*, 145, article id. 44, 14.

EK 1 Farklı Galaktik boylam aralıklarındaki yıldızların Güneş'ten uzaklıklarına göre ayrılmış yıldız sayıları, medyan *R* ve *Z* değerleri ve Gauss eğrileriyle belirlenen metal bollukları.

l	d_1-d_2	z_1-z_2	*N*	*R*	*Z*	[Fe/H]	*l*	d_1-d_2	z_1-z_2	*N*	*R*	*Z*	[Fe/H]
(º)	(kpc)	(kpc)		(kpc)	(kpc)	(dex)	(º)	(kpc)	(kpc)		(kpc)	(kpc)	(dex)
000-020	0.5-1.0	0.44-0.87	3818	7.63	0.75	-0.44±0.01	020-040	0.5-1.0	0.44-0.87	3818	7.70	0.74	-0.53±0.01
000-020	1.0-1.5	0.87-1.31	11928	7.48	1.09	-0.57±0.00	020-040	1.0-1.5	0.87-1.31	11928	7.56	1.09	-0.65±0.00
000-020	1.5-2.0	1.31-1.74	13573	7.33	1.50	-0.65±0.00	020-040	1.5-2.0	1.31-1.74	13573	7.42	1.50	-0.70±0.00
000-020	2.0-3.0	1.74-2.62	23348	7.17	2.11	-0.82±0.00	020-040	2.0-3.0	1.74-2.62	19961	7.30	2.11	-0.75±0.00
000-020	3.0-4.0	2.62-3.49	16309	7.10	2.96	-1.00±0.00	020-040	3.0-4.0	2.62-3.49	13535	7.25	2.96	-1.15±0.00
000-020	4.0-5.0	3.49-4.36	12230	7.23	3.82	-1.35±0.01	020-040	4.0-5.0	3.49-4.36	9413	7.38	3.82	-1.35±0.01
000-020	5.0-6.0	4.36-5.23	9986	7.53	4.68	-1.49±0.01	020-040	5.0-6.0	4.36-5.23	7312	7.67	4.68	-1.53±0.01
000-020	6.0-7.0	5.23-6.10	8334	8.00	5.54	-1.50±0.01	020-040	6.0-7.0	5.23-6.10	6172	8.09	5.55	-1.65±0.01
000-020	7.0-8.0	6.10-6.98	6424	8.58	6.40	-1.56±0.01	020-040	7.0-8.0	6.10-6.98	4830	8.60	6.40	-1.63±0.01
000-020	8.0-9.0	6.98-7.85	4871	9.26	7.26	-1.65±0.01	020-040	8.0-9.0	6.98-7.85	3624	9.25	7.28	-1.63±0.01
000-020	9.0-10.0	7.85-8.72	3383	10.05	8.16	-1.57±0.01	020-040	9.0-10.0	7.85-8.72	2712	9.98	8.18	-1.65±0.01
000-020	10.0-12.0	8.72-10.46	3659	11.26	9.39	-1.56±0.01	020-040	10.0-12.0	8.72-10.46	2925	11.11	9.38	-1.70±0.01
000-020	12.0-14.0	10.46-12.21	1463	13.04	11.20	-1.53±0.01	020-040	12.0-14.0	10.46-12.21	1129	12.80	11.18	-1.65±0.02
000-020	14.0-16.0	12.21-13.95	560	14.92	12.93	-1.53±0.02	020-040	14.0-16.0	12.21-13.95	405	14.67	13.06	-1.75±0.05
040-060	0.5-1.0	0.44-0.87	3863	7.79	0.75	-0.46±0.01	060-080	0.5-1.0	0.44-0.87	3505	7.91	0.74	-0.43±0.01
040-060	1.0-1.5	0.87-1.31	10534	7.70	1.09	-0.59±0.00	060-080	1.0-1.5	0.87-1.31	8986	7.89	1.09	-0.58±0.00
040-060	1.5-2.0	1.31-1.74	10984	7.62	1.51	-0.70±0.00	060-080	1.5-2.0	1.31-1.74	8798	7.88	1.51	-0.70±0.00
040-060	2.0-3.0	1.74-2.62	18172	7.56	2.13	-0.80±0.00	060-080	2.0-3.0	1.74-2.62	14042	7.91	2.12	-0.80±0.00
040-060	3.0-4.0	2.62-3.49	12626	7.58	2.98	-1.05±0.01	060-080	3.0-4.0	2.62-3.49	9566	8.04	2.99	-1.05±0.01
040-060	4.0-5.0	3.49-4.36	8962	7.75	3.86	-1.37±0.01	060-080	4.0-5.0	3.49-4.36	6975	8.28	3.87	-1.40±0.01
040-060	5.0-6.0	4.36-5.23	7144	8.05	4.75	-1.49±0.01	060-080	5.0-6.0	4.36-5.23	5432	8.61	4.75	-1.46±0.01
040-060	6.0-7.0	5.23-6.10	6042	8.42	5.60	-1.50±0.01	060-080	6.0-7.0	5.23-6.10	4703	9.04	5.65	-1.50±0.01
040-060	7.0-8.0	6.10-6.98	4826	8.94	6.51	-1.56±0.01	060-080	7.0-8.0	6.10-6.98	3833	9.52	6.53	-1.48±0.01
040-060	8.0-9.0	6.98-7.85	3765	9.53	7.41	-1.60±0.01	060-080	8.0-9.0	6.98-7.85	2974	10.10	7.45	-1.40±0.01
040-060	9.0-10.0	7.85-8.72	2786	10.14	8.28	-1.60±0.01	060-080	9.0-10.0	7.85-8.72	2315	10.71	8.33	-1.51±0.01
040-060	10.0-12.0	8.72-10.46	3193	11.20	9.52	-1.52±0.01	060-080	10.0-12.0	8.72-10.46	2578	11.56	9.53	-1.47±0.01
040-060	12.0-14.0	10.46-12.21	1242	12.65	11.23	-1.55±0.02	060-080	12.0-14.0	10.46-12.21	1013	12.92	11.25	-1.53±0.02
040-060	14.0-16.0	12.21-13.95	466	14.37	13.11	-1.71±0.03	060-080	14.0-16.0	12.21-13.95	301	14.28	12.96	-1.52±0.04
080-100	0.5-1.0	0.44-0.87	3590	8.04	0.73	-0.42±0.01	100-120	0.5-1.0	0.44-0.87	3895	8.16	0.72	-0.43±0.01
080-100	1.0-1.5	0.87-1.31	7911	8.08	1.08	-0.57±0.00	100-120	1.0-1.5	0.87-1.31	7392	8.26	1.08	-0.60±0.00
080-100	1.5-2.0	1.31-1.74	7253	8.15	1.51	-0.69±0.00	100-120	1.5-2.0	1.31-1.74	6545	8.40	1.51	-0.69±0.00
080-100	2.0-3.0	1.74-2.62	11332	8.29	2.12	-0.75±0.01	100-120	2.0-3.0	1.74-2.62	9758	8.65	2.14	-0.84±0.00
080-100	3.0-4.0	2.62-3.49	7783	8.57	3.01	-1.05±0.01	100-120	3.0-4.0	2.62-3.49	6591	9.06	3.01	-1.10±0.01
080-100	4.0-5.0	3.49-4.36	5612	8.93	3.90	-1.34±0.01	100-120	4.0-5.0	3.49-4.36	4905	9.54	3.88	-1.34±0.01
080-100	5.0-6.0	4.36-5.23	4521	9.37	4.77	-1.40±0.01	100-120	5.0-6.0	4.36-5.23	3987	10.09	4.80	-1.45±0.01
080-100	6.0-7.0	5.23-6.10	3629	9.85	5.66	-1.50±0.01	100-120	6.0-7.0	5.23-6.10	3365	10.68	5.67	-1.50±0.01
080-100	7.0-8.0	6.10-6.98	3092	10.40	6.55	-1.51±0.01	100-120	7.0-8.0	6.10-6.98	2722	11.32	6.58	-1.49±0.01
080-100	8.0-9.0	6.98-7.85	2466	11.00	7.46	-1.50±0.01	100-120	8.0-9.0	6.98-7.85	2111	11.97	7.45	-1.53±0.01
080-100	9.0-10.0	7.85-8.72	1772	11.59	8.33	-1.50±0.01	100-120	9.0-10.0	7.85-8.72	1544	12.70	8.39	-1.60±0.01
080-100	10.0-12.0	8.72-10.46	2082	12.55	9.59	-1.50±0.01	100-120	10.0-12.0	8.72-10.46	1877	13.68	9.62	-1.55±0.01
080-100	12.0-14.0	10.46-12.21	870	13.99	11.39	-1.55±0.02	100-120	12.0-14.0	10.46-12.21	765	15.25	11.43	-1.70±0.03
080-100	14.0-16.0	12.21-13.95	316	15.38	13.10	-1.45±0.03	100-120	14.0-16.0	12.21-13.95	286	16.78	13.03	-1.55±0.03

EK 1 (devam)

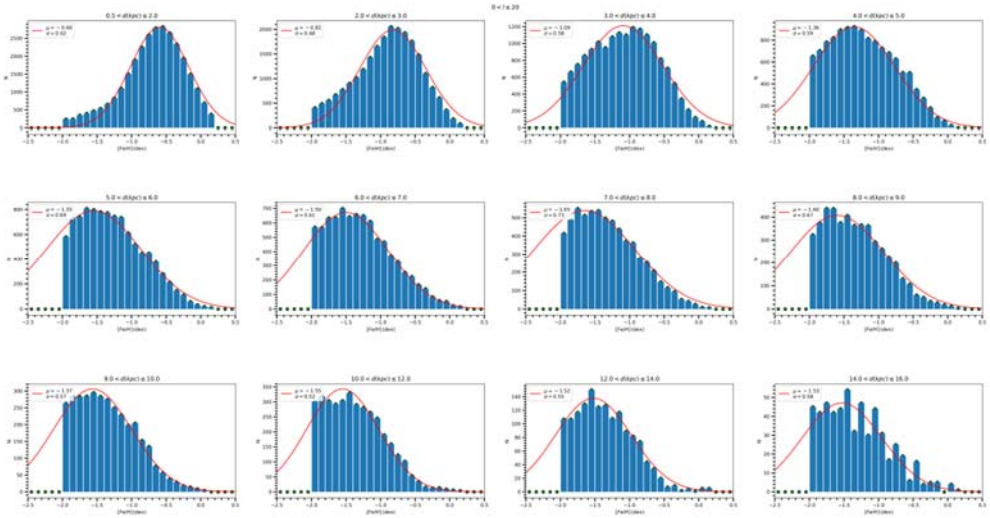
l (º)	d_1-d_2 (kpc)	z_1-z_2 (kpc)	N	R (kpc)	Z (kpc)	[Fe/H] (dex)	l (º)	d_1-d_2 (kpc)	z_1-z_2 (kpc)	N	R (kpc)	Z (kpc)	[Fe/H] (dex)
120-140	0.5-1.0	0.44-0.87	4056	8.30	0.72	-0.43±0.01	140-160	0.5-1.0	0.44-0.87	3646	8.39	0.74	-0.46±0.01
120-140	1.0-1.5	0.87-1.31	7349	8.46	1.08	-0.60±0.00	140-160	1.0-1.5	0.87-1.31	7088	8.60	1.08	-0.60±0.00
120-140	1.5-2.0	1.31-1.74	6340	8.68	1.51	-0.71±0.00	140-160	1.5-2.0	1.31-1.74	6308	8.88	1.52	-0.71±0.01
120-140	2.0-3.0	1.74-2.62	9131	9.02	2.13	-0.70±0.01	140-160	2.0-3.0	1.74-2.62	9145	9.29	2.15	-0.8±0.010
120-140	3.0-4.0	2.62-3.49	6251	9.58	3.01	-0.95±0.01	140-160	3.0-4.0	2.62-3.49	6158	9.98	3.03	-1.10±0.01
120-140	4.0-5.0	3.49-4.36	4644	10.22	3.92	-1.30±0.01	140-160	4.0-5.0	3.49-4.36	4544	10.74	3.91	-1.38±0.01
120-140	5.0-6.0	4.36-5.23	3756	10.85	4.79	-1.48±0.01	140-160	5.0-6.0	4.36-5.23	3728	11.50	4.81	-1.45±0.01
120-140	6.0-7.0	5.23-6.10	3220	11.57	5.67	-1.50±0.01	140-160	6.0-7.0	5.23-6.10	3157	12.29	5.71	-1.51±0.01
120-140	7.0-8.0	6.10-6.98	2512	12.29	6.58	-1.49±0.01	140-160	7.0-8.0	6.10-6.98	2588	13.11	6.61	-1.48±0.01
120-140	8.0-9.0	6.98-7.85	2048	13.03	7.50	-1.48±0.01	140-160	8.0-9.0	6.98-7.85	2037	14.02	7.50	-1.53±0.01
120-140	9.0-10.0	7.85-8.72	1476	13.82	8.42	-1.47±0.01	140-160	9.0-10.0	7.85-8.72	1497	14.91	8.37	-1.50±0.01
120-140	10.0-12.0	8.72-10.46	1639	14.97	9.64	-1.51±0.01	140-160	10.0-12.0	8.72-10.46	1757	16.08	9.61	-1.50±0.01
120-140	12.0-14.0	10.46-12.21	702	16.61	11.55	-1.60±0.02	140-160	12.0-14.0	10.46-12.21	742	17.97	11.37	-1.47±0.02
120-140	14.0-16.0	12.21-13.95	228	18.51	13.23	-1.70±0.05	140-160	14.0-16.0	12.21-13.95	238	19.70	13.23	-1.52±0.04
160-180	0.5-1.0	0.44-0.87	3420	8.42	0.74	-0.45±0.01	180-200	0.5-1.0	0.44-0.87	3562	8.42	0.74	-0.45±0.01
160-180	1.0-1.5	0.87-1.31	7094	8.67	1.09	-0.61±0.00	180-200	1.0-1.5	0.87-1.31	6970	8.66	1.09	-0.65±0.00
160-180	1.5-2.0	1.31-1.74	6019	8.98	1.51	-0.71±0.00	180-200	1.5-2.0	1.31-1.74	5906	8.97	1.52	-0.74±0.01
160-180	2.0-3.0	1.74-2.62	8866	9.44	2.15	-0.86±0.01	180-200	2.0-3.0	1.74-2.62	8845	9.42	2.16	-0.75±0.01
160-180	3.0-4.0	2.62-3.49	5890	10.20	3.03	-1.00±0.01	180-200	3.0-4.0	2.62-3.49	5903	10.17	3.03	-1.05±0.01
160-180	4.0-5.0	3.49-4.36	4404	11.00	3.92	-1.40±0.01	180-200	4.0-5.0	3.49-4.36	4486	10.96	3.95	-1.35±0.01
160-180	5.0-6.0	4.36-5.23	3679	11.78	4.85	-1.50±0.01	180-200	5.0-6.0	4.36-5.23	3685	11.82	4.83	-1.50±0.01
160-180	6.0-7.0	5.23-6.10	3143	12.70	5.72	-1.50±0.01	180-200	6.0-7.0	5.23-6.10	3206	12.69	5.73	-1.50±0.01
160-180	7.0-8.0	6.10-6.98	2623	13.58	6.64	-1.50±0.01	180-200	7.0-8.0	6.10-6.98	2765	13.57	6.62	-1.60±0.01
160-180	8.0-9.0	6.98-7.85	2027	14.54	7.49	-1.60±0.01	180-200	8.0-9.0	6.98-7.85	2183	14.48	7.55	-1.49±0.01
160-180	9.0-10.0	7.85-8.72	1525	15.39	8.47	-1.60±0.02	180-200	9.0-10.0	7.85-8.72	1731	15.41	8.43	-1.53±0.01
160-180	10.0-12.0	8.72-10.46	1745	16.75	9.67	-1.47±0.01	180-200	10.0-12.0	8.72-10.46	1930	16.77	9.62	-1.55±0.02
160-180	12.0-14.0	10.46-12.21	665	18.51	11.60	-1.55±0.02	180-200	12.0-14.0	10.46-12.21	813	18.65	11.38	-1.50±0.02
160-180	14.0-16.0	12.21-13.95	280	20.69	13.25	-1.50±0.05	180-200	14.0-16.0	12.21-13.95	322	20.75	13.30	-1.55±0.04
200-220	0.5-1.0	0.44-0.87	2745	8.38	0.76	-0.49±0.01	220-240	0.5-1.0	0.44-0.87	3152	8.29	0.75	- 0.46±0.01
200-220	1.0-1.5	0.87-1.31	7090	8.59	1.09	-0.65±0.00	220-240	1.0-1.5	0.87-1.31	7657	8.45	1.09	-0.63±0.00
200-220	1.5-2.0	1.31-1.74	6453	8.87	1.52	-0.78±0.00	220-240	1.5-2.0	1.31-1.74	6782	8.67	1.52	-0.74±0.00
200-220	2.0-3.0	1.74-2.62	9797	9.29	2.15	-0.75±0.01	220-240	2.0-3.0	1.74-2.62	10470	9.01	2.14	-0.75±0.01
200-220	3.0-4.0	2.62-3.49	6459	9.96	3.02	-1.05±0.01	220-240	3.0-4.0	2.62-3.49	7403	9.57	3.01	-1.15±0.01
200-220	4.0-5.0	3.49-4.36	4973	10.72	3.92	-1.50±0.01	220-240	4.0-5.0	3.49-4.36	5450	10.20	3.91	-1.40±0.01
200-220	5.0-6.0	4.36-5.23	4209	11.50	4.83	-1.54±0.01	220-240	5.0-6.0	4.36-5.23	4662	10.88	4.80	-1.54±0.01
200-220	6.0-7.0	5.23-6.10	3666	12.33	5.69	-1.50±0.01	220-240	6.0-7.0	5.23-6.10	3902	11.57	5.68	-1.60±0.01
200-220	7.0-8.0	6.10-6.98	3008	13.15	6.60	-1.63±0.01	220-240	7.0-8.0	6.10-6.98	3302	12.31	6.54	-1.70±0.01
200-220	8.0-9.0	6.98-7.85	2366	13.98	7.51	-1.57±0.01	220-240	8.0-9.0	6.98-7.85	2598	13.06	7.46	-1.55±0.01
200-220	9.0-10.0	7.85-8.72	1777	14.91	8.39	-1.50±0.01	220-240	9.0-10.0	7.85-8.72	2042	13.85	8.31	-1.62±0.02
200-220	10.0-12.0	8.72-10.46	2189	16.10	9.61	-1.50±0.01	220-240	10.0-12.0	8.72-10.46	2379	15.00	9.57	-1.60±0.01
200-220	12.0-14.0	10.46-12.21	990	18.03	11.32	-1.55±0.02	220-240	12.0-14.0	10.46-12.21	1015	16.67	11.29	-1.60±0.02
200-220	14.0-16.0	12.21-13.95	367	19.93	13.13	-1.55±0.04	220-240	14.0-16.0	12.21-13.95	400	18.39	13.24	-1.55±0.03

EK 1 (devam)

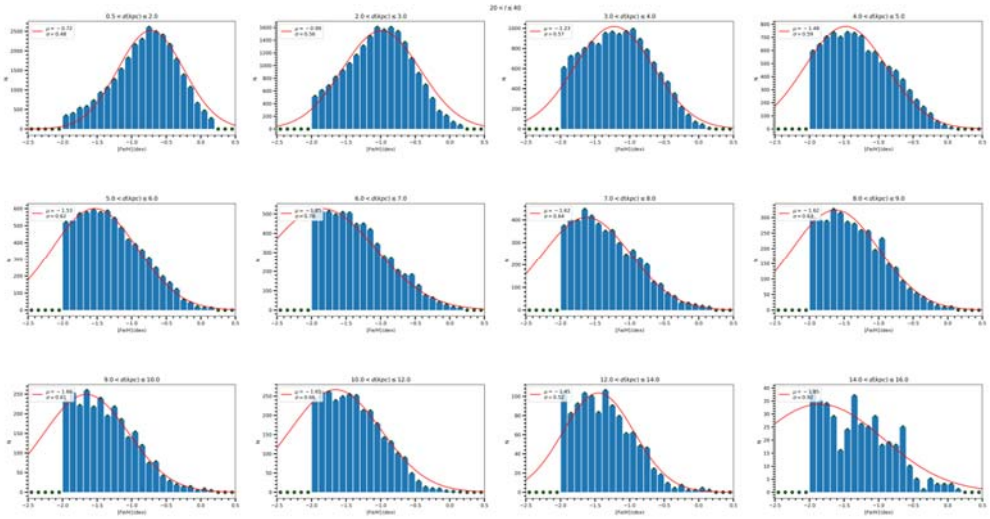
l	d_1-d_2	z_1-z_2	N	R	Z	[Fe/H]	l	d_1-d_2	z_1-z_2	N	R	Z	[Fe/H]
(º)	(kpc)	(kpc)		(kpc)	(kpc)	(dex)	(º)	(kpc)	(kpc)		(kpc)	(kpc)	(dex)
240-260	0.5-1.0	0.44-0.87	3861	8.16	0.72	-0.47±0.01	260-280	0.5-1.0	0.44-0.87	8.04	0.74	0.74	-0.46±0.01
240-260	1.0-1.5	0.87-1.31	7955	8.26	1.09	-0.62±0.00	260-280	1.0-1.5	0.87-1.31	8.08	1.11	1.11	-0.62±0.00
240-260	1.5-2.0	1.31-1.74	7300	8.40	1.51	-0.75±0.00	260-280	1.5-2.0	1.31-1.74	8.16	1.54	1.54	-0.74±0.00
240-260	2.0-3.0	1.74-2.62	11443	8.65	2.14	-0.80±0.01	260-280	2.0-3.0	1.74-2.62	8.31	2.18	1.98	-0.80±0.01
240-260	3.0-4.0	2.62-3.49	8190	9.06	3.01	-1.14±0.01	260-280	3.0-4.0	2.62-3.49	8.60	3.07	2.42	-1.10±0.01
240-260	4.0-5.0	3.49-4.36	5955	9.54	3.89	-1.41±0.01	260-280	4.0-5.0	3.49-4.36	8.97	3.95	2.87	-1.40±0.01
240-260	5.0-6.0	4.36-5.23	4881	10.09	4.76	-1.60±0.01	260-280	5.0-6.0	4.36-5.23	9.41	4.86	3.32	-1.47±0.01
240-260	6.0-7.0	5.23-6.10	4338	10.68	5.63	-1.70±0.01	260-280	6.0-7.0	5.23-6.10	9.91	5.73	3.76	-1.60±0.01
240-260	7.0-8.0	6.10-6.98	3539	11.31	6.49	-1.60±0.01	260-280	7.0-8.0	6.10-6.98	10.46	6.65	4.20	-1.56±0.01
240-260	8.0-9.0	6.98-7.85	2834	11.98	7.40	-1.70±0.01	260-280	8.0-9.0	6.98-7.85	11.06	7.54	4.86	-1.50±0.01
240-260	9.0-10.0	7.85-8.72	2186	12.69	8.25	-1.55±0.01	260-280	9.0-10.0	7.85-8.72	11.67	8.41	5.73	-1.52±0.01
240-260	10.0-12.0	8.72-10.46	2588	13.72	9.50	-1.55±0.01	260-280	10.0-12.0	8.72-10.46	12.57	9.64	6.65	-1.45±0.01
240-260	12.0-14.0	10.46-12.21	1101	15.22	11.23	-1.50±0.02	260-280	12.0-14.0	10.46-12.21	14.05	11.44	7.54	-1.50±0.02
240-260	14.0-16.0	12.21-13.95	417	16.75	13.06	-1.50±0.03	260-280	14.0-16.0	12.21-13.95	15.50	13.23	8.41	-1.50±0.03
280-300	0.5-1.0	0.44-0.87	2935	7.93	0.76	-0.43±0.01	300-320	0.5-1.0	0.44-0.87	3326	7.82	0.77	-0.44±0.01
280-300	1.0-1.5	0.87-1.31	5984	7.92	1.14	-0.62±0.00	300-320	1.0-1.5	0.87-1.31	6578	7.76	1.14	-0.62±0.00
280-300	1.5-2.0	1.31-1.74	6166	7.93	1.58	-0.74±0.00	300-320	1.5-2.0	1.31-1.74	6459	7.72	1.58	-0.70±0.01
280-300	2.0-3.0	1.74-2.62	10232	8.00	2.23	-0.88±0.00	300-320	2.0-3.0	1.74-2.62	11060	7.71	2.23	-0.85±0.00
280-300	3.0-4.0	2.62-3.49	7350	8.17	3.14	-1.10±0.01	300-320	3.0-4.0	2.62-3.49	7792	7.81	3.14	-1.13±0.01
280-300	4.0-5.0	3.49-4.36	5729	8.46	4.05	-1.36±0.01	300-320	4.0-5.0	3.49-4.36	6132	8.03	4.07	-1.40±0.01
280-300	5.0-6.0	4.36-5.23	4724	8.83	4.99	-1.40±0.01	300-320	5.0-6.0	4.36-5.23	5204	8.34	4.98	-1.50±0.01
280-300	6.0-7.0	5.23-6.10	3986	9.28	5.88	-1.50±0.01	300-320	6.0-7.0	5.23-6.10	4157	8.79	5.90	-1.52±0.01
280-300	7.0-8.0	6.10-6.98	3408	9.78	6.78	-1.50±0.01	300-320	7.0-8.0	6.10-6.98	3503	9.30	6.80	-1.53±0.01
280-300	8.0-9.0	6.98-7.85	2718	10.34	7.68	-1.52±0.01	300-320	8.0-9.0	6.98-7.85	2745	9.89	7.72	-1.49±0.01
280-300	9.0-10.0	7.85-8.72	2107	10.95	8.59	-1.55±0.01	300-320	9.0-10.0	7.85-8.72	2042	10.50	8.59	-1.46±0.01
280-300	10.0-12.0	8.72-10.46	2506	11.89	9.83	-1.50±0.01	300-320	10.0-12.0	8.72-10.46	2551	11.56	9.87	-1.52±0.01
280-300	12.0-14.0	10.46-12.21	1049	13.37	11.66	-1.45±0.02	300-320	12.0-14.0	10.46-12.21	1014	13.06	11.67	-1.59±0.02
280-300	14.0-16.0	12.21-13.95	413	14.91	13.47	-1.55±0.04	300-320	14.0-16.0	12.21-13.95	364	14.68	13.51	-1.70±0.04
320-340	0.5-1.0	0.44-0.87	3755	7.71	0.76	-0.43±0.01	340-360	0.5-1.0	0.44-0.87	5103	7.62	0.73	-0.42±0.01
320-340	1.0-1.5	0.87-1.31	9003	7.61	1.11	-0.59±0.00	340-360	1.0-1.5	0.87-1.31	12203	7.48	1.08	-0.57±0.00
320-340	1.5-2.0	1.31-1.74	9179	7.51	1.55	-0.65±0.00	340-360	1.5-2.0	1.31-1.74	12874	7.33	1.50	-0.65±0.00
320-340	2.0-3.0	1.74-2.62	15704	7.42	2.18	-0.86±0.00	340-360	2.0-3.0	1.74-2.62	22242	7.19	2.12	-0.75±0.00
320-340	3.0-4.0	2.62-3.49	11386	7.43	3.06	-1.10±0.01	340-360	3.0-4.0	2.62-3.49	15989	7.13	2.97	-1.11±0.00
320-340	4.0-5.0	3.49-4.36	8704	7.59	3.96	-1.35±0.01	340-360	4.0-5.0	3.49-4.36	12289	7.26	3.85	-1.40±0.01
320-340	5.0-6.0	4.36-5.23	7241	7.89	4.87	-1.45±0.01	340-360	5.0-6.0	4.36-5.23	10081	7.56	4.70	-1.47±0.01
320-340	6.0-7.0	5.23-6.10	6255	8.32	5.75	-1.60±0.01	340-360	6.0-7.0	5.23-6.10	8358	8.03	5.57	-1.52±0.01
320-340	7.0-8.0	6.10-6.98	4952	8.86	6.64	-1.50±0.01	340-360	7.0-8.0	6.10-6.98	6571	8.62	6.45	-1.55±0.01
320-340	8.0-9.0	6.98-7.85	3665	9.50	7.55	-1.51±0.01	340-360	8.0-9.0	6.98-7.85	4708	9.29	7.32	-1.55±0.01
320-340	9.0-10.0	7.85-8.72	2718	10.22	8.47	-1.70±0.01	340-360	9.0-10.0	7.85-8.72	3458	10.08	8.24	-1.55±0.01
320-340	10.0-12.0	8.72-10.46	3050	11.36	9.74	-1.70±0.01	340-360	10.0-12.0	8.72-10.46	3733	11.31	9.47	-1.55±0.01
320-340	12.0-14.0	10.46-12.21	1225	12.98	11.47	-1.52±0.02	340-360	12.0-14.0	10.46-12.21	1458	13.06	11.22	-1.70±0.02
320-340	14.0-16.0	12.21-13.95	458	14.74	13.31	-1.50±0.03	340-360	14.0-16.0	12.21-13.95	490	14.88	12.95	-1.60±0.03

EK 2 Galaktik boylam aralıklarındaki yıldızlar için farklı uzaklık aralıklarındaki metal bolluğu dağılımları (mavi) ve bu dağılımları temsil eden Gauss eğrileri (kırmızı). Her bir uzaklık grubunun ortalama metal bolluğu ve standart sapma değerleri ilgili şekillerin sol üst kısımlarında verilmiştir.

$0^o < l \leq 20^o$

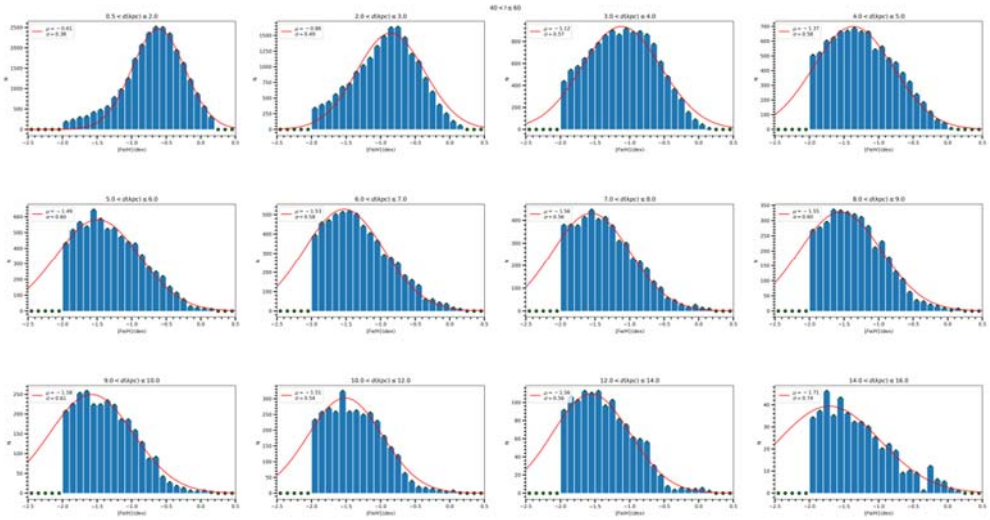


$20^o < l \leq 40^o$

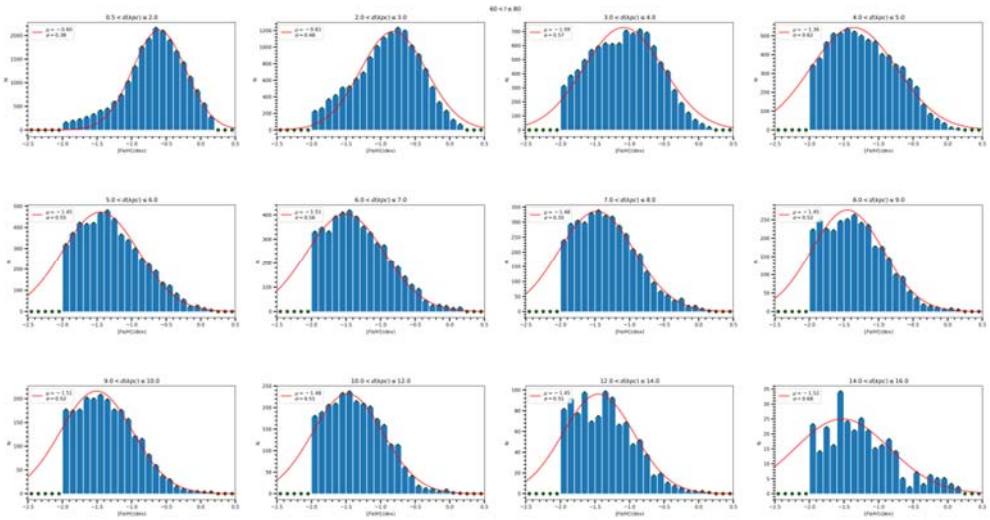


EK 2 (devam)

$40^o < l \leq 60^o$

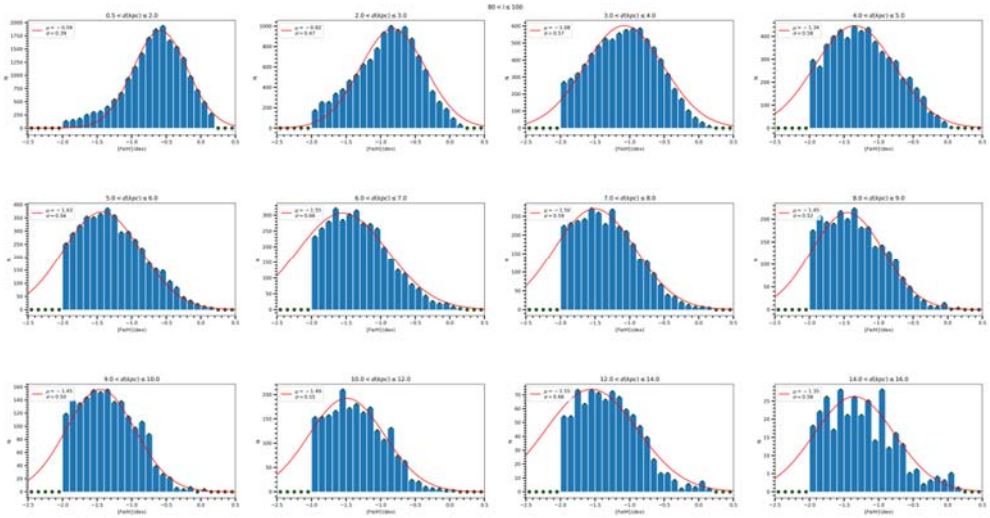


$60^o < l \leq 80^o$

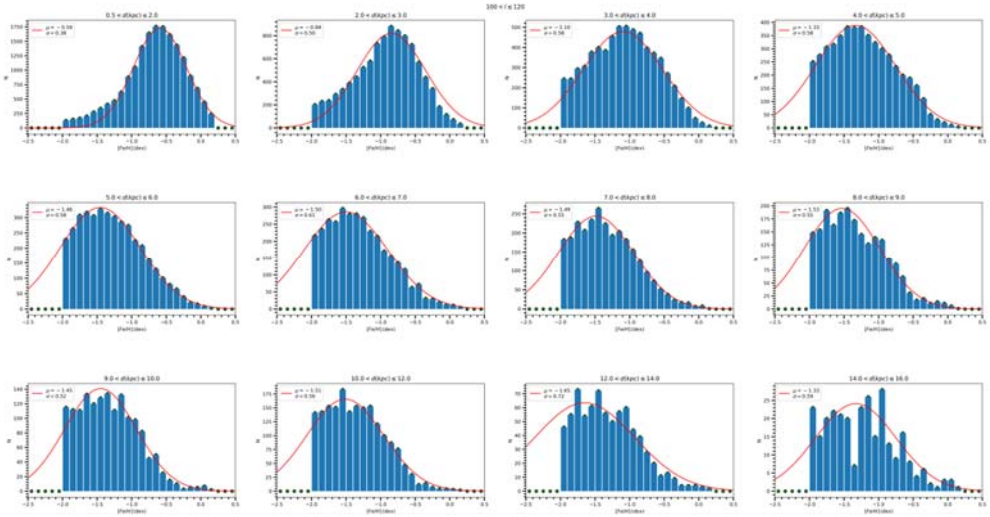


EK 2 (devam)

$80^o < l \leq 100^o$

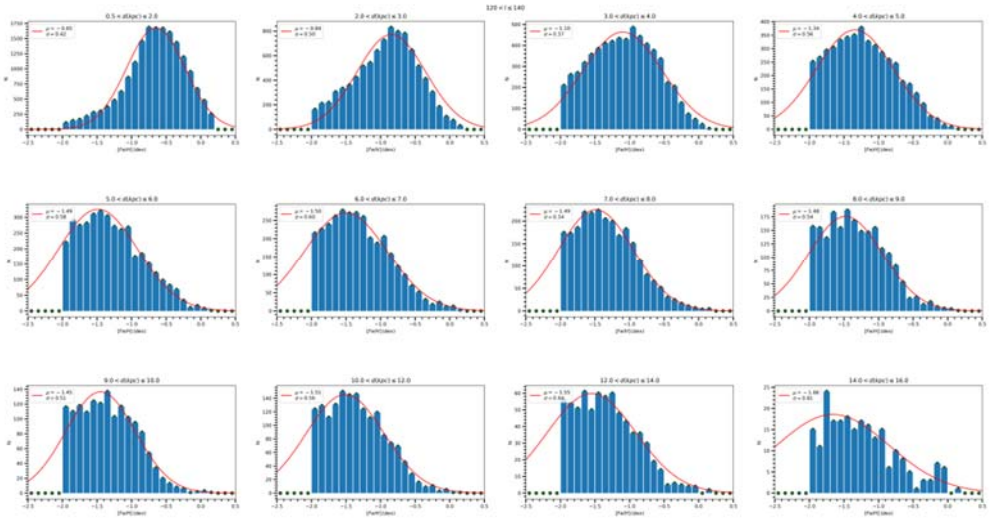


$100^o < l \leq 120^o$

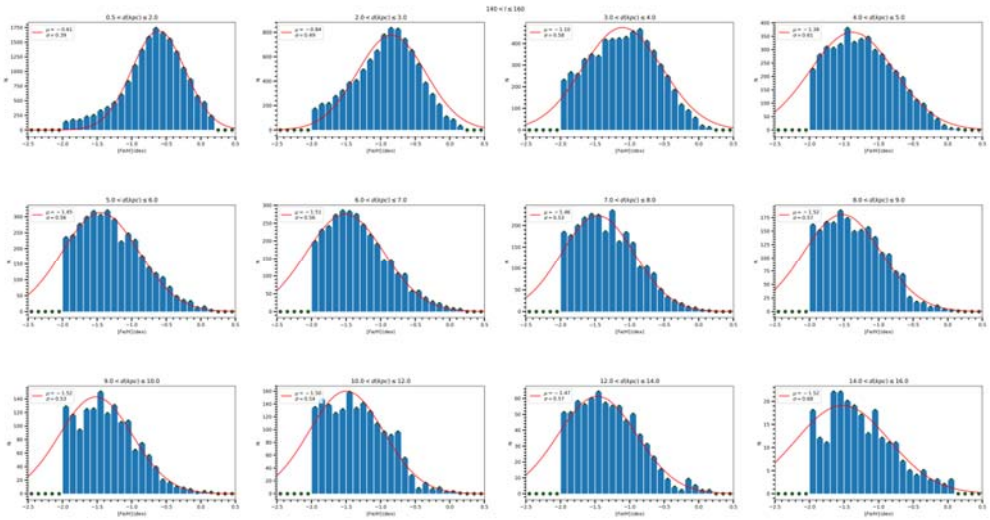


EK 2 (devam)

$120^o < l \leq 140^o$

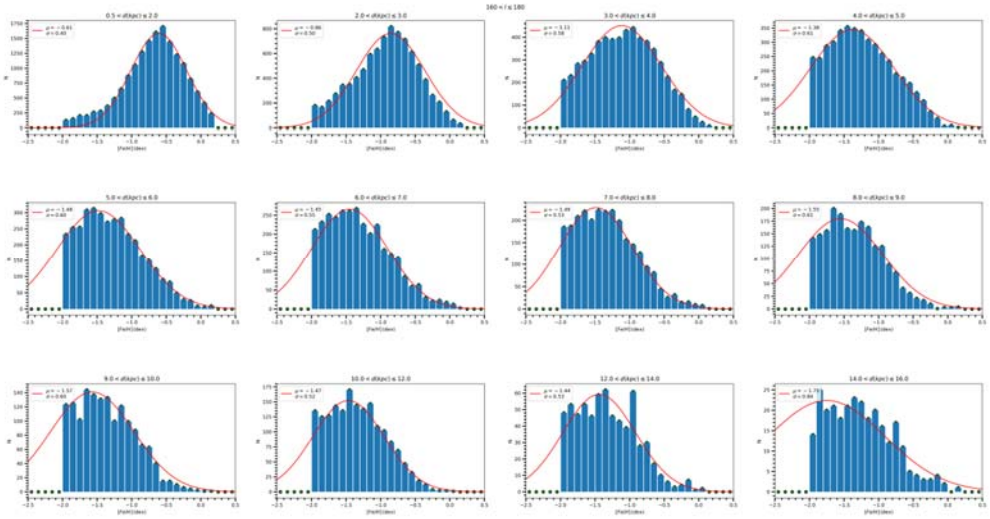


$140^o < l \leq 160^o$

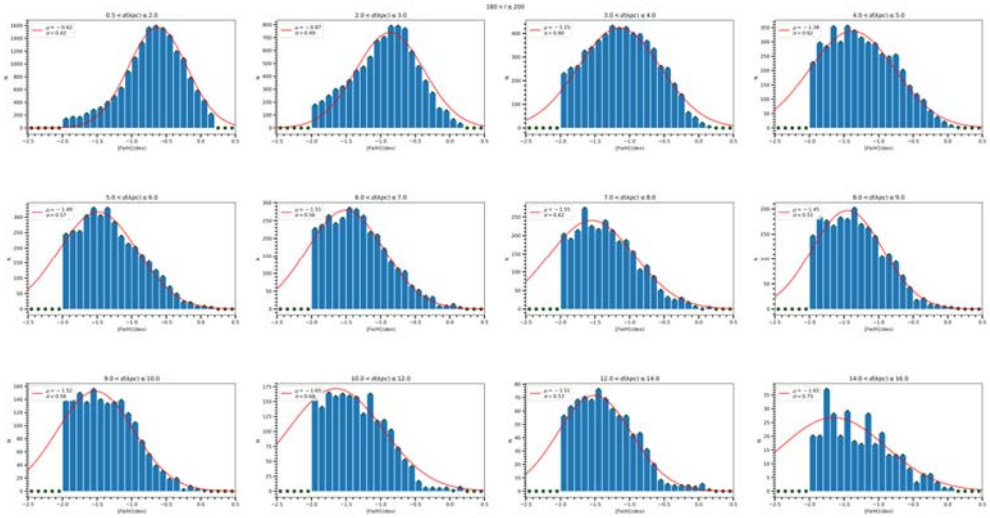


EK 2 (devam)

$160^o < l \leq 180^o$

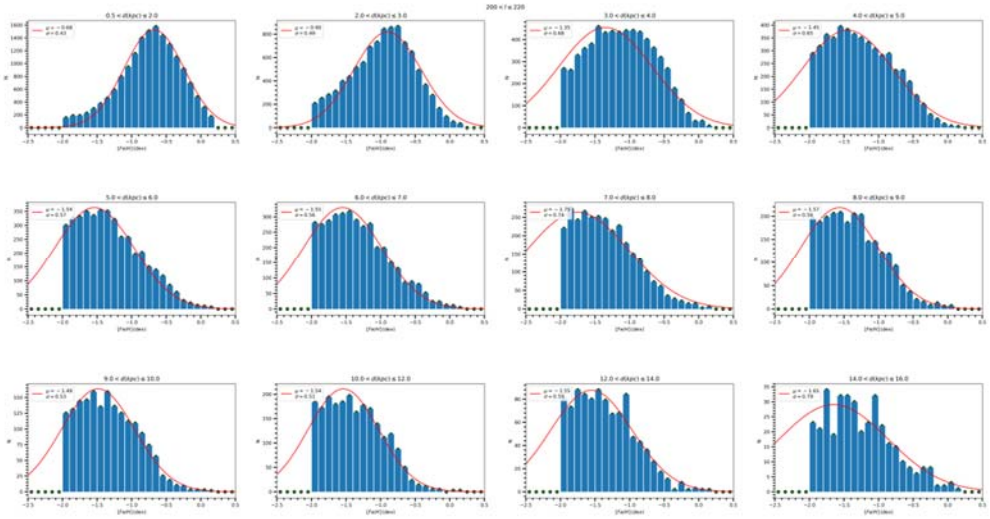


$180^o < l \leq 200^o$

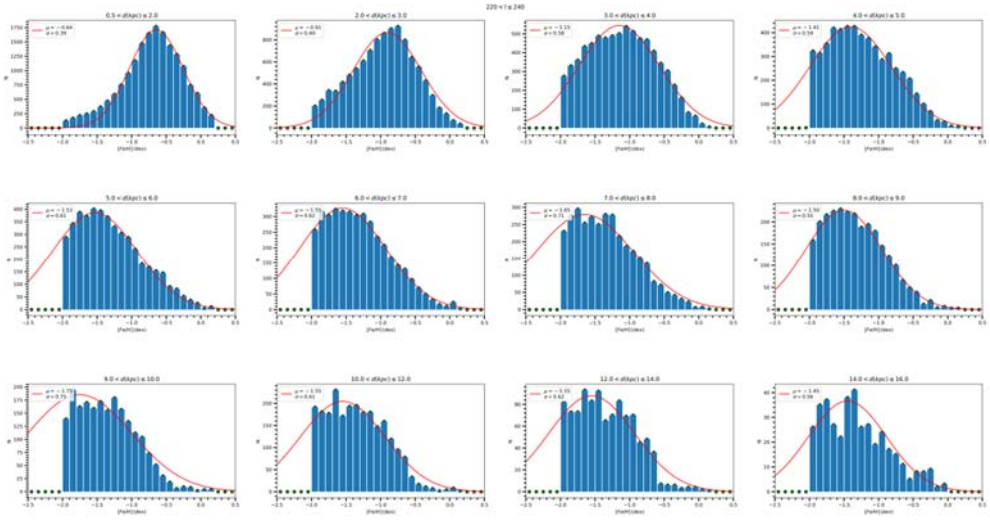


EK 2 (devam)

200° < *l* ≤ 220 °

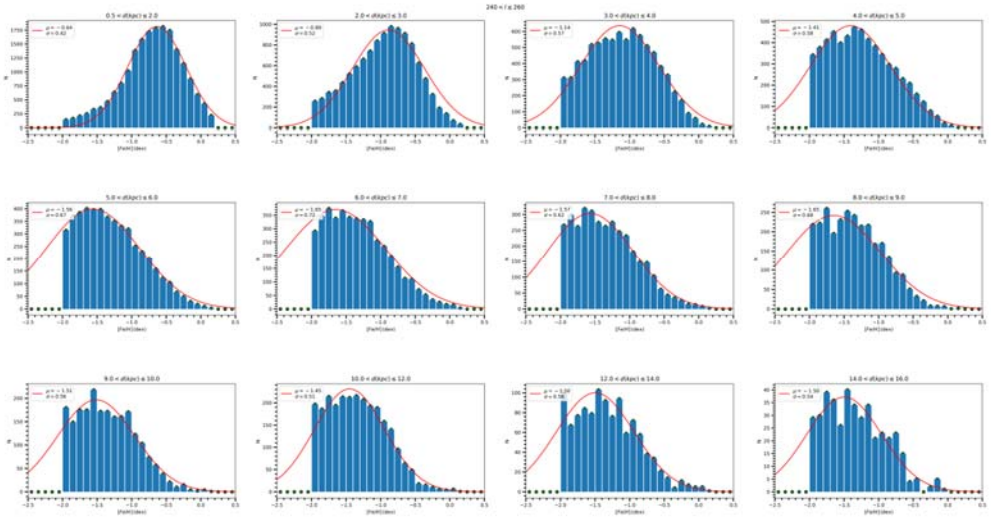


220° < *l* ≤ 240 °

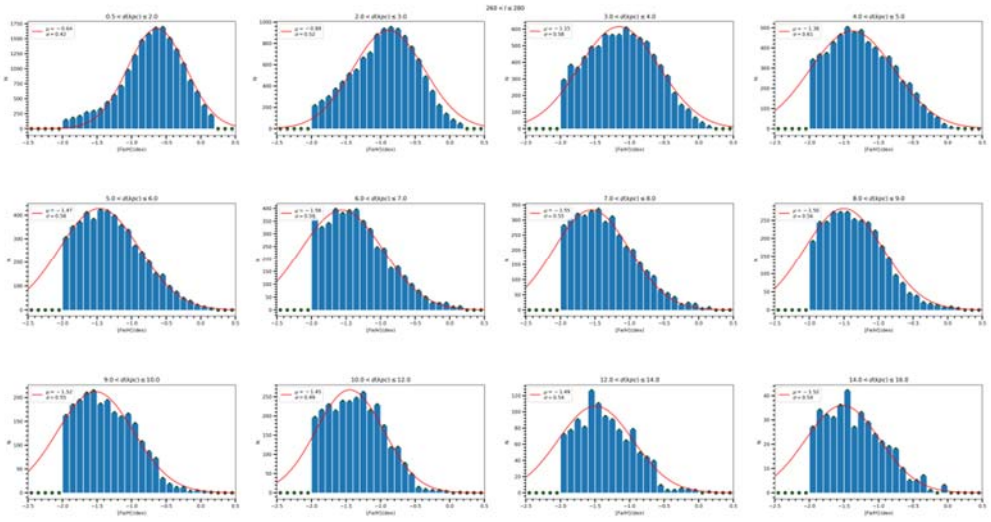


EK 2 (devam)

240° < *l* ≤ 260 °

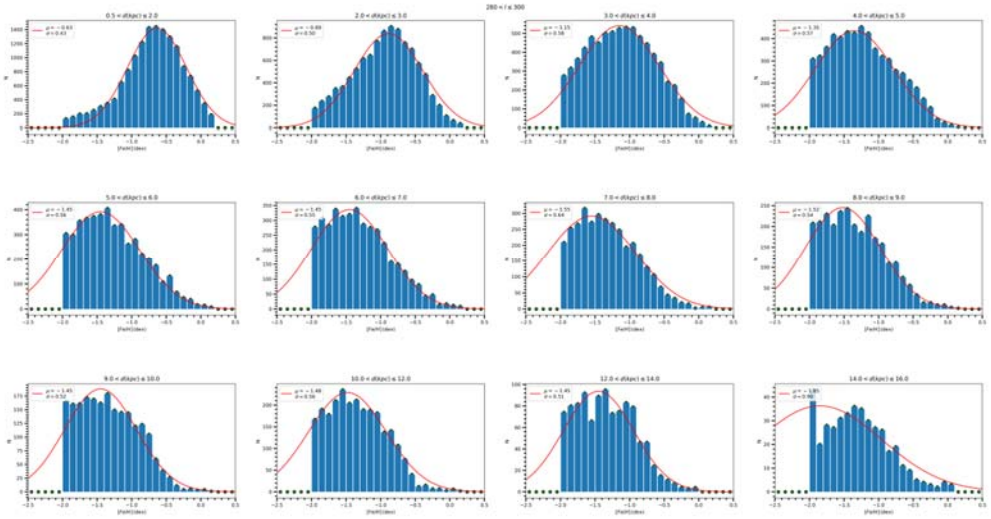


260° < *l* ≤ 280 °

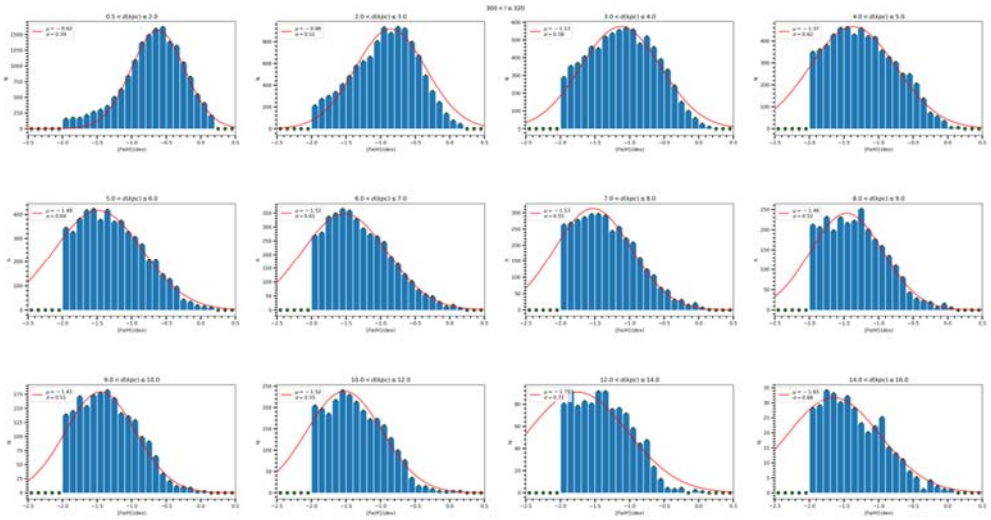


EK 2 (devam)

$280^o < l \leq 300^o$

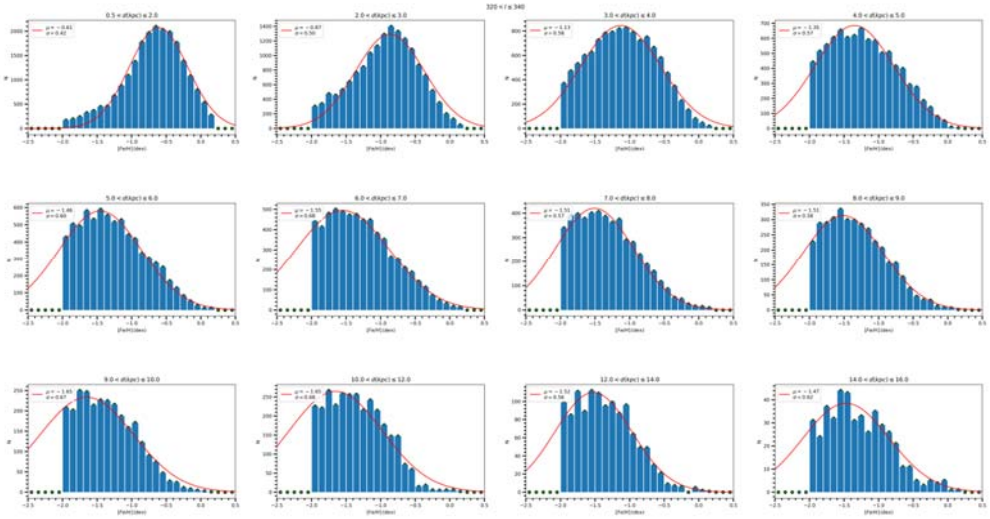


$300^o < l \leq 320^o$

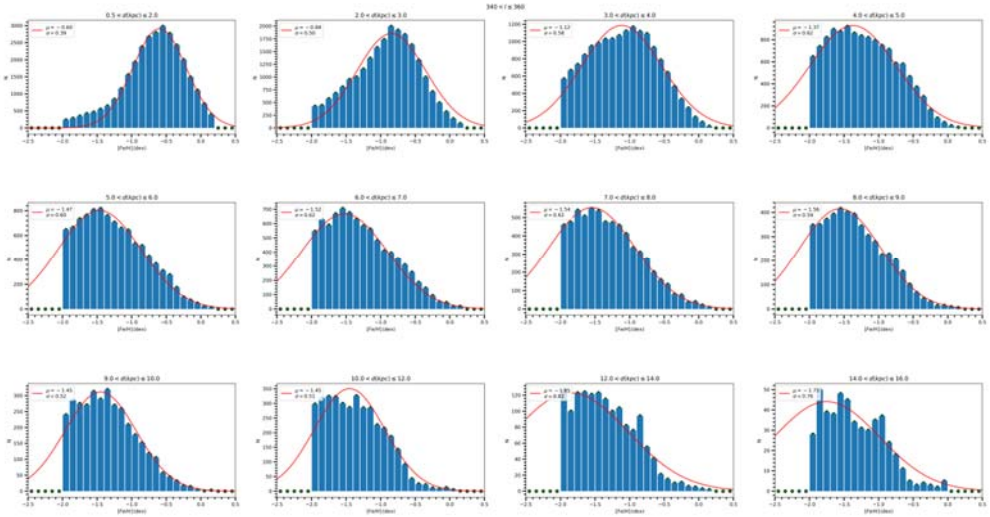


EK 2 (devam)

$320^{o} < l \leq 340^{o}$



$340^{o} < l \leq 360^{o}$



TÜBİTAK
PROJE ÖZET BİLGİ FORMU

Proje Yürütücüsü:	Prof. Dr. SERAP AK
Proje No:	114F347
Proje Başlığı:	Samanyolu Galaksisinin Metal Bolluğu Haritası
Proje Türü:	1001 - Araştırma
Proje Süresi:	30
Araştırmacılar:	SELÇUK BİLİR, ZAHİDE FUNDA BOSTANCI GÜVER, ÖZGECAN ÖNAL TAŞ
Danışmanlar:	
Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi:	İSTANBUL Ü. FEN F. ASTRONOMİ VE UZAY BİLİMLERİ B.
Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri:	15/04/2015 - 15/10/2017
Onaylanan Bütçe:	237500.0
Harcanan Bütçe:	156408.84
Öz:	Samanyolu Galaksisi'nin farklı gözlemsel veriler kullanılarak incelenmesi çok eskilere dayanmamaktadır. Özellikle sığ ve derin gökyüzü tarama programlarının fotometrik ve tayfsal verilerinin bir arada incelenmesi Galaksimizin çözülememiş birçok problemine ışık tutacaktır. Yıldızların atmosfer modeli parametreleri ile kinematik ve yörünge parametrelerinin karşılaştırmalı olarak araştırılması Galaksimizin popülasyon türlerinin ortaya konmasında önemli olduğu gibi, bu bileşenlerin evrim ve oluşumlarının anlaşılmasında metal bolluğu gradyentleri de çok önemlidir. Projemizde tayfsal veriler içeren RAVE DR4 ile derin ve duyarlı fotometrik veriler içeren SDSS-III DR12 veri setlerindeki anakol ve dev yıldızlar seçilerek yeni metal bolluğu ve mutlak parlaklık kalibrasyonları oluşturulmuştur. Yeni oluşturulan bu kalibrasyonlar yardımıyla yaklaşık 1.5 milyon anakol ve ışıma gücü sınıfı dev olan kırmızı yığın yıldızının metal bollukları ve uzaklıkları belirlenmiştir. Elde edilen bu veriler kullanılarak da projemizin asıl amacı olan metal bolluğu haritası oluşturularak hem Galaksi merkezinden radyal doğrultuda hem de Galaktik düzleme dik doğrultuda metal bolluğu gradyentleri hesaplanmış ve Samanyolu Galaksisi'nin oluşum ve evrimine ait modeller sınanmıştır. Projemizde Galaksi merkezinden radyal doğrultuda elde edilen metal bolluğu gradyentleri yıldızların bugünkü konumlarına, Galaksi merkezine ortalama uzaklıklarına ve yörünge basıklıklarına göre elde edilmiştir. Radyal metal bolluğu gradyentlerinden elde edilen bulgulara göre, ince diskin baskın olduğu Zmax ? 0.5 kpc uzaklık aralığında rölatif olarak zayıf bir metal bolluğu gradyenti bulunmuştur. Bu sonuç, Chiappini, Matteucci ve Graton'un (1997) önerdiği ikili çökme modelinin bir parçası olan içten dışa doğru oluşum teorisini, yani Galaksi diskinin ilk çökmesinde meydana gelen şişkin bölgedeki yıldızların nükleer evriminin ve ikinci çökme döneminde dışta bulunan uydu galaksilerle birleşmesinin yeni bir yıldız oluşumu patlamasını tetikleyip çok uzun bir zamanda (yaklaşık 8 Gyıl) çökerek Galaksi diskini oluşturduğu teoriyi, desteklemektedir. Dikey metal bolluğu gradyentinden ise Galaktik düzleme dik doğrultuda içten dışa doğru elde edilen belirgin bir gradyent Galaksimizin 3 kpc'lik bu kısmının bir bütün olarak çöktüğünü doğrulamaktadır.
Anahtar Kelimeler:	Galaksi: Kinematik, Dinamik, Galaktik Yapı, Oluşum ve Evrim, Popülasyonlar
Fikri Ürün Bildirim Formu Sunuldu Mu?:	Hayır

TÜBİTAK

Projeden Yapılan Yayınlar:	1- Metallicity Calibration and Photometric Parallax Estimation: I.UBV photometry (Makale - İndeksli Makale), 2- Local Stellar Kinematics from RAVE data-VII. Metallicity Gradients from Red Clump Stars (Makale - İndeksli Makale), 3- Local Stellar Kinematics from RAVE Data - VI. Metallicity Gradients Based on the F-G Main-Sequence Stars (Makale - İndeksli Makale), 4- Metallicity Gradients in the Solar Neighbourhood (Bildiri - Uluslararası Bildiri - Poster Sunum), 5- UBV Fotometrisi için Yeni Metal Bolluğu ve Mutlak Parlaklık Kalibrasyonları (Bildiri - Ulusal Bildiri - Sözlü Sunum), 6- Radyal Hız Deneyindeki Kırmızı Yığın Yıldızlarının Kinematik Analizi (Tez (Araştırmacı Yetiştirilmesi) - Doktora Tezi), 7- Güneş Civarındaki F-G Tayf Türü Anakol Yıldızlarından Radyal Metal Bolluğu Gradyenti (Tez (Araştırmacı Yetiştirilmesi) - Yüksek Lisans Tezi), 8- New Metallicity and Absolute Magnitude Calibrations for UBV Photometry (Bildiri - Uluslararası Bildiri - Poster Sunum),

TÜBİTAK