



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



DOKTORA TEZİ

**GALAKSİMİZDEKİ KALIN DİSKİN METAL BOLLUĞU
GRADYENTİNİN İNCELENMESİ**

Sabiha TUNÇEL GÜÇTEKİN

Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı

Astronomi ve Uzay Bilimleri Programı

**DANIŞMAN
Prof. Dr. Selçuk BİLİR**

Ekim, 2018

İSTANBUL

Bu çalışma, 19.10.2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı, Astronomi ve Uzay Bilimleri Programında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi



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



Prof. Dr. Serap AK
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi



Prof. Dr. Ömür ÇAKIRLI
Ege Üniversitesi
Fen Fakültesi



Prof. Dr. Faruk SOYDUGAN
Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi
Fen – Edebiyat Fakültesi



Doç. Dr. Z. Funda BOSTANCI GÜVER
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi



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

Bu tez, İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yürütücü Sekreterliğinin 52265 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

Bu tez, 114F347 numaralı TÜBİTAK projesi ile desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

Yaşamım boyunca beni destekleyen eğitim hayatım dahil her zaman yanımda olan ailemdeki tüm bireylere sonsuz teşekkürler...

Lisans mezunu olduktan sonra lisansüstü yapabilme bilgimin olduğunu söyleyerek beni teşvik eden, emekli olmasına rağmen, doktora hayatımda da engin bilgi birikimini benimle paylaşan değerli bilim insanı Kıymetli Hocam Prof. Dr. Salih KARAALİ'ye en içten dileklerle sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Değerli bilgisini tüm yoğun zamanlarında ve hatta tatil günlerinde bile bana aktararak, sorularıma cevap bulmamda yardımcı olan, aktardığı bilgiler sayesinde bu tezin ortaya çıkmasını ve gelişmesini sağlayan danışmanım Değerli Hocam Prof. Dr. Selçuk BİLİR'e verdiği destek için çok teşekkür ederim.

Bilgisi ve tecrübesiyle bana her zaman yardımcı olan, bilgisini benimle paylaşan ve tezime katkı sağlayan Sayın Prof. Dr. Serap AK hocama çok teşekkür ederim. Doktora sürecinde tezimizle birlikte büyüyen çocuklarımızla bile çalışabildiğimizi kanıtlayan, bu konuda beni en iyi anlayabilen arkadaşım Araş. Gör. Dr. Özgecan ÖNAL TAŞ'a yardım ve katkılarından dolayı teşekkür ederim. Doktora arkadaşım Araş. Gör. Dr. Olcay PLEVNE'ye, tez boyunca, bilgisayar konusunda bana 7/24 yardımcı olduğu ve grafiklerimi renklendirdiği için minnettarım.

Hayatımdaki en değerlilerimden biri olan canım babam Erdoğan TUNÇEL'e eğitimim boyunca desteği ve doktora sürecinde oğluma arkadaş olduğu için çok teşekkür ederim. Ders aşamalarında oğlumu gözüm arkada kalmadan bıraktığım, tez yazım döneminde rahatça çalışabilmem için, 24 saatten fazla zamanını oğluma harcayarak onun tüm bakımını üstlenen, böylece benim yükümü hafifleten değerli annem Nermin TUNÇEL'e verdiği emek ve gösterdiği sabır için teşekkürü borç bilirim.

Doktora hayatıma başlamamda bana öncülük eden, maddi-manevi sonsuz desteğini esirgemeyen, bu uzun yorucu süreçte sabırla yanımda olan, tezin bitimini dört gözle bekleyen, hayat arkadaşım canım eşim Doç. Dr. Nuri GÜÇTEKİN'e teşekkür ederim.

Doktora yeterlilikte bana güç veren ve sınav heyecanı ile dünyaya gelmeden ilk kez tanışan, yeterlilik sürecinden üç ay sonra kavuştuğum, doktoramın ilk ürünü canım oğlum Salih GÜÇTEKİN'e özellikle son aylarda fazla vakit ayıramama rağmen, beni dinlediği ve sabrettiği için çok çok teşekkürler...

Ayrıca, doktora çalışmamı sağladığı burs ile destekleyen Türkiye Bilimsel Araştırma Kurumu'na teşekkürlerimi sunarım.

Doktora tez çalışmamın gerçekleşmesi için bana imkânlar sunan ülkemizin köklü ve değerli bilim kurumlarından İstanbul Üniversitesi'ne ve üniversite çatısı altındaki Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü'ne teşekkür ederek bu doktora tezimi, literatüre iyi bir araştırma çalışması olarak sunuyorum.

Ekim 2018

Sabiha TUNÇEL GÜÇTEKİN

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ŞEKİL LİSTESİ	viii
TABLO LİSTESİ.....	xvi
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ	xix
ÖZET	xxiii
SUMMARY	xxv
1. GİRİŞ	1
2. GENEL KISIMLAR.....	6
2.1. SAMANYOLU GALAKSİSİ	6
2.1.1. Yapısı ve Özellikleri	6
2.1.2. Galaktik Bileşenler	8
2.1.3. Galaksimizin Oluşumu, Evrimi ve Modelleri	14
2.1.3.1. Gözlemlere Dayalı Oluşum Senaryoları ve Modeller	14
2.1.3.2. Modeller.....	17
2.2. KALIN DİSK	21
2.2.1. Kalın Diskin Tarihçesi	22
2.2.2. Kalın Diskin Astrofizik Parametreleri	27
2.2.3. Diğer Galaksilerdeki Kalın Diskler	31
2.2.4. Kalın Diskteki Problemler	32
2.2.5. Kalın Diskin Oluşumu ve Evrimi	36
2.2.6. Kalın Diskin Geleceği	38
2.3. F ve G Tayf Türündeki Anakol Yıldızları	39
2.3.1. İçyapıları ve Fiziksel Özellikleri	39
2.3.2. Evrimsel Önemi	40
2.4. METAL BOLLUĞU VE MUTLAK PARLAKLIK KALİBRASYONLARI	43
2.4.1. Kalibrasyon Tanımı	43
2.4.2. Metal Bolluğu Kalibrasyonu	44
2.4.3. Mutlak Parlaklık Kalibrasyonu	49
2.5. SLOAN SAYISAL GÖKYÜZÜ TARAMASI (SDSS).....	51

2.5.1. SDSS I.....	53
2.5.2. SDSS II.....	54
2.5.3. SDSS III.....	55
2.5.4. SDSS Projesinin Bugünü ve Geleceği.....	60
2.5.5. Sloan Fotometrik Sistemi	61
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	63
3.1. VERİLER.....	63
3.1.1. Kalibrasyon Verileri	63
3.1.2. SDSS Fotometrik Verileri	68
3.2. YILDIZLARARASI KIZARMANIN HESAPLANMASI.....	69
3.3. FOTOMETRİK DÖNÜŞÜM FORMÜLLERİ	70
3.4. KALİBRASYONLAR VE YILDIZLARIN UZAKLIK TAYİNİ.....	73
3.4.1. Metal Bolluğu Kalibrasyonu	73
3.4.2. Mutlak Parlaklık Kalibrasyonu.....	78
3.6. METAL BOLLUĞU GRADYENTİ.....	83
3.6.1. Galaksi Merkezinden Radyal Doğrultudaki Metal Bolluğu Gradyenti.....	83
3.6.2. Galaktik Düzleme Dik Doğrultudaki Metal Bolluğu Gradyenti	83
3.7. SDSS FOTOMETRİSİNDE YILDIZLARIN FARKLI CİSİMLERDEN TEMİZLENMESİ	84
3.7.1. Farklı Türden Nesnelerin Ayırımı	84
3.7.2. Evrimleşmiş Yıldızların Ayırımı	89
3.8. YILDIZ POPÜLASYONLARININ ETKİNLİĞİ.....	91
3.9. GALAXIA MODELİ	96
4. BULGULAR.....	101
4.1. HYADES AÇIK KÜMESİNİN İKİ-RENK VE RENK PARLAKLIK DİYAGRAMLARI.....	101
4.2. METAL BOLLUĞU VE MUTLAK PARLAKLIK KALİBRASYONLARI.....	110
4.2.1. Fotometrik Metal Bolluğu Kalibrasyonu.....	110
4.2.2. Mutlak Parlaklık Kalibrasyonu.....	124
4.3. ANAKOL YILDIZLARINDAN METAL BOLLUĞU GRADYENTLERİNİN HESABI.....	132
4.3.1. F ve G Tayf Türü Anakol Yıldızlarının Seçimi.....	132
4.3.2. Metal Bolluğu Gradyent Hesaplamaları	140
4.3.2.1. Galaksi Merkezinden Radyal Doğrultudaki Metal Bolluğu Gradyenti	140
4.3.3 Galaktik Düzleme Dik Doğrultudaki Metal Bolluğu Gradyenti	151

4.3.4. Metal Bolluğu Gradyentlerindeki Dış Hataların Hesabı	161
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	163
5.1. YENİ METAL BOLLUĞU KALİBRASYONUNUN LİTERATÜR İLE KARŞILAŞTIRILMASI	165
5.1.1. SEGUE Verileriyle Karşılaştırma	165
5.1.2. Karaali ve diğ. (2005)'nin Çalışmasıyla Karşılaştırma	167
5.1.3. Ivezic ve diğ. (2008)'nin Çalışmasıyla Karşılaştırma	169
5.2. YENİ MUTLAK PARLAKLIK KALİBRASYONUNUN LİTERATÜR İLE KARŞILAŞTIRILMASI	172
5.2.1. Karaali ve diğ. (2005)'nin Çalışmasıyla Karşılaştırma	172
5.2.2. <i>Gaia</i> DR2 Verileriyle Karşılaştırma	174
5.3. LİTERATÜRDEKİ METAL BOLLUĞU GRADYENT ÇALIŞMALARI	180
5.4. GALAKSİ MERKEZİNDEN RADYAL DOĞRULTULARDAKİ METAL BOLLUĞU GRADYENTLERİ	184
5.5. GALAKTİK DÜZLEMDEN DİK DOĞRULTULARDAKİ METAL BOLLUĞU GRADYENTLERİ	186
5.6. <i>GALAXIA</i> VERİLERİYLE GÖZLEMSEL VERİLERDEN HESAPLANAN METAL BOLLUĞU GRADYENTLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI	190
5.7. YILDIZ AKINTILARININ METAL BOLLUĞU GRADYENT ÇALIŞMASINA ETKİSİ	200
5.8. KALIN DİSK BİLEŞENİNDEKİ METAL BOLLUĞU GRADYENTLERİ	203
KAYNAKLAR.....	205
EKLER	229
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	229
EK 2: Galaktik Boylam Aralıklarındaki Yıldızlar İçin 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 Şekillerin Sağ Üst Köşesinde Verilmiştir	232
ÖZGEÇMİŞ	259

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1: William Herschel'in Samanyolu modeli.....	2
Şekil 2.1: Laniakea süper kümesi, bileşenleri ve yerel grup.....	6
Şekil 2.2: de Vaucouleurs sınıflamasına göre farklı türden spiral galaksiler.	7
Şekil 2.3: Samanyolunun (sol panel) ve bileşenlerinin (sağ panel) resmedilmiş görüntüsü.	7
Şekil 2.4: 2MASS fotometrik verilerinden oluşturulan Samanyolunun şişkin bölgesi ve diski bileşeninin görüntüsü. Görüntünün sağ alt tarafında büyük ve küçük Macellan Bulutsuları görünmektedir.	8
Şekil 2.5: İki spiral galaksideki kutu/fıstık şeklindeki şişkin bölge görüntüleri.	9
Şekil 2.6: Galaktik çubuk yapının geometrisi (Wang ve diğ., 2012).	9
Şekil 2.7: Samanyolu merkezindeki süper kütleli karadeliğe ait bir çizim (sol panel) ve Samanyolunun radyo bölgesinde ($\lambda = 90$ cm) 450×560 pc boyutundaki merkez görüntüsü (sağ panel, La Rosa ve diğ., 2000).	10
Şekil 2.8: Samanyolu diskinin içten dışa doğru yaş dağılımı.	10
Şekil 2.9: Su yılanı takımyıldızında Galaksimizden 150 milyon ışık yılı uzaklıktaki ESO 510-G13 galaksisinin görüntüsü ve diskindeki burulma.	11
Şekil 2.10: Samanyolu diskinde belirlenmiş dört spiral kol (sol panel; Benjamin, 2008) ve spiral kolların temsili konumları (sağ panel).	12
Şekil 2.11: ELS'nin (1962) incelediği yıldız örnekleri için mor-ötesi artığının, sol panel, $ W $ uzay hızı, sağ panel, yörünge basıklığıyla (e) değişimi. Şekilde içi dolu ve boş daireler, sırasıyla, verilerin Roman'ın (1955) iki farklı yüksek hızlı yıldız kataloğundan alındığını göstermektedir.	15
Şekil 2.12: Klasik ELS (1962) ve hiyerarşik SZ (1978) senaryolarının temsili şekli.	16
Şekil 2.13: İç içe ikili çökme modelini ifade eden şematik çizim (Chiappini ve diğ., 1997).	19
Şekil 2.14: Galaktik bileşenlerin $[Fe/\alpha] \times [\alpha/H]$ bolluk dağılımı(sol panel) ve yıldız oluşumunun zaman bağlı değişimi (sağ panel; Gratton ve diğ., 1997).	20

Şekil 2.15: Kenardan görülen NGC 4762 galaksisindeki ince disk (sol panel) ve kalın disk (sağ panel) bileşenleri (Tsikoudi 1980).	22
Şekil 2.16: HR diyagramı üzerinde Pop I (siyah) ve Pop II (taralı) yıldızlarının konumları (Baade, 1944).	23
Şekil 2.17: Galaktik düzlemden dik doğrultudaki uzaklığın bir fonksiyonu olarak ince disk, yaşlı disk ve halo bileşenlerinin yıldız yoğunluk profilleri (Yoshii, 1982). Düz ve kesikli çizgiler ikinci disk bileşeni için küresel küme ışıma gücü fonksiyonuna ait modeli temsil ederken, uzun ve kısa kesikli çizgiler de Galaksimizin Güneş komşuluğundaki ışıma gücü fonksiyonu modelini ifade eder.	24
Şekil 2.18: Galaktik düzlemden dik doğrultudaki uzaklığın bir fonksiyonu olarak yaşlı disk ve kalın disk bileşenlerinin yıldız yoğunluk profilleri (Gilmore ve Reid, 1983). Siyah daire fotometrik paralaks yöntemiyle belirlenen $4 < M_V < 5$ mutlak parlaklık aralığındaki yıldızların gözlemsel uzay yoğunluklarını, düz çizgi ince disk bileşenini ve kesikli çizgi de kalın disk temsil etmektedir.	25
Şekil 2.19: Şerit 82 (Stripe 82)'de 60 derece kare büyüklüğündeki bir yıldız alanından oluşturulan $g \times g-r$ renk-parlaklık diyagramı.	26
Şekil 2.20: Güneş civarında kinematik kriterlere göre popülasyon ayrımı yapılmış yıldız örneğinin alfa element bolluklarıyla demir element bollukları arasındaki dağılımı (Reddy ve diğ., 2003; 2006). Çember ve daire sembolleri, sırasıyla, ince disk ve kalın disk yıldızlarını temsil eder.	28
Şekil 2.21: İki dış galakside keşfedilen kalın disk bileşenleri NGC 3115 (üst paneller) ve NGC 4762 (alt paneller). Sol paneller ince disk bileşenlerini sağ paneller de kalın disk bileşenlerini göstermektedir (Tsikoudi, 1979; 1980).	31
Şekil 2.22: Gözlemsel verilerin modeller ile karşılaştırılmasıyla hesaplanan kalın disk f_{TK} değerleriyle h_z arasındaki dağılımı. Kırmızı daire ve yeşil kareler, sırasıyla, çalışmaların MFA ve PPA analiz yöntemleriyle incelendiğini gösterir. Kısaltmalar, Tablo 2.2'de verildiği gibidir.	33
Şekil 2.23: İnce ve kalın disk yükseklik ölçeklerinin (h_z) karşılaştırılması. Semboller Şekil 2.22'deki gibidir.	35
Şekil 2.24: İnce ve kalın disk uzunluk ölçeklerinin (h_R) karşılaştırılması. Semboller Şekil 2.22'deki gibidir.	35
Şekil 2.25: Orta tayf türündeki A, F ve G tayf türündeki anakol yıldızları için örnek tayflar. HD 23194 (A5V), HD 23585 (F0V), HD 27524 (F5V) ve β Com (G0V). Yıldız tayfları Gray'ın tayf atlasından alınmıştır.	39
Şekil 2.26: Güneş civarındaki yıldızların HR diyagramındaki konumları. Yıldızlar tayf türü, etkin sıcaklık, ışıma gücü, yarıçap ve anakol yaşlarına göre sınıflandırılmış.	41
Şekil 2.27: Erken, orta ve geç tayf türündeki anakol yıldızların içyapıları.	41

Şekil 2.28: Elementlerin periyodik tablosu. Farklı renkler ve elementlerin altındaki semboller elementlerin oluşum süreçlerini gösterir.	45
Şekil 2.29: Seçilen bazı yıldızların mor-ötesi artığıyla metal bollukları arasındaki ilişki (Wallerstein ve Carlson, 1960).	46
Şekil 2.30: Wallerstein (1962)'nin G tayf türü cüce yıldızın element bolluklarını hesaplariken kullandığı metal çizgilerinin fotoğraf plağı üzerindeki görüntüsü.	46
Şekil 2.31: $(U-B)_0 \times (B-I)_0$ iki-renk diyagramlarındaki yıldızların blenketting vektörü boyunca hareketleri (Sol panel; Melbourne, 1960) ve (sağ panel; Wildey ve diğ., 1962). Sağ panelde rakamlar ile gösterilen yıldız (1) HD 140283, (2) 51 Peg, (3) Güneş, (4) HD 19445, (5) β Com, (6) ξ Peg, (7) 50 And, (8) π^3 Ori, (9) 110 Her, (10) σ Boo'dur.	48
Şekil 2.32: Hyades anakolu üzerindeki bir yıldız için mor-ötesi artığı δ_{U-B} ve blanketing vektörünün şematik gösterimi.	48
Şekil 2.33: New Mexico'daki Apache Nokta Gözlemevi sitesi.	52
Şekil 2.34: Apache Nokta Gözlemevi'ndeki 2.5 m'lik teleskop. Sol panelde teleskop görüntüsü sağ panelde teleskobun şematik çizimi gösterilmektedir (Gunn ve diğ., 2006).	53
Şekil 2.35: Mozaik CCD kamera (sol panel) ve SDSS filtre diziliminin şematik gösterimi (sağ panel).	53
Şekil 2.36: SDSS III projesinde incelenen galaksilerin dağılımı.	55
Şekil 2.37: SDSS III programında kullanılan APOGEE tayfçeki.	56
Şekil 2.38: APOGEE DR10 veri sürümünde incelenen bölgeler.	56
Şekil 2.39: Erken evrende ve bugünkü BOSS gibi galaksi araştırmalarında hâlâ görülebilen baryon akustik salınımları kavramının temsili gösterimi.	57
Şekil 2.40: BOSS için tasarlanan tayfçekiğin iki farklı görüntüsü.	58
Şekil 2.41: MARVEL tayfçekiğinin şematik görüntüsü (Ge ve diğ., 2002).	59
Şekil 2.42: Galaktik koordinatlara göre ayrılmış SEGUE-1 ve SEGUE-2 taramalarının incelenen alanlar. Mavi noktalar SEGUE-1, kırmızı noktalar SEGUE-2 taramalarını temsil etmektedir.	59
Şekil 2.43: Sloan bandlarının duyarlılık fonksiyonları.	61
Şekil 3.1: Tayfsal verilerin seçiminde kullanılan dört araştırma grubundaki yıldızların etkin sıcaklık (T_{eff}), yüzey çekim ivmesi ($\log g$) ve metal bolluğu ($[Fe/H]$) dağılımları. Pembe, kırmızı, mor ve mavi renk ile belirtilen dağılımlar, sırasıyla, Venn ve diğ. (2004), Reddy ve diğ. (2006), Nissen ve Schuster (2010), Bensby ve diğ. (2014)'nin çalışmalarını göstermektedir.	65

Şekil 3.2: Kalibrasyon yıldızlarının, farklı renkler ile gösterilen, çalışma gruplarına göre oluşturulan renk-parlaklık, iki-renk diyagramları ve rölatif paralaks hataları.	66
Şekil 3.3: SDSS III DR12 (Alam ve diğ., 2015) ile incelenen yıldız alanlarının (gri bölgeler) ekvatorial koordinat sistemindeki görüntülerinin aitoff projeksiyonu üzerindeki gösterimi.	69
Şekil 3.4: Sandage (1969)'in çalışmasında kullandığı 112 yıldızın $U-B \times B-V$ iki-renk diyagramındaki konumları. Yıldızların altındaki ve üstündeki düz çizgiler, sırasıyla, Hyades açık kümesinin anakolu ve metalce fakir zarfını göstermektedir. Çember sembolü tayfsal olarak keşfedilen çift yıldızları ifade etmektedir.	75
Şekil 3.5: Hyades kümesinin anakolunu elde edilmesi için renk uzaylarında ağırlıklandırılmış verilerden oluşturulan (daire sembolü) $U-B \times B-V$ iki-renk diyagramı (Sandage, 1969). Eğri ağırlıklandırılmış veriye uygulanan beşinci dereceden polinom fiti göstermektedir.	76
Şekil 3.6: Sandage (1969)'in $B-V$ renk indeksleriyle f giyotin çarpanları arasındaki dağılım (daire sembolü). Eğri bu verilere uygulanan altıncı dereceden polinom fitini göstermektedir.	78
Şekil 3.7: Hyades açık kümesine üye 45 anakol yıldızının (daire sembolü) $M_V \times (B-V)_0$ renk-parlaklık diyagramı. Eğri verilere uygulanan beşinci dereceden polinom fonksiyonu gösterir.	80
Şekil 3.8: Güneş merkezli Galaktik koordinat sisteminin Galaksi merkezli koordinat sistemine taşınmasını gösteren şematik çizimi.	82
Şekil 3.9: Bir yıldız alanında yıldız-galaksi ayırmında kullanılan kaynakların yıldızlımsılık indeksiyle K_s görünen parlaklıkları arasındaki dağılım (Coldwell ve diğ., 2014).	86
Şekil 3.10: SDSS sistemindeki iki-renk diyagramları üzerinde farklı türden nesnelerin sayısal benzetimlerinden belirlenen konumları (Fan, 1999). (a) $(u'-g' \times g'-r')$, (b) $(g'-r' \times r'-i')$ (c) $(r'-i' \times i'-z')$. Burada, WD: Beyaz cüce, CELG: Sıkışık emisyon çizgili galaksi, STAR: yıldız ve QSO: kuazarı ifade eder.	87
Şekil 3.11: SDSS fotometrisiyle incelenen yaklaşık 48 milyon anakol yıldızının $(g-r) \times (r-i)$ iki-renk diyagramındaki konumları (Juric ve diğ., 2008). Panelin sol üst köşesinde parlak ve sönük yıldızların fotometrik hataları gösterilmiştir. Parlak ve mavi yıldızlarda $(g-r < 1)$ hata 0.02 kadar iken, sönük ve kırmızı yıldızlarda $(g-r \sim 1.4)$ bu değer 0.06 kadire ulaşmaktadır.	88
Şekil 3.12: SPS ile aynı yıldız alanında bulunan SDSS yıldızlarının $u-g \times g-r$ 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 ışımaya gücü sınıfları belirlenmiş evrimleşmiş ve anakol yıldızları, sırasıyla, $(\bullet)$ ve (Δ) üçgen sembolüyle gösterilmiştir.	90

Şekil 3.13: Galaktik bileşenlerin konumları ve popülasyon yıldızları.....	91
Şekil 3.14: Altı araştırma grubundan alınan Galaktik model parametrelerinin kuzey Galaktik kutup doğrultusunu için hesaplanan yıldız yoğunluk profilleri. Popülasyonlara ait yoğunluk profilleri ve bunların toplamaları her bir panelde verilmiştir. Çizgiler panellerin sol üst köşesinde açıklanmıştır.....	94
Şekil 3.15: Altı araştırma grubundan alınan Galaktik model parametrelerinin Galaksi modellerinde kullanılmasıyla kalın disk bileşeni için hesaplanan etkin Z uzaklık aralıklarının şematik gösterimi. Mavi, gri, mor, yeşil, kırmızı ve sarı katı çizgiler, sırasıyla, Gilmore ve Reid (1983), Buser ve diğ. (1999), Robin ve diğ. (2000), Chen ve diğ. (2001), Karaali ve diğ. (2004) ve Juric ve diğ. (2008)'ne ait modelleri ifade etmektedir.	95
Şekil 3.16: <i>Galaxia</i> ve <i>Besancon</i> Galaksi modellerinde seçilen üç yıldız alanı doğrultusunda üretilen sentetik yıldız sayılarının V görünen parlaklığa göre dağılımları. Galaktik bileşenler farklı renklerdeki düz çizgiler ile Galaksi modelleri de kesikli mor ve düz siyah çizgiler ile gösterilmiştir.	100
Şekil 4.1: $u-g \times g-r$ iki-renk diyagramında Hyades açık kümesinin anakol yıldızları (gri daire) ve bu yıldızları temsil eden beşinci dereceden eğri (siyah eğri).	106
Şekil 4.2: Hyades açık kümesindeki anakol yıldızlarının (gri daire) $M_g \times g-r$ renk-parlaklık diyagramı ve anakol yıldızlarını temsil eden beşinci dereceden eğri (siyah çizgi).	108
Şekil 4.3: SDSS sisteminde f giyotin çarpının $g-r$ renk indeksiyle değişimi. Şekildeki sürekli çizgi verileri temsil eden altıncı dereceden eğriyi gösterir.	109
Şekil 4.4: 168 yıldızın (a) tayfsal metal bolluğu, (b) rölatif paralaks hataları ve (c) SDSS fotometrik sistemindeki M_g mutlak parlaklık dağılımları.	117
Şekil 4.5: 168 kalibrasyon yıldızının SDSS fotometrisi kullanılarak hesaplanan mor-ötesi artıklarıyla ($\delta_{0.41}$) tayfsal yöntemlerden elde edilmiş metal bolluklarının ($[Fe/H]$) dağılımı. Siyah düz çizgi ve mavi kesikli çizgiler, sırasıyla, fotometrik metal bolluğu kalibrasyonunu ve $\pm 1\sigma$ standart sapma değerlerini gösterir.	122
Şekil 4.6: (a) Kalibrasyon yıldızlarının fotometrik metal bolluklarıyla tayfsal metal bollukları arasındaki dağılım. Siyah düz çizgi bire bir çizgisini, kesikli mavi çizgiler $\pm 1\sigma$ standart sapmayı gösterir. (b) Kalibrasyon yıldızlarının iki farklı yöntem ile belirlenmiş metal bolluğu farkları ile tayfsal metal bolluğu değerleri arasındaki değişim. Siyah düz çizgi sıfır seviyesini, mavi kesikli çizgiler de farklarının $\pm 1\sigma$ standart sapma değerlerini göstermektedir.	123
Şekil 4.7: 168 kalibrasyon yıldızın $M_g \times (g-r)_0$ renk-parlaklık diyagramı üzerindeki dağılımı. Şekil üzerindeki semboller farklı metal bolluğu aralıklarında bulunan yıldızları ve siyah düz çizgi de Hyades anakolunu göstermektedir.	124

Şekil 4.8: 168 kalibrasyon yıldızının ΔM_g ile $\delta_{0.41}$ değerleri arasındaki dağılımı. Siyah eğri kalibrasyonu, mavi kesikli çizgiler $\pm 1\sigma$ standart sapma değerlerini göstermektedir.	129
Şekil 4.9: (a) 168 kalibrasyon yıldızının mutlak parlaklıklarıyla bu çalışmada hesaplanan mutlak parlaklıkların bire-bir dağılımı. Siyah düz çizgi (1-1) çizgisini belirtir. (b) 168 kalibrasyon yıldızının mutlak parlaklıklarıyla tez çalışmasında hesaplanan mutlak parlaklıklar arasındaki farklar. Mavi kesikli çizgiler $\pm 1\sigma$ standart sapma değerlerini göstermektedir.	131
Şekil 4.10: Yıldız olarak sınıflanan 16,281,265 nesnenin sayı yoğunluğuna göre oluşturulmuş $(g-r)_0 \times (r-i)_0$ iki-renk diyagramı. Kırmızı, siyah ve turuncu sürekli çizgiler, sırasıyla, yıldız sayı yoğunluğuna göre hesaplanan 1, 2 ve 3 standart sapma değerlerini gösterir. Kesikli çizgi anakolu temsilen yıldızların yerini temsil eder (Juric ve diğ., 2008). Şeklin üst kısmında görülen renk ölçeği yıldızların sayı yoğunluğu gösterir.	133
Şekil 4.11: Işıma gücü sınıflarına göre ayırımı yapılan örnekteki yıldızların (a) $(u-g)_0 \times (g-r)_0$ ve (b) $(g-r)_0 \times (r-i)_0$ iki-renk diyagramları. İki-renk diyagramları üzerinde gösterilen renkler yıldız sayı yoğunluğuna göre sınıflanmıştır. Evrimleşmiş yıldızlar siyah daire sembolüyle gösterilmiştir.	135
Şekil 4.12: Örneğimizdeki yıldızların g_0 görünen parlaklığına karşı g , $u-g$ ve $g-r$ parlaklık ve renk hataları. Panellerdeki kırmızı kesikli çizgi $g_0 = 20$ kadir limit parlaklığını göstermektedir.	135
Şekil 4.13: Kuazar olarak tespit edilmiş kaynağın görüntüsü (üst panel), tayfı ve bilgileri (alt panel)	137
Şekil 4.14: Galaksi olarak tespit edilmiş kaynağın görüntüsü (üst panel), tayfı ve bilgileri (alt panel)	138
Şekil 4.15: Evrimleşmiş yıldız olarak tespit edilmiş kaynağın görüntüsü (üst panel) ve tayfı (alt panel)	139
Şekil 4.16: Galaktik boylam aralığı $160^\circ < l \leq 180^\circ$ olan örnek alt gruptaki 14 uzaklık aralığı için oluşturulan metal bolluğu dağılımları. Kırmızı düz çizgiler dağılımlardan geçirilen Gauss eğrisilerini göstermektedir. Her bir uzaklık grubunun ortalama metal bolluğu ve standart sapma değerleri ilgili panellerin sağ üst kısımlarında verilmiştir.	142
Şekil 4.17: Tez çalışmasındaki örnek alt grup olan $160^\circ < l \leq 180^\circ$ Galaktik boylam aralığındaki F-G anakol yıldızları kullanılarak elde edilen $R \times [\text{Fe}/\text{H}]$ diyagramı. Gri daireler Tablo 4.10 ile verilen değerleri ve renkler de grafiğin üst panelinde görüldüğü gibi farklı Z uzaklıklarını ifade eder.	144
Şekil 4.18: 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.	150

Şekil 4.19: 14 farklı uzaklık aralığından elde edilen radyal metal bolluğu gradyentlerinin Z uzaklığına göre değişimi.	150
Şekil 4.20: 1,437,467 F ve G anakol yıldızının a) yıldız sayısı ($\log N$), b) Güneş'ten uzaklıkları (d) ve c) metal bolluklarının göre $Z \times R$ dağılımı.	153
Şekil 4.21: Yıldızların Galaktik düzleme dik doğrultulardaki uzaklıklarıyla metal bollukları arasındaki dağılımları: (a) $6 < R \leq 10$, (b) $10 < R \leq 15$ ve (c) $15 < R \leq 20$ kpc uzaklık aralıkları için. Panellerdeki renkler yıldız sayı yoğunluğuna göre sınıflanmıştır. Şekiller üzerindeki gri daireler yıldızların ağırlıklandırılmış Z ve $[\text{Fe}/\text{H}]$ değerlerini, siyah dik çizgiler ağırlıklandırılmış verinin metal bolluğundaki belirsizlikleri, farklı renkler ile çizilmiş düz çizgiler de seçilen Z uzaklık aralığındaki metal bolluğu gradyentlerinin göstermektedir.	160
Şekil 4.22: 1,000 sentetik katalogdan hesaplanan metal bolluğu gradyentlerinin farklı uzaklık aralıklarına göre dağılımları.	162
Şekil 5.1: Fotometrik ve tayfsal yöntemler kullanılarak hesaplanmış 4,819 F ve G tayf türü anakol yıldızının metal bolluklarının karşılaştırılması (üst panel) ve iki yöntemden hesaplanan metal bolluğu farklarının fotometrik metal bolluklarıyla karşılaştırılması (alt panel). Yıldızlar üst panelde S/N değerlerine göre renklendirilmiştir. Kırmızı düz çizgi 1-1 doğrusunu, kırmızı kesikli çizgi de sıfır seviyesini göstermektedir.	166
Şekil 5.2: Tez çalışmasında ve Karaali ve diğ. (2005)'nin metal bollukları kalibrasyonlarının 168 kalibrasyon yıldızına uygulanması sonucunda hesaplanan metal bolluklarının karşılaştırılması (a) ve metal bollukları arasındaki farklar (b). Kırmızı düz çizgi biri-bir doğrusunu, kırmızı kesikli çizgi de sıfır seviyesini göstermektedir.	169
Şekil 5.3: Tez çalışmasında ve Ivezic ve diğ. (2008)'nin metal bollukları kalibrasyonlarının 108 kalibrasyon yıldızına uygulanması sonucunda hesaplanan metal bolluklarının karşılaştırılması (a) ve metal bollukları arasındaki farklar (b). Kırmızı düz çizgi biri-bir doğrusunu, mavi sürekli çizgi iki yöntemden hesaplanan metal bollukları arasındaki doğrusal bağıntıyı ve kırmızı kesikli çizgi de sıfır seviyesini göstermektedir.	171
Şekil 5.4: Tez çalışmasında ve Karaali ve diğ. (2005)'nin mutlak parlaklık kalibrasyonlarının 168 kalibrasyon yıldızına uygulanması sonucunda hesaplanan metal bolluklarının karşılaştırılması (a) ve mutlak parlaklıklar arasındaki farklar (b). Kırmızı düz çizgi biri-bir doğrusunu, mavi sürekli çizgi iki kalibrasyondan hesaplanan mutlak parlaklıklar arasındaki farkların ortalamasını ve kırmızı kesikli çizgi de sıfır seviyesini göstermektedir.	173
Şekil 5.5: SDSS fotometrik verilerinin tez çalışmasında oluşturulan mutlak parlaklık kalibrasyonu ve Pogson bağıntısıyla hesaplanan uzaklıklarının <i>Gaia</i> trigonometrik paralakslarından hesaplanan uzaklıklarıyla karşılaştırılması. Kırmızı çizgi bire-bir doğrusunu, mavi çizgi iki veri setinden hesaplanan uzaklık farklarının eşit olduğu düzlemi ve mavi kesikli çizgiler de örnekteki yıldızların $\pm 1\sigma$ standart sapmalarını göstermektedir.	177

Şekil 5.6: Seçilen 1,648 anakol yıldızı (gri daire) ile metalce fakir ($[Fe/H] < -0.75$ dex) yıldızların (yeşil daire) SDSS ve <i>Gaia</i> verilerinden hesaplanan uzaklıklarının karşılaştırılması. Şekil üzerinde farklı renkte gösterilen çizgilerin tanımları Şekil 5.5'te verilmiştir.	178
Şekil 5.7: SDSS verilerinde metalce fakir 575 yıldızın yeniden belirlenen uzaklıklarıyla uzaklıkları değiştirilmeyen metalce zengin 1,073 yıldızın <i>Gaia</i> uzaklıklarıyla karşılaştırılması. Şekil üzerinde farklı renkte gösterilen çizgilerin tanımları Şekil 5.5'te verilmiştir.	180
Şekil 5.8: <i>Galaxia</i> modeliyle belirlenen sentetik yıldızların, 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.	197
Şekil 5.9: <i>Galaxia</i> modeliyle üretilen sentetik F ve 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.	198
Şekil 5.10: Samanyolunun kuzey gökyüzünde SDSS ile keşfedilmiş yıldız akıntı bölgelerinin ekvatorial koordinatlardaki konumları. Şekildeki kırmızı ve mavi renk ile gösterilen yıldızlar, sırasıyla, uzak ve yakın olanları, daire içindeki nesneler de SDSS ile keşfedilen cüce galaksi ve küresel kümeleri ifade eder (Belokurov ve diğ., 2006).	201

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1: Kalın diskin Galaktik model parametreleri (Yoshii, 2013).....	27
Tablo 2.2: Kalın ve ince disk bileşenlerinin model parametreleri. h_z , yükseklik ölçeği, h_R uzunluk ölçeği, f_{TK} normalize edilmiş kalın disk yıldızlarının sayısını ifade etmektedir. MFA; model fit analizini (Beguin ve Glas, 2001), PPA fotometrik paralaks analizini (Murray, 1983) gösterir.	34
Tablo 2.3: F ve G tayf türündeki anakol yıldızlarının temel astrofizik parametreleri. Yıldızların tayf türü, kütleleri ($M/M_\odot$), etkin sıcaklıkları, yarıçapları ($R/R_\odot$), ışıma güçleri ($\log L/L_\odot$), renk indeksleri ($B-V$) ve V bandındaki mutlak parlaklıkları (M_V) ve bolometrik düzeltme katsayıları (BC). Veriler, Eker ve diğ. (2018)'nin güncel çalışmasından alınmıştır.	40
Tablo 2.4: Literatürdeki metal bolluğu kalibrasyonları. $[Fe/H]$ metal bolluğu, $\delta_{0.6} UB$ sisteminde ve $\delta_{0.43}$ SDSS sistemindeki normalize edilmiş mor-ötesi artık olarak tanımlanmıştır.....	49
Tablo 2.5: UBV ve SDSS sistemlerinde mor-ötesi artıklar kullanılarak hazırlanan mutlak parlaklık kalibrasyonları.....	51
Tablo 2.6: Karaali ve diğ. (2003b)'nin çalışmasında kullanılan katsayılar.....	51
Tablo 2.7: Karaali ve diğ. (2005)'nin çalışmasında kullanılan katsayılar.....	51
Tablo 2.8: Sloan fotometri sistemindeki bantların (u , g , r , i ve z), etkin dalgaboyları (λ_{eff}), yarı genişlikler ($\Delta\lambda_{eff}$), A_λ/A_V Sloan bandlarının UBV sistemindeki V bandına ait toplam soğurma değerine oranını ve m_{lim} Sloan bandlarının limit parlaklıklarını gösterir.....	62
Tablo 3.1: Örtüşen yıldızların çalışma gruplarına göre dağılımları.	66
Tablo 3.2: Çoklu örtüşen yıldızların çalışma gruplarına göre sayıları (N).	66
Tablo 3.3: SDSS ile diğer fotometrik sistemler arasındaki oluşturulan fotometrik dönüşüm formülleri, geçerli olduğu yıldız grupları ve çalışmaları gerçekleştiren yazarların künyeleri.	71
Tablo 3.4: Sandage (1969)'in Güneş civarından seçtiği büyük öz hareketli 112 yıldızı kullanılarak hesapladığı mor-ötesi artıkları ve giyotin çarpanı. İlk iki sütunda Hyades kümesinin $B-V$ ve $(U-B)_H$ renk indeksleri, üçüncü sütunda metalce fakir zarfın $(U-B)_*$ renk indeksi, dördüncü sütunda aynı $(B-V)$ renk indeksine karşılık gelen $U-B$ renk indeks farkı ve son sütunda $B-V=0.6$ renk indeksine kalibre edilmiş f giyotin değerleri verilmiştir.....	74

Tablo 3.5: Altı araştırma grubunun Galaktik model parametreleri ve kalın diskin etkin uzaklık aralıkları. Burada n_{TK} kalın diskin göreceli yoğunluğu, $(h_z)_{TK}$ ve $(h_z)_{TN}$ sırasıyla kalın ve ince disklerin yükseklik ölçekleri, $(h_R)_{TN,TK}$ ince ve kalın disklerin uzunluk ölçekleri, n_s halonun göreceli uzay yoğunluğudur.	95
Tablo 4.1: Hyades açık kümesindeki anakol yıldızlarının fotometrik ve astrometrik verileri.....	103
Tablo 4.2: Hyades açık kümesine üye anakol yıldızlarının SDSS sistemindeki fotometrik verileri.....	104
Tablo 4.3: Hyades açık kümesinin anakolunun ağırlıklandırılmış renk uzaylarındaki konumları ve giyotin faktörü (Sandage, 1969) ve dönüşüm formülleri kullanılarak hesaplanan $u-g$, $g-r$ renk indeksleri.	105
Tablo 4.4: kalibrasyonların oluşturulabilmesi için Bensby ve diğ., (2014), Nissen ve Schuster (2010), Reddy ve diğ., (2006), Venn ve diğ., (2004)'nin çalışmalarındaki yıldızlara uygulanan sınırlamalar ve bu sınırlamalar sonucu kalan yıldız sayıları.	111
Tablo 4.5: Dört araştırma grubundan alınan 168 yıldızın ekvatorial koordinatları ve <i>Hipparcos</i> numaralarıyla verilen tayfsal ve fotometrik verileri. T_{eff} yıldızların etkin sıcaklığını, $\log g$ yüzey çekim ivmesini, $[Fe/H]$ metal bolluklarını, V_0 , $(U-B)_0$, $(B-V)_0$, sırasıyla, UBV sisteminde görünen parlaklık ve renk indekslerini, g_0 , $(u-g)_0$, $(g-r)_0$, sırasıyla, SDSS sisteminde görünen parlaklık ve renk indekslerini ifade etmektedir.	112
Tablo 4.6: Kalibrasyon yıldızlarının <i>Hipparcos</i> numaraları, trigonometrik paralaksı (π), SDSS sistemindeki parlaklık ve renkleri (g_0 , $(u-g)_0$, $(g-r)_0$), tayfsal metal bollukları $[Fe/H]$, giyotin çarpanı (f) SDSS sistemindeki mutlak parlaklıkları (M_g) _{orj} , yıldızların $(g-r)_0$ rengine karşılık gelen $(u-g)_{Hya}$ rengi ve mor-ötesi (δ) ve normalize edilmiş ($\delta_{0.41}$) morötesi artıkları.	118
Tablo 4.7: 168 yıldızın hesaplanan mutlak parlaklık ve mor-ötesi artık değerleri. M_g yıldızın trigonometrik paralakstan hesaplanan değerini, $\delta_{0.41}$ yıldızın normalleştirilmiş mor-ötesi artığını, $(M_g)_{Hya}$ yıldız ile aynı $(g-r)_0$ renk indeksine sahip Hyades yıldızının mutlak parlaklığını, $\Delta M_g = (M_g)_{orj} - (M_g)_{Hya}$ farkı, ΔM_{hes} mor-ötesi artık yöntemiyle hesaplanan mutlak parlaklık farkını, $(M_g)_{hes}$ yıldız mor-ötesi artık yönteminden hesaplanan mutlak parlaklığını ve $(M_g)_{hes} - (M_g)_{orj}$ de yıldızın iki farklı yöntemden hesaplanmış mutlak parlaklık farkını ifade etmektedir.	126
Tablo 4.8: Renk hataları büyük olan üç kaynağın ekvatorial koordinatları ve türleri.	136
Tablo 4.9: F ve G tayf türündeki anakol yıldızlarının seçiminde kullanılan sınırlamalar ve bu sınırlamalara karşılık gelen nesne/yıldız sayıları.....	140
Tablo 4.10: Tez çalışmasında örnek alt grup seçilen Galaktik boylamı $160^\circ < l \leq 180^\circ$ aralığındaki yıldızların Güneş'ten uzaklıklarına göre ayrılmış N yıldız sayıları, medyan R ve Z değerleri ve Gauss eğrileriyle belirlenen metal bollukları.	143

Tablo 4.11: Galaktik düzleme dik doğrultudaki $6 < R \leq 10$, $10 < R \leq 15$ ve $15 < R \leq 20$ kpc uzaklık aralıkları için hesaplanan metal bolluğu gradyentleri. Burada Z , Galaktik düzlemde dik uzaklığı, l ve b Galaktik boylam ve enlemi, N incelenen aralıktaki yıldız sayısını, $[Fe/H]$ ortalama metal bolluğu ve $d[Fe/H]/dZ$ metal bolluğu gradyentidir.	154
Tablo 4.12: Galaksi merkezinden üç farklı uzaklık aralığı ve farklı Galaktik düzleme dik doğrultulardaki uzaklıklara göre hesaplanmış metal bolluğu gradyentleri ve hataları. R , Galaksi merkezinden uzaklığı, Z , Galaktik düzleme dik uzaklığı ve $d[Fe/H]/dZ$ Galaktik düzleme dik doğrultulardaki metal bolluğu gradyentini ifade etmektedir.	159
Tablo 5.1: Literatürde 2000 yılından günümüze kadar nesnelerin bugünkü konumlarından (R) hesaplanan radyal metal bolluğu gradyentleri. Uzaklıklar kpc birimindedir.	181
Tablo 5.2: Literatürde 2000 yılından günümüze kadar nesnelerin bugünkü konumlarından (Z) hesaplanan Galaktik düzleme dik doğrultudaki metal bolluğu gradyentleri. Uzaklıklar kpc birimindedir.	183
Tablo 5.3: Gözlemsel ve sentetik yöntemler ile 14 uzaklık aralığı için hesaplanmış radyal metal bolluğu gradyentleri.	192
Tablo 5.4: Gözlemsel ve sentetik yıldızlardan hesaplanan metal bolluğu gradyentleri.	197
Tablo 5.5: Doktora tez çalışmasındaki olası yıldız akıntıları. Yıldız akıntılarının isimleri, Galaktik koordinatları, uzanım ve Güneş'ten uzaklıkları inceleyen araştırmacıların yayın künyesiyle birlikte verilmiştir.	202

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler

Açıklama

$^{\circ}$	: Derece
'	: Yay dakikası
"	: Yay saniyesi
$\approx$	: Yaklaşık sembolü
α	: Rektasansyon (sağ açıklık)
$[a/Fe]$	: Alfa element bolluğu
A_d	: İndirgenmiş sönmleme değeri
A_{∞}	: Galaksi sınırındaki V bandı sönmleme değeri
$\text{\AA}$	: Angström
A_v	: Yıldızlararası soğurma katsayısı
b	: Galaktik enlem
$B-V, U-B$	: UBV fotometrisinin renk indeksleri
c	: Işık hızı
c/a	: Galaksinin eksen oranı
C	: Karbon elementi
Ca	: Kalsiyum elementi
d	: Yıldızların Güneş'e uzaklığı
δ	: Deklinasyon (dik açıklık)
δ_{U-B}	: Morötesi artışı
$E_d(B-V)$	: Belli bir uzaklıktaki renk artışı
$E_{\infty}(B-V)$	: Galaksi sınırındaki renk artışı
e_v	: Galaktik düzlemine dik doğrultudaki yörünge basıklığı
e_p	: Galaktik düzlemindeki yörünge basıklığı
f	: Giyotin çarpanı
Fe	: Demir elementi
$[Fe/H]$	: Metal bolluğu
f_{TK}	: Normalize edilmiş yıldız sayısı
g	: Yüzey çekim ivmesi
G	: Evrensel çekim sabiti
h	: Yükseklik ölçeği
H	: Uzunluk ölçeği
h_R	: Galaktik bileşenlere ait uzunluk ölçeği
h_Z	: Galaktik bileşenlere ait yükseklik ölçeği
H	: Hidrojen elementi
He	: Helyum elementi
HI	: Nötral hidrojen
HII	: İyonize hidrojen
J, H, K_s	: 2MASS kıızılötesi fotometrik parlaklıkları
I	: Optik bölgede tanımlı I parlaklığı
γ	: Radyal hız
γ_{ht}	: Radyal hız hatası
γ_v	: Yayılma katsayısı
K	: Uzay hızı hesabında kullanılan bir sabit
l	: Galaktik boylam
$L_{\odot}$	: Güneş'in ışıma gücü

Simgeler

Açıklama

λ	: Dalgaboyu
λ_{eff}	: Etkin dalga boyu
$\Delta\lambda$	: Maksimum yükseklikteki yarı dalgaboyu genişliği
m_{lim}	: Limit parlaklık
$M_{\odot}$	: Güneş'in kütlesi
M_{Bol}	: Bolometrik parlaklık
M_{Ks}	: 2MASS K_s bandındaki mutlak parlaklık
M_V	: Optik bölgede V bandındaki mutlak parlaklık
N	: Yıldız sayısı
M	: Metre
μ_m	: Mikrometre
nm	: Nanometre
n_s	: Haloya ait normalleştirilmiş yerel uzay yoğunluğu
$[O/Fe]$	: Oksijenin demire elementine bolluk oranı
Φ_{disk}, Φ_{halo}	: Disk ve halo bileşenlerinin potansiyelleri
Ω_A	: Karanlık enerjinin enerji yoğunluğu
Ω_b	: Baryonik maddenin enerji yoğunluğu
Ω_{dm}	: Karanlık maddenin enerji yoğunluğu
π	: Trigonometrik paralaks
$\Psi(t)$	: Yıldız oluşum oranı
$\Phi(m)$	: Başlangıç kütle fonksiyonu
P	: Olasılık sembolü
$R_{\odot}$	: Güneş'in Galaksi merkezine olan uzaklığı
R	: Galaksi merkezinden radyal uzaklık
R_e	: Etkin yarıçap
R_m	: Galaksi merkezine ortalama uzaklık
R_o	: Güneş'in Galaksi merkezine uzaklığı
σ_{π}/π	: Rölatif paralaks hatası
$\sigma_U, \sigma_V, \sigma_W, \sigma_S$	: U, V, W uzay hız bileşenleriyle S toplam uzay hız dispersiyonları
S	: Toplam uzay hızı
$SBbc$	: Çubuklu spiral galaksi
SO	: Merceksi galaksi
Σ	: Yerel görünür yüzey yoğunluğu
T_{eff}	: Etkin sıcaklık
θ_o	: Durum açısı
τ	: Kinematik yaş
U, V, W	: Uzay hızı bileşenleri
V	: UBV sistemindeki V bandı görünen parlaklığı
V_T	: Teğet hız
V_o	: Güneş'in Galaksi merkezi etrafında dönme hızı
X	: Galaksi merkezine doğru ölçülen konum vektörü
Y	: Galaksinin dönme doğrultusundaki konum vektörü
Z	: Galaksi düzlemine dik doğrultudaki konum vektörü
Z_{max}	: Bir yıldızın Galaktik düzleme dik ulaşabileceği en büyük uzaklık
Z	: Galaksi düzlemine dik uzaklık

Kısaltmalar**Açıklama**

2MASS	: Two Micron All Sky Survey
AMR	: Age-Metallicity Relation
APOGEE	: The Apache Point Observatory Galactic Evolution Experiment
ARC	: Astrophysical Research Consortium
AVR	: Age-Velocity Relation
BHM	: The Black Hole Mapper
BOSS	: The Baryon Oscillation Spectroscopic Survey
CAS	: Catalog Archive Server
CASU	: Cambridge Astronomy Survey Unit
CCD	: Charge Coupled Device
CDM	: Cold Dark Matter
CELG	: Sıkışık emisyon çizgili galaksi
CMD	: Colour magnitude diagram
CNO	: Karbon-azot-oksijen döngüsel reaksiyonu
COBE	: COsmic Background Explorer
CORAVEL	: The CORrelation-RAdial-VELocities
DAS	: Data Archive Server
DENIS	: Deep Near Infrared Survey of the Southern Sky
dex	: Dekan Ekponansiyel
DR	: Data Release
ESA	: European Space Agency
ESO	: European Southern Observatory
FWHM	: Full width at half-maximum
GALAH	: GALactic Archaeology with HERMES
GCS	: Geneva-Copenhagen Survey
GES	: GAIA-ESO Survey
Gyr	: Gigayear
HR	: Hertzsprung-Russell
IMF	: Initial Mass Function
INT	: Isaac Newton Telescope
IR	: Infrared
IRAS	: The InfraRed Astronomical Satellite
IRAF	: Image Reduction and Analysis Facility
k/f	: kutu/fistik
kpc	: kiloparsek
KY	: Kırmızı Yığın
LAMOST	: The Large Sky Area Multi-Object Fibre Spectroscopic Telescope
LEGUE	: The LAMOST experiment for Galactic Understanding and Exploration
LSR	: Local Standard of Rest
LVM	: The Local Volume Mapper
MaNGA	: Mapping Nearby Galaxies at Apache Point Observatory
MARVELS	: The Multi-Object APO Radial Velocity Exoplanet Large-area Survey
MFA	: Model Fit Analysis
MWM	: The Milky Way Mapper
NGC	: New General Catalogue
NIR	: Near Infrared
pc	: Parsek
POP	: Popülasyon
PPA	: Photometric Parallax Analysis
PPMXL	: Position and Proper Motion Extended-L

PSF	: Point Spread Function
QSO	: Kuazar
RAVE	: RAdial Velocity Experiment
Sextractor	: Source-Extractor Stellarity Index
SDSS	: Sloan Digital Sky Survey
SEGUE	: The Sloan Extension for Galactic Understanding and Exploration
SFR	: Star Formation Rate
SN	: Süpernova
S/N	: Sinyal / Gürültü oranı
SZ	: Searl ve Zihn
TN	: Galaktik ince disk popülasyonu
TK	: Galaktik kalın disk popülasyonu
VLT	: Very Large Telescope
WD	: Beyaz cüce
WISE	: Wide-field Infrared Survey Explorer
YI	: Yıldızlımsılık indeks
ΛCDM	: Lambda cold dark matter

ÖZET

DOKTORA TEZİ

GALAKSİMİZDEKİ KALIN DİSKİN METAL BOLLUĞU GRADYENTİNİN İNCELENMESİ

Sabiha TUNÇEL GÜÇTEKİN

İstanbul Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. Selçuk BİLİR

Doktora tez çalışmasında SDSS fotometrik sisteminde yeni metal bolluğu ve mutlak parlaklık kalibrasyonlarının oluşturulması ve geliştirilen bu yeni kalibrasyonların kuzey Galaktik yarıküredeki orta/yüksek Galaktik enlemlerdeki geniş bir yıldız alanına uygulanarak Galaksimizin kimyasal oluşum ve evrimi sınanmıştır. Literatürdeki duyarlı fotometrik, tayfsal ve astrometrik verileri bulunan 168 F ve G tayf türünden anakol yıldızı kullanılarak mor-ötesi artığı yöntemiyle metal bolluğu ve mutlak parlaklık kalibrasyonları oluşturulmuştur. SDSS DR12 fotometrik verilerinden kuzey Galaktik yarıkürede $b > 50^\circ$ için ve $-2 < [\text{Fe}/\text{H}] \leq 0.3$ dex metal bolluğu aralığında belirlenen 1,437,467 F ve G tayf türünden anakol yıldızlarına üretilen kalibrasyonların uygulanmasıyla Galaksi merkezinden radyal ve Galaktik düzlemden dik doğrultularda metal bolluğu gradyentleri hesaplanmıştır.

İnce disk bileşeninin etkin olduğu Galaksi düzleminde dik uzaklık aralığı $0.5 < Z \leq 1.74$ kpc için hesaplanan ortalama radyal metal bolluğu gradyenti $d[\text{Fe}/\text{H}]/dR = -0.042 \pm 0.011$ dex/kpc iken kalın disk ve halo bileşenleri için radyal metal bolluğu gradyenti sıfıra yakındır. Galaktik düzlemden dik doğrultudaki metal bolluğu gradyentlerinin hesaplanmasında Galaksi merkezinden $6 < R \leq 10$, $10 < R \leq 15$ ve $15 < R \leq 20$ kpc radyal uzaklık aralıkları dikkate alınmıştır. $6 < R \leq 10$ kpc uzaklık aralığında belirgin olan ince disk popülasyonu için ($0.5 < Z \leq 2$ kpc) Galaktik düzlemden dik doğrultudaki metal bolluğu gradyenti

$d[\text{Fe}/\text{H}]/dZ = -0.308 \pm 0.015$ dex/kpc ve kalın disk popülasyonu için de ($2 < Z \leq 5$ kpc) $d[\text{Fe}/\text{H}]/dZ = -0.164 \pm 0.011$ dex/kpc hesaplanmıştır. $10 < R \leq 15$ kpc uzaklık aralığında hesaplanan Galaktik düzlemde dik doğrultudaki metal bolluğu gradyenti kalın disk ve halo popülasyonları için, sırasıyla, $d[\text{Fe}/\text{H}]/dZ = -0.172 \pm 0.012$ ve $d[\text{Fe}/\text{H}]/dZ = -0.007 \pm 0.001$ dex/kpc'tir. Galaksinin halo bileşenin etkin olduğu $15 < R \leq 20$ kpc uzaklık aralığında Galaktik düzlemde dik doğrultudaki metal bolluğu gradyenti sıfıra yakın hesaplanmıştır.

Tez çalışmasında gözlemlerden hesaplanan Galaksi merkezine radyal ve Galaktik düzleme dik doğrultulardaki metal bolluğu gradyentleri sentetik yıldız sayımı modeli olarak bilinen *Galaxia*'dan elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Gözlemsel ve sentetik yıldızlardan hesaplanan metal bolluğu gradyentleri birbiriyle uyumludur.

Sonuç olarak, ince disk yıldızlarından hesaplanan radyal metal bolluğu gradyenti ince diskin *içten dışa doğru* oluşum senaryosunu desteklerken, kalın disk ve haloda radyal metal bolluğu gradyentinin bulunamaması ise bu bileşenlerin böyle bir oluşum süreci geçirmediğini gösterir. Öte yandan, üç Galaktik bileşen için hesaplanan Galaktik düzleme dik doğrultudaki metal bolluğu gradyentlerinin varlığı genel olarak Galaksimizin *bir bütün olarak çökme* senaryosunu desteklemektedir.

Ekim 2018, 287 sayfa.

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

SUMMARY

Ph.D. THESIS

INVESTIGATION OF METALLICITY GRADIENT OF THE THICK DISC IN THE GALAXY

Sabiha TUNÇEL GÜÇTEKİN

İstanbul University

Institute of Graduate Studies in Science and Engineering

Department of Astronomy and Space Sciences

Supervisor : Prof. Dr. Selçuk BİLİR

PhD thesis study is aimed to test the Galactic chemical formation and evolution by developing new metallicity and absolute magnitude calibrations in SDSS photometric system and applying these new calibrations on a star field at middle/high Galactic latitudes on the northern Galactic hemisphere. To do so, 168 F and G spectral type main-sequence stars with accurate photometric, spectroscopic and astrometric data were used in ultra-violet excess method in order to develop metallicity and absolute magnitude calibrations. Then, these calibrations were used on 1,437,467 F and G spectral type main-sequence stars, which their metallicity range $-2 < [\text{Fe}/\text{H}] < 0.3$ dex, that reside on northern Galactic hemisphere at $b > 50^\circ$ of SDSS DR12 to calculate metallicity gradients radial from Galactic center and vertically from the Galactic plane.

Average calculated radial metallicity gradient for thin disc, which is effective on $0.5 < Z \leq 1.74$ kpc is $d[\text{Fe}/\text{H}]/dR = -0.042 \pm 0.011$ dex/kpc, while this values are closer the zero thick disc and halo.

In vertical metallicity gradient calculations from the Galactic plane $6 < R \leq 10$, $10 < R \leq 15$, and $15 < R \leq 20$ kpc radial distance intervals were considered. For the thin disc population

which is prominent at $6 < R \leq 10$ kpc distance interval vertical metallicity gradient is $d[\text{Fe}/\text{H}]/dZ = -0.308 \pm 0.015$ dex/kpc and for thick disk in the same interval vertical metallicity gradient is $d[\text{Fe}/\text{H}]/dZ = -0.164 \pm 0.011$ dex/kpc. In $10 < R \leq 15$ kpc distance interval vertical metallicity gradient for the thick disc and halo are $d[\text{Fe}/\text{H}]/dZ = -0.172 \pm 0.012$ and $d[\text{Fe}/\text{H}]/dZ = -0.007 \pm 0.001$ dex/kpc, respectively. In $15 < R \leq 20$ kpc distance interval vertical metallicity gradient give values closer to zero.

In thesis study, the observational metallicity gradients values both for radial and vertical directions from Galactic centre and Galactic plane, respectively, are compared with the synthetic results of Galaxia model which uses the star count methods. Both calculations that were performed for observed and synthetic values are coherent with the metallicity gradient results that were obtained directly from observational data in this study.

Finally, the thin disc radial metallicity gradient supports the inside out formation scenario, while thick disc and halo have no radial metallicity gradient, which suggests that these components have not been through the similar formation process. On the other hand, the metallicity gradients perpendicular to the Galactic plane calculated for all three Galactic components give support to the monolithic collapse scenario of the Galactic formation.

October 2018, 287 pages.

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

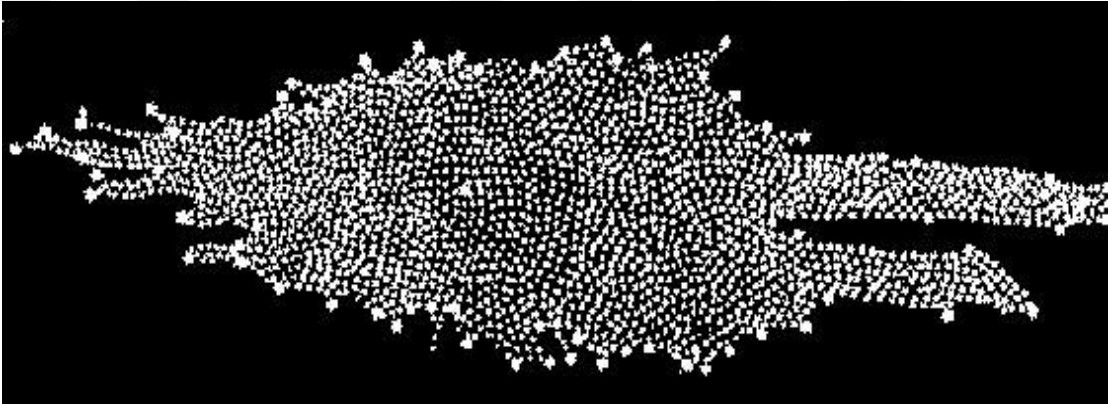
1. GİRİŞ

Bilim, insanın merakı sayesinde doğmuştur. Merak ettiklerini öğrenme içgüdüü onu araştırmaya, gözlem yapmaya ve hipotezlere götürmüştür. Gözlem için laboratuvar ortamına ihtiyaç vardır. İnsanın da en kolay ulaşabildiği laboratuvar gökyüzü olduğundan, gökyüzündeki cisimler ilk çağlardan itibaren insanları meraklandırmış ve araştırmaya yöneltmiştir.

Yaklaşık 450 yıl öncesine kadar gökyüzündeki cisimler sadece çıplak göz ile ayırt edebilirken Galileo Galilei'nin teleskop ile yaptığı ilk gözlemler sayesinde gökcisimleri anlaşılmaaya başlamıştır. Gözlemleri sonucunda gökyüzünde, uzaklarda milyonlarca yıldız ve çok sayıda yıldız kümesinin varlığını ve Galaksimizin sayısız yıldızdan oluştuğunu keşfetmiştir. Galileo Galilei'den neredeyse 150 yıl sonra filozof Immanuel Kant ise Galaksimizin çok sayıda yıldızdan meydana geldiğini ve yoğun bir merkez bölge etrafında disk şeklinde dönen yapının bulunduğunu önermiştir. Kant, Samanyolunun içinde bulunduğu büyük bir sistemden bahsetmiş ve bu yapının dışında da bulutsular olabileceğini söylemiştir. Bu yapılara “ada evren” anlamına gelen “island universe” adını vermiştir (Kant, 1755). Yüzyıllar geçtikçe gelişen gözlem aletleri sayesinde gerçek bilimsel çalışmalar başlamıştır. 1785 yılında İngiliz astronom William Herschel, Samanyolunun belirli bir bölgesindeki yıldız sayı yoğunluklarının farklı bakış doğrultularında değişiklik gösterdiğini gözlemlemiş ve Samanyolunun yapısının disk şeklinde olduğunu belirlemiştir (Şekil 1.1).

Herschel'in gözleminden yaklaşık 150 yıl sonra, teleskopların ayna çaplarının büyümesi ve odak düzlem aletlerindeki duyarlılığın artmasıyla, Evrenin genişlediği varsayımını ortaya koyarak bunu ispatlayan Edwin Hubble, Samanyolundan daha uzakta yıldızların varlığından bahsetmiştir. Hubble, 1920'lere gelindiğinde Mount Wilson ve Mount Palomar gözlemevlerindeki çalışmalarında, Samanyolu dışında da galaksilerin olduğunu keşfetmiştir. Bilim insanlarının bu keşiften sonraki merakı galaksilerin nasıl oluştuğu olmuştur. Samanyolunun oluşumu ve evrimi hakkında ilk senaryo Eggen, Lynden-Bell ve Sandage (ELS; 1962) tarafından önerilmiştir. Daha sonraki yıllarda Searle ve Zinn (SZ; 1978), ELS'den farklı bir senaryo geliştirerek Samanyolu'nun oluşumunun tek parça bir bulutun çökmesiyle değil birleşmelerden meydana geldiğini savunmuştur. Her iki model de bugün Samanyolunda

gözlenen bir takım olayları açıklayabilse de Galaksimizin nasıl oluştuğu sorusuna kesin cevabı vermemektedir. Bu nedenle, Samanyolunun oluşumu ve evrimi araştırmaları güncelliğini devam ettirmektedir. Galaksimizin oluşumunun anlaşılması için geçmişini incelemek ve fosillerden yararlanmak gerekir. Galaksilerin anlaşılmasını sağlayan en iyi fosil, yıldızlardır. Bir yıldızın atmosferi olduğu molekül bulutunun kimyasal özelliklerini taşır ve bu iz yaşamının %90'ı boyunca değişmez. Özellikle küçük kütleli yıldızların anakol ömürleri çok uzun olduğundan, bu yıldızlar Galaksinin olduğu dönemdeki kimyasal yapının izlerini atmosferlerinde taşırlar. Dolayısıyla Galaksi evrimini araştırmak için yıldız atmosferinin kimyasal yapısını incelemek gerekmektedir.



Şekil 1.1: William Herschel'in Samanyolu modeli.¹

Yıldız atmosferinin kimyasal yapısı yıldızın içinde üretilen elementlere bağlıdır. Yıldızların yaşamları boyunca çekirdeklerinde ürettikleri enerji onların hidrostatik dengede kalması yanı sıra çekirdeklerinde ağır elementlerin sentezlenmesine de katkı sağlar. Güneş'ten daha büyük kütleli yıldızların çekirdeklerinde demir elementi üretildikten sonra tüm reaksiyonlar durur. Nükleer enerjiyle çekimsel enerji arasındaki dengenin bozulmasıyla yıldızın çekirdeği kendi üstüne çökmeye başlar, bu sürecin tetiklediği çok şiddetli yoğunluk dalgası yıldız atmosferini ve içten dışa tüm tabakalarını hızla dışarı fırlatırken aynı zamanda proton ve nötron atomlarını bombardıman ederek demirden daha ağır elementlerin oluşmasını sağlar. Böylece yıldızlararası ortam ağır element bakımından zenginleşir. Yıldızlararası ortamda oluşan yeni nesil yıldızlar da yaşantılarına daha zengin bir kimyasal kompozisyon ile başlar. Bu nedenle her nesilde zamanla kimyasal bakımdan daha zengin yıldızların oluşması beklenir. Böylece Galaksimiz evrimini sürdürmeye devam eder. Galaksimizin oluşumu ve evrimini araştırmada metal bolluğu

¹ <https://ericfdiaz.wordpress.com/sir-william-herschel-1738-1822/>

önemli bir parametredir. Yıldızın atmosferindeki elementlerin tayini, metal bolluğu olarak ifade edilir. Galaksimizdeki metal bolluğunun bir doğrultu boyunca değişimi ise metal bolluğu gradyenti olarak adlandırılır ve bu gradyentin hesaplanması Galaksimizin evrimi hakkında doğrudan bilgi verir. Yıldızlar Galaksi merkezi etrafındaki yörüngelerinde dolanarak yaşamlarını sürdürür. Galaksimizde yıldızların dağılımı tam anlamıyla homojen olmamakla beraber, farklı bölgelerde toplanmış yıldızların yörünge biçimleri, yaşları ve metal bollukları gibi parametrelerinin benzer olduğu tespit edilmiştir. Bu durum Galaksimizdeki farklı yıldız popülasyonlarının bulunabileceğini göstermiştir. Bunu ilk ortaya koyan Baade (1944) olmuştur. Baade, Galaksimizde iki tip popülasyonun varlığından söz etmiştir. Popülasyon I ve popülasyon II olarak yapılan bu ayırmada yıldızların yörünge biçimleri, yaşları ve metal bollukları dikkate alınmıştır.

Galaksimizin ana bileşenleri içten dışa doğru, sırasıyla, şişkin bölge ve çubuk, yıldızlararası madde, ince disk, kalın disk ve halodur. Farklı yıldız popülasyonlarını barındıran Galaksi bileşenleri hakkındaki detaylı bilgi, her bir bileşenin fotometrik, tayfsal ve astrometrik incelenmesiyle elde edilir. Böylece Galaksimizin yapısı, oluşumu ve evrimi hakkında daha fazla bilgi sahibi olur.

En yaşlı yıldızlar Galaksimizin halosu ve şişkin bölgesi içinde bulunur. Galaksimizin oluşumu sırasında ilkel bulutun çökmesiyle meydana gelen bu bileşenler çoğunlukla yaşlı ve metalce fakir yıldızlar içerir. Bu popülasyonlardaki nesnelerin açısal momentumlarının rölatif olarak küçük olması yörüngelerinin basık olmasına neden olur. Büyük kütleli ilk nesil yıldızların süpernova patlamalarıyla yıldızlararası ortama saçtıkları ağır elementlerin Galaktik düzleme yığılması söz konusudur. Metalce zengin bu yıldızlararası ortam çekimsel etkileşmeler ve süpernova patlamalarının sebep olduğu yoğunluk dalgaları nedeniyle ikinci nesil yıldızları oluşturur. İnce disk popülasyonu olarak adlandırılan bu yapıdaki nesneler çember yörüngelerde dolanan, metalce zengin genç yıldızlardan oluşur. Galaksi diski zamanla farklı mekanizmalar altında etkileşmelere maruz kalarak kalın disk, çubuk yapı ve spiral kolları oluşturmuştur.

Galaksimizde kalın disk bileşeninin keşfedilmesiyle birlikte (Gilmore ve Reid, 1983), kalın diski ayırık bir popülasyon olarak detaylı incelenmeye başlanmıştır. Bu bileşen Galaksimizin oluşumunun araştırılmasında iyi bir fosildir. Çoğu yaşlı, metalce fakir yıldızlardan oluşmuştur.

Kalın disk popülasyonu, ince disk ile halo arasında ara popülasyon II olarak tanımlanan nesneleri içerir. Ayrıca bu popülasyon yer alan orta tayf türündeki F-G tayf anakol yıldızları iç yapılarındaki enerji iletim mekanizmalarından dolayı çekirdeklerinde üretmiş oldukları ağır elementleri yıldız atmosferlerine taşıyamaz. Bu da yıldızların oluştukları molekül bulutunun kimyasını yansıtır. Bu özelliklerinden dolayı kalın disk, anakol yıldızlarından hesaplanan metal bolluğu gradyentleri Galaksimizin oluşum ve evrim modellerinin sınanması açısından önemlidir.

Galaksimizdeki metal bolluğu gradyent araştırmaları Galaksi merkezinden radyal ve Galaktik düzleme dik doğrultulardaki uzaklıklar için hesaplanır. Radyal metal bolluğu gradyentinin varlığı, Galaksi diskinin içten dışa doğru oluştuğuna dair bilgi verir. Galaktik düzleme dik doğrultudaki metal bolluğu gradyenti, Galaksimizin tek bir bulutun çökmesiyle mi oluştuğu sorusuna cevap vermektedir. Bu açıdan her iki metal bolluğu gradyentinin incelenmesi Galaksimizin oluşumu ve evrimi hakkında bilgi vereceğinden oldukça önemlidir.

Gökyüzü araştırmalarının yapılabilmesi için Galaksimiz bileşenlerindeki uzak nesnelerin detaylı şekilde gözlemlenmesi gerekmektedir. Çok uzaktaki nesnelerden bahsedildiği için elde edilen parametrelerin güvenilirliği de uzaklık tayininin doğru yapılmasına bağlıdır. Bunun için duyarlı gökyüzü tarama programları başlatılması gerekmektedir. Duyarlı gökyüzü taramaları için büyük ayna çaplı teleskoplar ve bu teleskoplara bağlı yüksek çözünürlüklü odak düzlemi aletlerine gereksinim vardır. Bu amaca yönelik çeşitli gökyüzü tarama programları bulunmaktadır. Bu programlardan biri olan Sloan Sayısal Gökyüzü Tarama (SDSS; Sloan Digital Sky Survey) programındaki veriler bu doktora tez çalışmasında kullanılmıştır. Derin bir gökyüzü tarama programı olan SDSS'in farklı dönemlerde elde ettiği gözlemsel fotometrik veriler, grubundaki araştırmacılar tarafından indirgenerek sayısal hale getirilmiş ve tüm araştırmacıların kullanımına açılmıştır (York ve diğ., 2000). Teknolojinin gelişmesine paralel olarak yüksek çözünürlüklü odak düzlem aletlerinin kullanımıyla birlikte farklı bilimsel amaçlar doğrultusunda SDSS programı genişletilmiş ve elde edilen tayfsal veriler de araştırmacıların kullanımına sunulmuştur. Günümüzde uzak cisimler için en güvenilir sonuçlar bu gökyüzü tarama programındaki verilerinin değerlendirilmesinden elde edilmiştir (Ivezić, Beers ve Juric, 2012).

Doktora tez çalışmasının amacı, Galaksimizin kalın disk bileşeni için Galaksi merkezinden radyal ve Galaktik düzlemden dik doğrultulardaki metal bolluğu gradyentinin varlığının araştırılmasıdır. Bu amacı yerine getirebilmek için öncelikle yeni ve duyarlı fotometrik metal bolluğu ve mutlak parlaklık kalibrasyonları elde edilmiştir. Kalibrasyonlar daha sonra SDSS programının 12. veri sürümünde bulunan orta ve yüksek Galaktik enlemlerdeki F ve G tayf türünden anakol yıldızlarına uygulanmış ve bu yıldızların metal bollukları ve mutlak parlaklıkları elde edilmiştir. Pogson bağıntısıyla Güneş'e uzaklıkları belirlenen bu yıldızların Galaktik koordinatları da dikkate alınarak Galaksi merkezine olan uzaklıklarıyla Galaktik düzlemden dik uzaklıkları hesaplanıp metal bolluğu gradyent hesaplamalarının yapılmasına hazır hale getirilmiştir. Büyük bir gökyüzü parçasındaki yıldızlar için iki farklı doğrultuda metal bolluğu gradyentleri hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar sentetik modeller de dikkate alınarak yorumlanmıştır. Bulgular daha sonra Galaksi oluşum ve evrim modellerinin sınanmasında kullanılmıştır.

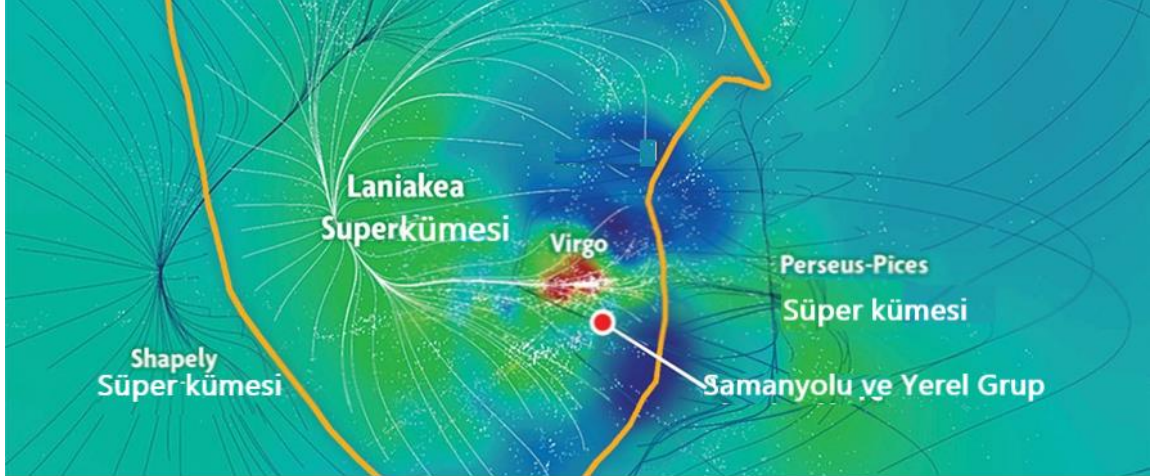
Tez çalışmasının ikinci bölümünde genel bilgiler, üçüncü bölümde ise kullanılan yöntem ve ayrıntılarına yer verilirken, dördüncü bölüm elde edilen kalibrasyonlar ve bulguları içermektedir. Beşinci bölüm tartışma ve sonuçtan oluşmaktadır.

2. GENEL KISIMLAR

2.1. SAMANYOLU GALAKSİSİ

2.1.1. Yapısı ve Özellikleri

Evrendeki çok sayıda galaksi kümelerinden biri olan *Virgo süper kümesi* yeni keşfedilen *Laniakea süper kümesinin* içinde olup Samanyolu galaksisi bu süper kümeye üye binlerce galaksiden biridir. Samanyolu galaksisi, Virgo süper kümesinin dış sınırındaki *yerel grup* adı verilen bir galaksi kümesinin üyesi kabul edilirken, kısa bir süre önce Laniakea süper kümesinin keşfedilmesiyle birlikte (Tully ve diğ., 2014), Virgo süper kümesinin de bu büyük kümenin içinde yer aldığı belirlenmiş ve Samanyolunun adresinde yeni bir eklemeye gidilmiştir (Şekil 2.1). Hawaii Üniversitesinden birçok araştırmacının ortak yürüttükleri bir projede galaksi kümelerinin üç boyutlu dağılımlarının haritalanması sonucunda Laniakea süper kümesi keşfedilmiştir (Tully ve diğ., 2014). Laniakea, milyarlarca Güneş kütlesinde yaklaşık 100,000 galaksiyi içeren bir süper kümedir.

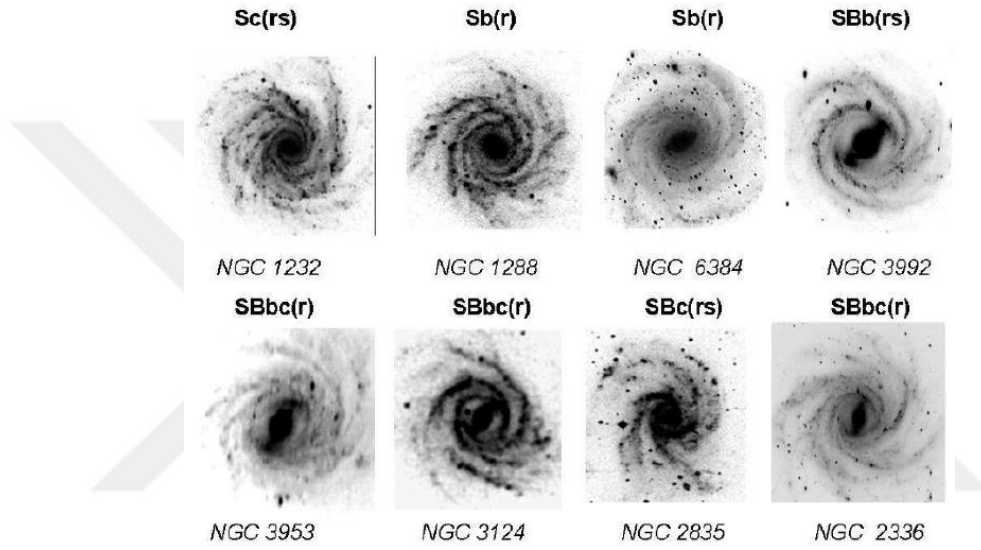


Şekil 2.1: Laniakea süper kümesi, bileşenleri ve yerel grup¹.

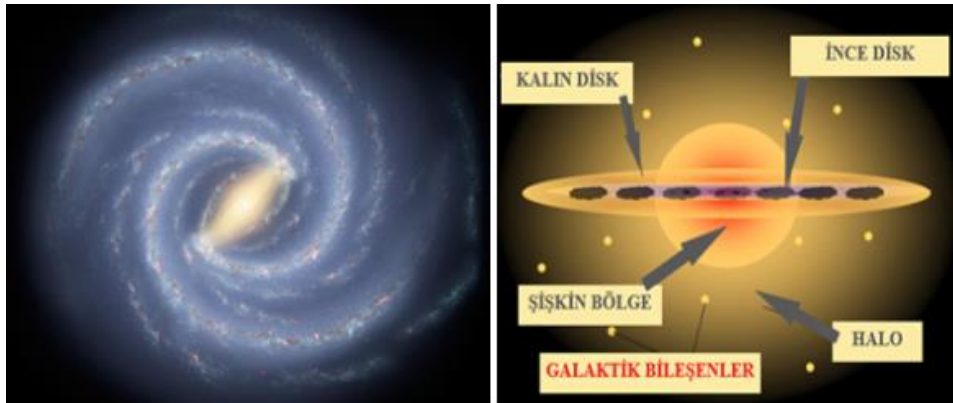
Samanyolu galaksisi, Hubble sınıflamasına göre, çubuklu yapıda, büyük ve belirgin bir şişkin bölgesi olan, de Vaucouleurs sınıflamasına göre SBbc türü bir spiral galaksidir (Binney ve Merrifield, 1998). Farklı türden spiral galaksilerin görüntüleri Şekil 2.2'de gösterilmiştir. Samanyolu galaksisinin kütlesi $(7.5 \pm 2) \times 10^{11} M_{\odot}$ olarak belirlenmiştir (Dehnen ve Binney,

¹ <https://www.northcoastjournal.com/humboldt/laniakea/Content?oid=3510755>

1998). Bu hesaplamaya göre, her yıldızın bir Güneş kütlesinde olduğu varsayımıyla, Samanyolunda yaklaşık 200 ile 400 milyar yıldız bulunması beklenir. Samanyolu diskinin görünür çapı yaklaşık 30 kpc ve kalınlığı da yaklaşık 1 kpc'tir (Bland-Hawthorn ve Gerhard, 2016). Samanyolunun genel bileşenleri, içten dışa, şişkin bölge, ince disk, kalın disk ve halodan oluşur (Gilmore ve Reid, 1983; Gilmore ve Wyse, 1985; 1986). Galaksimizin yandan ve yukarıdan görünüşünü içeren temsili çizimler popülasyon türlerini de içerecek biçimde Şekil 2.3'de gösterilmiştir.



Şekil 2.2: de Voucouleurs sınıflamasına göre farklı türden spiral galaksiler.



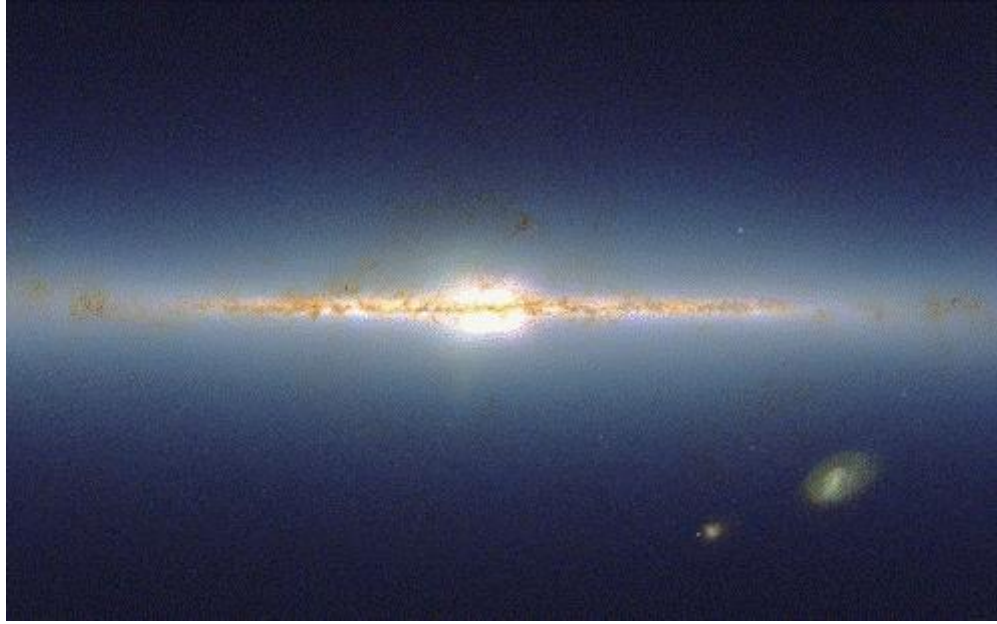
Şekil 2.3: Samanyolunun (sol panel)¹ ve bileşenlerinin (sağ panel) resmedilmiş görüntüsü².

¹ <https://pics-about-space.com/nasa-milky-way-galaxy?p=1#img87769848257149458>

² <https://astrobites.org/2013/12/20/galactic-archaeology-through-stars/>

2.1.2. Galaktik Bileşenler

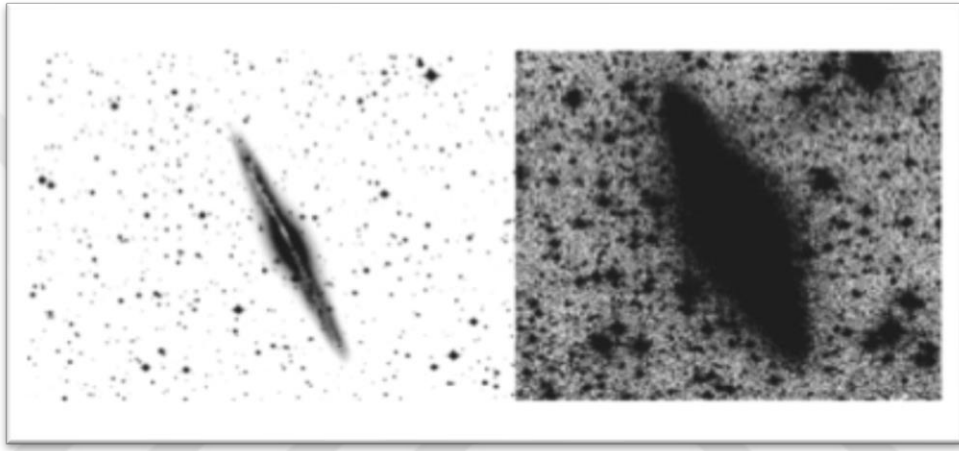
Samanyolunun en parlak bileşeni yaklaşık 2 kpc yarıçapındaki şişkin (bulge) bölgesidir (Şekil 2.4). Çoğunlukla yaşlı, metalce fakir bir yıldız popülasyonuna sahiptir (Najarro ve diğ., 2009). Ancak bu bileşenin genç yıldız popülasyonunu da barındırması şişkin bölgenin karmaşık yapıda olduğunu gösterir. Toz ve gaz bakımından zengin olan bu bileşen elektromanyetik bölgenin optik kısmında yaklaşık 30 kadirlik bir sönükleşmeye neden olur (Schlegel ve diğ., 1998). Bu nedenle şişkin bölge gözlemleri özellikle kızıl-ötesi bölgede gerçekleştirilir. Şişkin bölge, kutu/fıstık şeklinde (Şekil 2.5), üç eksenli, çubuklu bir yapıdadır (Lütticke ve diğ., 2000a,b). Şişkin bölgenin varlığı, kızıl-ötesi astronomik uydusu (*IRAS*; The **I**nfra**R**ed **A**stronomical **S**atellite) kızıl-ötesi gözlemleri sonucu, K ve M tayf türündeki dev yıldızların incelenmesiyle anlaşılmıştır (Fulbright ve diğ., 2006). Şişkin bölge yıldızları, yaş aralığı bakımından geniş bir dağılıma sahip olsa da çoğunluğu yaşlı yıldızlardan oluştuğu için bileşenin yaşı 10 ile 12 milyar yıl aralığındadır (Feltzing ve Gilmore, 2000). Ortalama metal bolluğu $[Fe/H] \approx +0.2$ dex'tir (Zoccali ve diğ., 2003; 2008; Hill ve diğ., 2011).



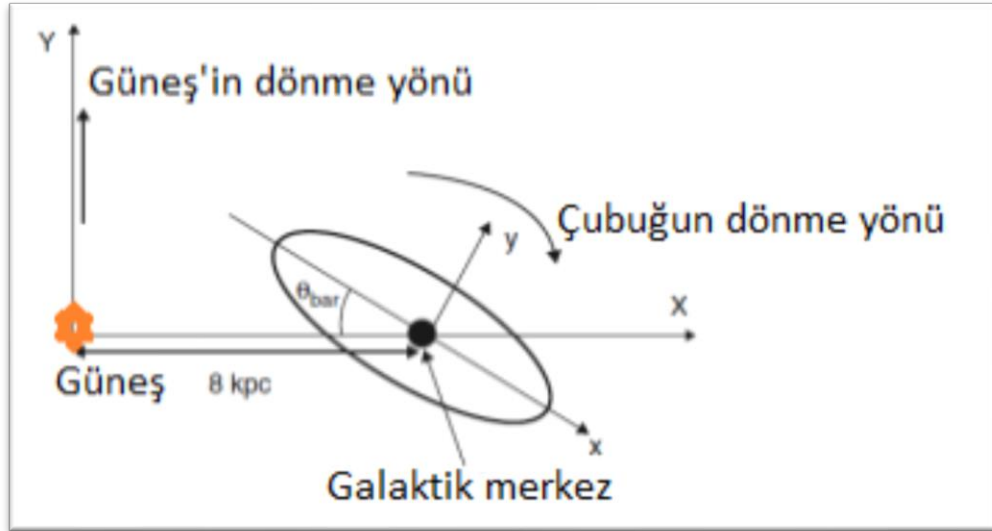
Şekil 2.4: 2MASS fotometrik verilerinden oluşturulan Samanyolunun şişkin bölgesi ve diski bileşeninin görüntüsü. Görüntünün sağ alt tarafında büyük ve küçük Macellan Bulutsuları görünmektedir¹.

¹ http://www.dailygalaxy.com/my_weblog/2016/05/hundreds-of-new-galaxies-revealed-hidden-behind-the-milky-way-reveals-clues-to-the-great-attractor-w.html

Şişkin bölgedeki Galaktik çubuğun varlığı, Lopez-Corredoira ve diğ. (2006) tarafından ortaya konmuştur. Çubuk yapının koordinat sisteminin geometrisi ve dönüş yönü Şekil 2.6'da gösterilmiştir (Wang ve diğ., 2012). Çubuk yapının konumu, şişkin bölgenin merkez doğrultusundan yaklaşık 45° 'lik bir açıyla, $10^\circ < l < 27^\circ$ aralığındadır (Babusiaux, 2012) ve uzunluğu 1.5 kpc'tir (Bland-Hawthorn ve Gerhard, 2016). Ayrıca, Galaksimizin merkezinde kütlesi $M_{KD} = 4.1 \pm 0.6 M_\odot$ olan bir süper kütleli karadelik (Reid ve Brunthaler 2004; Ghez ve diğ., 2008), çok genç yıldızlardan oluşan yıldız kümeleri, süpernova kalıntıları ve dev molekül bulutları bulunur (Şekil 2.7).



Şekil 2.5: İki spiral galaksideki kutu/fıstık şeklindeki şişkin bölge görüntüleri¹.



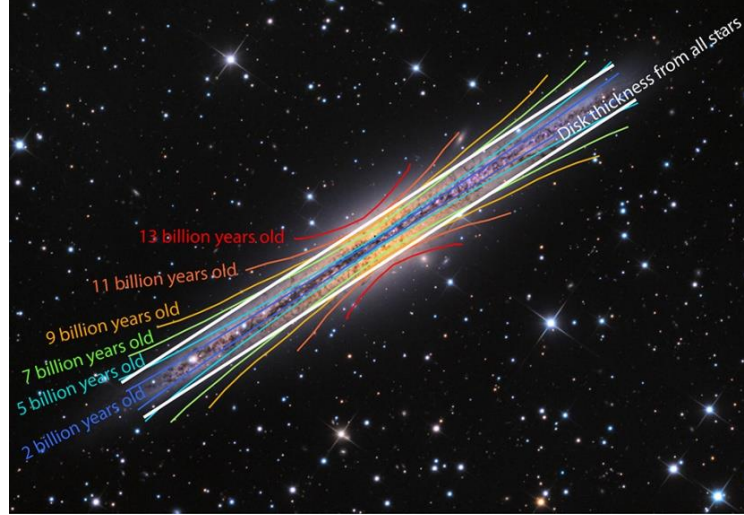
Şekil 2.6: Galaktik çubuk yapının geometrisi (Wang ve diğ., 2012).

¹ Oswalt T.D., Gilmore G., 2013, *Planets, Stars and Stellar System*, Springer Dordrecht Heidelberg New York London, Set ISBN 978-90-481-8818-5 (eBook).



Şekil 2.7: Samanyolu merkezindeki süper kütleli karadeliğe ait bir çizim (sol panel)¹ ve Samanyolunun radyo bölgesinde ($\lambda = 90$ cm) 450×560 pc boyutundaki merkez görüntüsü (sağ panel, La Rosa ve diğ., 2000).

Şişkin bölgenin etrafını saran disk, ince ve kalın disk olmak üzere iki ayırık bileşen olarak kabul edilmiştir (Gilmore ve Reid, 1983). Baryonik açısal momentumun hemen hemen tümünü içeren ve disk galaksilerinin yıldız bileşenini ifade eden disk, yıldızların büyük çoğunluğunu içerir, bu da belirgin bir şekilde görünür olmasını sağlar. Diskin yaşı, içten dışa doğru artar (Şekil 2.8). Radyal ve dikey doğrultuda görülen yıldızlar iç diskte daha genç iken dışa doğru yaşları artar. Bu durum içten dışa doğru bir oluşum senaryosunu destekler (Searle ve Zinn 1978).

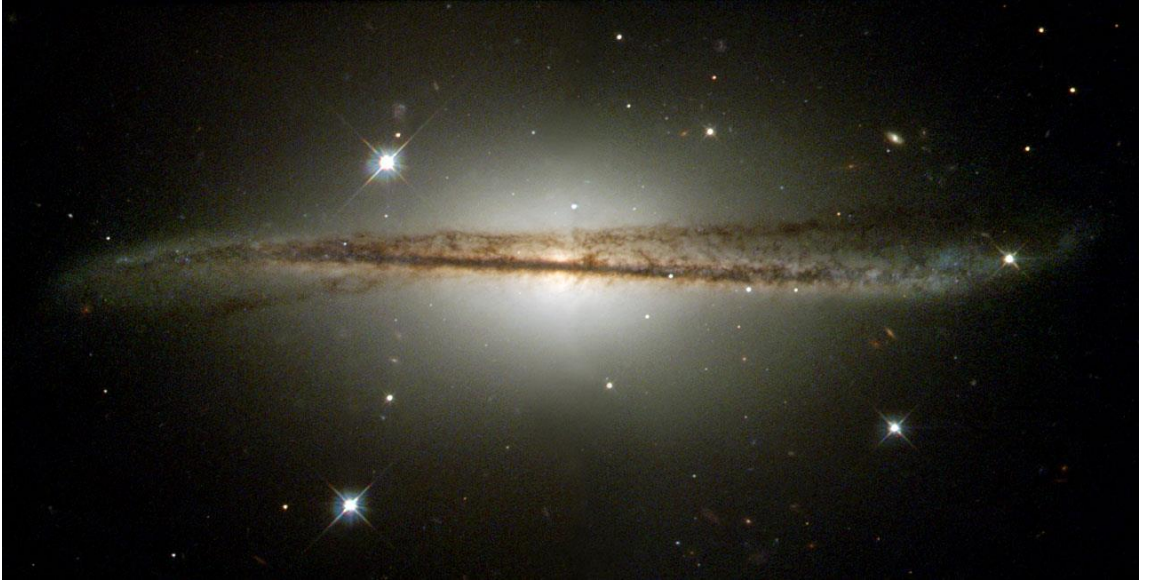


Şekil 2.8: Samanyolu diskinin içten dışa doğru yaş dağılımı².

¹ <http://aasnova.org/2016/12/06/x-ray-beasts-and-magnetic-fields/>

² <http://phys.org/news/2015-04-riddle-galactic-thinthick-disk.html>

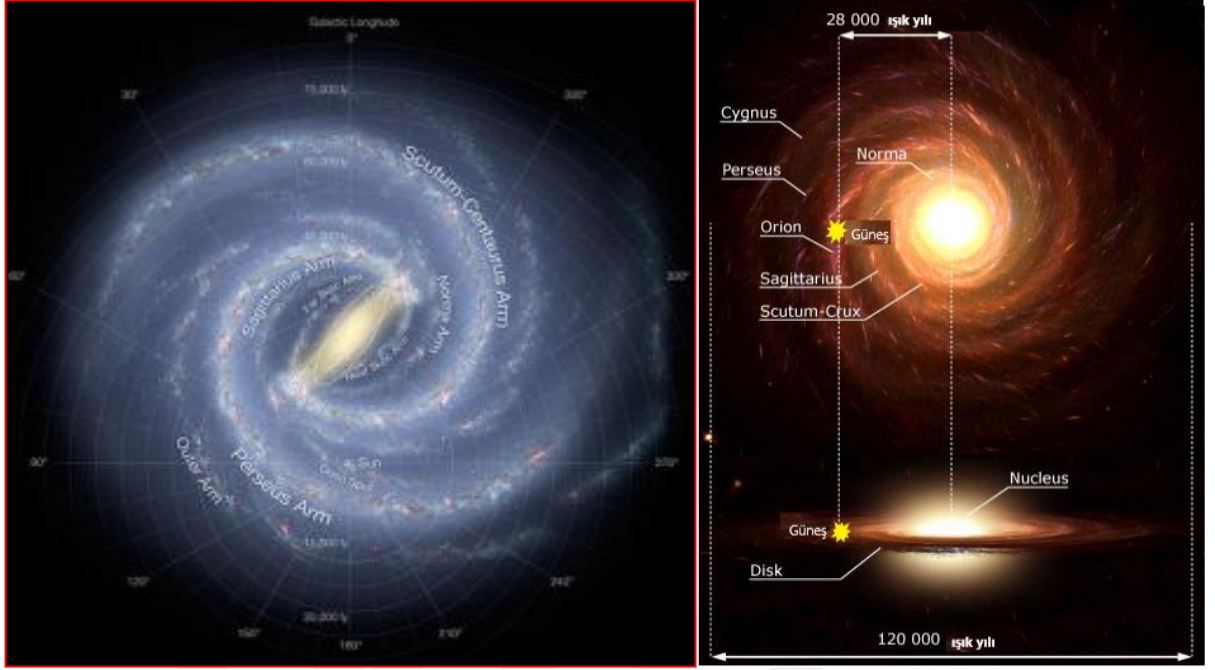
Samanyolu diskinde, ince ve kalın disk bileşenlerinin yanı sıra, spiral kollar da bulunur. Ayrıca disk bileşeninde burulmadan (warp) da bahsedilebilir. Burulma, Galaktik diskin geniş ölçekte eğrilmesidir (Şekil 2.9). Samanyolunda burulma 1957 yılında keşfedilmiştir (Burke 1957; Kerr 1957). Samanyolu dışında gözlemi yapılan otuz beş galaksinin on ikisinde burulmanın olduğu görülmüştür (Bosma ve diğ., 1981). Dış Galaktik HI bölgelerinin incelenmesi sonucu ortaya çıkan burulma olayı, diskin yüzey yoğunluğunun modellenmesiyle açıklanabilir (Levine ve diğ., 2006). Yüzey yoğunluklarındaki parlaklığın fazla olması farklı bir yapının olduğunu, bu da Galaksi diskinin eğri olduğunu göstermiştir.



Şekil 2.9: Su yılanı takımyıldızında Galaksimizden 150 milyon ışık yılı uzaklıktaki ESO 510-G13 galaksisinin görüntüsü ve diskindeki burulma¹.

Spiral kolları oluşturan yapılar, genç yıldız kümeleri, HI bulutları, HII bölgeleri, molekül bulutları, O ve B tayf türünden yıldızlar ve Tip I sefeidlerdir (Şekil 2.10). Nötral hidrojen atomunun 21 cm dalgaboyundaki çizgilerinin incelenmesi spiral kollar hakkında bilgi verir. Geniş-alan Kızılötesi Tarama Kaşifi (*WISE*, **W**ide-field **I**nfrared **S**urvey **E**xplorer) uydusunun orta kızıl-öte (Wright ve diğ., 2010) fotometrik verileri kullanılarak nötral hidrojen atomunun 21 cm dalgaboyundaki çizgilerinin Doppler kaymasından spiral kolların radyo haritaları çıkartılmıştır. Bunun sonucunda Samanyolunun Sagittarius, Perseus, Centaurus ve Cygnus olmak üzere dört ana spiral kola sahip olduğu keşfedilmiştir (Camargo, Bonatto ve Bica 2015).

¹ <https://www.spacetelescope.org/images/opo0123a/>



Şekil 2.10: Samanyolu diskinde belirlenmiş dört spiral kol (sol panel; Benjamin, 2008) ve spiral kolların temsili konumları (sağ panel)¹.

İnce diskte açık kümeler, yıldız oluşum bölgeleri, A, F, G, K, M tayf türündeki anakol yıldızları, dev yıldızlar, gezegenimsi bulutsular ve beyaz cüceler bulunur. İnce diskin yükseklik ölçeği 220 pc ile 450 pc arasındadır (Bilir ve diğ., 2006a). İnce disk yıldızları Galaksi merkezi etrafında çember yörüngelerde dolanırlar (Pasetto ve diğ., 2012) ve dönme hızları 220 km/sn'dir.

Bir yıldızın uzay hızı (S), Güneş'in üç boyutlu uzayda (U , V , W) uzay hız bileşenlerinin bileşke vektörüyle tanımlanır. Burada U hız bileşeni Galaksi merkezi yönünde, V hız bileşeni Galaksi dönüş yönünde ve W hız bileşeni de kuzey Galaktik kutup yönünde Galaktik düzlemden dik doğrultuda tanımlanmıştır. Bu hızlara ait hız dispersiyonları her bileşen için farklıdır. Yıldızın uzay hız bağıntısı (2.1)'de verildiği gibidir.

$$S = \sqrt{U^2 + V^2 + W^2} \quad (2.1)$$

Ayrıca, bir yıldızın hız dispersiyonu, her bir uzay hız bileşenleri için ayrı ayrı bağıntı (2.2)'deki gibi hesaplanabilir.

¹ <http://sci.esa.int/education/36827-galaxies-and-the-expanding-universe/>

$$\sigma_W = \sqrt{\sum w^2} / n \quad (2.2)$$

burada σ_W , W hız bileşeni için hız dispersiyonu ve n , yıldız sayısını ifade eder.

İnce disk yıldızlarının hız dispersiyonları, diğer Galaktik bileşenlerin hız dispersiyonundan daha küçüktür ve sırasıyla, $(\sigma_U, \sigma_V, \sigma_W) = (35, 20, 16)$ km/sn'dir (Bensby ve diğ., 2003). İnce diskin ortalama metal bolluğu $[Fe/H] = -0.2$ dex'tir. İnce disk bileşenini ifade eden yoğunluk kanunu, Galaksi merkezinden radyal ve Galaktik düzlemden dik doğrultuda olmak üzere çift eksponansiyel kanunuyla ifade edilir. İnce diski matematiksel olarak tanımlayan bu bağıntının parlak ve sönük mutlak parlaklıklarda farklılık gösterdiği anlaşılmış ve parlak mutlak kadirler için *eksponansiyel* (exp), sönük mutlak kadirler için *sekanthiperbolikkare* (sech²) fonksiyonu kullanılmıştır (Karaali ve diğ., 2004; Bilir ve diğ., 2005; 2006a-b). Samanyolunun temel bileşenlerinden olan ince ve kalın diskin oluşumu, bu ayırım yapıldığından beri (Yoshii, 1982; Gilmore ve Reid, 1983) Galaktik arkeolojinin en önemli konusu haline gelmiştir. Galaktik arkeoloji, Samanyolunun geçmişini araştırmak, erken evre oluşum zamanından izler bulmak amacıyla yıldızların kimyasını inceleyerek Galaksinin oluşumu hakkında ipuçları aramaktadır (Ciuca ve diğ., 2018).

Kalın disk, genel olarak yaşlı, metalce fakir yıldızlardan oluşan ve Galaksi merkezi etrafında yavaş dönen bir bileşendir (Feltzing ve Bensby, 2008; Reddy, 2010). Kalın diskin iç kısımlarının oluşumu hakkında çeşitli senaryolar vardır. Sales ve diğ. (2009) kalın diskin, ince diskin ısınması sonucu oluştuğunu göstermiştir. İnce diskin ısınması, radyal göçten kaynaklanabilir. Galaksi dışından gelen yıldızların iç diske karışarak ortamı ısıtmasıyla ince disk genişleyerek kalın diski oluşturabilir (Roskar ve diğ., 2008; Schönrich ve Binney, 2009). Ayrıca diskin dışında dolanan uydu galaksilerin ince diske katılması, kalın diskin bir başka oluşum senaryosu olarak da kabul edilir (Abadi ve diğ., 2003). Kalın disk bileşeninde nispeten metalce zengin küresel kümeler, F, G, K ve M türü geç tip anakol yıldızları, RR Lyrae yıldızları, Mira değişenleri ve evrimleşmiş yıldızlar bulunur. Kalın diskin yükseklik ölçeği yaklaşık 1 kpc'tir (Freeman, 2001). Kalın diskin uzay hız bileşenlerinin dispersiyonları, sırasıyla, $(\sigma_U, \sigma_V, \sigma_W) = (49, 44, 35)$ km/sn'dir (Brook ve diğ., 2012). Kalın disk yıldızlarının metal bolluğu $-1.5 \leq [Fe/H] \leq +0.5$ dex aralığındadır (Bensby ve diğ., 2003).

Kararlı helyum (He) atomunun çekirdeğine alfa (α) çekirdeği, bu çekirdeğin girdiği reaksiyon sonucunda oluşan ağır elemente (metal) α -*elementi* adı verilir. O, Ne, Mg, Si ve S elementleri örnek olarak verilebilir. Metalce fakir yıldızlardan oluşan kalın disk bileşeni α -elementlerince zengindir (Bensby ve diğ., 2003; 2005; Reddy ve diğ., 2006). Kalın diskin alfa elementlerince zengin olması, bu bileşenin kısa bir zaman ölçeğinde, hızlı bir şekilde evrimleştiğini göstermektedir (Gilmore ve diğ., 1995; Ivezić ve diğ., 2008).

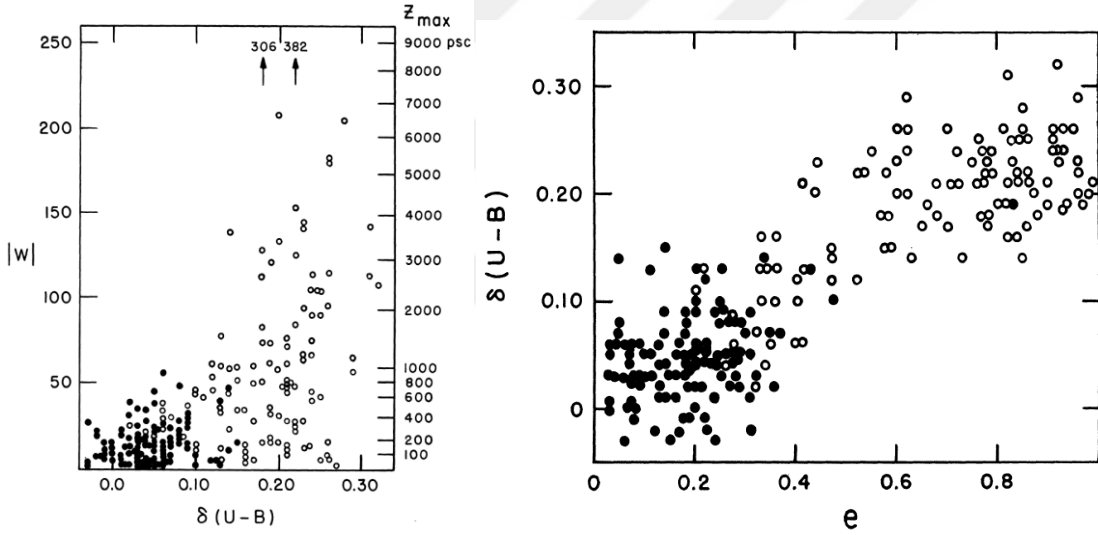
Halo bileşeni gözlemlenebilen yıldızlar halosu ve gözlemlenemeyen ancak Galaksimizin dönme eğrisinden itibaren açıklanabilen karanlık halodan oluşur. Dönme eğrisi, Samanyolunun dönme hızının uzaklığa göre değişimini gösterir. Yıldızlar halosu Samanyolunun toplam kütesinin yüzde birini oluşturur. Karanlık halo ise Samanyolunun kütesine hâkim olan bir bileşendir. Halo, iç ve dış halo olarak ikiye ayrılır (Carolla ve diğ., 2007). Halo yıldızları yavaş döner ve basık yörüngelerde dolanır (Ruchti, 2010). İç halonun sferoid yapıda olduğu, eksen basıklık oranının da yaklaşık $c/a = 0.6$ olduğu hesaplanmıştır (Bilir ve diğ., 2008). Dış halo ise daha küresel yapıdadır (Hardwick, 1987). Dış halo yıldızları, Galaksinin disk yıldızlarına göre ters yönde dolanırlar. Hız dispersiyonları iç halo için, sırasıyla, $(\sigma_U, \sigma_V, \sigma_W) = (70, 70, 44)$ km/sn ve dış halo için, sırasıyla, $(\sigma_U, \sigma_V, \sigma_W) = (166, 117, 99)$ km/sn olarak hesaplanmıştır (Carollo ve diğ., 2007). Halo, Samanyolunun en yaşlı ve en dış bileşenidir. Ortalama metal bolluğu $[Fe/H] = -1.6$ dex olan metalce fakir ve ortalama yaşları 13 milyar yıl olan yıldızlardan oluşur (Carney ve diğ., 1990).

2.1.3. Galaksimizin Oluşumu, Evrimi ve Modelleri

2.1.3.1. Gözlemlere Dayalı Oluşum Senaryoları ve Modeller

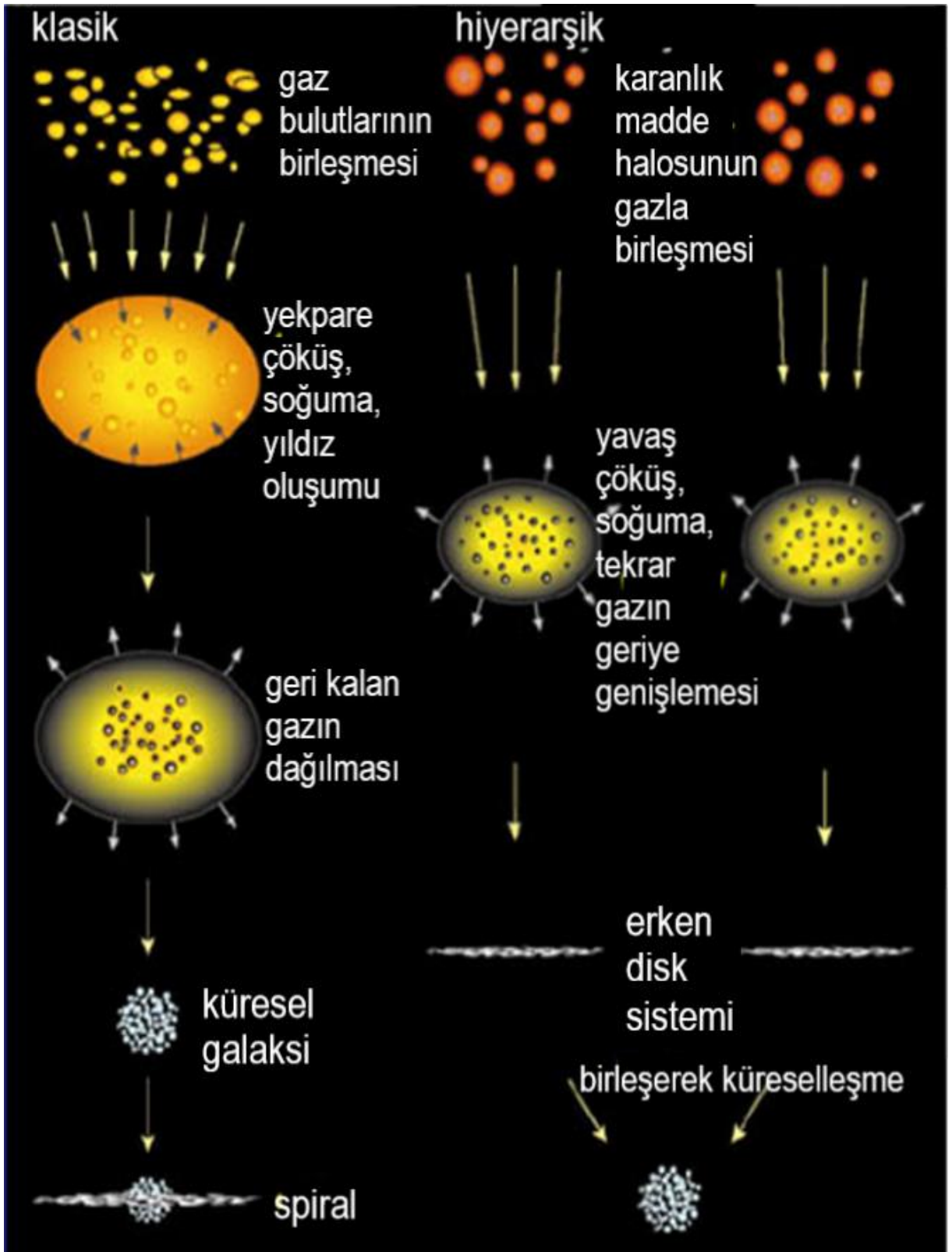
Galaksimizin oluşumuyla ilgili çeşitli senaryolar vardır. Bunlardan ilki, 1962 yılında Eggen, Lynden-Bell ve Sandage (ELS) tarafından ortaya atılan, ELS modelidir. Bu model, kinematik olarak seçilmiş yıldız örneğine, popülasyon I (Pop I) ve popülasyon II (Pop II) yıldızlarının göreceli hızları ve kimyasal yapılarına dayandırılmıştır. ELS (1962), yıldız örneklerinde mor-ötesi artığı (δ_{U-B}), yörünge basıklığı (e) ve Galaksi düzlemine dik doğrultudaki uzay hızı (W) arasında bir ilişkinin olduğunu göstermiştir (Şekil 2.11). Mor-ötesi artığı küçük olan metalce zengin Pop I yıldızlarının disk düzleminde ve çember yörüngede, mor-ötesi artığı büyük metalce fakir Pop II yıldızlarının haloda basık yörüngelerde hareket ettikleri tesbit edilmiştir.

İki popülasyon arasındaki kimyasal ve kinematik farklılık, Galaksimizin oluşumunu açıklayan ilk senaryodur. ELS (1962), yıldızların metal bolluklarıyla dış merkezlikleri arasında bir bağıntı öne sürmüştür. Bu durum, ELS'ye göre, Galaksinin metalce fakir bir gaz bulutunun içe doğru hızlı çökerek büzülmesi sonucu oluştuğunu göstermektedir. Bu senaryoya göre içe doğru gaz bulutunun çökmesi aşamasında Pop II yıldızları ve küresel kümeler oluşmuştur. Oluşan büyük kütleli yıldızlar ömürlerinin sonunda çekirdeklerinde üretmiş oldukları ağır elementleri süpernova patlamalarıyla yıldızlararası ortama fırlatarak, Samanyolunu metalce zenginleştirmiş ve metalce zengin Pop I yıldızlarının oluşumu için gerekli kimyasal yapıyı hazırlamıştır. ELS modelinin bu oluşumunun kısa bir zaman ölçeğinde meydana geldiğini belirtmesi tartışmalara yol açmıştır.



Şekil 2.11: ELS'nin (1962) incelediği yıldız örnekleri için mor-ötesi artığının, sol panel, $|W|$ uzay hızı, sağ panel, yörünge basıklığıyla (e) değişimi. Şekilde içi dolu ve boş daireler, sırasıyla, verilerin Roman'ın (1955) iki farklı yüksek hızlı yıldız kataloğundan alındığını göstermektedir.

Searl ve Zinn (SZ), 1978 yılında, haloyu temsil eden küresel kümelerin metal bolluklarının aynı olmadıklarını tespit ederek ELS'den farklı bir senaryo öne sürmüş ve baş harfleriyle ifade edilen SZ'yi savunmuştur. Galaksi merkezinden yaklaşık 10 kpc'den daha uzaktaki küresel kümeleri inceleyerek haloda metal bolluğu gradyenti bulunmadığını belirlemişlerdir. Bu durum, ELS senaryosunda kabul gören Samanyolunun ilkel bir bulut çökmesinden oluştuğu varsayımına uymamaktadır. SZ senaryosuna göre Samanyolunun çok sayıda gaz bulutunun bir araya gelmesiyle oluştuğu düşüncesi daha doğrudur. Samanyoluna günümüzde de cüce galaksilerin katılımı SZ senaryosunun en önemli gözlemsel kanıtıdır (Şekil 2.12).



Şekil 2.12: Klasik ELS (1962) ve hiyerarşik SZ (1978) senaryolarının temsili gösterimi.

Galaksimizin oluşum senaryoları içinde SZ'yi destekleyen Samanyolunun tek bir bulut çökmesiyle değil birden fazla küçük yapıların birleşmesi görüşü birçok araştırmacı tarafından kabul görmüştür (White ve Rees, 1978; Navarro ve diğ., 1997).

Evrendeki en baskın madde formu olan karanlık madde, çekimsel çökme boyunca Samanyolu oluşumunda önemli bir rol oynar (Press ve Schechter, 1974; White ve Rees, 1978). Soğuk karanlık madde (CDM, **C**old **D**ark **M**atter), evrendeki parçacıkların rastgele hızlarının ışık hızıyla kıyaslanabileceği karanlık madde formu olarak tanımlanabilir. CDM, Evrenin erken evresindeki düzgün dağılımından bugünkü yapıya dönüşüm sürecinin anlaşılmasını sağlar (Rutchi, 2010). CDM içeren modeller, günümüzdeki galaksilerin erken evrende büyük patlamadan sonra varolan küçük yoğunluk dalgalanmalarının çekimsel çöküşü esnasında oluşabileceğini gösterir. Oluşan ilkel sistemler çevreden daha fazla madde çeker ve büyüyen yapılara dönüşerek bir zamanlar dağınık olan maddedeki topaklanmayı arttırır. Hiyerarşik senaryodaki bu birleşmeler ile günümüzdeki galaksiler oluşur (Katz, 1992; Cole ve diğ., 1994; Mo ve diğ., 1998; Steinmetz ve Navarro, 1999; Bekki ve Chiba, 2001; Steinmetz ve Navarro, 2002).

2.1.3.2. Modeller

Seri model (Matteucci ve Francois, 1989), Samanyolunun bir tek bir bulutun çökmesi sonucunda birbirini takip eden süreçler sonucunda oluştuğunu öneren bir modeldir. ELS modeline benzer, fakat ELS modeli gibi hızlı bir oluşum senaryosu öngörmez. Seri modele göre Galaktik bileşenlerin oluşumu, sırasıyla, halo, kalın ve ince disklerdir.

Paralel model (Pardi ve diğ., 1995), Samanyolunun Galaktik bileşenlerinin aynı zamanda, aynı gazdan fakat farklı oranlarda oluştuğunu öneren bir modeldir. Bununla birlikte Galaktik bileşenlerin evrimi, yıldız oluşum zamanlarına göre farklı hızlarda gerçekleşir.

Rastgele yaklaşım modeline göre de, Samanyolunun halo bileşeni erken evrede oluşmuştur. Bu modelde, süpernova kalıntılarının etkisiyle halo yıldızlarının düşük metal bolluğuna sahip olduğu düşünülür (Tsujimoto ve diğ., 1999; Argast ve diğ., 2000; Oey, 2000).

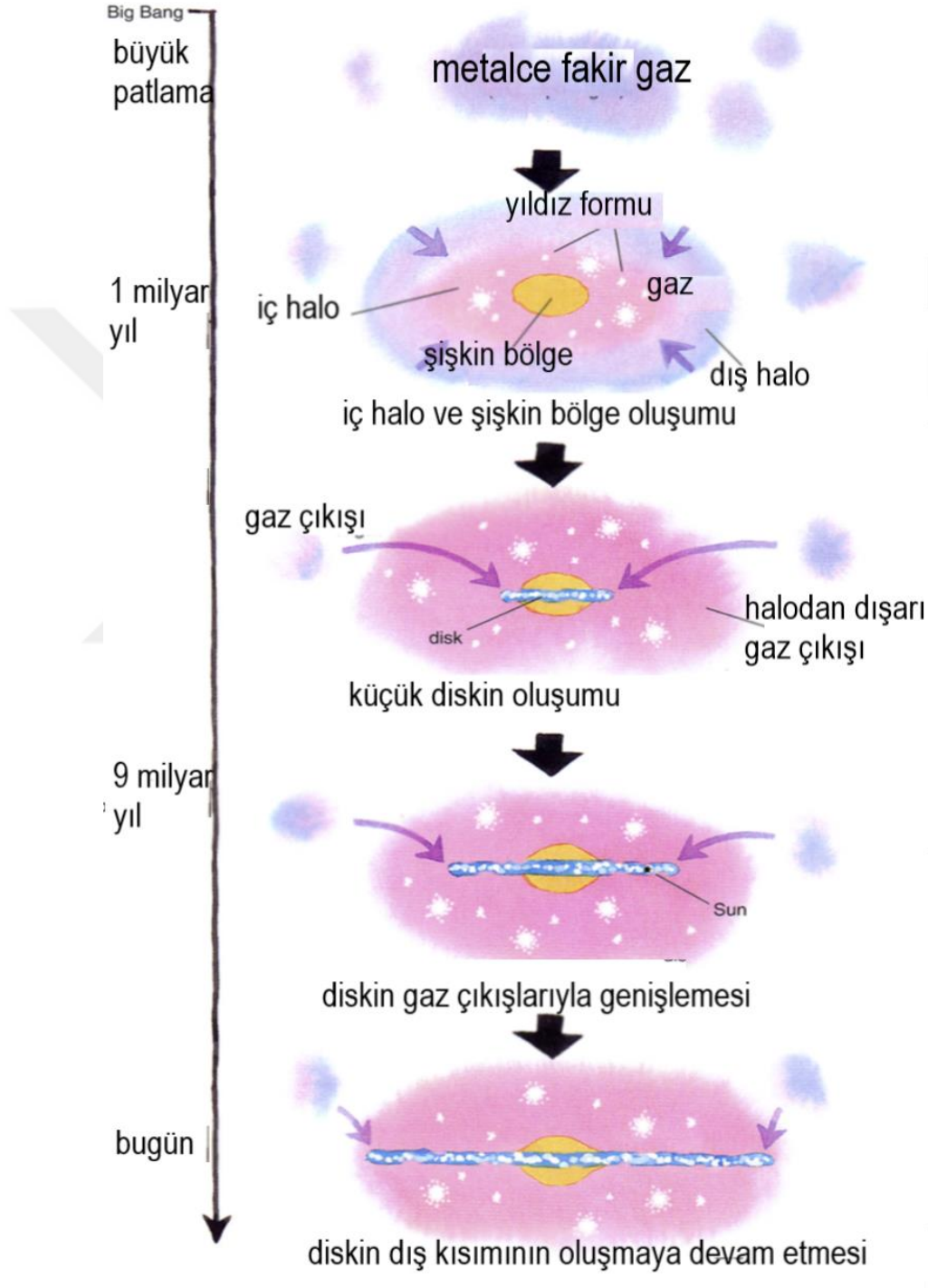
Chiappini, Matteucci ve Gratton (1997), Samanyolunun oluşumunu iç içe *ikili çökme kimyasal evrim modeliyle* açıklamaya çalışmıştır. Modele göre, ilk çökme halo yıldızlarını oluşturmuştur. Bu çökme olayı, halodaki gaz bitinceye kadar devam etmiş hatta kalın disk bileşeninin

yıldızlarının bir kısmı da ilk çökme evresinde oluşmuştur. Halo bileşeninde yıldız oluşumu, hızlı bir şekilde gerçekleştiğinden bu ortamdaki gaz da yıldız oluşum oranında hızla tükenir. Model, halo bileşeninin kaybettiği gazın bir kısmının Galaksi merkezinde toplandığını ve bu ortamın şişkin bölgeyi oluşturduğunu önermektedir. Halo bileşeni oluştuktan ve yıldız oluşumu sona erdikten sonra ikinci bir gaz çökmesi meydana gelerek ince disk yıldızlarını oluşturmuştur. Bu olayın ana kaynağı Samanyoluyla birleşen bir cüce galaksi olabileceği gibi açısal momentumu büyük olup çöküşü daha uzun zaman gerektiren bir gaz bulutu da olabilir (Şekil 2.13). Bu modelde ince disk, uzun zaman ölçeğinde oluşmuştur. Çünkü ince diske kütle eklenmesi ikinci gaz çöküşü sırasında olabilir. Yeni metal bolluğu dağılımlarına uygulandığında, Chiappini ve diğ. (1997)'nin modeli Güneş civarındaki ince diskin 7×10^9 yılda tamamlandığını göstermektedir. Halonun ve ince diskin oluşumuna ait zaman farkı ince diskin halodan oluşmadığını gösterir.

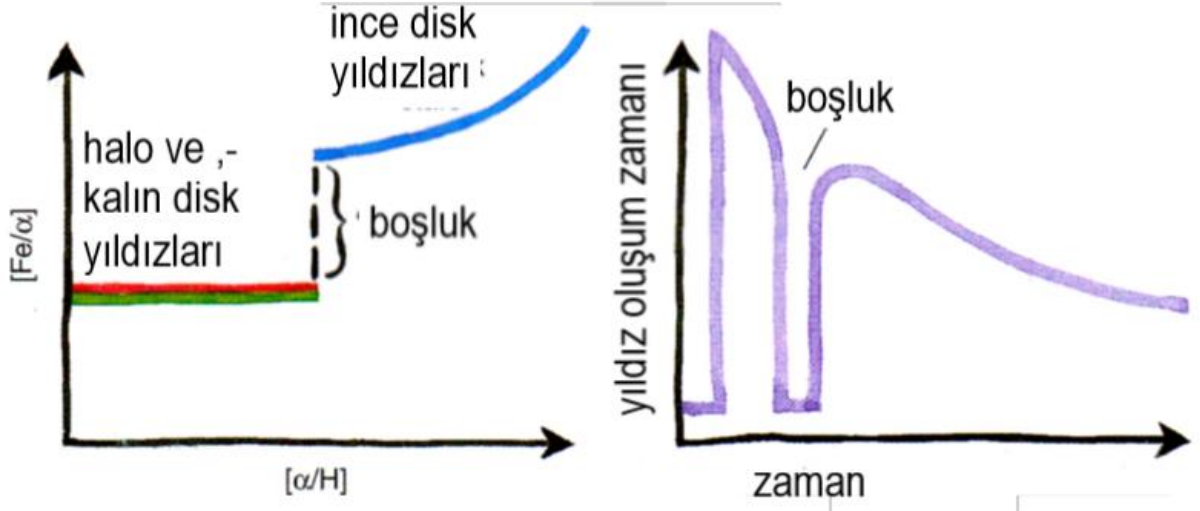
Açısal momentumu düşük madde, ELS senaryosundaki gibi bir çökmeyle halo ve şişkin bölgeyi oluşturmuşken, SZ senaryosunun zaman içindeki birleşmeleri de halonun oluşumuna katkı sağlamıştır. Aslında, gerçek birleşmeler ince diskin oluşumundan önce meydana gelmiştir. İnce disk, halo bileşeninden bağımsız olarak, açısal momentumu büyük olan gazdan oluşmuştur ve ilk disk, 10 milyar yıl önce meydana gelen son büyük birleşme olayı sonucunda kalınlaşmıştır. Artan bir kütleyle bu bileşen ince disk bileşenine dönüşmüştür. Güneş'in olduğu ince diskin kaynağının bu senaryo olduğu düşünülmektedir (Chiappini ve diğ., 1997).

Güneş civarındaki yıldızların yaşlarıyla metal bollukları arasındaki ilişki incelendiğinde yaşlı fakat metalce zengin bir grup yıldızın bulunduğu görülmüştür. Bu durum çökme modelleriyle açıklanamadığı için *radyal göç modeli* ortaya konmuştur (Grenon, 1972; 1980; Haywood, 2008; Schönrich ve Binney, 2009). Radyal göç modeli, farklı çekimsel tedirginlikler ile bazı yıldız gruplarının Samanyolunun iç ve dış bölgelerinden Güneş civarına göç ettiğini öne süren bir modeldir. Samanyolu evriminin ilk zamanlarında Güneş civarında yıldız oluşum hızı yavaşlamıştır. Gratton ve diğ. (1997), demir elementinin, α - elementlerinden olan oksijen ve magnezyuma göre değişimini incelemişler ve α -elementlerinin üretilmediği bir boşluk olduğunu tespit etmişlerdir (Şekil 2.14). $[\text{Fe}/\alpha]$ oranında artış olduğu, $[\alpha/\text{H}]$ oranının da sabit kaldığı görülmüştür. Boşluğun iki tarafındaki yıldızların popülasyon tiplerinin belirlenmesinden, halo ve kalın disk bileşenlerinin oluşmasından sonra yıldız oluşumunun

durduğu anlaşılmıştır. Halo ve kalın disk yıldızları yaşlıdır ve ince diskin oluşumundan önce evrimleri sona ermiştir.



Şekil 2.13: İç içe ikili çökme modelini ifade eden şematik çizim (Chiappini ve diğ., 1997).



Şekil 2.14: Galaktik bileşenlerin $[\text{Fe}/\alpha] \times [\alpha/\text{H}]$ bolluk dağılımı(sol panel) ve yıldız oluşumunun zaman bağlı değişimi (sağ panel; Gratton ve diğ., 1997).

Şekil 2.14’de sağ paneldeki bu boşluğun süresi de belirlenebilir, α -elementleri Tip-II süpernovalarıyla oluştuklarından, element bolluklarının üretim oranı yıldız oluşum oranı için iyi bir ölçüdür. Bu arada demir elementi de üretilir, çünkü boşluktan önce Tip Ia süpernovalarının kaynağı olan orta/düşük kütle çift yıldızlar oluşmuştur. Demir elementi üretimi boşluktan sonra da devam etmiştir ve α -elementlerinin üretimi sona ermiştir. Tip Ia süpernovalarının periyodu, boşluğun 1 milyar yıldan daha fazla olmadığını gösterir (Gratton ve diğ., 1997).

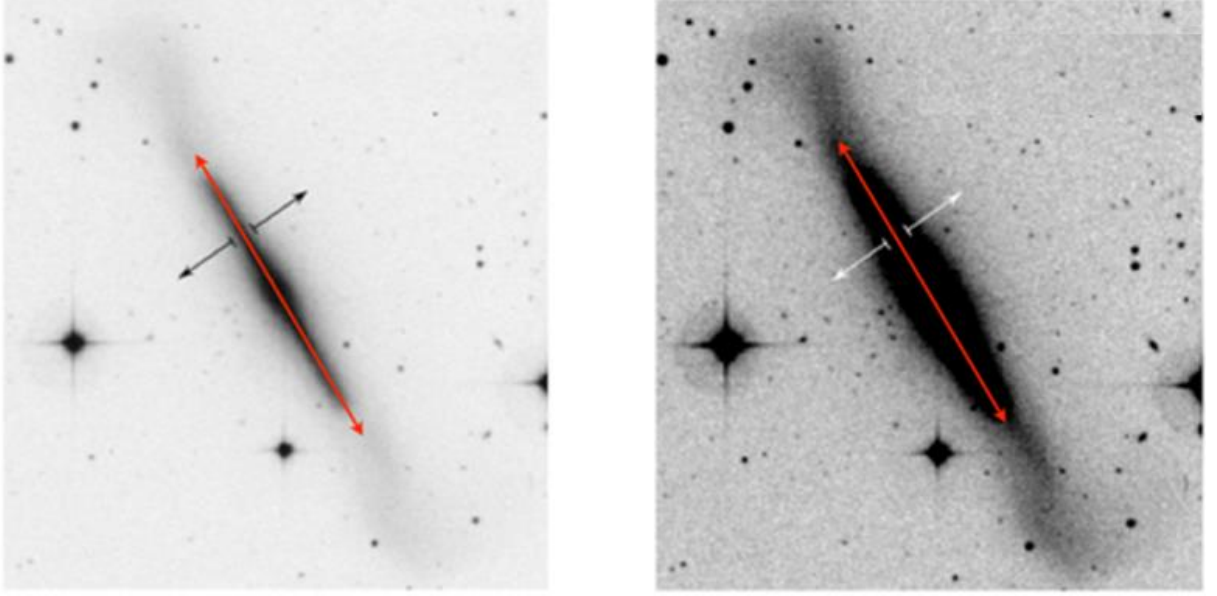
Samanyolunun yapısı ve oluşumunun anlaşılmasında gelişen teknolojinin önemi büyüktür. Yeni odak düzlemi aletlerinin geliştirilmesi gökyüzü tarama programlarının çoğalmasına ve büyük ölçekte Evrenin yapısı, oluşumu ve evrimi hakkında daha fazla bilgi sahibi olmamızı sağlamıştır. Bu tarama programlarına örnek olarak şunlar verilebilir: Fotometrik gökyüzü tarama programları, SDSS (Abazaijan ve diğ., 2004), DENIS (Kimeswenger ve diğ., 2004), 2MASS (Skrutskie ve diğ., 2006), *GALEX* (Martin ve diğ., 2005), *WISE* (Wright ve diğ. 2010), fotometrik gözlemlerin yanında astrometrik ve tayfsal verilerin de elde edileceği tarama programları, *Hipparcos* (ESA, 1997), GCS (Nordström ve diğ., 2004), RAVE (Steinmetz ve diğ., 2006), APOGEE (Prieto ve diğ., 2008), SEGUE (Yanny ve diğ. 2009), GES (Gilmore ve diğ., 2012), LEGUE (Deng ve diğ., 2012), LAMOST (Zhao ve diğ., 2012), GALAH (de Silva

ve diğ., 2015), *Gaia* (Gaia Çalışanları, 2016) örnek verilebilir. Günümüzde yukarıda verilen örneklerden çok daha fazla gökyüzü tarama programları mevcuttur. Farklı problemlerin çözülebilmesi için Galaksimizin farklı doğrultularında farklı gökcisimlerinin tayfsal, fotometrik ve astrometrik gözlemleri yapılarak konusunda uzman araştırmacılar tarafından indirgenen bu veriler, bilimsel araştırmalarda kullanılmak üzere hazır hale getirilir. Bu verilerin çoklu dalgaboylu gözlemlerinin, tayfsal ve astrometrik verilerinin bir arada incelenmesi özellikle Galaksimizin yapısı, oluşumu ve evriminin anlaşılmasında önemli bir yeri vardır.

2.2. KALIN DİSK

Samanyolunun kalın disk bileşeni, ince disk ile halo bileşenleri arasında bulunur. Başka galaksilerde görülen kalın disk bileşenin keşfi (Şekil 2.15), ilk kez Galaksimiz için Gilmore ve Reid (1983)'ın yıldız sayımları yöntemiyle disk bileşenin iki farklı popülasyondan meydana geldiğini göstermesiyle gerçekleşmiştir. Ancak günümüzde kalın disk ile ilgili araştırmalar halen devam etmektedir. Literatürde kalın disk üzerine yapılan araştırmaların kısa bir özeti aşağıda listelenmiştir.

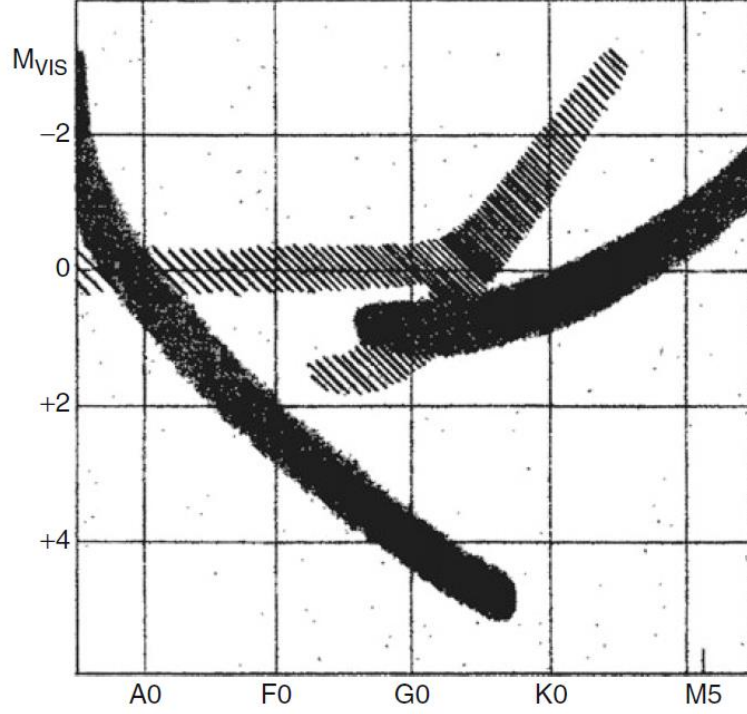
- i. Kalın diskin Galaktik düzlemden dik doğrultudaki yoğunluk profilini inceleyen çalışmalar (Gilmore ve Reid, 1983; Yoachim ve Dalcanton, 2006; Juric ve diğ., 2008; Bilir ve diğ., 2008; Cameron ve diğ., 2011).
- ii. Kalın disk kinematikini araştıran çalışmalar (Morrison ve diğ., 1990; Majewski 1992; Bensby ve diğ., 2003; Reddy ve diğ., 2003; Adibekyan ve diğ., 2012; Bovy ve diğ., 2012; Karaali ve diğ., 2015).
- iii. Kalın diski kimyasal olarak inceleyen çalışmalar (Fuhrmann, 1998; Ak ve diğ., 2007b; Navarro ve diğ., 2011; Adibekyan ve diğ., 2012; Bovy ve diğ., 2012).
- iv. Kalın diskin Galaksi diskinin yaşlı bir parçası olarak incelendiği çalışmalar (Haywood ve diğ., 2013; Bensby ve diğ., 2014; Xiang ve diğ., 2015).
- v. Kalın diskin, ince disk ile halo arasında bir geçiş bölgesi olabileceğiyle ilgili senaryolar geçmişte kalmış olsa da, günümüzde de kalın disk ile halo arasında hatta ince disk ile kalın disk arasında da geçiş bölgeleri olabileceğiyle ilgili çalışmalar da bulunmaktadır (Bartasiute, 1995; Fuhrmann, 1998, Nissen, 2003; Recio-Blanco ve diğ., 2014; Hawkins ve diğ., 2015).



Şekil 2.15: Kenardan görülen NGC 4762 galaksisindeki ince disk (sol panel) ve kalın disk (sağ panel) bileşenleri (Tsikoudi 1980).

2.2.1. Kalın Diskin Tarihçesi

Yıldızlarda farklı iki popülasyon kavramından bahseden Walter Baade ilk defa Andromeda galaksisinin (M31) fotoğraf görüntüsünde yıldızları Pop I ve Pop II olmak üzere sınıflandırmıştır (Baade, 1944). Bu sınıflamadan sonra Güneş komşuluğundaki yıldızlar ile küresel kümelerin Hertzsprung–Russell (HR) diyagramlarındaki farklılık gösterilerek, Güneş komşuluğundaki yıldızların Pop I ve küresel küme yıldızlarının ise Pop II'ye ait oldukları belirtilmiştir (Şekil 2.16). Pop I ve Pop II kavramı, 1957 yılında, Vatikan konferansında kabul edilmiştir. Bu konferansta ara popülasyon kavramının da gerekliliği düşünülmüş (Q'Connell, 1958) fakat o günkü şartlarda ve teknolojiye tüm gökyüzü henüz incelenemediği için böyle bir düşünceye ihtiyaç duyulmamıştır. Daha sonraki yıllarda birçok araştırmacı Galaktik düzlemdeki yıldızların sayı yoğunluklarını incelemiş ve kinematik araştırmalarını yapmıştır. Örneğin K devlerini Oort (1960), RR Lyr değişen yıldızlarını Plaut (1965), F-G tayf türündeki anakol yıldızlarını Elvius (1965) ve Upgren (1963) inceleyerek yıldızların kinematik sonuçlarına göre ara popülasyon kavramını öngörmüşler fakat 1980'li yıllara kadar bu düşünce hiç bir araştırmacı tarafından savunulmamıştır.

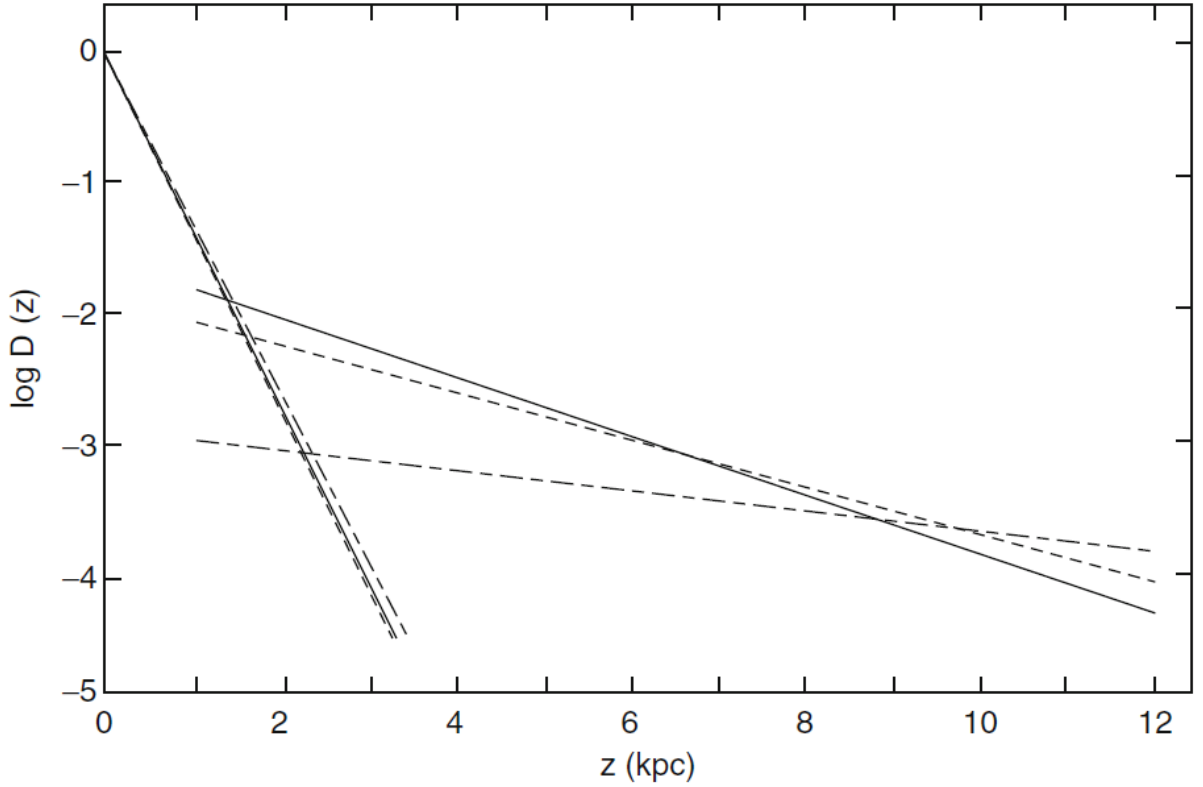


Şekil 2.16: HR diyagramı üzerinde Pop I (siyah) ve Pop II (taralı) yıldızlarının konumları (Baade, 1944).

1980 yılına kadar Samanyolu için iki temel bileşenden oluştuğu, Pop I kavramının disk yıldızlarını, Pop II kavramının halo yıldızlarını temsil ettiği görüşü hâkimdi. Teknolojinin zaman içerisinde ilerlemesiyle daha sönük yıldızların incelenebilmesi söz konusu olmuş ve ara popülasyon kavramı tekrar önemini arttırmıştır.

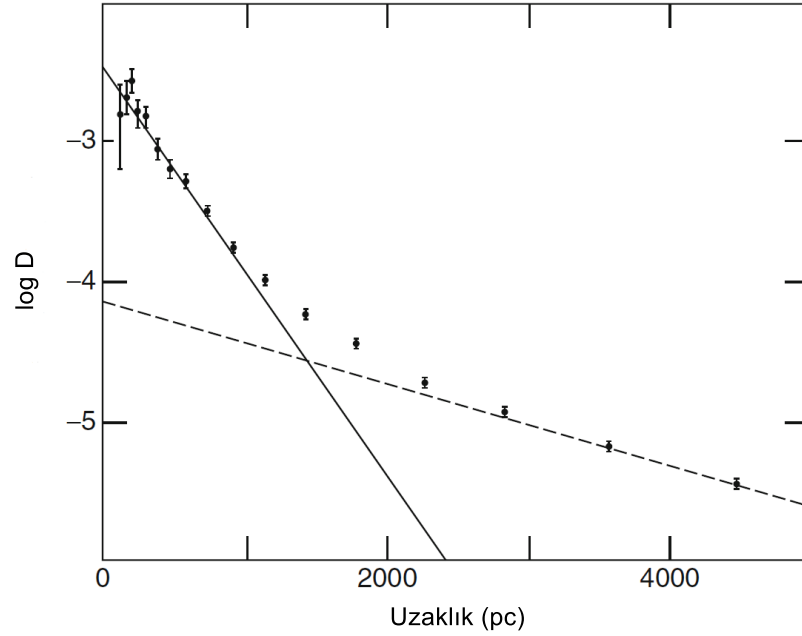
Samanyolunun yapısı hakkında bilgi sahibi olmak için çeşitli galaksi modelleri üretilmiştir. Artan fotometrik veriler ile birlikte galaksi modelleri de geliştirilmiştir. Galaksi modelleri, Galaksideki uzay yoğunluklarını Galaktik koordinatların bir fonksiyonu olacak şekilde belirten matematiksel bağıntılardır. Gözlemler modeller ile uyumlu olduğu zaman, bulgular fiziksel anlam içerir. Bunun için modeller önemlidir. Bahcall ve Soneira (1980) modern anlamda ilk kez disk ve halodan meydana gelen iki bileşenli bir model oluşturdu. Modellerinde Galaksinin ışımaya gücü fonksiyonuna bağlı Güneş komşuluğundaki yıldızları disk ve halo olarak ifade eden iki bileşenli bir model yaptılar. Bahcall ve Soneira (1980) modellerinde disk yıldızlarını çift eksponansiyelli yoğunluk kanunuyla tanımladılar. Buna göre diskin radyal uzunluk ölçeğini 4 kpc ve yükseklik ölçeğini de 325 pc verdiler. Ayrıca halo bileşeninin 5 kpc yarıçap içindeki yıldızların yoğunluğunu, de Vaucouleurs kanunuyla ifade ettiler.

Yoshii (1982) Basel Astronomi Enstitüsünün plak arşivinden sağladığı kuzey Galaktik kutup doğrultusunda 2.61 derece kare büyüklüğündeki SA 57 yıldız alanını *RGU* fotometrisiyle $G = 19$ sönük limit parlaklığına kadar incelenmiştir. Galaktik düzleme dik doğrultudaki uzaklıklara karşın oluşturduğu yıldız yoğunluk profilinde (Şekil 2.17) disk bileşenin ikinci bir bileşene daha sahip olduğunu göstererek bu bileşene yaşlı ince disk ismi vermiştir. Yaşlı ince disk bileşeninin küresel kümelerin renk-parlaklık diyagramlarında görülen alt cücelerden oluştuğunu kabul etmiştir. Yoshii (1982) analizlerinde yaşlı ince diskin yükseklik ölçeğini 2 kpc ve Güneş civarındaki rölatif yoğunluğunu %1-2 olarak vermiştir. Disk ile halo arasında yer alan bu bileşen daha sonra Ara Pop II olarak kabul edilmiştir.



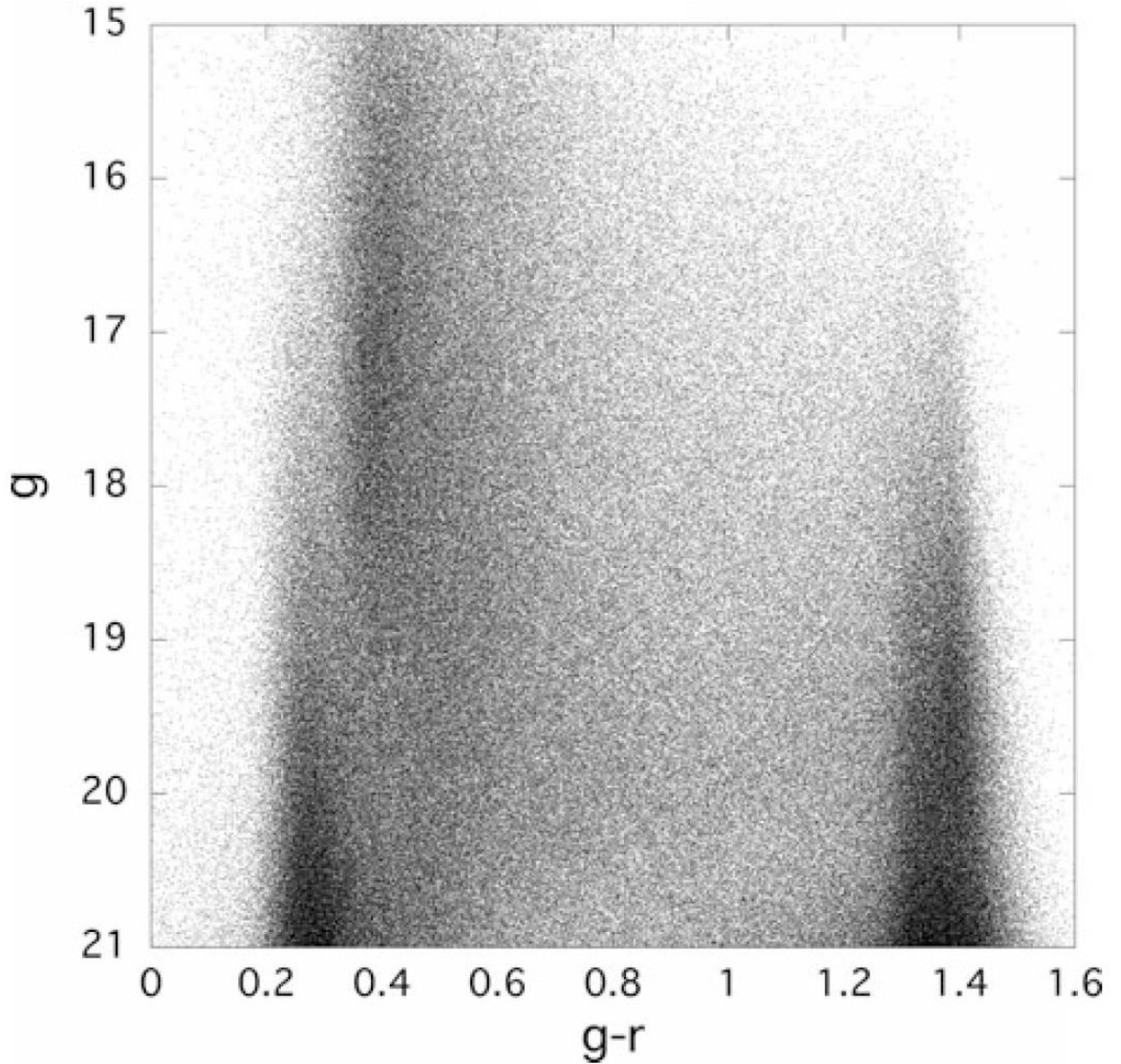
Şekil 2.17: Galaktik düzlemden dik doğrultudaki uzaklığın bir fonksiyonu olarak ince disk, yaşlı disk ve halo bileşenlerinin yıldız yoğunluk profilleri (Yoshii, 1982). Düz ve kesikli çizgiler ikinci disk bileşeni için küresel küme ışıma gücü fonksiyonuna ait modeli temsil ederken, uzun ve kısa kesikli çizgiler de Galaksimizin Güneş komşuluğundaki ışıma gücü fonksiyonu modelini ifade eder.

Gilmore ve Reid (1983), Yoshii (1982)'nin bulgusunu desteklemiş ve güney Galaktik kutup doğrultusunda diske yakın küresel küme gözlemlerini yapmıştır. Gözlemsel yıldız yoğunluk profillerini üç bileşenli galaksi modeline uygulamıştır. Buna göre Galaktik düzlemden dik doğrultuda yükseklik ölçeği 300 pc olan bileşeni yaşlı disk, yükseklik ölçeğinin 1.45 kpc olduğu bileşene de kalın disk adını vererek gözlemsel yoğunlukların galaksi modelleriyle uyduğunu gösterdiler (Şekil 2.18). Benzer terim Burstein (1979) tarafından SO tipi galaksilerde disk için de kullanılmıştır. Kalın disk terimine uygun olarak, yaşlı diske de ince disk adını vermişlerdir. Gilmore ve Reid (1983), kalın disk bileşeninin ince disk bileşeninden ayrık olduğunu ispatlamış ve kalın disk, yeni bir bileşen olarak Samanyolunun temel bileşenlerine dâhil edilmiştir. Kalın diskin sadece yıldız sayımlarından değil kinematiğinin ve metal bolluğunun da farklılık gösterdiğini, bunun için ayrık bir bileşen olduğu 1990'lı yıllarda kesinleşmiştir (Majewski, 1993; Ojha ve diğ., 1996; Freeman ve Bland-Hawthorn, 2002). İnce ve kalın diskteki yükseklik ölçeklerindeki farklılık, kalın diskin ayrık bir bileşen olduğunun ispatı niteliğindedir. İnce disk için yükseklik ölçeği 220-320 pc aralığında değişirken, kalın disk için bu değer aralığı 0.6 - 1.1 kpc arasında verilmiştir (Du ve diğ., 2003; 2006; Juric ve diğ., 2008; Jia ve diğ., 2014).



Şekil 2.18: Galaktik düzlemden dik doğrultudaki uzaklığın bir fonksiyonu olarak yaşlı disk ve kalın disk bileşenlerinin yıldız yoğunluk profilleri (Gilmore ve Reid, 1983). Siyah daire fotometrik paralaks yöntemiyle belirlenen $4 < M_V < 5$ mutlak parlaklık aralığındaki yıldızların gözlemsel uzay yoğunluklarını, düz çizgi ince diski bileşenini ve kesikli çizgi de kalın diski temsil etmektedir.

Sayısal gökyüzü tarama programlarının 2000’li yıllarda devreye girmesiyle Chen ve diğ. (2001), SDSS’in *ugriz* bandlarında duyarlı gözlemleri ($r_{hata} \cong 0.02$ kadir) yapılmış *şerit 82* (stripe 82) olarak isimlendirilen bölgede 10’ar derece karelik altı yıldız alanında $r = 22$ sönük limit parlaklığa kadar yıldızların renk-parlaklık diyagramlarını oluşturmuş ve kalın disk varlığı üzerine tartışmalarda bulunmuştur. Şerit 82’deki yıldızların renk – parlaklık diyagramı Şekil 2.19’da gösterilmiş olup diyagramda ince disk, kalın disk ve halo popülasyonuna ait yıldızlar, sırasıyla, ($\langle g-r \rangle = 0.40$, $15 < g < 18$), ($\langle g-r \rangle = 0.25$, $18 < g < 21$) ve ($\langle g-r \rangle = 1.40$, $17 < g < 21$ kadir) aralıklarından kolaylıkla görülebilmektedir.



Şekil 2.19: Şerit 82 (Stripe 82)’de 60 derece kare büyüklüğündeki bir yıldız alanından oluşturulan $g \times g-r$ renk-parlaklık diyagramı.

Chen ve diğ. (2001); kalın diskin keşfinden 18 yıl sonra, SDSS'in duyarlı fotometrik verilerden, $g \times g-r$ renk-parlaklık diyagramı üzerinde yıldızları popülasyon sınıflarına ayırarak Samanyolunun kalın disk bileşeni için model parametrelerini hesaplamıştır (Tablo 2.1).

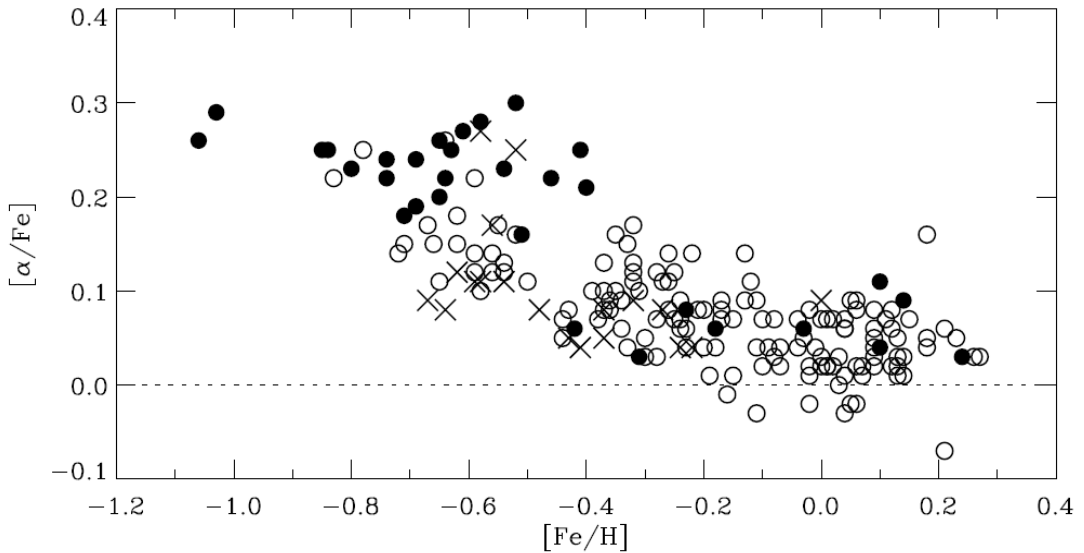
Tablo 2.1: Kalın diskin Galaktik model parametreleri (Yoshii, 2013).

Parametreler	Parametre aralıkları ve küme türü
Yükseklik ölçeği (kpc)	0.70-1.00
Uzunluk ölçeği (kpc)	3.5
Işıma gücü fonksiyonu	Küresel kümeler
Renk-parlaklık diyagramı	Küresel kümeler
Ortalama metal bolluğu (dex)	-0.8
Dikey metal gradyenti (dex/kpc)	-0.1
Diskte yerel normalizasyon değeri	0.1-0.02
Güneşin Galaksi merkezinden olan uzaklığı (kpc)	8
Güneşin disk düzleminde olan uzaklığı (pc)	25 (kuzey)

2.2.2. Kalın Diskin Astrofizik Parametreleri

Kalın disk bileşeni ağırlıklı olarak küresel kümelerden oluşmaktadır (Zinn, 1985). Ayrıca kalın disk bileşeninde K ve M tayf türünden cüce yıldızlar ve RR Lyr değişen yıldızları da bulunmaktadır. Kalın disk popülasyonunun uzay hız bileşenlerine ait dispersiyonlar $(\sigma_U, \sigma_V, \sigma_W) = (35, 49, 44)$ km/sn (Brook ve diğ., 2012) olup ince disk popülasyonuna göre daha büyük uzay hız değerlerine sahiptir (Dehnen ve Binney 1998; Nordström ve diğ., 2004). Kalın disk yıldızlarının Galaksi merkezi etrafındaki yörüngeleri hemen hemen basıktır. Başlangıç kütle fonksiyonu (IMF, Initial Mass Function), yeni doğan bir yıldızın belli bir kütleye sahip olma olasılığıdır. Modellerde kullanılan başlangıç kütle fonksiyonları kalın diskin kütlesini belirler (Robin ve diğ., 2014). Farklı IMF'ler farklı kütle aralıkları verir. Robin ve diğ. (2014) kalın diskteki anakol yıldızlarının kütle değeri $0.5 < M/M_\odot < 0.9$ ve yaş değerini de $9 < \tau < 12$ milyar yıl olarak vermektedir. Yıldızların duyarlı yaş tayinlerinin yapılabilmesi için S/N büyük ve yüksek çözünürlüklü tayfsal gözlemlere ihtiyaç duyulur. Bu gözlemlerin analizlerden yıldızların model atmosfer parametre olan etkin yüzey sıcaklığı, yüzey çekim ivmesi ve metal bolluğu parametreleri tayin edilir. Bu parametrelerin eş-yaş eğrileriyle karşılaştırılmasından da duyarlı yaş tayini yapılır. Bundan dolayı büyük teleskopların odak düzlemlerindeki gelişmiş tayf çekerlerin sönük kalın disk yıldızlarını incelemesi ve tayf analizlerinin duyarlı yapılması kalın disk popülasyonunun yaş tayini için önemlidir.

Kalın disk yıldızları ince disk yıldızlarına göre metalce fakir fakat alfa (α) elementleri bakımından zengindir. Bu durum kalın diskin yaklaşık 1 milyar yıl zaman ölçeğinde, hızlı evrimleştiğine kanıt olarak gösterilmektedir (Gilmore ve diğ., 1995; Ivezić ve diğ., 2008). Kalın diskin kimyasal olarak ayırık bir bileşen olduğunu gösteren diğer çalışmalar α -element bolluğuna dayanır. Alfa element bolluğunun demir element bolluğuna oranı ($[\alpha/\text{Fe}]$) kalın diski ince diskten ayırmak için iyi bir göstergedir (Bensby ve diğ., 2003; 2005; Bensby ve diğ., 2010; Adibekyan ve diğ., 2013; Haywood ve diğ., 2013; Bergemann ve diğ., 2014; Recio-Blanco ve diğ., 2014). Reddy ve diğ. (2003, 2006) Güneş civarındaki F ve G tayf türündeki anakol yıldızlarının kinematik ve tayfsal özelliklerini inceleyerek örneğindeki yıldızların popülasyon ayrımını yapmıştır. Bensby ve diğ. (2005)'nin kinematik sınıflaması dikkate alan Reddy ve diğ. (2006) yıldızların hem ince hem de kalın diske üye olma olasılıklarını $P > \%70$ olarak $[\alpha/\text{Fe}]$ bolluklarıyla demir bollukları $[\text{Fe}/\text{H}]$ arasındaki ilişkiyi incelenmiştir. Şekil 2.20'den de görüleceği gibi kalın disk yıldızlarının alfa element bollukları ince disk yıldızlarına göre daha zengin, buna karşın demir bollukları açısından daha fakirdir. Ayrıca $[\text{Fe}/\text{H}] = -0.30$ dex civarında kalın diskin ince disk bileşeninden ayrıldığı ve bir α -element bolluğu gradyentinin bulunmadığı görülmektedir (Şekil 2.20). Bu ilişki birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir (Bensby ve diğ., 2010; Bovy ve diğ., 2012b).



Şekil 2.20: Güneş civarında kinematik kriterlere göre popülasyon ayrımı yapılmış yıldız örneğinin alfa element bolluklarıyla demir element bollukları arasındaki dağılımı (Reddy ve diğ., 2003; 2006). Çember ve daire sembolleri, sırasıyla, ince disk ve kalın disk yıldızlarını temsil eder.

Kalın diskin metal bolluğu gradyenti, Galaktik düzlemden dik doğrultu (Z) ve Galaksi merkezinden radyal doğrultu (R) için incelenmiştir (Majewski 1993; Chiba ve Beers, 2000; Ak ve diğ., 2007b; Carrel ve diğ., 2012; Cheng ve diğ., 2012; Curir ve diğ., 2014). Kalın diskin Galaksi merkezinden itibaren pozitif bir radyal metal bolluğu gradyentinin bulunduğunu Marsakov ve Borkova, (2005) ve Carrell ve diğ. (2012)'nin kinematik çalışmalarında göstermişlerdir. Schlesinger ve diğ. (2012) yüksek Galaktik enlemlerde SEGUE G ve K tayf türündeki anakol yıldızların gözlemlerinden Galaktik düzlemden 1.5 kpc'de uzaklıkta kalın diskin metal bolluğunu $[Fe/H] = -0.5$ dex olarak hesaplamışlardır. Curir ve diğ. (2014)'nin sayısal benzetilmeler sonucu kalın disk için Galaktik düzlemden dik doğrultuda $2.5 < |Z| < 3$ kpc uzaklık aralığında Güneş silindiri (Galaksi merkezinden radyal doğrultuda $7 < R < 10.5$ kpc arası uzaklık) içinde radyal metal bolluğu gradyentini $d[Fe/H]/dR = 0.0112 \pm 0.0007$ dex/kpc belirlemiştir. Carrell ve diğ. (2012) aynı uzaklık aralığı için, eş-yaş eğrilerinden uzaklık belirleme, kalın disk için radyal metal bolluğu gradyentini $d[Fe/H]/dR = 0.041 \pm 0.016$ dex/kpc hesaplamıştır. Hayden ve diğ. (2013) de radyal metal bolluğu gradyent için düşük bir pozitif değer belirlemiştir ($d[Fe/H]/dR = 0.010 \pm 0.005$). Ak ve diğ. (2007a) kalın diskin Galaktik düzleme dik doğrultudaki ($3 < Z < 5$ kpc) metal bolluğu gradyentini de $d[Fe/H]/dZ = -0.38 \pm 0.06$ dex/kpc hesaplamıştır.

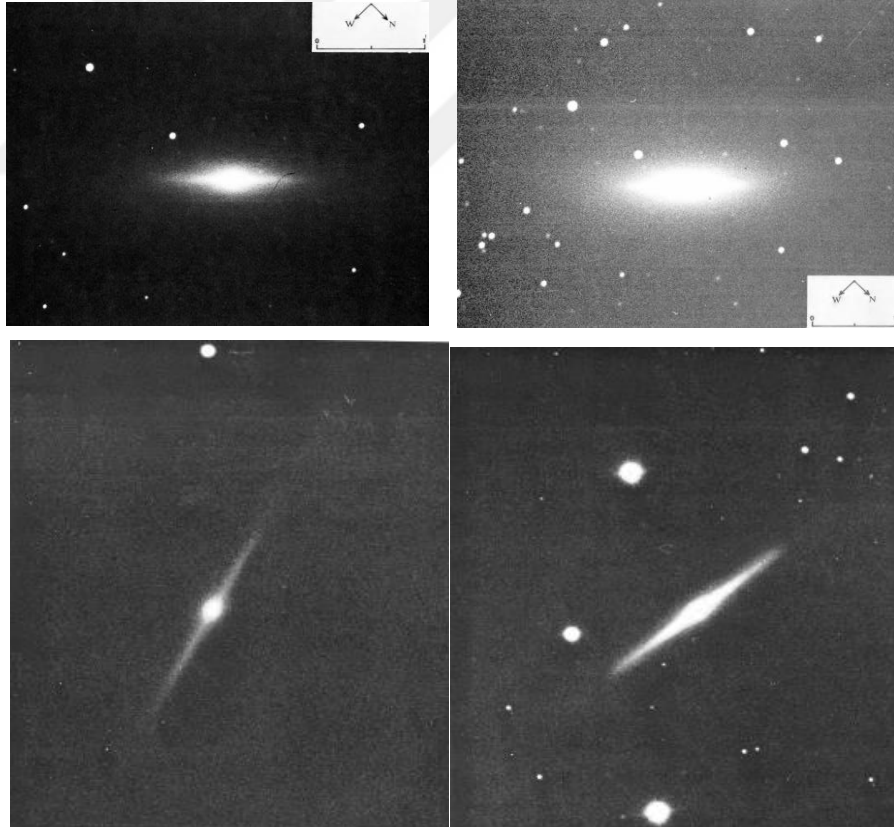
Galaksimizdeki kalın diskin bileşenin literatürde yer almasıyla birlikte bu bileşen fotometrik, tayfsal ve astrometrik yöntemler ile ayrıntılı bir şekilde araştırılmaya devam etmiştir. Kalın disk ile ilgili elde edilen tüm bilgiler aşağıda maddeler halinde verilmiştir (Yoshii, 2013).

- i. Kalın disk (TK), ince disk (TN) bileşeni gibi hem Galaktik düzlemden dik doğrultuda hem de Galaksi merkezinden radyal doğrultularda olmak üzere çift eksponansiyelli yoğunluk kanunuyla ifade edilir (Gilmore ve Reid, 1983; Buser ve diğ., 1998; 1999). Kalın disk için kabul gören yükseklik ölçeği yaklaşık $h_Z = 0.75$ kpc ve uzunluk ölçeği de $h_R = 3.5$ kpc'dir. Ayrıca $h_{Z,TK} / h_{Z,TN} \sim 2$ ve $h_{R,TK} / h_{R,TN} \sim 1.2$ ve toplam kütleleri oranı $M_{TK} / M_{TN} \sim (\rho_0 h_R^2 Z)_{TK} / (\rho_0 h_R^2 Z)_{TN} \sim 0.3$ 'tür.
- ii. Birçok spiral galakside kalın disk bileşeni görülür. Kenardan görülen disk galaksilerinde kısa ve uzun eksenleri boyunca değişen yüzey parlaklığı çift eksponansiyelli yoğunluk kanunuyla ifade edilir. İki bileşenin yükseklik ve uzunluk ölçekleri bulundukları galaksinin kütlesiyle birlikte artar, yükseklik ve uzunluk ölçeklerinin oranları ise hemen hemen sabit kalır. Bu bulgu, Samanyolu için yapılan hesaplar ile uyumludur.

- iii. $1 < Z < 3$ kpc uzaklık aralığındaki kalın disk yıldızlarının W uzay hız bileşeninin dispersiyonu yaklaşık $\sigma_W = 40$ km/sn'dir. Kalın disk için hesaplanan Galaktik düzleme dik doğrultudaki metal bolluğu gradyenti güçlüdür. Kalın disk Galaktik düzleme dik doğrultuda eşışılal olmadığından sech^2 yerine $\exp$ fonksiyon ile ifade edilir.
- iv. Kalın disk üzerine yapılan kinematik çalışmalarda ortalama dönme hızının dik doğrultudaki uzaklığına bağlı bir değişimi ($dV/d|Z|$) söz konusudur. Fakat bu hız gradyenti için literatürde kesin bir değer verilememek ile birlikte genel olarak $dV/d|Z| = -20$ km/sn/kpc'lik değer kabul görür. $1 < Z < 3$ kpc uzaklık aralığındaki kalın disk yıldızlarının ince disk yıldızlarına göre geri kalma hızları yaklaşık $V_{lag} = 40$ km/sn'dir. İki bileşenin açısal momentum oranı $j_{TK}/j_{TN} = (h_R V)_{TK} / (h_R V)_{TN} \sim 1$. Toplam açısal momentum oranı da $J_{TK} / J_{TN} \sim M_{TK} / M_{TN} \sim 0.3$ 'tür.
- v. Kalın diskin hız elipsoidi $\sigma_U/\sigma_V \sim \sigma_U/\sigma_W$ yaklaşık 1.5 ile 2 arasında olup ince disk hız elipsoidine benzer.
- vi. Kalın disk için hesaplanan ortalama metal bolluğu $\langle [\text{Fe}/\text{H}] \rangle \sim 0.8$ dex olup metal bolluğu dağılımı geniştir. Galaktik düzlemde dik doğrultudaki metal bolluğu gradyenti $d[\text{Fe}/\text{H}]/dZ = -0.1$ dex/kpc'den daha küçüktür. Bu değer metal bolluğu aralığı $-0.5 \leq [\text{Fe}/\text{H}] \leq +0.3$ dex olan ince diskin Galaktik düzlemde dik doğrultudaki metal bolluğu gradyenti $d[\text{Fe}/\text{H}]/dZ = -0.5$ dex/kpc'den oldukça farklıdır. Yani kalın diskte metal bolluğu değişim zayıftır.
- vii. Kalın disk için Galaksi merkezinden itibaren hesaplanan ($d[\text{Fe}/\text{H}]/dR$) radyal metal bolluğu gradyenti bulunmaz. Fakat kalın disk metal bolluğu açısından karmaşık bir yapıdadır. Kalın diski nesnelerinin metal bolluğu dağılımı $-2 \leq [\text{Fe}/\text{H}] \leq +0.2$ dex aralığındadır. Bu da kalın diskin metalce zengin ve metalce fakir kuyruklarının bulunduğunu gösterir.
- viii. Kalın disk yıldızları Tip II süpernova patlamalarından meydana gelen yıldızlararası ortamdan oluştuğuna dair ipuçlarını taşır. Çünkü kalın disk nesneleri α -element bolluğu açısından ince disktekilere göre daha zengindir ($[\alpha/\text{Fe}] \sim 0.4$ dex).
- ix. Kalın diskin ortalama yaşı $\langle \tau \rangle = 10$ milyar yıldır; halo küresel kümelerine göre birkaç milyar yıl daha gençken ince disk yıldızlarına göre ise birkaç milyar yıl daha yaşlıdır.

2.2.3. Diğer Galaksilerdeki Kalın Diskler

Galaksimizdeki kalın diskinin keşfinden (Gilmore ve Reid, 1983) dört yıl önce, Burstein (1979) ve Tsikoudi (1979) benzer yapıyı dış galaksilerde belirleyen ilk araştırmacılar olmuştur. Tsikoudi (1979; 1980) yaptığı fotometrik gözlemler sonucu NGC 3115 (Şekil 2.21, üst panel) ve NGC 4762 (Şekil 2.21, alt panel) galaksilerinde kalın disk bileşenini görüntülemiştir. Şekil 2.21 sol panellerinde görüldüğü gibi galaksilerin merkez şişkin bölge dışında ince disk bileşenleri, sağ panellerdeki görüntülerde ise ince diskleri saran kalın disk bileşenleri görülmektedir. Burstein (1979) ve Tsikoudi (1979) gözlemleri sonucu spiral galaksilerin çoğunda kalın disk bileşeninin varlığı kabul edilmiş ve diğer spiral galaksilerde de kalın disk araştırmaları devam edilmiştir (van Der Kruit ve Searle, 1981; van Der Kruit, 1984; Shaw ve Gilmore, 1989; Morrison ve diğ., 1997; Abe ve diğ., 1999; Wu ve diğ., 2002; Pohlen ve diğ., 2004).



Şekil 2.21: İki dış galakside keşfedilen kalın disk bileşenleri NGC 3115 (üst paneller) ve NGC 4762 (alt paneller). Sol paneller ince disk bileşenlerini sağ paneller de kalın disk bileşenlerini göstermektedir (Tsikoudi, 1979; 1980).

Son yıllardaki modern çalışmalarda, kalın diskteki yıldız popülasyonlarını daha iyi ortaya çıkartabilmek için dış galaksilerde de fotometrik taramalar yapılmaktadır (Seth ve diğ., 2005; Tikhonov ve diğ., 2005; Mould 2005). Yüksek kırmızıya kayma gösteren sönük galaksileri inceleyen Elmegreen ve Elmegreen (2006), 112 galaksinin kenardan ve yüzeyden görüntüsünü alarak kalın diskleri incelemişlerdir.

2.2.4. Kalın Diskteki Problemler

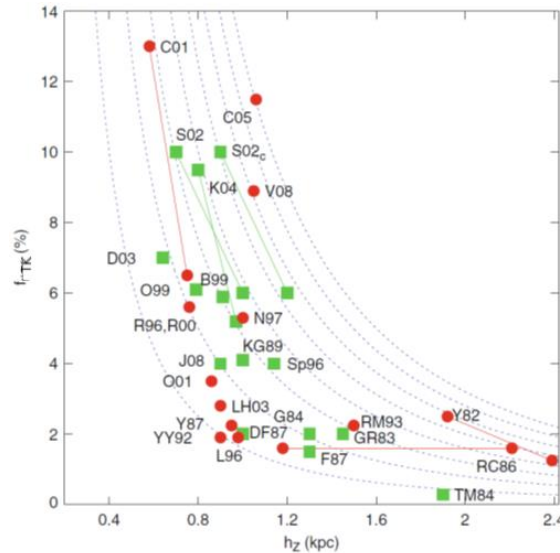
Kalın disk bileşeninin keşfinden sonra en çok tartışılan konulardan biri de bu bileşen için hesaplanan yükseklik ölçeği (h_z) parametresidir. Farklı çalışmalarda kalın diskin yükseklik ölçeği değerlerinde yıllar geçtikçe bir küçülme görülmüştür. Bu değer yaklaşık $h_z = 1.45$ kpc'den (Gilmore ve Reid, 1983) $h_z=650$ pc'e kadar azalmıştır (Chen ve diğ., 2001). Buna rağmen, kalın diskin bölgesel yıldız yoğunluğu da $f_{TK}= \%2$ 'den (Gilmore ve Reid, 1983) $f_{TK}=\%10$ değerine artmıştır (Chen ve diğ., 2001; Siegel ve diğ., 2002). Literatürde Galaksi bileşenlerinin yapısal parametrelerini inceleyen çalışmalar dikkate alındığında kalın diskin yükseklik ölçeği için çok farklı değerler veya geniş bir tanım aralığı verildiği görülmektedir (Gilmore ve Reid, 1983; Buser ve diğ., 1998;1999; Chen ve diğ., 2001; Siegel ve diğ., 2002; Karaali ve diğ., 2004; Cabrera- Lavers ve diğ., 2005; Juric ve diğ., 2008). Kalın disk bileşeni için yapısal parametrelerinin net bir şekilde ortaya konamamasının birçok nedeni bulunmaktadır. Bunlar: Galaksi model parametrelerinin

- galaktik boylama bağıllığı (Bilir ve diğ., 2006a; Cabrera-Lavers ve diğ., 2007; Ak ve diğ., 2007b),
- mutlak parlaklığa bağıllığı (Karaali ve diğ., 2004; Bilir ve diğ., 2006b),
- farklı hacimler içinde farklı uzaklıklarda değişmesidir (Karaali ve diğ., 2007).

Ayrıca, yükseklik ölçeğinde, $0.5 < h_z < 1.2$ kpc aralığında kalın diske %1 ile %15 oranında ince diskin karışmış olma olasılığı göz önüne alınmalıdır (Reyle ve Robin, 2001; Juric ve diğ., 2008; de Jong ve diğ., 2010). Düşük Galaktik enlemlerde yükseklik ölçeğine ince diskin karışma olasılığı daha yüksektir; bundan dolayı kalın disk çalışmaları için yüksek enlemler tercih edilmelidir (Robin ve diğ., 2014). İnce ve kalın disk bileşenlerine ait yapısal parametrelerin hesaplanmasındaki uyum ancak kuzey ve güney Galaktik kutup merkezli yıldız alanlarındaki gözlemlerden elde edilmiştir (Tyson ve Jarvis, 1979; Chiu, 1980; Kron, 1980; Gilmore ve Reid, 1983; Stobie ve Ishida, 1987). Çünkü yüksek Galaktik enlemlerde ince disk yıldızları daha hızlı tükendiği için, bu bölgelerde daha çok kalın disk ve halo bileşenlerinin yıldızları bulunur.

Kalın disk yıldızları Güneş civarındaki yıldızların yaklaşık %6 ile %10'unu oluşturur (Bilir ve diğ., 2008; Juric ve diğ., 2008). Kalın disk bileşeni, ince disk gibi Galaktik düzlemden dik uzaklık ve Galaksi merkezinden radyal uzaklık olmak üzere çift eksponansiyelli bir yoğunluk kanunuyla tanımlanır. Literatürde kalın diskin yükseklik ve uzunluk ölçeği üzerine yapılan araştırmalar incelendiğinde kalın diskin yükseklik ölçeği için $0.7 < h_z < 1.5$ kpc, uzunluk ölçeği için de $2.8 < h_R < 4.5$ kpc bir aralığının verildiği görülmektedir (Robin ve diğ., 1996; Ojha, 2001; Chen ve diğ., 2001; Larsen ve Humphreys, 2003; Juric ve diğ., 2008).

İnce disk ve kalın disk bileşenlerinin uzunluk (h_R) ve yükseklik (h_z) ölçekleriyle Güneş civarındaki kalın disk yıldızlarının oranını (f_{TK}) belirleyen araştırmacıların, çalışmalarında kullandıkları yıldızların ışıma gücü sınıfları, kullanılan fotometrik bantlar ve analiz yöntemleri çalışmanın künyesini içerecek şekilde Tablo 2.2'de ve kalın diskin yıldız sayı yoğunluğuyla yükseklik ölçeği arasındaki dağılım da Şekil 2.22'de gösterilmiştir. Burada, kırmızı daire sembolü model fit analizini (MFA; **Model Fit Analysis**; Beguin ve Glas, 2001), yeşil kare sembolü fotometrik paralaks analizini (PPA; **Photometric Parallax Analysis**; Murray, 1983) temsil etmektedir. PPA ve MFA, modellerde kullanılan yıldızların yoğunluk dağılımıyla ilgili istatistiksel analizlerdir. Araştırmacıların kullandıkları istatistiksel yöntemler ve yazar isimlerinin kısaltılması Tablo 2.2'de belirtilmiştir. Ayrıca ince ve kalın disklerin yükseklik ölçekleri ve uzunluk ölçekleri arasındaki dağılım Şekil 2.23 ve Şekil 2.24'te gösterilmiştir.

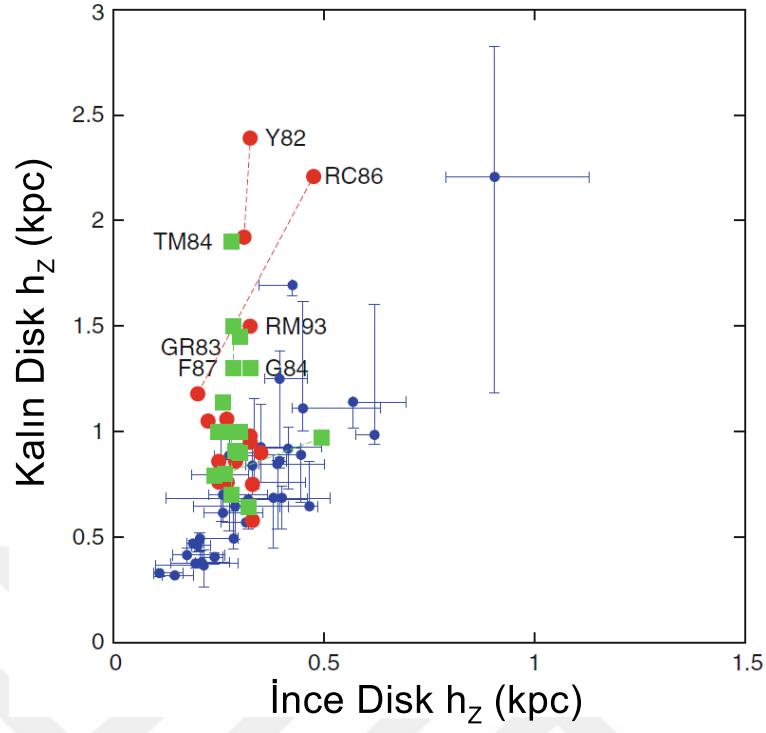


Şekil 2.22: Gözlemsel verilerin modeller ile karşılaştırılmasıyla hesaplanan kalın disk f_{TK} değerleriyle h_z arasındaki dağılımı. Kırmızı daire ve yeşil kareler, sırasıyla, çalışmaların MFA ve PPA analiz yöntemleriyle incelendiğini gösterir. Kısaltmalar, Tablo 2.2'de verildiği gibidir.

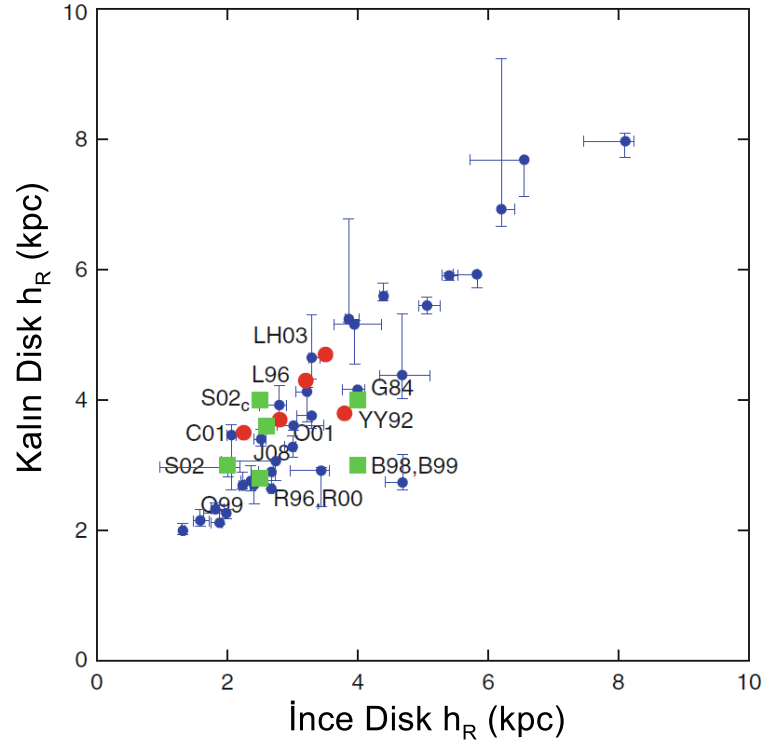
Tablo 2.2: Kalın ve ince disk bileşenlerinin model parametreleri. h_z , yükseklik ölçeği, h_R uzunluk ölçeği, f_{TK} normalize edilmiş kalın disk yıldızlarının sayısını ifade etmektedir¹. MFA; model fit analizini (Beguin ve Glas, 2001), PPA fotometrik paralaks analizini (Murray, 1983) gösterir.

İnce Disk			Kalın Disk		Isıma Gücü Sınıfı	Kullanılan Bandlar	Analiz Yöntemi	Yazar Künyesi ve Kısaltmalar
h_z (pc)	h_R (kpc)	f_{TK}	h_z (kpc)	h_R (kpc)				
310-325	-	0.0125-0.025	1.92-2.35	-	Anakol ve Dev	<i>RGU</i>	MFA	Yoshii (1982) (Y82)
300	-	0.002	1.45	-	Anakol	<i>BVI</i>	PPA	Gilmore ve Reid (1983) (GR83)
325	4.0	0.02	1.3	4.0	Anakol	<i>BVI</i>	PPA	Gilmore (1984) (G84)
280	-	0.0028	1.9	-	Anakol	<i>BV</i>	PPA	Tritton ve Morton (1984) (TM84)
200-475	-	0.016	1.18-2.21	-	Anakol ve Dev	<i>UBV</i>	MFA	Robin ve Creze (1986) (RC86)
300	-	0.02	1.0	-	Anakol	<i>RGU</i>	PPA	del Rio ve Fenkart (1987) (DF87)
285	-	0.015	1.3-1.5	-	Anakol	<i>RGU</i>	PPA	Fenkart ve diğ. (1987) (F87)
325	-	0.0224	0.95	-	Anakol ve Dev	<i>UBV</i>	MFA	Yoshii ve diğ. (1987) (Y87)
249	-	0.041	1.0	-	Anakol	<i>BV</i>	PPA	Kuijken ve Gilmore (1989) (KG89)
350	3.8	0.019	0.90	3.8	Anakol ve Dev	<i>UBV</i>	MFA	Yamagata ve Yoshii (1992) (YY92)
290	-	-	-	-	Anakol ve Dev	<i>uvby</i>	PPA	von Hippel ve Bothun (1993)
325	-	0.0225	-	-	Anakol ve Dev	$B_J R_F$	MFA	Reid ve Majewski (1993) (RM93)
325	3.2	0.019	0.98	4.3	Anakol ve Dev	<i>OE</i>	MFA	Larsen (1996) (L96)
250-270	2.5	0.056	0.76	2.8	Anakol ve Dev	<i>UBV</i>	MFA	Robin ve diğ. (1996; 2000) (R96;R00)
259	-	0.04	1.14	-	Anakol	<i>BVR_C</i>	PPA	Spagna ve diğ. (1996) (Sp96)
250	-	0.053	1.0	-	Anakol ve Dev	<i>BV</i>	MFA	Ng ve diğ. (1997) (N97)
290	4.0	0.059	0.91	3.0	Anakol	<i>RGU</i>	PPA	Buser ve diğ. (1998; 1999) (B99)
240	2.5	0.061	0.79	2.8	Anakol	<i>UBV</i>	PPA	Ojha ve diğ. (1999) (O99)
330	2.25	0.065-0.13	0.58-0.75	3.5	Anakol ve Dev	$u'g'r'i'z'$	MFA	Chen ve diğ. (2001) (C01)
250	2.8	0.035	0.86	3.7	Anakol ve Dev	<i>JHK</i>	MFA	Ojha (2001)
280	2-2.25	0.06-0.10	0.7-1.0	3.4	Anakol	<i>UBVRI</i>	PPA	Siegel ve diğ. (2002)
(350)	-	0.07	(0.9-1.2)	-	Anakol ve Dev		PPA	Du ve diğ. (2003)
320	-	0.006	0.64	-	Anakol ve Dev	<i>OE</i>	MFA	Larsen ve Humphreys (2003)
-	3.5	0.006	0.9	4.7	Anakol ve Dev	$u'_{RGOG}r'i'z'$	PPA	Karaali ve diğ. (2004)
265-495	-	0.052-0.095	0.80-0.97	-	Anakol		PPA	Cabrera- Lavers ve diğ. (2005)
269	-	0.115	1.06	3.04	Dev	<i>JK</i>	PPA	Juric ve diğ. (2008)
300	2.6	0.04	0.9	3.6	Anakol	<i>ugriz</i>	PPA	Veltz ve diğ. (2008)
225	-	0.087	1.05	-	Anakol ve Dev	<i>JK</i>	MFA	Cheng ve diğ. (2012)
260	3.0	0.0051	0.90	3.6	Anakol	<i>ugriz</i>	MFA	Moni Bidin ve diğ. (2012)
-	-	-	0.9	3.8	Anakol		PPA	Mackereth ve diğ. (2017)
0.20-0.60	-	-	1.9	-	-	-	MFA	

¹ Oswalt T.D., Gilmore G., 2013, *Planets, Stars and Stellar System*, Springer Dordrecht Heidelberg New York London, Set ISBN 978-90-481-8818-5 (eBook).



Şekil 2.23: İnce ve kalın disk yükseklik ölççeklerinin (h_z) karşılaştırılması. Semboller Şekil 2.22'deki gibidir.



Şekil 2.24: İnce ve kalın disk uzunluk ölççeklerinin (h_R) karşılaştırılması. Semboller Şekil 2.22'deki gibidir.

Galaksi diskinin, ince ve kalın diskten oluştuğunu literatüre kazandıran Yoshii (1982) ve Gilmore ve Reid (1983) çalışmalarından günümüze kadar yapılan birçok araştırmada hesaplanan uzunluk ve yükseklik ölçeği parametrelerinin halen değişkenliğini koruduğu görülmektedir. Tablo 2.2'den de görüleceği gibi ince disk bileşeninin yükseklik ölçeği $220 < h_z < 495$ pc arasındayken, kalın diskin yükseklik ölçeği de $0.64 < h_z < 2.35$ kpc aralığındadır. Araştırmacılar ince ve kalın diskler için ortalama yükseklik ölçeklerinin, sırasıyla, yaklaşık $h_z = 0.3$ kpc ve $h_z = 1$ kpc olarak vermektedir. İki bileşenin yükseklik ölçeklerinin birbirinden farklı olması ince disk yıldızlarının Galaktik düzleme yakın, kalın disk yıldızlarının ise bu düzlemden daha uzakta bulunmasını gerektirir. Galaksi merkezinden radyal uzunluk ölçeğinde yaklaşık 4 kpc uzaklığa kadar ince disk yıldızları görmek mümkündür. Tablo 2.2'ye bağlı kalarak oluşturulan Şekil (2.22) - (2.24)'den bu durum daha kolay görülebilmektedir.

İnce ve kalın disk yükseklik ölçeklerinin karşılaştırılmasının yapıldığı Şekil 2.23'de ince disk yıldızlarının kalın disk yıldızlarına göre yaklaşık üç ile altı katlık fark söz konusudur ve iki parametre arasında bir uyum bulunmadığı görülmektedir. Benzer olarak ince ve kalın disk uzunluk ölçeklerinin karşılaştırılmasının yapıldığı Şekil 2.24'de de ince disk yıldızlarının uzunluk ölçeklerinin kalın diskin uzunluk ölçekleriyle bire-bir uyumlu olduklarından bahsedilebilir.

2.2.5. Kalın Diskin Oluşumu ve Evrimi

Kalın diskin oluşumuna yönelik senaryolar Galaksi astrofiziğinde önemli bir tartışma konusudur. Kalın diskin keşfinden (Yoshii 1982; Gilmore ve Reid 1983) günümüze kadar yapılan birçok çalışmada kalın disk bileşeninin varlığı ortaya konmuş olsa bile oluşumuna dair belirsizlikler halen sürmektedir. Gözlemsel ve teorik çalışmalar kalın diskin oluşumuna yönelik modellerin sınanmasına fırsat vermekle birlikte, Samanyolunun oluşum ve evriminin de anlaşılmasına katkı sağlar. Literatürde kalın diskin oluşumunu içeren birçok senaryo bulunmakla birlikte Sales ve diğ. (2009) bu konudaki çalışmaları derlemiş ve aşağıda verildiği gibi sıralamıştır.

- a) **Yığılma Senaryoları:** Abadi ve diğ. (2003), soğuk karanlık madde yaklaşımı çerçevesinde parçalanmış uydu galaksilerden yığılan yıldızların zamanla Galaksi merkezi etrafında Galaksimizdeki yıldızlar ile benzer yörüngelere yerleşerek yaşlı kalın

disk yıldızlarını oluşturduğunu ve bu bileşenin kütesinin de genç ince diskin üçte biri kadar olduğunu iddia etmektedir.

- b) Isınma Senaryoları:** Kalın diskin büyük bir uydu galaksiyle birleşmesi sonucunda oluştuğuna yönelik ilk modellemeyi yapan Quinn ve diğ. (1993), Samanyolu kütesinin beşte biri büyüklüğündeki orta ölçekli bir uydu galaksisinin Galaksimiz ile birleşmesi sonucunda bugün gözlenen özelliklerdeki kalın diskin oluştuğunu önermiştir. Villalobos ve Helmi (2008) ve Kazantzidis ve diğ. (2008), Galaksimize çarpan her beş galaksiden biriyle ya da farklı doğrultularda etkileşen uydu galaksilerin, bugün gözlemlenen kalın diski oluşturabileceğini ortaya koymuşlardır. Tüm bu modellerde kalın diski oluşturan yıldızların büyük bir kısmının etkileşen galaksiden değil de, Galaksimizin ince diskindeki yıldızların etkileşme sonucunda yörüngelerinin ısınması sonucu Galaktik düzleme dik doğrultudaki yüksekliklere çıkarak yeni yörüngelerine yerleştiklerini iddia etmektedir.
- c) Radyal Göç Senaryoları:** Sellwood ve Binney (2002), kalın diskin Galaksimizdeki ince disk yıldızlarının çeşitli iç çekimsel tedirginlikleri sonucu radyal göç mekanizmasıyla oluştuğunu iddia eder. Bu modele göre ince diskte bulunan yıldızlar spiral kollar ile aynı yönde dönen yörüngelere hapsolurlar. Ayrıca, spiral dalgalar boyunca açısal momentumlarını hemen hemen koruyarak iç ve dış yörüngelere doğru hareket ederler. Kregel ve diğ. (2005), disk yıldızlarının Galaktik düzleme dik doğrultudaki σ_W uzay hız bileşeninin Galaksi diskinin yüzey parlaklığıyla ilişkili olduğunu öne sürerek, yıldızların iç yörüngelerinden dış yörüngelerine radyal göç ile hareket etmelerinin disk bileşeninin daha kalın görülmesine neden olacağını savunur. Minchev ve diğ. (2015), kalın diskin oluşumunda Galaktik çubuğun ve spiral kolların neden olduğu yörüngesel bozulma etkilerinin olduğunu bunun da yıldızları radyal göçe zorladığını söyler. Bu model kalın diskin bir kısmının oluşumunu açıklamaktadır.
- d) Gazca Zengin Birleşme Senaryoları:** Bir galaksinin geçmişinde gazca zengin birleşmelerin aktif olduğu süreçte kalın, görünen ve dönen bir bileşenin oluşabileceğini iddia eden bir senaryo Brook ve diğ. (2004; 2005) tarafından önerilmiştir. Bu senaryoya göre kalın disk Galaksi oluşumu esnasında metalce zengin çalkantılı gaz akıntılarının birleşmeleri sonucunda oluşmuştur. Isınma modeliyle aralarındaki en önemli fark kalın disk yıldızlarının Galaksimizin cüce galaksiler ile birleşme çağından daha önce meydana gelmesidir.

Sales ve diğ. (2009), yukarıda maddeler halinde açıklanan senaryoları ve bunlara ait parametreleri kullanarak kalın diskin oluşum modelleri arasında en gerçekçi olanını belirlemeye çalışmıştır. Bunun için her bir modelde kalın disk yıldızlarının yörünge basırlık dağılımlarını oluşturarak modellerdeki ortalama yörünge basırlıklarını belirlemiştir. Bu analizlere göre ısınma, radyal göç ve gazca zengin birleşme senaryolarının küçük basık yörüngelerde yoğunlaştığını, buna karşın yığılma senaryosunda ise büyük basık yörüngelerde ve geniş bir aralıkta bulunduğunu tespit edilmiştir. Wilson ve diğ. (2010), RAVE DR2 (Zwitter ve diğ., 2008) verilerinden seçilen kalın disk yıldızlarının yörünge basırlıklarını hesaplayarak, Sales ve diğ. (2009)'nin sayısal benzetimleriyle üretilen dört farklı kalın disk oluşum modeline ait yörünge basırlık dağılımlarını kendi sonuçlarıyla karşılaştırmıştır. RAVE DR2 (Zwitter ve diğ., 2008) verilerinden elde edilen gözlemsel sonuçlara göre yörünge basırlıklarının hızla artarak küçük basırlık değerlerinde yoğunlaşıp bir tepe oluşturduğu ($0.2 < e < 0.4$) ve bu aşamadan sonra düzgün bir azalma gösterdiğini tespit etmişlerdir. Bu dağılımın yapısına göre kalın disk yıldızlarının büyük bir kısmı Galaksi oluşurken gazca çalkantılı evrede meydana gelmiş olmalıdır.

2.2.6. Kalın Diskin Geleceği

Robin ve diğ. (2014) kalın diskin oluşum senaryolarını kapsamlı bir biçimde derlemiştir. Fakat bu senaryoların bazıları modeller ile sınırlı kalmış gözlemler ile de desteklenemediği için mümkün olmasına ihtimal verilmemiştir. Buna karşın kısıtlı gözlemsel verilerin basit modeller ile karşılaştırılması ve sayısal benzetimlerin devreye girmesiyle kalın diskin hızlı bir şekilde metalce zenginleşmesi açıklanabilmiştir (Majewski, 1993). Tayfsal (SEGUE ve RAVE) ve fotometrik (SDSS) gökyüzü tarama programındaki (Carolla ve diğ., 2010; Dierickx ve diğ., 2010; Casetti-Dinescu ve diğ., 2011; Rutchi ve diğ., 2011; Wilson ve diğ., 2011) verilerin analizleri sonucu kalın disk yıldızlarının Galaksi merkezi etrafındaki yörünge parametrelerinin hesaplanabilmesi ve bu parametreler içinde yörünge basırlığının türetilmesi kalın diskin oluşum senaryolarının değerlendirilmesi için oldukça kullanışlı bir araç olmuştur (Sales ve diğ., 2009). Bu verilerin artmasıyla birlikte sayısal benzetimlerin galaksilerin oluşumu ve evrimiyle ilgili senaryoların oluşturulmasında büyük katkısı olacaktır. Bu aşamada yıldızların IMF'lerin iyi bir şekilde ortaya konması gerekmektedir. Çünkü bu süreç zarfında kimyasal elementlerin, yıldız çekirdeklerinde füzyon yoluyla üretilmesi galaksilerin ve bileşenlerinin kimyasal bakımdan zamanın bir fonksiyonu olarak zenginleşmesi açısından son derece

¹ <https://ned.ipac.caltech.edu/level5/Gray/Gray17.html>

Renk-parlaklık diyagramında (CMD; Colour-Magnitude Diagram, Perryman, 1995) yıldızlar, tayfsal olarak etkin sıcaklıklarına ve ışıma güçlerine göre sınıflanır (Şekil 2.26). Samanyolunda bu türden yıldızların sayısı fazladır; bu durum gözlemler için iyi birer kaynak nesne olmalarını sağlar. Bu yıldızların içyapısında radyatif bir çekirdek vardır. Bu çekirdek geniş bir radyatif bölgeyle kaplıdır ve bu zarfın üstünde de ince bir konvektif tabaka yer alır (Şekil 2.27). Anakol yıldızlarının çekirdeklerinde hidrojen elementi helyuma füzyon yoluyla dönüşür. Fakat bu reaksiyonlar anakol yıldızlarının kütlelerine bağlı olarak farklı oranlarda gerçekleşir. Kütleleri $M = 1.5 M_{\odot}$ 'den küçük yıldızların çekirdeklerinde proton-proton (p-p) reaksiyonları baskınken, $M = 1.5 M_{\odot}$ 'den büyük yıldızlarında karbon-oksijen-azot (CNO) reaksiyonları etkindir.

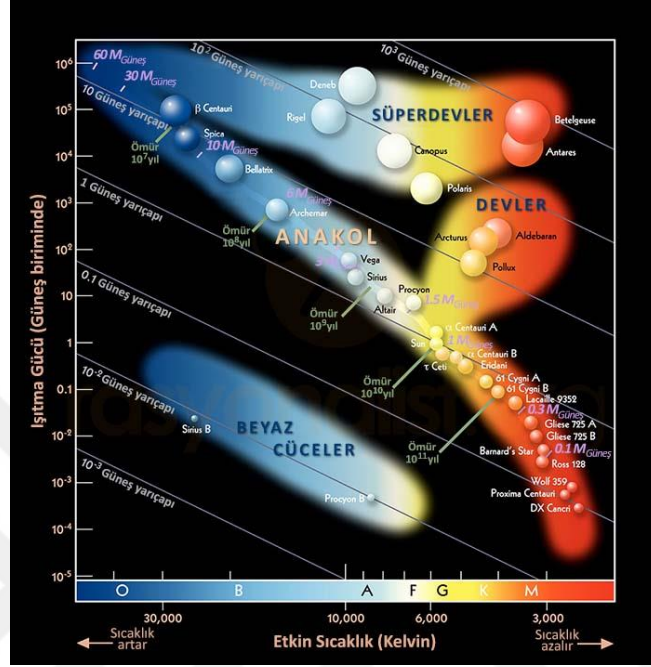
Tablo 2.3: F ve G tayf türündeki anakol yıldızlarının temel astrofizik parametreleri. Yıldızların tayf türü, kütleleri ($M/M_{\odot}$), etkin sıcaklıkları, yarıçapları ($R/R_{\odot}$), ışıma güçleri ($\log L/L_{\odot}$), renk indeksleri ($B-V$) ve V bandındaki mutlak parlaklıkları (M_V) ve bolometrik düzeltme katsayıları (BC). Veriler, Eker ve diğ. (2018)'nin güncel çalışmasından alınmıştır.

Tayf türü	$M/M_{\odot}$	T_{eff} (K)	$R/R_{\odot}$	$\log(L/L_{\odot})$	$B-V$ (kadir)	M_V (kadir)	BC (kadir)
F0	1.643	7,161	1.928	8.78	0.31	2.37	0.01
F1	1.588	6,966	1.893	7.58	0.34	2.53	0.01
F2	1.540	6,792	1.863	6.63	0.37	2.69	0.00
F3	1.498	6,637	1.838	5.89	0.40	2.82	0.00
F5	1.354	6,397	1.588	3.79	0.45	3.30	-0.01
F6	1.305	6,310	1.508	3.24	0.48	3.49	-0.02
F7	1.259	6,223	1.434	2.77	0.50	3.65	-0.02
F8	1.222	6,152	1.377	2.44	0.53	3.80	-0.03
G0	1.161	6,026	1.283	1.95	0.59	4.06	-0.04
G1	1.128	5,957	1.236	1.73	0.61	4.19	-0.04
G2	1.098	5,888	1.191	1.53	0.63	4.33	-0.05
G3	1.080	5,848	1.165	1.43	0.65	4.42	-0.06
G5	1.031	5,741	1.097	1.17	0.68	4.64	-0.07
G6	1.019	5,689	1.081	1.10	0.70	4.72	-0.08
G7	1.011	5,649	1.069	1.04	0.72	4.78	-0.09
G8	0.990	5,559	1.041	0.93	0.74	4.92	-0.10

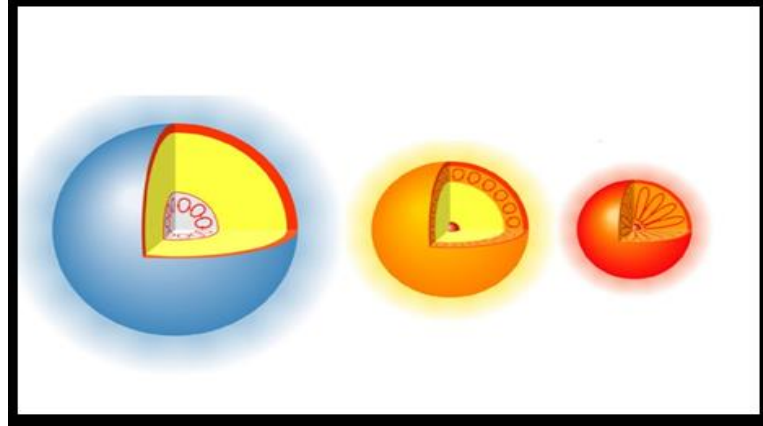
2.3.2. Evrimsel Önemi

F ve G tayf türü anakol yıldızlarının içyapısı incelendiğinde, yıldızların atmosferindeki element bolluğunun doğumundan beri değişmemiş olduğu görülür. Bir yıldızın tayfındaki çizgiler yıldız atmosferindeki elementlerin bolluklarını ifade eder. Bu element bolluk değerleri de Galaksimizin oluşum ve evrimini anlamak için gerekli ipuçlarını barındırır. F ve G tayf türündeki anakol yıldızları orta kütleli olduklarından anakolda kalma süreleri uzundur. Ayrıca, yıldız anakol aşamasında çekirdeğindeki hidrojeni henüz tüketmediğinden yıldızın dış zarfında bulunan konveksiyon bölgesi derin katmalara ulaşmaz. Böylece yıldız çekirdeğinde üretilen ağır elementleri atmosferine taşıyamaz ve yıldızın doğum aşamasındaki kimyasal kompozisyonu değişmez. F ve G tayf türündeki yıldızların uzun ömürlü olması ($\tau < 10$ milyar

yıl) ve geniş bir metal bolluğu aralığında yer alması ($-3 < [\text{Fe}/\text{H}] < 0.5$ dex), yani birçok Galaktik popülasyondaki yıldızı içermesi, Galaksimizin kimyasal evrimin araştırılmasında bu yıldızları ön planda tutar.



Şekil 2.26: Güneş civarındaki yıldızların HR diyagramındaki konumları¹. Yıldızlar tayf türü, etkin sıcaklık, ışıma gücü, yarıçap ve anakol yaşlarına göre sınıflandırılmıştır.



Şekil 2.27: Erken, orta ve geç tayf türündeki anakol yıldızların içyapıları².

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte F ve G tayf türündeki yıldızların tayfsal gözlemleri büyük teleskopların odak düzlemlerindeki gelişmiş tayf çekerler kullanılmaya başlanmış, böylece büyük S/N ve çözünürlüğü yüksek yıldız tayflarının alınmasına olanak vermiştir. Teknolojideki

¹ <http://rasyonalist.org/yazi/yildiz-astrofizigi-hertzsprung-russell-diyagrami/>

² <http://abyss.uoregon.edu/~js/ast122/lectures/lec14.html>

bu gelişmelerden önce araştırmacılar gözlemlerinde orta ve dar band filtreler kullanarak bu yıldızların fotometrik indekslerini hesaplamışlar ve buradan yıldızların astrofizik parametrelerini belirlemişlerdir. Strömgren fotometrik sistemiyle yıldızların metal bolluklarını, etkin sıcaklıklarını ve uzaklıklarını fotometrik yollar ile tayin edecek bağıntılar oluşturmuşlardır (Strömgren, 1963; 1987; Olsen, 1980; 1983; 1984; 1988). Samanyolunun oluşum ve evriminin ilk verileri, Güneş civarı F ve G tayf türündeki ince disk yıldızlarının yüksek çözünürlüklü tayf gözlemlerinin analizleri sonucu elde edilmiştir (Edvardsson ve diğ., 1993). Edvardsson ve diğ. (1993)'nin 189 yıldızın tayfını inceleyerek, Güneş civarı için kinematik kriterlerden itibaren yansız bir örnek oluşturmuş ve örnekteki yıldızların ince ve kalın disk popülasyon ayırımını yapmıştır. Bu araştırmacılar yıldızların tayfsal metal bolluğu analizlerini yaparak, Güneş civarı için Galaksi diskinin oluşum senaryolarını tartışmıştır. Edvardsson ve diğ. (1993) çalışmasını takiben 2000'li yılların başında Olsen kataloğunda (Olsen, 1983) bulunan yıldızlar *Hipparcos* kataloğundaki (van Leeuwen, 2007) veriler ile eşleştirilerek incelenen yıldızların daha duyarlı uzaklık, metal bolluğu, yaş ve sıcaklık parametreleri tayini yapılmıştır. Ayrıca Olsen kataloğundaki (1983) yıldızların CORAVEL¹ (The **COR**relation-**R**Adial-**VE**Locities; radyal hız korelasyonu) tayf gözlemleri sayesinde radyal hızları ölçülmüştür. Ölçülen radyal hızlar ve *Hipparcos* kataloğundaki astrometrik verilerin birlikte değerlendirilmesi sonucunda, Güneş civarındaki yıldızların uzay hızları ve Galaksi merkezi etrafındaki yörüngeleri tayin edilmiştir. Böylelikle Güneş civarındaki yıldızlar için Galaksimizin oluşum modelleri ilk kez sınanabilmiştir (Feltzing ve Holmberg, 2001; Nordström ve diğ., 2004; Holmberg ve diğ., 2007; 2009). Bu çalışmalar diskin çökerek oluştuğuna dair ilk ipuçlarını vermiştir. Edvardsson ve diğ. (1993)'nin çalışmasıyla başlayan modern tayfsal analizler, ilerleyen yıllarda artarak devam etmiştir (Fuhrmann, 1998; Reddy ve diğ., 2003; Bensby ve diğ., 2003; 2005). Bu çalışmalarda örnek uzay hacimleri artmış, yıldızların kinematik verileri literatürdeki hassas astrometrik veriler ile beraber incelenmiştir. Güneş civarında farklı türden yıldızların popülasyon türleri ortaya çıkartılmıştır. Böylece kinematik karakterleri belirlenen yıldızların belli bir popülasyona ait olma olasılıklarını belirleyen bağıntılar literatüre kazandırılmıştır (Bensby ve diğ., 2003; 2005).

¹ <http://eso.org/public/teles-instr/technology/spectroscopy/>

Galaksimizdeki metal bolluğu gradyentlerinin araştırılmasında kullanılan HII bölgeleri, O-B tayf türünden yıldızlar, sefeidler, açık kümeler, gezegenimsi bulutsular gibi çok sayıda nesne dışında F ve G tayf türü anakol yıldızlarının kullanımı, 2000’li yıllardan itibaren gelişen CCD (CCD; Charge Coupled Device) gözlemleri ve geniş bant gökyüzü tarama programlarıyla artmıştır. Bu programları takip eden tayfsal taramaların etkin bir şekilde devreye girmesi ve elde edilen sonuçların astronomların kullanımına açılması hem fotometrik hem tayfsal yöntemler ile hesaplanan metal bolluklarının geniş bir nesne grubuyla yapılmasına olanak sağlamıştır. F ve G tayf türü yıldızlarının fotometrik veya tayfsal gözlemleri dikkate alınarak yapılan metal bolluğu gradyent çalışmalarına örnek olarak Karaali ve diğ. (2003a; 2005), Ak ve diğ. (2007a, b), Yaz ve Karaali (2010), Coşkunoğlu ve diğ. (2012) ve Plevne ve diğ. (2015) verilebilir.

2.4. METAL BOLLUĞU VE MUTLAK PARLAKLIK KALİBRASYONLARI

2.4.1. Kalibrasyon Tanımı

Kalibrasyon, ölçülen iki değer arasındaki ilişkiyi matematiksel bir şekilde ifade eden bağıntıdır. Astronomi ve astrofizikte teleskop ve odak düzlemi aletleriyle gerçekleştirilen hassas gözlemler ile az sayıdaki nesnenin duyarlı gözlemleri yapılarak, incelenen nesnelerin temel parametreleri elde edilir ve bu parametreler arasında kurulan bağıntılar ile kalibrasyonlar oluşturulur. Daha kolay ve duyarlı gözlem verilerinin üretilen kalibrasyonlara uygulanması sonucu çok sayıda nesneden belirlenecek temel parametrelerin Evren anlayışımızda büyük önemi vardır.

Yıldızdan gelen fotonların toplanmasıyla belirlenen yıldızın görünen parlaklığı, dalgaboyuna bağlıdır. Farklı dalgaboylarında tanımlanan parlaklıklar ile yıldızların renkleri belirlenir. Yıldızların çok renk verilerinden oluşturulan iki-renk ve renk-parlaklık diyagramlarından da yıldızların tayf türleri, renk indeksleri, mutlak parlaklıkları ve metal bollukları gibi temel astrofizik parametreleri elde edilebilir. Ayrıca yıldızların S/N ve tayfsal çözünürlüğünün yüksek tayflarının analiziyle yıldızın tayf türü, radyal hız, etkin sıcaklık (T_{eff}), yüzey çekim ivmesi ($\log g$), metal bolluğu ($[Fe/H]$) ve mikrotürbülans hızı gibi temel parametreler de tayin edilir. Bu yöntemlerin eş zamanlı kullanılması fotometrik dönüşüm bağıntılarının, yıldızların sıcaklık tayininin, metal bolluğu ve uzaklık kalibrasyonlarının oluşturulmasında kullanılabilir. Bu kalibrasyonların duyarlı fotometrik gözlemleri olan gökyüzü tarama programlarına uyarlanarak Samanyolunun yapısı, oluşumu ve evrimi hakkında daha çok bilgi sahibi olunur.

2.4.2. Metal Bolluğu Kalibrasyonu

Anakol yıldızlarının kütleleri, ömürlerini belirlediği gibi yaşamlarının sonunda, yeni yıldızların hammaddesini oluşturacak yıldızlararası ortamın içereceği metalleri de belirler. Küçük kütleli yıldızların ömürleri çok uzundur; yaşamları boyunca yıldızlararası ortama fazla katkı sağlamazlar. Ömürlerinin sonunda, orta kütleli yıldızlar gibi, gezegenimsi bulutsuya dönüşerek, dış zarflarındaki He, C ve N gibi elementleri yıldızlararası ortama fırlatırlar ve metalce katkıyı az da olsa bu şekilde sağlamış olurlar. Büyük kütleli yıldızlar ($M > 8 M_{\odot}$) yaşamlarını Tip II süpernovasıyla (Tip II SN) sonlandırırlar. Tip II süpernovası yıldızlararası ortamı birçok metal bakımından zenginleştirir. Bunlardan en önemlileri α -elementleri olarak bilinen O, Ne, Mg, Si ve S elementleridir. Söz konusu α -elementleri ve diğer elementler Şekil 2.28'deki periyodik tabloda gösterilmiştir. Ayrıca bu tabloda Galaksimizdeki metallerin sentezlenme süreçleri de periyodik tablodaki elementlerin altında verilen semboller ile belirtilmiştir. Buna göre (B) büyük patlamada, (C) kozmik ışınlar ile, (L) büyük kütleli yıldızlarda, (S) küçük kütleli yıldızlarda, (\$) süpernova patlamasıyla ve (M) bilim insanlarının laboratuvar ortamında ürettikleri elementleri gösterir.

Yıldızlararası ortamı metalce zenginleştiren başka bir süpernova türü de Tip Ia süpernovasıdır (Tip Ia SN). Tip Ia SN, biri beyaz cüce diğeri orta kütleli kırmızı dev yıldız olan bir çift yıldız sisteminin yaşamlarının sonunda oluşur. Genişlemekte olan kırmızı dev yıldızın dış katmanlarındaki gaz, beyaz cücenin üzerine akarak kütlesini artırır ve Chandrasekar limitini aşan beyaz cüce çökerek büyük bir patlama meydana getirir. Bu Tip Ia SN sonucu üretilen en önemli metal Fe elementidir. Bunun yanı sıra az miktarda S, Si ve Ca elementleri de üretilir. Galaksimizde bolluk analizi yapılan Fe elementinin %70'i bu yolla üretilmektedir. Bunun için metal bolluğu kalibrasyonu ifade edilirken Fe elementi bolluğu daha çok kullanılır ve genelde metal bolluğu $[Fe/H]$ ile gösterilir. Metal bolluğu genellikle, demirin hidrojenin bolluğuna ve Güneş'e göre normalize edilerek logaritmik ölçekte ifade edilir (bağıntı 2.3).

$$[Fe/H] = \log [Fe/H]_* - \log [Fe/H]_{\odot} \quad (2.3)$$

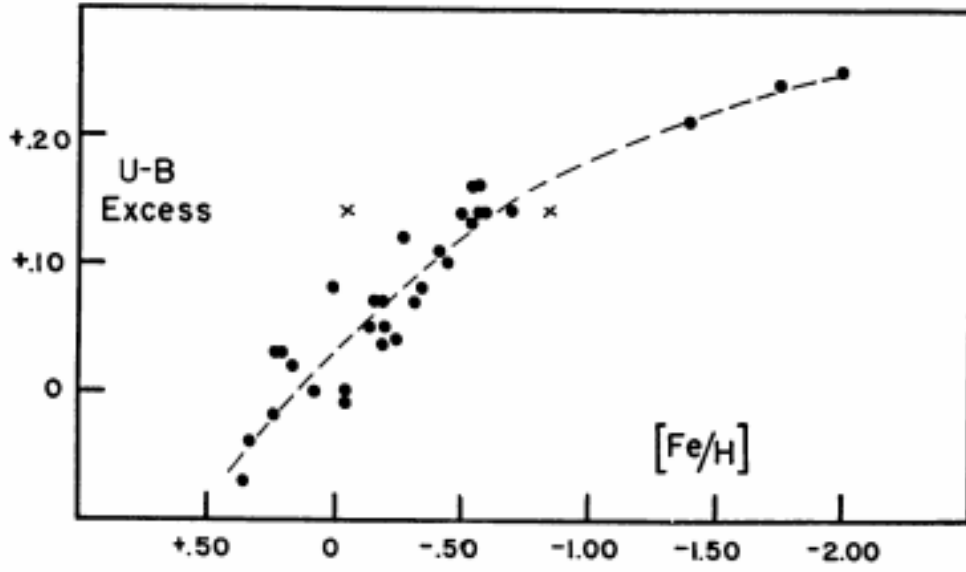
Burada $\log[Fe/H]_*$ ve $\log[Fe/H]_{\odot}$, sırasıyla, yıldızın ve Güneş atmosferindeki demir elementlerinin hidrojen elementlerine olan logaritmik oranını gösterir.

B Big Bang L Large stars \$ Super-novae C Cosmic rays S Small stars M Man-made																								B He B B
Li C	Be C															B C	C S L	N S L	O S L	F L	Ne S L			
Na L	Mg L															Al \$ L	Si \$ L	P L	S S L	Cl L	Ar L			
K L	Ca L	Sc L	Ti \$ L	V \$ L	Cr L	Mn L	Fe \$ L	Co \$	Ni \$	Cu L	Zn L	Ga \$	Ge \$	As L	Se \$	Br \$	Kr \$							
Rb \$	Sr L	Y L	Zr L	Nb L	Mo \$ L	Tc L	Ru \$ L	Rh \$	Pd \$ L	Ag \$ L	Cd \$ L	In \$ L	Sn \$ L	Sb \$	Te \$	I \$	Xe \$							
Cs \$	Ba L			Hf \$ L	Ta \$ L	W \$ L	Re \$	Os \$	Ir \$	Pt \$	Au \$	Hg \$ L	Tl \$ L	Pb \$	Bi \$	Po \$	At \$	Rn \$						
Fr \$	Ra \$																							
		La L Ce L Pr \$ L Nd \$ L Pm \$ L Sm \$ L Eu \$ Gd \$ Tb \$ Dy \$ Ho \$ Er \$ Tm \$ Yb \$ L Lu \$																						
		Ac \$ Th \$ Pa \$ U \$ Np \$ Pu \$ Am M Cm M Bk M Cf M Es M Fm M Md M No M Lr M																						

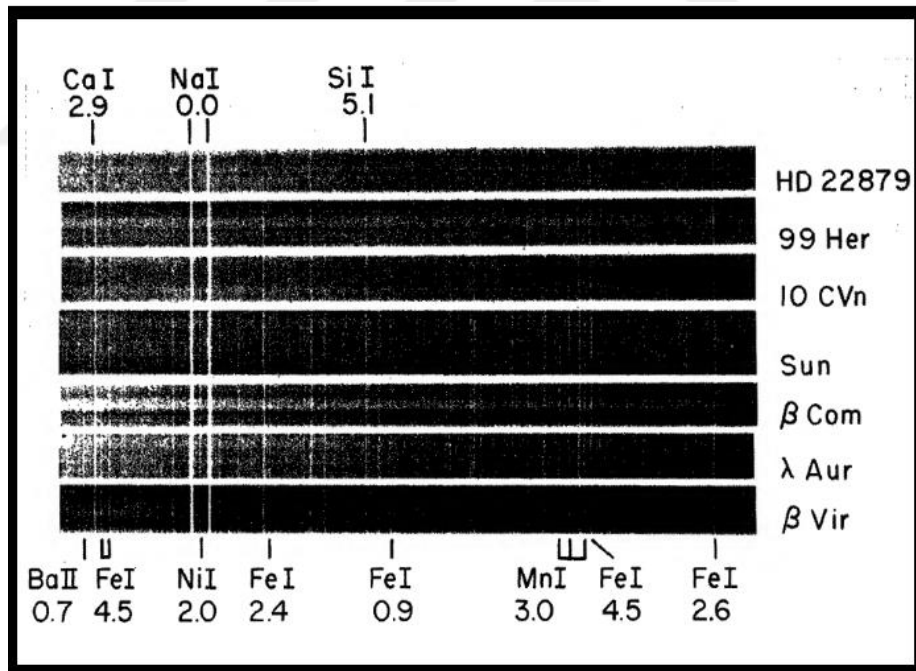
Şekil 2.28: Elementlerin periyodik tablosu. Farklı renkler ve elementlerin altındaki semboller elementlerin oluşum süreçlerini gösterir¹.

Metalce fakir yıldızların mor-ötesi artıkları fazladır. Bu durum tayfsal verilerden hesaplanan metal bolluklarının bir fotometrik indeks kullanılarak kalibrasyonların yapılmasını sağlar. Yıldızların mor-ötesi artıkları kullanılarak metal bolluğunun belirlenmesine *fotometrik metal bolluğu kalibrasyonu* adı verilir (Sandage, 1969; Carney ve diğ., 1979; Karaali ve diğ., 2003a; 2011; Karataş ve diğ., 2006). Yıldızların metal bolluklarının tayininde kullanılan mor-ötesi artığıyla metal bolluğu arasındaki kalibrasyonlar farklı araştırmacılar tarafından çeşitli şekillerde verilmiştir. Bu amaç için kullanılan fotometrik sistemlere Strömgren (Strömgren, 1966), Walraven (Walraven ve Walraven, 1960; Trefzger ve diğ., 1995), *RGU* (Buser ve Fenkart, 1990) ve *UBV* fotometrileri (Carney, 1979) örnek verilebilir. Yıldızların metal bolluklarıyla mor-ötesi artıkları arasındaki ilişkiyi ilk kez ifade eden Wallerstein ve Carlson (1960) yıldızların artan mor-ötesi artıklarıyla metalce fakirleştiğini göstermiştir (Şekil 2.29). Wallerstein (1962), Güneş civarındaki 135 yıldızın tayf gözlemlerini yapmıştır. Bu yıldızların seçiminde Johnson ve Morgan (1953), Johnson ve Harris (1954) kataloglarını ve Roman (1955)'in yüksek hızlı yıldızlar kataloğunu kullanmıştır. Wallerstein (1962)'nin G tayf türünde seçtiği bir grup yıldızın tayflarını Şekil 2.30'da gösterildiği gibi karşılaştırmıştır. Bu çizgilerin bazılarının ince bazılarının da şiddetli olduğunu tespit etmiş ve çizgi profil genişliklerini ölçerek 135 yıldızın element bolluklarını hesaplamıştır.

¹ <http://apod.nasa.gov/apod/ap160125.html>



Şekil 2.29: Seçilen bazı yıldızların mor-ötesi artığıyla metal bollukları arasındaki ilişki (Wallerstein ve Carlson, 1960).



Şekil 2.30: Wallerstein (1962)'nin G tayf türü cüce yıldızın element bolluklarını hesaplamak için kullandığı metal çizgilerinin fotoğraf plağı üzerindeki görüntüsü.

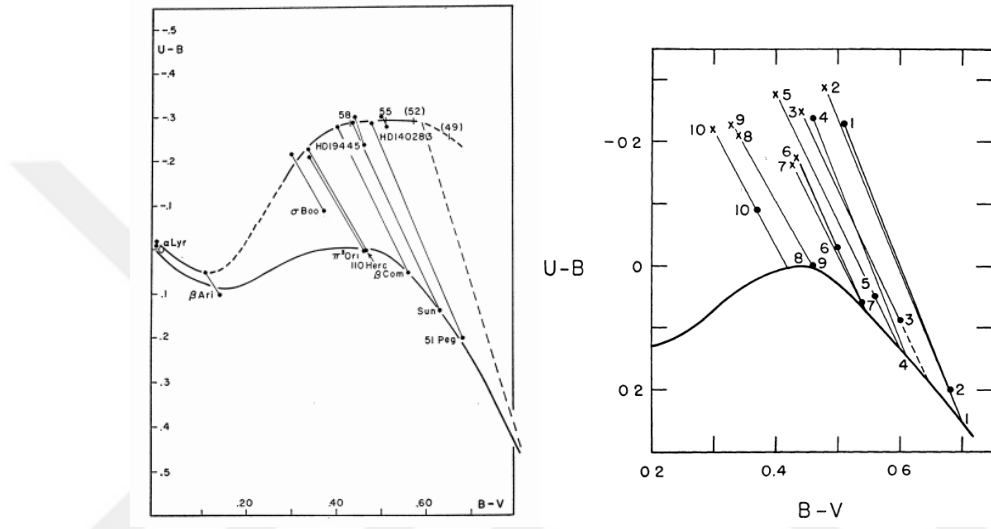
Benzer ilişkiyi, farklı araştırmacılar da (Code, 1959; Sandage ve Eggen, 1959; Melbourne 1960; Wildey, 1962) çalışmalarında göstererek daha büyük veri setlerinden mor-ötesi artığı yöntemiyle metal bolluğu tayinleri yapmıştır. Bir anakol yıldızının atmosferinden ağır

elementler tek tek çıkartılabilseydi, yıldız tayfinin sürekliliğe yaklaştığı ve $U-B \times B-V$ iki-renk diyagramında *blanketing vektörleri* boyunca anakolu terk ettiği görülmüştü. Blanketing vektörü, yıldızın çekirdeğinde üretilen enerjinin yıldız atmosferinde soğrulma ve yayınlanma oranlarının bir bileşkesi olarak tanımlanır. Metalce fakir yıldızların atmosferlerinden yayımlanan akı, en çok elektromanyetik tayfin mor-ötesi bölgesi ($3,000 < \lambda < 4,000 \text{Å}$) için tasarlanmış orta ve geniş bandlardan alınır (Melbourne, 1960; Wildey ve diğ., 1962; Sandage 1969).

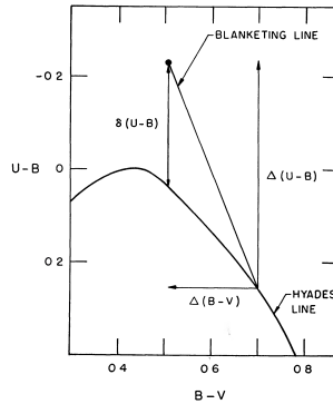
Melbourne (1960), blanketing vektörünün sürekli tayfta etkisini araştırmak için anakol ve alt cüce yıldızlarının U , B , V bantlarındaki parlaklıklarını ölçerek renklerini ve sıcaklıklarını belirlemiştir. $(U-B)_0 \times (B-V)_0$ iki-renk diyagramlarını oluşturarak yıldızların blanketing vektörü boyunca hareketini göstermiştir (Şekil 2.31; sol panel). Wildey ve diğ. (1962) Güneş komşuluğundaki disk yıldızlarının Fraunhofer çizgi tayflarını analiz ederek yıldızların absorpsiyon çizgilerinin sürekliliğe doğru hareketlerini incelemiştir (Şekil 2.31; sağ panel). Farklı tayf türünden yıldızların gözlemlerinden bu yıldızların da blanketing vektörü boyunca kaydıklarını göstermiştir; ayrıca sıcaklık ile blanketing vektörlerinin ilişkili olduğunu vurgulamıştır. Yıldızların $U-B \times B-V$ iki-renk diyagramındaki konumlarının Güneş bolluğundaki Hyades kümesinin aynı renkteki anakoluna göre $U-B$ farkları mor-ötesi artığı (δ_{U-B}) olarak tanımlanır ve bu fark metal bolluğuna duyarlıdır. Sandage (1969) yıldızların mor-ötesi artıklarıyla tayfsal metal bollukları arasında bir kalibrasyon elde etmiştir. Metalce zengin yıldızların atmosferlerindeki mor-ötesi (UV) bölgede görülen absorpsiyon çizgileri metalce fakir yıldızlardan fazla olduğundan, metalce fakir yıldızların mor-ötesi artıkları daha büyüktür. Mor-ötesi artığının sayısal olarak ifade edilebilmesi için Hyades açık kümesindeki yıldızların anakol üzerindeki konumları dikkate alınır. Metalce fakir yıldızların U bandındaki akıları metalce zengin olanlara göre büyüktür. Bu durumda $U-B \times B-V$ iki-renk diyagramının aynı renkteki metalce zengin olan Hyades kümesindeki anakol yıldızına göre bir mor-ötesi fazlalığı görülür (Şekil 2.32).

Güneş civarındaki yıldızlar $U-B \times B-V$ iki-renk diyagramına yerleştirildiğinde, yıldızların mor-ötesi artıklarının $B-V = 0.6$ renk indeksinde en büyük değere ulaştığı görülmektedir. Bu renk indeksinin mavi ve kırmızı taraflarında mor-ötesi artığı aynı bir metal bolluğu değeri için azalmaktadır. Bu problemin üstesinden gelebilmek için Sandage (1969) farklı renk indekslerindeki mor-ötesi artıklarını $B-V=0.6$ 'daki mor-ötesi artığına kalibre etmek üzere f ile

gösterilen bir ifadeyle genişletmiştir. Bu yöntem ile elde edilen mor-ötesi artığı $\delta_{0.6}$ ile gösterilmektedir. Sandage (1969) tayfsal gözlemlerden itibaren literatüre giyotin çarpanı (f) terimini kazandırmış ve mor-ötesi artığını ($\delta_{0.6}$) UBV fotometrisinde ilk kez tanımlamıştır. Çok kullanışlı bir sistem olan UBV fotometrisinde, normalleştirilmiş $\delta(U-B)_{0.6}$ mor-ötesi artığıyla metal bolluğu arasındaki kalibrasyon farklı araştırmacılar tarafından geliştirilerek güncellenmektedir (Tablo 2.4).



Şekil 2.31: $(U-B)_0 \times (B-V)_0$ iki-renk diyagramlarındaki yıldızların blenketing vektörü boyunca hareketleri (Sol panel; Melbourne, 1960) ve (sağ panel; Willey ve diğ., 1962). Sağ panelde rakamlar ile gösterilen yıldız (1) HD 140283, (2) 51 Peg, (3) Güneş, (4) HD 19445, (5) β Com, (6) ξ Peg, (7) 50 And, (8) π^3 Ori, (9) 110 Her, (10) σ Boo'dur.



Şekil 2.32: Hyades anakolu üzerindeki bir yıldız için mor-ötesi artığı δ_{U-B} ve blanketing vektörünün şematik gösterimi.

Mor-ötesi artığı yöntemi daha sonra Laird ve diğ. (1988) tarafından geliştirilmiştir. Karaali ve diğ. (2003a) renk indeksi $0.3 < B-V < 1.7$ kadir aralığında bulunan 88 cüce yıldızın model atmosfer parametreleriyle mor-ötesi artıklarını kullanarak, ilişkiyi daha duyarlı hale getirmiş ve metal bolluğu bakımından uygulama aralığını genişleterek $(-2.70 < [M/H] < +0.26 \text{ dex})$ bağıntıyı üçüncü dereceden bir polinom ile ifade etmiştir. Karaali ve diğ. (2005) bu kalibrasyonu fotometrik dönüşüm formüllerini kullanarak SDSS fotometrisine uyarlamışlardır. Karaali ve diğ. (2005) tarafından mor-ötesi artığı $\delta(U-B)_{0.6} = 1.284 \delta(u-g)_{0.43}$ eşitliği kullanılarak Sloan sistemine dönüştürülmüştür. Karataş ve Schuster (2006) yıldız sayısını UBV fotometrisi için artırarak mor-ötesi artığın tayfsal metal bolluklarının ikinci dereceden fonksiyonu olacak şekilde yeni bir metal bolluğu kalibrasyonu literatüre kazandırmıştır.

Tablo 2.4: Literatürdeki metal bolluğu kalibrasyonları. $[Fe/H]$ metal bolluğu, $\delta_{0.6}$ UBV sisteminde ve $\delta_{0.43}$ SDSS sistemindeki normalize edilmiş mor-ötesi artık olarak tanımlanmıştır.

Yazarlar	Metal Bolluğu Kalibrasyon Bağıntıları
Cameron (1985)	$[Fe/H] = 0.08 - 4.93 \delta_{0.6} - 13.51 \delta_{0.6}^2$
Carney ve diğ. (1979)	$[Fe/H] = 0.11 - 2.90 \delta_{0.6} - 18.68 \delta_{0.6}^2$
Karaali ve diğ. (2003a)	$[Fe/H] = 0.10 - 2.76 \delta_{0.6} - 24.04 \delta_{0.6}^2 + 30.00 \delta_{0.6}^3$
Karaali ve diğ. (2005)	$[Fe/H] = 0.10 - 3.5476 \delta_{0.43} - 39.63 \delta_{0.43}^2 + 63.51 \delta_{0.43}^3$
Karataş ve Schuster (2006)	$[Fe/H] = 0.13(0.05) - 5.43(0.78)\delta_{0.6} - 6.28(2.93)\delta_{0.6}^2$
Karaali ve diğ. (2011)	$[Fe/H] = 0.057(0.017) + 3.419(0.100)\delta_{0.6} - 11.612(0.496)\delta_{0.6}^2$

Pastel kataloğunun (Soubiran ve diğ., 2010) güncellenmesinin ardından yüksek çözünürlüklü tayflardan metal bolluğu iyi belirlenmiş 701 yıldızın mor-ötesi artıklarıyla tayfsal metal bollukları arasında bağıntılar geliştiren Karaali ve diğ. (2011), metal bolluğu ve mutlak parlaklık kalibrasyonlarını Johnson UBV fotometrik sistemine taşımışlardır.

2.4.3. Mutlak Parlaklık Kalibrasyonu

Mutlak parlaklık bir yıldızın 10 pc uzaklıkta ölçülen toplam akısı olarak tanımlanabilir. Yıldızların görünen ve mutlak parlaklıklarının bilinmesi uzaklıkların Pogson bağıntısıyla (2.4) hesaplanmasını sağlar.

$$V - M_V = 5 \times \log d - 5 + A_V \quad (2.4)$$

Burada, V yıldızın görünen parlaklığı, M_V yıldızın V bandındaki mutlak parlaklığı, d yıldızın trigonometrik paralaksıyla hesaplanmış uzaklığı ($d(\text{pc}) = \frac{1}{\pi''}$) ve A_V de V bandındaki sönmüleme değeridir. Yıldızın sönmüleme değeri de $A_V = 3.1 \times E(B - V)$ bağıntısıyla hesaplanır ve buradaki $E(B - V)$ yıldızlararası kızarma değerini gösterir. Bir yıldız için tayin

edilmesi gereken en önemli parametre uzaklığıdır. Dolayısıyla uzaklığı iyi bilinen yıldızın mutlak parlaklığı hesaplanabildiği gibi, iyi bir mutlak parlaklık bağıntısı doğru uzaklık tayini için çok önemlidir.

Mutlak parlaklık tayini için literatürde uygulanan yöntem, belli bir renk-parlaklık diyagramının kullanılmasına dayanır. Örneğin, Chen ve diğ. (2001) halo yıldızları için M13 küresel kümesinin renk-parlaklık diyagramını kullanmışlardır ve bu kümenin metal bolluğunun halo yıldızlarının ortalama metal bolluğunu temsil ettiklerini düşünmüşlerdir. Oysa ki, halo yıldızlarının, $-1 < [\text{Fe}/\text{H}] < -3$ dex aralığında geniş bir metal bolluğu dağılımı vardır ve ortalama metal bolluğunu temsil eden tek bir renk-parlaklık diyagramının kullanılması ayrıntıların kaybolması anlamına gelir. Alan yıldızlarının mutlak parlaklık tayini, kümelerin renk-parlaklık diyagramı veya yıldızların mor-ötesi artıkları (Laird ve diğ., 1988) dikkate alınarak yapılır. Kümelerden itibaren yapılan mutlak paraklık tayininde alan yıldızlarının popülasyon türlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Her bir popülasyon için o popülasyonu temsil eden metal bolluğundaki kümenin renk-parlaklık diyagramı kullanılır. Bu durumda popülasyona ait yıldızlar aynı metal bolluğunda kabul edilir. Literatürdeki çalışmalarda, $-3 < [\text{Fe}/\text{H}] < -1$ dex metal bolluğu dağılımındaki halo yıldızlarının mutlak parlaklıkları $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.4$ dex olan M13 küresel kümesinin renk-parlaklık diyagramı kullanılarak tayin edilir (Chen ve diğ., 2001). Karaali ve diğ. (2003b), 88 cüce yıldızın model atmosfer parametreleriyle mor-ötesi artıklarını kullanarak, her yıldızın mor-ötesi artığını hesaplayarak mutlak parlaklıklarını elde etmiştir. Daha sonraki yıllarda Karaali ve diğ. (2005)'nin geliştirdikleri mor-ötesi artığı yöntemiyle mutlak parlaklık kalibrasyonunu SDSS sisteminde uygulayarak literatüre kazandırmıştır. Mutlak parlaklık tayini için mor-ötesi artığı kullanıldığında popülasyon ayırımına gerek kalmadan her yıldızın mutlak parlaklık tayini yapılabilir. Yani, mor-ötesi artığı metal bolluğunun bir fonksiyonudur. Mutlak parlaklığın mor-ötesi artığıyla tayin edilmesindeki en önemli fark, her metal bolluğu için ayrı bir mutlak parlaklık hesaplanmasıdır. Bu fark, Karaali ve diğ. (2005)'nin çalışmasının kümeler ile mutlak parlaklık tayini çalışmasından üstünlüğünü gösterir. Benzer yöntem Bilir ve diğ. (2005) tarafından da güncel verilere uygulanmıştır. Günümüze kadar mor-ötesi artık yöntemiyle elde edilen mutlak parlaklık kalibrasyonları yazarlarıyla birlikte Tablo 2.5'de verilmiştir. Ayrıca Karaali ve diğ. (2003b) ve Karaali ve diğ. (2005)'nin çalışmasındaki katsayılar yıldızların renk indekslerinin bir fonksiyonu olarak Tablo 2.6 ve Tablo 2.7'de listelenmiştir.

Tablo 2.5: *UBV* ve SDSS sistemlerinde mor-ötesi artıklar kullanılarak hazırlanan mutlak parlaklık kalibrasyonları.

Yazarlar	Mutlak Parlaklık Kalibrasyon Bağlıtları
Laird ve diğ. (1988)	$\Delta M_V^H(B-V) = \left[\frac{2.31 - 1.04(B-V)}{1.594} \right] [-0.68 \delta_{0.6} + 53.14 \delta_{0.6}^2 - 97.004 \delta_{0.6}^3]$
Karaali ve diğ. (2003b)	$\Delta M_V^H = a_3 \delta_{0.6}^3 + a_2 \delta_{0.6}^2 + a_1 \delta_{0.6} + a_0$
Karaali ve diğ. (2005)	$\Delta M_g^H = c_3 \delta_{0.43}^3 + c_2 \delta_{0.43}^2 + c_1 \delta_{0.43} + c_0$
Karataş ve Schuster (2006)	$\Delta M_V^H(B-V, \delta_{0.6}) = \left[\frac{1.42 - 0.08(B-V)}{1.37} \right] [3.17 \delta_{0.6} - 8.69 \delta_{0.6}^2 + 61.77 \delta_{0.6}^3]$

Tablo 2.6: Karaali ve diğ. (2003b)'nin çalışmasında kullanılan katsayılar.

$(B-V)_0$	a_3	a_2	a_1	a_0
$0.3 < (B-V)_0 \leq 0.4$	-35.7800	+17.9170	+1.4505	+0.2389
$0.4 < (B-V)_0 \leq 0.5$	-15.4620	+3.5129	+4.5340	+0.2865
$0.5 < (B-V)_0 \leq 0.6$	+4.9011	-5.3226	+5.4334	+0.3294
$0.6 < (B-V)_0 \leq 0.7$	-11.0040	-0.3570	+5.0207	+0.3491
$0.7 < (B-V)_0 \leq 0.8$	+0.0737	-3.6154	+4.6223	+0.3237
$0.8 < (B-V)_0 \leq 0.9$	-2.4661	+0.1822	+3.4514	+0.3102
$0.9 < (B-V)_0 \leq 1.0$	-20.8350	+6.0860	+2.0942	+0.3206
$1.0 < (B-V)_0 \leq 1.1$	-8.3965	+5.0002	+1.0912	+0.2903

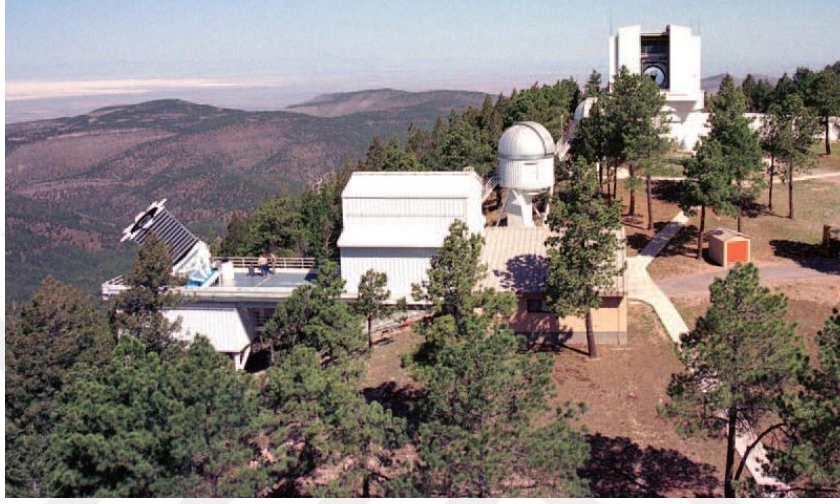
Tablo 2.7: Karaali ve diğ. (2005)'nin çalışmasında kullanılan katsayılar.

$(g-r)_0'$	c_3	c_2	c_1	c_0
$0.12 < (g-r)_0' \leq 0.22$	-32.1800	15.937	1.7350	-0.0177
$0.22 < (g-r)_0' \leq 0.32$	-15.3820	3.7188	4.4850	0.0022
$0.32 < (g-r)_0' \leq 0.43$	3.9109	-4.8075	5.3847	0.0134
$0.43 < (g-r)_0' \leq 0.53$	-11.1700	-0.3015	5.0281	0.0153
$0.53 < (g-r)_0' \leq 0.64$	0.1049	-3.6157	4.6196	-0.0144
$0.64 < (g-r)_0' \leq 0.74$	-22.5350	0.1109	3.4469	-0.0203
$0.74 < (g-r)_0' \leq 0.85$	-24.9710	7.2916	2.0269	0.0051
$0.85 < (g-r)_0' \leq 0.95$	-7.4029	4.2761	1.2638	-0.0047

2.5. SLOAN SAYISAL GÖKYÜZÜ TARAMASI (SDSS)

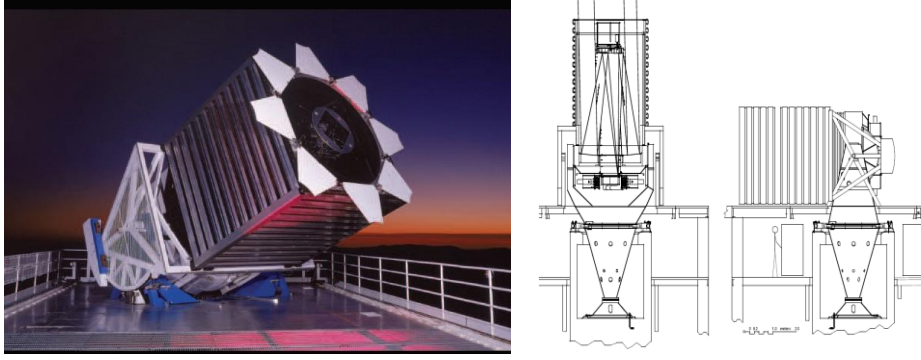
Sloan Sayısal Gökyüzü Taraması (SDSS; The Sloan Digital Sky Survey) birçok uluslararası kurumun kâr amacı gütmeksizin yürüttüğü bir projedir. Proje kapsamında çalışan 200 bilim insanı yıldızların fotometrik ve tayfsal gözlemlerini yapmışlardır. Gözlemler, New Mexico'daki Apache Nokta Gözlemevi'nde yapılmaktadır (Şekil 2.33). Gözlemevi, Sacramento dağının 2,788 m yüksekliğinde, 32° 46' 49".30 kuzey enlemi ve 105° 49' 13".50 batı boylamında bulunmaktadır. SDSS Chicago Üniversitesi, Fermi Laboratuvarı, John Hopkins Üniversitesi, Princeton Üniversitesi, Washington Üniversitesi, Pittsburgh Üniversitesi, New Mexico Üniversitesi, Naval Gözlemevi, Max-Planck Astronomi Enstitüsü, Max-Planck Astrofizik Enstitüsü, Los Alamos Laboratuvarı, Kore Bilim İnsanları Grubu ile

Japon Bilim İnsanları Grubundan oluşmaktadır. SDSS projesinin ilk görüntüsü 8 Haziran 1998 tarihinde alınmıştır. İlk veriler erken veri sürümü (EDR; **Early Data Release**) adı altında Stoughton ve diğ. (2002) tarafından yayımlanmıştır. Erken veri setini de içeren daha büyük bir katalog Abazajian ve diğ. (2003) tarafından ilk veri sürümü olarak (DR1; **Data Release 1**) literatüre kazandırılmıştır.

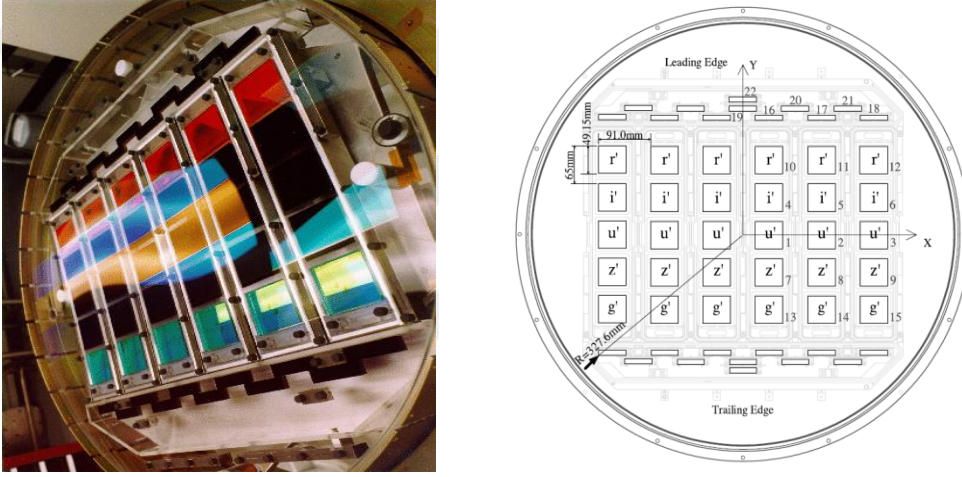


Şekil 2.33: New Mexico'daki Apache Nokta Gözlemevi sitesi.

Tayfsal ve fotometrik gözlem verileri internet sayfasında veri toplama servisinde (DAS; **Data Archive Server**) kataloglanmış ve araştırmacıların kullanıma açılmıştır. Ayrıca, DAS'tan indirilen cisimlerin dosyası da katalog arşiv servisinde (CAS; **Catalog Archive Server**) bulunmaktadır. Teleskobun optik sistemi, iki yansıtıcı aynadan ve odak ayarı sistemi de en az sapmayı sağlayan Cassegrain teleskobuna benzeyen iki mercekten oluşur. Teleskop kızaklı bir kubbe sistemiyle korunmaktadır (Şekil 2.34). Ayrıca teleskobun yer aldığı binada bilgisayar donanım merkezi bulunur ve teleskobun odak düzlemindeki mozaik CCD kamerasından alınan görüntülerin ilk incelemesi bu binada yapılır. 2.5 m'lik teleskobun odak düzlemine yerleştirilen CCD kamerada, toplam 54 adet CCD bulunur (Şekil 2.35). CCD kamerayı oluşturan üç bölümden biri, kameranın ortasında yer alan 2048×2048 piksel boyutunda 30 adet CCD, beş satır altı kolondan oluşan bir CCD mozaigi olup her kolondaki CCD'ler aynı tip filtre takımını içerir. Bu bölüm görüntü alımında kullanılır ve CCD kameranın üst ve alt kısımlarında her biri 2048×400 piksel boyutlarında toplam 24 tane CCD bulunur. Bunların yarısı üst, yarısı alt bölümde olmak üzere toplam 22 tanesi astrometri ve iki tanesi de teleskobun odak ayarı için kullanılır. Filtreler yukarıdan aşağıya doğru r , i , u , z ve g şeklinde dizilmiştir (Şekil 2.35; Gunn ve diğ., 1998).



Şekil 2.34: Apache Nokta Gözlemevi'ndeki 2.5 m'lik teleskop. Sol panelde teleskop görüntüsü sağ panelde teleskobun şematik çizimi gösterilmektedir (Gunn ve diğ., 2006).



Şekil 2.35: Mozaik CCD kamera (sol panel) ve SDSS filtre diziliminin şematik gösterimi (sağ panel).

2.5.1. SDSS I

SDSS projesinin ilk aşamasındaki fotometrik ve tayfsal veriler gelişmiş bir CCD mozaik kamera ve iki tayfçeker kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Gunn ve diğ., 1998). 2.5 m'lik teleskobun odak düzleminde 54 adet CCD'den oluşan bir CCD mozaigi bulunmaktadır. CCD mozaigi toplam 145,5 milyon piksel kapasiteli görüntülemeye sahiptir ve bir görüntü bilgisayara 54 saniyede yüklenir. Saniyede 8.2 MB veri toplama kapasitesi olan bu mozaik, sekiz saatlik bir gözlem süresinde toplam 240 GB'lık veri toplayabilir. Verilerin indirgenmesi haftalarca sürebilir. Geniş alan tayfsal taraması, gökyüzünde birkaç yay dakikası bir alanda kaynakların eş zamanlı tayflarının alınmasında kullanılan bir tekniktir. Tayfçekere bağlı alüminyum plak üzerinde toplam 640 optik fiber kablo bulunur. Tayf çekerden gelen veriler bu optik fiber kablolar ile taşınır (Gunn ve diğ., 1998). İyi bir gözlem gecesinde 5,000'den fazla nesne incelenebilir. Tayfçeker, 17.8 kadirde daha parlak cisimlerin görüntüsünü alabilir.

SDSS tayfsal gözlemlerin ilk sonuçları Castander ve diğ. (2001) tarafından literatüre kazandırılmıştır.

SDSS programının ilk yıllarında, Galaksimizin kuzey kutbunu merkez kabul eden 10,000 derece karelik bölgesini incelemiştir. Güney gökyüzü ($b \geq -50^\circ$) araştırmalarında ise, $B = 20$ kadirinden daha sönük galaksiler ile $B \geq 21$ kadire kadar kuazarların kırmızıya kayması elde edilmiştir. Projenin temel iki amacından biri, Galaksimizin yapısı, oluşumu ve evrimini anlamak, diğeri de galaksi-dışı kaynakları (kuazar) inceleyerek, Evrenin geniş ölçekte yapısı, oluşumu ve evrimini anlamaktır.

2.5.2. SDSS II

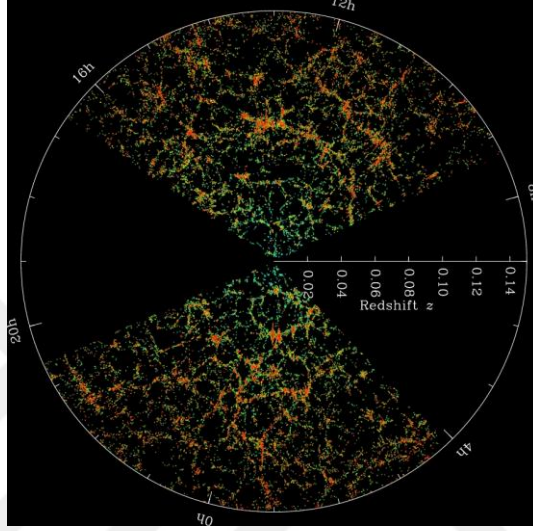
SDSS projesi amaçlarına çok iyi hizmet ettiği görülünce SDSS II ve SDSS III isimleriyle projeye devam edilmiştir. SDSS-II projesi 2005-2008 yıllarını kapsayacak şekilde tasarlanmıştır. Kuzey gökyüzünün yarısını inceleyerek 100,000'den fazla kuazar ile yaklaşık bir milyon galaksinin üç boyutlu haritası çıkartılarak hedefini başarıyla tamamlamıştır. SDSS-II projesinin üç alt çalışma birimi bulunmaktadır.

- i. Sloan Miras Taraması (Sloan Legacy Survey): SDSS-I'in devamı niteliğinde olan bu çalışma grubunda 8,400 derece karelik yıldız alanında 930,000 galaksi, 120,000 kuazar ve 225,000 yıldızın tayfları alınmıştır.
- ii. SDSS-II Süpernova Taraması (SDSS-II Supernova Survey): Güney yarı küredeki 300 derece karelik alanda yeni süpernovalar keşfetmek amacına hizmet etmiştir.
- iii. Galaktik Anlayış ve Keşif için Sloan Uzantısı-1, SEGUE-1 (Sloan Extension for Galactic Understanding and Exploration-1): Program 3,500 derece karelik yıldız alanında 240,000 yıldızın tayfı alınmıştır.

SDSS-II projesi 2008 yılında amaçlarını gerçekleştirmiş ve proje zamanında sonlandırılmıştır. Projeye ilgili çalışmalardan, SDSS miras taraması sonuçları DR 7 (DR7 Sky Coverage) veri setinde kullanıcılara sunulmuştur (Yanny ve diğ., 2009). SEGUE-1 araştırmasının bulguları da Yanny ve diğ. (2009) tarafından yayımlanmıştır. SDSS-II süpernova taraması, Frieman ve diğ. (2008) ve Sako ve diğ. (2008)'nin çalışmalarıyla literatür ile paylaşılmıştır.

2.5.3. SDSS III

SDSS projesi, aynı gözlemevinden yararlanarak, SDSS-III adında dört yeni alt çalışma programıyla devam ettirilmiştir. 2008 yılının temmuz ayında gözlemlere başlanmış ve üç yıl sonra ilk veri sürümü DR8 kullanıma açılmıştır¹. SDSS-III programında incelenen galaksilerin dağılımları Şekil 2.36'da gösterilmiştir.



Şekil 2.36: SDSS III projesinde incelenen galaksilerin dağılımı².

SDSS-III projesinin dört çalışma programı vardır:

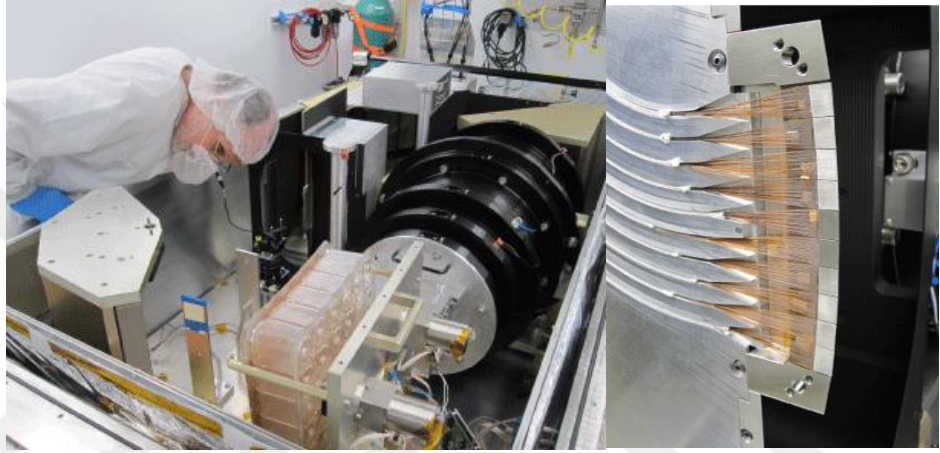
- i. Apache Nokta Gözlemevi Galaktik Evrim Deneyi (APOGEE; the Apache Point Observatory Galactic Evolution Experiment; Allendo Prieto ve diğ., 2008): Galaktik şişkin bölge, çubuk, disk ve halo bileşenlerinin kimyasal yapılarının ipuçlarını araştırmak için 100,000'den fazla kırmızı evrimleşmiş yıldız incelenmiştir. Projenin amacı, Galaksimizin şişkin bölgesi ve diskinin kimyasal yapısının incelenmesi, çubuk ve spiral kolların bozucu yapısının araştırılması, yıldız oluşumu ve kimyasının araştırılması, yıldız popülasyonlarında metal bolluklarının dağılımı ve modeller ile bu dağılımın incelenmesiyle Samanyolunun oluşum ve evriminin anlaşılmasıdır.

Yüksek çözünürlüklü ($R \approx 22,500$) bir tayfçeker ile yakın kızıl-ötede ($1.51 < \lambda < 1.70 \mu\text{m}$) yüksek sinyal/gürültü (S/N) oranına sahip ($S/N > 100$) binlerce evrimleşmiş yıldızın tayfı

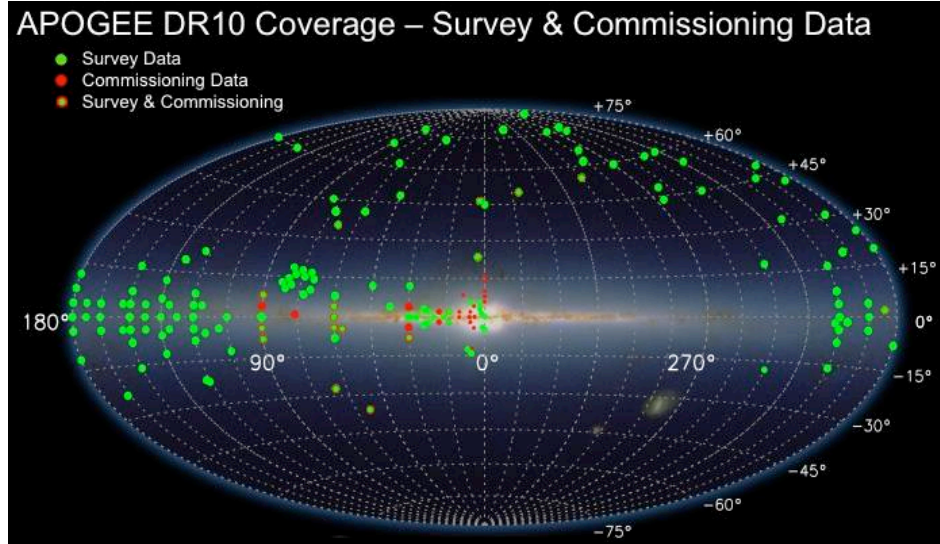
¹ <http://classic.sdss.org/>

² http://classic.sdss.org/includes/images/sdss_pie2.html

alınmıştır (Şekil 2.37). Programın tayfsal araştırmaları 2014 yılında tamamlanmıştır (Majewski ve diğ., 2015). Gözlemler, Apoche Nokta Gözlemevi'ndeki 2.5 m'lik teleskop ile H bandının etkin olduğu ($1.6 \mu\text{m}$) yapılmıştır. Böylece yıldız tayfları yıldızlararası sönümlemeden daha az etkilenmiştir. Bu durum ayrıca radyal hızın daha hassas ölçülmesine yardımcı olur. APOGEE'nin ilk veri seti DR 10 (Ahn ve diğ., 2014) olarak belirlenmiş. Sonraki yıllarda bu taramanın diğer iki veri seti DR 12 (Alam ve diğ., 2015) ve DR 13 (Albareti ve diğ., 2016)'de yayımlanmıştır. APOGEE DR 10'da incelenen alanların Galaktik koordinat sistemindeki konumları Şekil 2.38'de gösterilmiştir.



Şekil 2.37: SDSS III programında kullanılan APOGEE tayfçekeri¹.

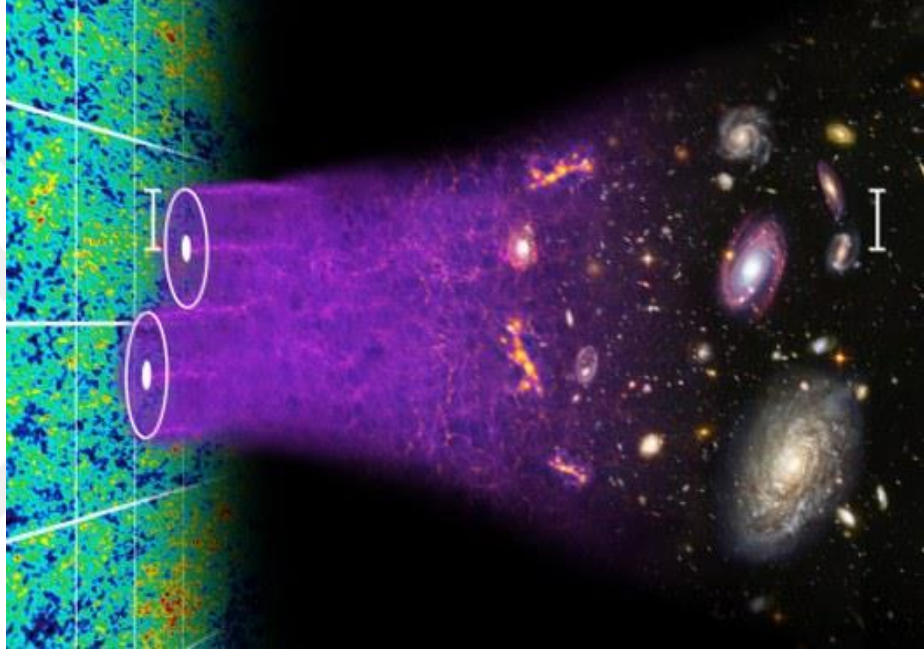


Şekil 2.38: APOGEE DR10 veri sürümünde incelenen bölgeler².

¹ http://www.sdss3.org/instruments/apogee_spectrograph.php

² <http://www.sdss3.org/dr10/>

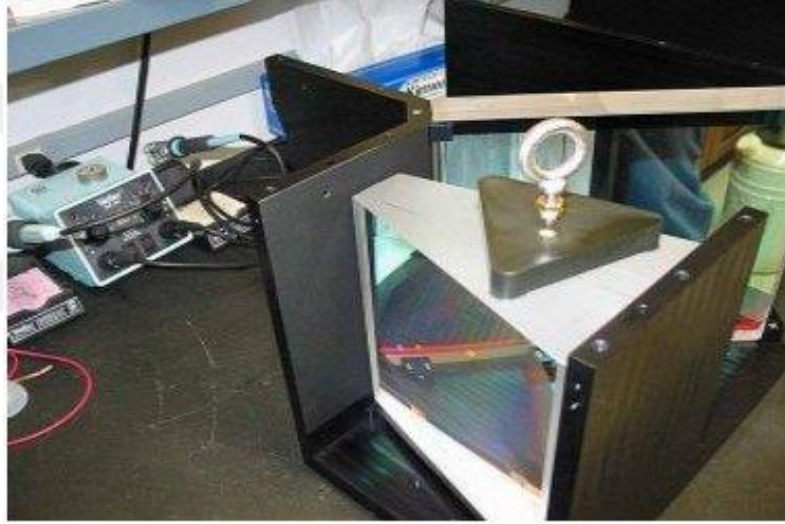
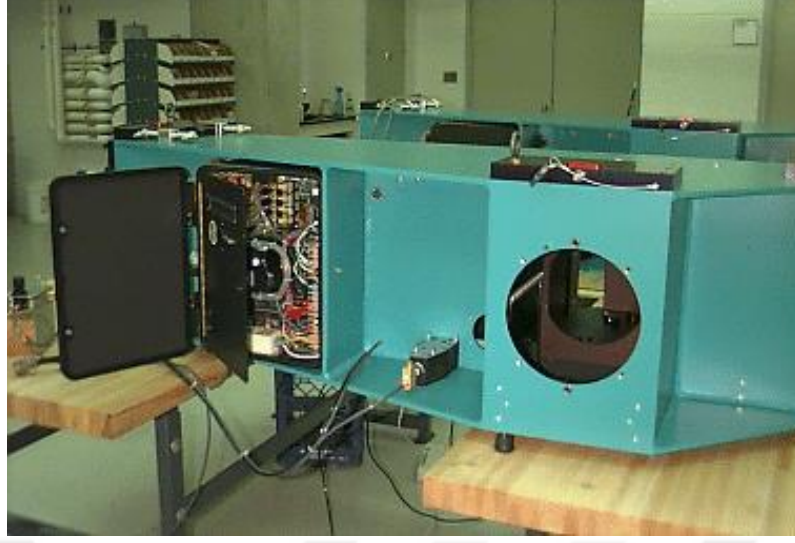
- ii. Baryon Salınımlı Tayfsal Tarama (BOSS; the **B**aryon **O**scillation **S**pectroscopic **S**urvey; Dawson ve diğ., 2013): Programın amacı, erken evrende baryonların akustik salınımlarını ölçerek parlak kırmızı galaksi ve kuazarların haritasını çıkarmaktır. Erken evrende yayılmış dalgalar arka alandaki kozmik mikrodalgaların karakteristliğini taşır. Bu dalgalanmalar günümüzdeki galaksi boşluklarını oluşturur ve baryon akustik salınımı ölçeği bunu tespit edebilir. Bununla ilgili bir canlandırma resmi Şekil 2.39'da gösterilmiştir.



Şekil 2.39: Erken evrende ve bugünkü BOSS gibi galaksi araştırmalarında hâlâ görülebilen baryon akustik salınımları kavramının temsili gösterimi¹.

Baryon akustik salınım değerini ölçmek için yaklaşık 1.5 milyon galaksi incelenmiştir. Tayfsal çözünürlüğü $R \approx 2,000$ olan 1,000-fiber tayfçeker ile ölçümler yapılmış (Şekil 2.40) ve $z < 0.7$ kırmızıya kayma değerine kadar 10,000 derece karelik alan içinde dalgaboyu $3,600 < \lambda < 10,000 \text{ Å}$ aralığında gözlemler yapılmıştır. BOSS, karanlık enerji ve baryon akustik salınıminin iyi bir şekilde ölçülmesi üzerine programlanan bir projedir. 2009 yılında başlayan bu proje 2014 yılında sona ermiştir.

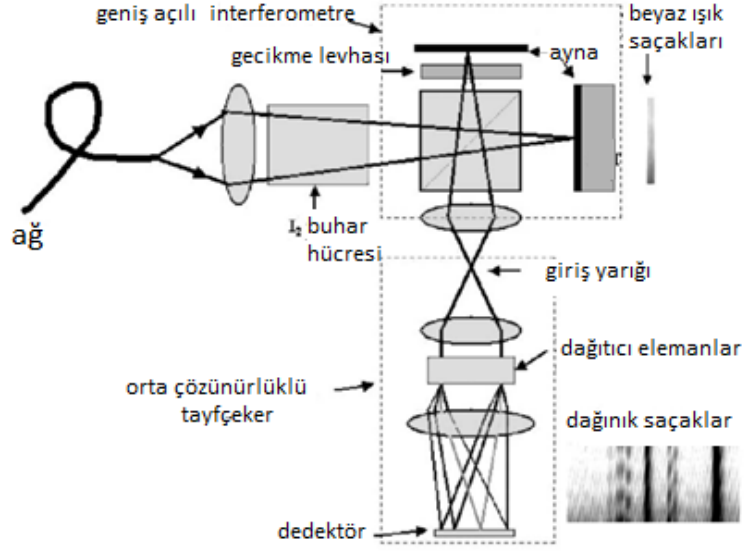
¹ <http://www.sdss3.org/surveys/boss.php>



Şekil 2.40: BOSS için tasarlanan tayfçekerin iki farklı görüntüsü¹.

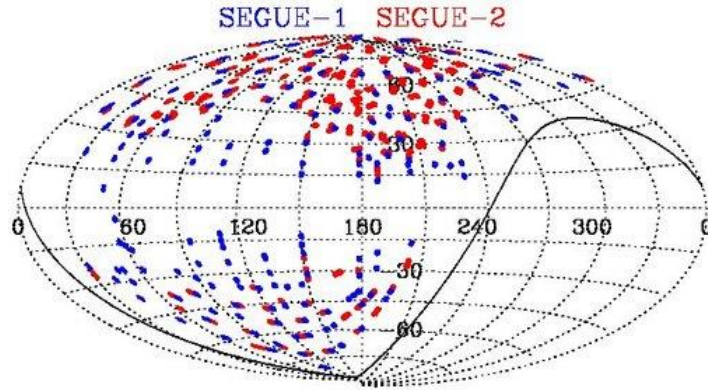
- iii. Çoklu-Nesne APO Radyal Hız Ötegezegen Geniş Alan Taraması (MARVELS; the **M**ulti-**O**bject **A**PO **R**adial **V**elocity **E**xoplanet **L**arge-area **S**urvey; Ge ve diğ., 2008): Taramanın amacı $8 < V < 12$ kadir aralığındaki 10,000 anakol ve 1,000 dev yıldızın radyal hızlarını inceleyerek yörünge dönemi birkaç saatten iki yıla uzanan ötegezegenleri keşfetmektir. 2008 yılında gözlemlerine başlanan MARVELS altı yıl sonra görevini tamamlamıştır. Programda iki adet 60-fiber interferometreyle görüntü alınmıştır (Şekil 2.41).

¹ http://www.sdss3.org/instruments/boss_spectrograph.php



Şekil 2.41: MARVEL tayfçekerinin şematik görüntüsü (Ge ve diğ., 2002).

- iv. Galaktik Anlayış ve Keşif için Sloan Uzantısı-2 (SEGUE-2; the Sloan Extension for Galactic Understanding and Exploration 2; Yanny ve diğ., 2009): Bundan önceki SEGUE-1 programında, Samanyolunun yapısını araştırmak için yaklaşık 240,000 yıldızın tayfları incelenmişti. SEGUE-1'in bu başarısını örnek alan SEGUE-2'de, Galaksi merkezinden 10 ile 60 kpc uzaklığında bulunan 120,000 halo yıldızının tayfsal gözlemleri yapılmıştır. SEGUE-1 ile gözlenen alanlarda mavi renkte, SEGUE-2 ile gözlenen alanlar da kırmızı renkte Şekil 2.42'de gösterilmiştir.



Şekil 2.42: Galaktik koordinatlara göre ayrılmış SEGUE-1 ve SEGUE-2 taramalarının incelenen alanlar. Mavi noktalar SEGUE-1, kırmızı noktalar SEGUE-2 taramalarını temsil etmektedir¹.

¹ <http://www.sdss3.org/surveys/segue2.php>

SEGUE-2 taramasında, Samanyolu halosunun kinematik yapısını incelemeye yönelik tayfsal çalışmalar yapmıştır (Kollmeier ve diğ., 2010). Projenin gözlemleri bir yıl sürmüş ve 2009 yılında sona ermiştir. Bir yıl süre zarfında gökyüzünün 1,317 derece karelik alanı taranmış ve yaklaşık 120,000 yıldızın tayfi alınmıştır.

2.5.4. SDSS Projesinin Bugünü ve Geleceği

Haziran 2014'te SDSS-III sona erdikten sonra, Apache Nokta Gözlemevi Sloan konsorsiyumu 2.5 m'lik teleskop ile Apache Nokta Gözlemevi'nin dünyanın önde gelen geniş alan tayfçeker merkezi olacağı kararı almıştır. Astrofizik Araştırma Konsorsiyumu (ARC; Astrophysical Research Consortium), SDSS-IV projesini 2014 yılında başlatmış ve 2020 yılına kadar sürdürülme kararını almıştır. SDSS-IV taraması üç alt birim ile şu amaçları hedeflemektedir:

- i. Genişletilmiş Baryon Salınlı Tayfsal Taraması (eBOSS: The Extended Baryon Oscillation Spectroscopic Survey): BOSS taramasını derinleştirmek için hassas kozmik ölçümler yaparak evrendeki kritik erken zamanı belirlemek.
- ii. Apache Nokta Gözlemevi Galaktik Evrim Deneyi-2 (APOGEE-2; the Apache Point Observatory Galactic Evolution Experiment-2): Galaksimizin kuzey ve güney yarıküresinde kırmızı-öte bölgede tayfsal gözlemler yaparak varolan tayfsal haritayı genişletmek.
- iii. Apache Nokta Gözlemevi'nden Yakın Galaksileri Haritalama (MaNGA; Mapping Nearby Galaxies at Apache Point Observatory): İlk kez sadece Sloan tayfçekerini kullanarak yakın 10,000 galaksinin iç yapısını haritalandırmak.

SDSS projesinin gelecekteki hedefi SDSS-V (Kollmeier, 2017) olarak yeni bir tarama programıyla Samanyolu ve yerel gruptaki galaksilerin optik ve kırmızıötesi bölgede tayfsal gözlemler sonucu geniş bir haritasını oluşturmaktadır.

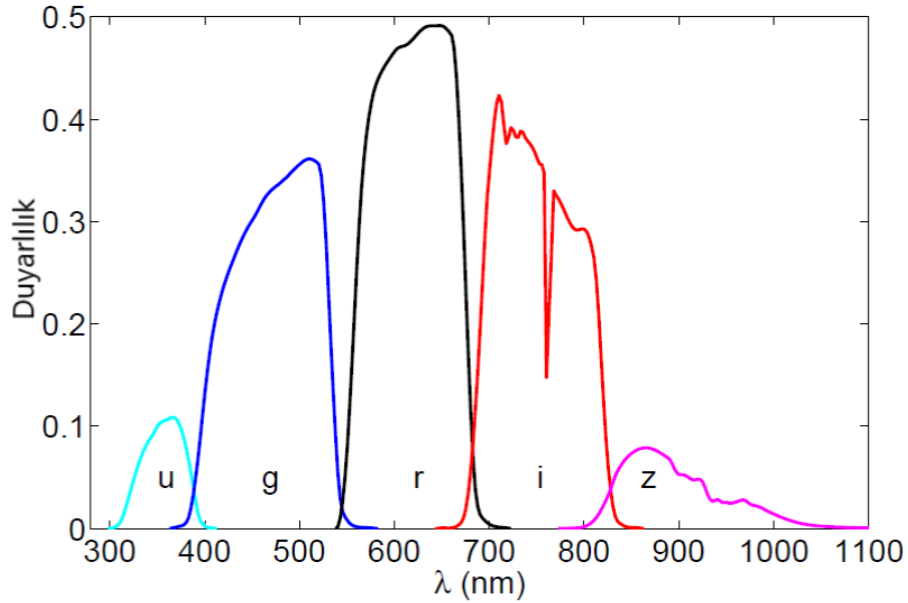
SDSS-V taramasının da üç alt birimde çalışılması hedeflenmiştir. Bunlar:

- i. Samanyolu Haritacısı (MWM; The Milky Way Mapper): Samanyolundaki altı milyon yıldızın APOGEE tayfçekerleriyle kırmızı-öte bölgede tayfi alınarak yıldızlararası ortamın fiziğini ve Samanyolunun yapısını anlamak amacıyla çalışmalar yapmak.

- ii. Karadelik Haritacısı (BHM; The **B**lack **H**ole **M**apper): BOSS optik tayfçeriyle başta karadelikler olmak üzere 400,000'den fazla kaynağı inceleyerek, tüm gökyüzünün X-ışın haritasını çıkartmak ve karadeliklerin gelişimini tespit etmek.
- iii. Yerel Hacim Haritacısı (LVM; The **L**ocal **V**olume **M**apper): Samanyolu ve yerel galaksilerde yıldızlararası ortam ve yıldız popülasyonlarını gözlemlemek için gökyüzünde 3,000 derece karelik alanda 25 milyondan fazla tayf alınması.

2.5.5. Sloan Fotometrik Sistemi

Sloan fotometrisi 3,000 – 11,000 Å dalgaboyu aralığında tanımlanan *u*, *g*, *r*, *i* ve *z* sembolleriyle gösterilen beş banttı oluşan bir geniş band fotometrisidir. Bu fotometrik sistem ilk kez Fukugita ve diğ. (1996) tarafından sentetik olarak tasarlanmıştır. Fukugita ve diğ. (1996) çalışmasında Sloan fotometrik sisteminin uzun yıllar kullanılacağı gözlem yerleşkesi için hava kütlesinin ortalama değerini 1.2 kabul ederek fitrelerinin etkin dalgaboyları ve yarı dalgaboyu genişlikleri Tablo 2.8'de, bandların geçirgenlik fonksiyonları da Şekil 2.43'de verilmiştir. Bantlar optik bölgenin tamamını kaplar ve sönük cisimlerin belirlenmesinde etkilidir. Ayrıca Şekil 2.43'ten görülebileceği gibi Sloan fotometrik sistemine ait bantların duyarlılık eğrileri birbirinin içine geçmemiştir. Bu durum Sloan fotometrisinin diğer fotometrik sistemlere göre üstünlüğünü göstermektedir.



Şekil 2.43: Sloan bandlarının duyarlılık fonksiyonları.

Tablo 2.8: Sloan fotometri sistemindeki bantların (u, g, r, i ve z), etkin dalga boyları (λ_{eff}), yarı genişlikler ($\Delta\lambda_{eff}$), A_λ/A_V Sloan bantlarının UBV sistemindeki V bandına ait toplam soğurma değerine oranını ve m_{lim} Sloan bantlarının limit parlaklıklarını gösterir.

Filtre	Sentetik (Fukugita ve diğ., 1996)		Gözlemsel (Stoughton ve diğ., 2002)			
	λ_{eff} (Å)	$\Delta\lambda_{eff}$ (Å)	λ_{eff} (Å)	$\Delta\lambda_{eff}$ (Å)	A_λ/A_V	m_{lim}
u	3,557	599	3,551	581	1.663	22.0
g	4,825	1,379	4,686	1,262	1.224	22.2
r	6,261	1,382	6,166	1,149	0.887	22.2
i	7,672	1,535	7,480	1,237	0.673	21.3
z	9,097	1,370	8,932	994	0.477	20.5

SDSS'in fotometrik ve tayfsal gözlemleri, Amerika Birleşik Devletlerinin New Mexico eyaletindeki Apache Nokta Gözlemevi'nde bulunan 3.5 m, 2.5 m ve 0.6 m ayna çaplı teleskoplar ile yapılmaktadır. 3.5 ve 2.5 m'lik teleskoplar hem tayfsal hem de fotometrik gözlemlerde ve 0.6 m'lik teleskop da parlak cisimlerin spektrofotometrik ve hava kütlesi ölçümleri gibi kalibrasyon gözlemleri için kullanılır. Bu sistemin en önemli özelliği, Sloan bantlarının geçirgenlik fonksiyonlarına ait yarı-genişliklerinin büyük ve gözlem planına uygun verilen poz sürelerinin uzun olması nedeniyle Güneş'ten çok uzaktaki sönük nesnelerin gözlenebilmesidir.

Stoughton ve diğ. (2002), Nisan 2000 tarihinde başlatılan SDSS'de $ugriz$ bandlarında gözlemleri yapılan 462 derece karelik yıldız alanındaki 14 milyon nesnelerinin fotometrik verilerini ve 54,008 nesnenin de tayfsal verileri indirgeyerek SDSS'in erken veri sürümü olan EDR'yi yayımlamıştır. Yapılan gözlemlerde SDSS bantlarının etkin dalga boyları ve yarı genişliklerinin sentetik olarak hesaplananlardan biraz farklı olduğunu belirtmişlerdir (bkz Tablo 2.8). Yapılan ilk fotometrik gözlemler sonucunda $ugriz$ bandlarında gözlenen nesneler için nokta yayılım fonksiyonu (PSF; Point Spread Function) fitiyle elde edilen parlaklıklar ile ulaşılan limit parlaklıkların, sırasıyla, 22, 22.2, 22.2, 21.3 ve 20.5 kadir ve bu bandlarındaki fotometrik hassasiyetlerin de %5, %3, %3, %3 ve %5 olduğu hesaplanmıştır. Bununla birlikte beş band için hesaplanan sönümlleme katsayıları $A_V=3.1$ değerine göre oranlanmış ve Tablo 2.8'de verilmiştir.

3. MALZEME VE YÖNTEM

Doktora tez çalışmasında ince disk, kalın disk ve halo bileşenlerinin kimyasal yapılarının araştırılması hedeflendiğinden, elektromanyetik tayfın optik bölgesini kapsayan beş geniş band ile tanımlanan ve yeterince sönük yıldızların duyarlı fotometrik çalışmalarının yapıldığı SDSS fotometrisi kullanılmıştır (York ve diğ., 2000). Galaktik bileşenlerdeki yıldızların kimyasal bollukları ve uzaklıklarının belirlenebilmesi için öncelikle SDSS fotometrisinde duyarlı metal bolluğu ve mutlak parlaklık kalibrasyonlarının elde edilmesine ihtiyaç vardır. Bu amaca yönelik oluşturulacak fotometrik metal bolluğu ve mutlak parlaklık kalibrasyonlarındaki yıldızların, model atmosfer parametreleriyle trigonometrik paralaksarı iyi ölçülmüş Güneş civarındaki yakın yıldızlardan seçilmesi gereklidir. Tayfsal ve astrometrik verileri tayin edilmiş yakın yıldızların ise ancak *UBV* fotometrik parlaklıkları bilinmektedir. Bu nedenle hazırlanacak kalibrasyonların fotometrik dönüşüm formülleri kullanılarak *UBV* sisteminden (Johnson-Morgan, 1953) SDSS sistemine (Fukugita ve diğ., 1996) çevrilmesi gerekmektedir. SDSS sisteminde oluşturulan kalibrasyonlar, SDSS'in uzun yıllardır proje kapsamında gözlemlediği orta/yüksek kuzey Galaktik enlemleri yıldız alanlarına uygulanmış ve Galaksimizdeki popülasyonlar için ortalama metal bolluğu dağılımları belirlenmiş, metal bolluğu gradyanları hesaplanmıştır. Tez çalışmasında kullanılan veri ve yöntemler farklı başlıklar altında verilmiştir.

3.1. VERİLER

Metal bolluğu ve mutlak parlaklık kalibrasyonlarının elde edilmesinde, Güneş civarında tayfsal ve trigonometrik paralaks (uzaklık) verileri hassas ölçülmüş ve *UBV* Johnson-Morgan fotometrik sisteminde parlaklıkları bilinen yıldızlar kullanılmıştır. Oluşturulan kalibrasyonlar SDSS fotometrisiyle Galaksimizin kuzey yarıküresinde orta/yüksek Galaktik enlemlerde gözlemleri yapılmış (SDSS III DR12) sönük F ve G tayf türündeki anakol yıldızlarına uygulanmıştır.

3.1.1. Kalibrasyon Verileri

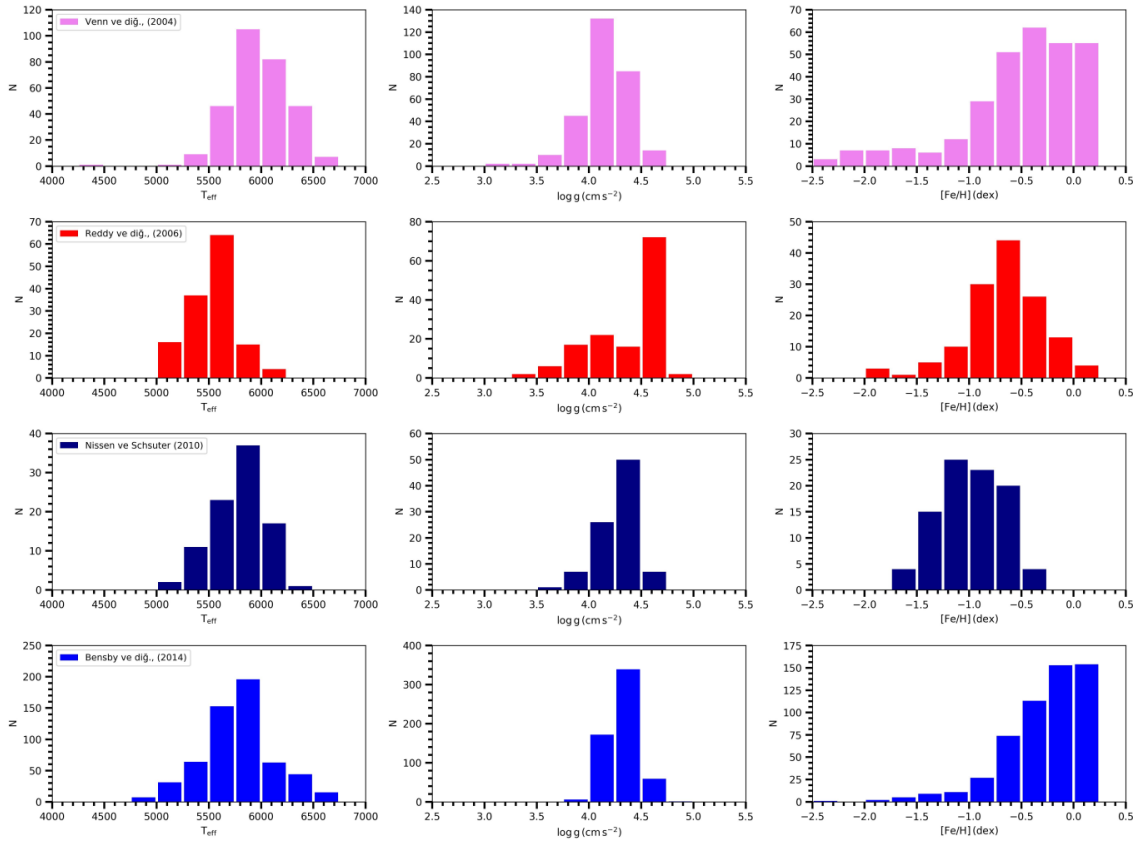
Doktora tez çalışmasında metal bolluğu ve mutlak parlaklık kalibrasyonlarının elde edilme amacına yönelik literatürden derlenen tayfsal, fotometrik ve astrometrik veriler için bir katalog oluşturulmuştur. Kalibrasyonları oluşturmak için trigonometrik paralaksarı ölçülmüş, *UBV*

parlaklıkları bilinen, yüksek çözünürlükte tayfları alınmış ve model atmosfer parametrelerinin yani etkin sıcaklık (T_{eff}), yüzey çekim ivmesi ($\log g$) ve metal bolluğu ($[Fe/H]$) verileri hesaplanmış yıldızların literatürdeki çalışmaları tercih edilmiştir. Bu katalog hazırlanırken, tayfsal çalışmalara öncelik verilmiş olup dört araştırma grubunun (Bensby ve diğ., 2014; Nissen ve Schuster, 2010; Reddy ve diğ., 2006; Venn ve diğ., 2004) tayfsal verileri dikkate alınmıştır. Bu tayfsal çalışmalarda, orta tayf türündeki anakol yıldızları kullanılarak Galaktik diskin kimyasal bolluğu ve Güneş civarındaki farklı popülasyonların kinematik özellikleri incelenmiştir. Tez çalışmasındaki kalibrasyon yıldızlarının astrometrik verileri (trigonometrik paralaks) yeniden indirgenen *Hipparcos* kataloğundan (van Leeuwen, 2007), *UBV* parlaklıkları da Mermilliod, Mermilliod ve Hauck (1997)'in “*UBV* sisteminde homojenize edilmiş ortalamalar” isimli kataloğundan alınmıştır.

Dört araştırma grubunun literatüre kazandırdığı tayfsal çalışmalarda Bensby ve diğ. (2014) 577, Nissen ve Schuster (2010) 304, Reddy ve diğ. (2006) 137 ve Venn ve diğ. (2004) 291 yıldızın model atmosfer parametreleri tayin edilmiştir. Toplam 1,309 yıldızın etkin sıcaklık (T_{eff}), yüzey çekim ivmesi ($\log g$) ve metal bolluğu ($[Fe/H]$) dağılımları araştırma gruplarına göre Şekil 3.1’de gösterilmiştir. Benby ve diğ. (2014)’nin çalışmasındaki yıldızların model atmosfer parametreleri $4,750 < T_{eff} < 6,750$ K, $3.78 < \log g < 4.75$ cm/sn² ve $-2 < [Fe/H] < +0.3$ dex aralıklarındadır. Nissen ve Schuster (2010)’in verilerini içeren grafiklerde model atmosfer parametrelerinin değer aralıkları, $5,000 < T_{eff} < 6,500$ K, $3.5 < \log g < 4.75$ cm/sn² ve $-1.75 < [Fe/H] < -0.75$ dex’tir. Reddy ve diğ. (2006)’deki yıldızların model atmosfer parametreleri incelendiğinde $5,000 < T_{eff} < 6,250$ K, $3.25 < \log g < 5$ cm/sn² ve $-2 < [Fe/H] < +0.25$ dex aralıklarında bulunduğu görülmektedir. Son olarak, Venn ve diğ. (2004)’nin çalışmasındaki yıldızların da model atmosfer parametreleri $5,250 < T_{eff} < 6,750$ K, $3 < \log g < 4.75$ cm/sn², $-2.5 < [Fe/H] < +0.2$ dex aralıklarındadır. Dört araştırma grubundaki yıldızların etkin sıcaklık dağılımları incelendiğinde (bkz Şekil 3.1) baskın tayf türünün erken F, geç G tayf türündeki yıldızlar olduğu, yüzey çekim ivme değer aralıkları dikkate alındığında da yıldızların alt dev ve anakol yıldızlarından oluştuğu görülmektedir (Cox, 2000). Örnekteki yıldızların metal bolluğu dağılımları $-2.5 < [Fe/H] < +0.3$ dex’lik geniş bir aralıkta yer almaktadır yani Güneş civarında farklı popülasyonlardaki yıldızları temsil etmektedir.

Tayfsal çalışmalar sonucunda dört araştırma grubundan derlenen 1,309 yıldızın ekvatorial koordinatları dikkate alınarak yapılan sıralamada, çok sayıda yıldızın dört çalışma grubundaki araştırmacılar tarafından incelendiği tespit edilmiştir. Bu sıralama sonucunda Bensby ve diğ.

(2014), Nissen ve Schuster (2010), Reddy ve diğ. (2006) ve Venn ve diğ. (2004)'nin çalışmalarındaki ortak yıldızların sayısı, sırasıyla, 69, 47, 64 ve 66 olarak belirlenmiştir. Ortak yıldızların çalışma gruplarına göre örtüşmeleri Tablo 3.1'de verilmiştir. Tablo 3.1'den de görüleceği gibi dört farklı çalışma grubundaki en çok ve en az yıldız örtüşmelerinin, sırasıyla, Bensby ve diğ. (2014) ve Nissen ve Schuster (2010)'e ait olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte az sayıdaki yıldızların da birden fazla çalışmayla örtüştüğü belirlenmiştir. Çoklu örtüşmelerin sayıları çalışma gruplarına bağlı kalınarak Tablo 3.2'de listelenmiştir. Bu tablodan da görüleceği gibi üç ve dört çalışmada yer alan yıldız sayısı, sırasıyla, 13 ve 7'dir. Örtüşen yıldızların katalogdan çıkartılmasında eski tarihli olanlara öncelik verilmiş ve buna göre yapılan çıkartma işlemi sonucunda 991 yıldızın tek bir çalışma grubundan alınması sağlanmıştır. Kalibrasyon yıldızlarının çalışma gruplarına göre oluşturulan renk-parlaklık, iki-renk diyagramları ve rölatif paralaks hataları Şekil 3.2'de gösterilmiştir.



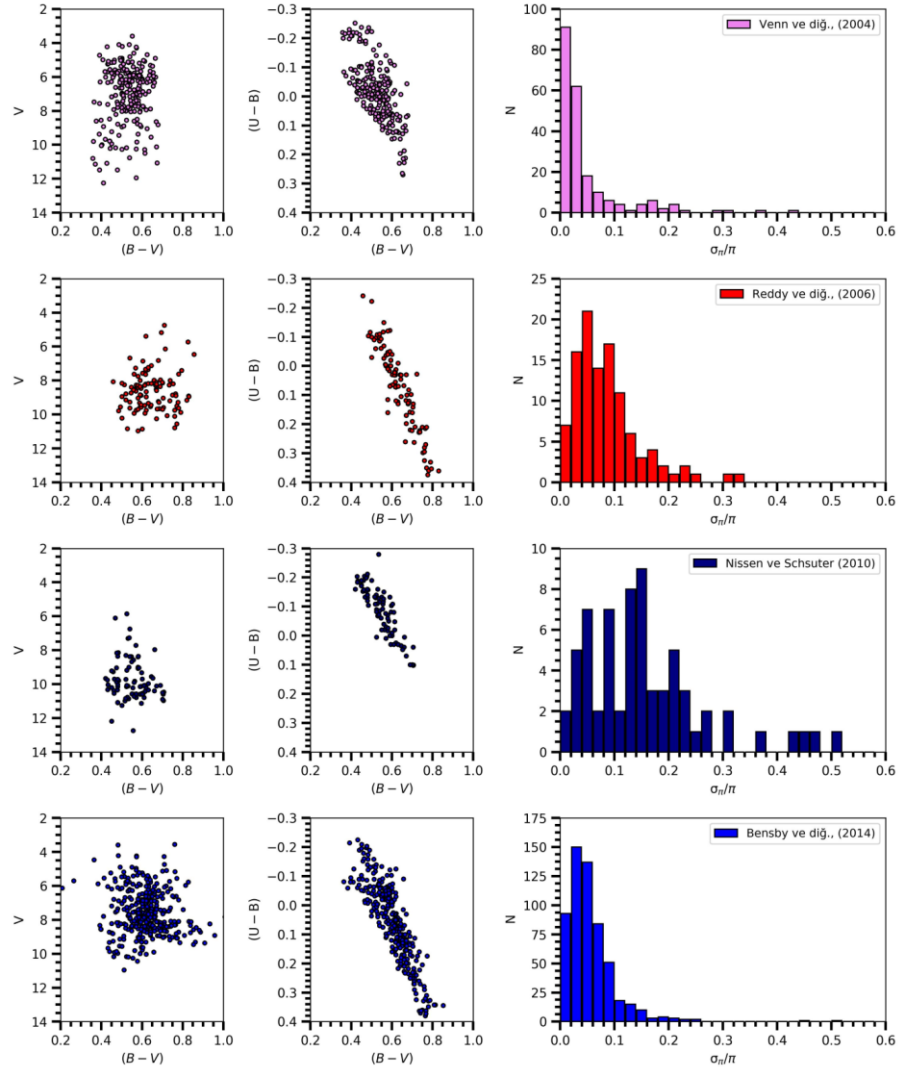
Şekil 3.1: Tayfsal verilerin seçiminde kullanılan dört araştırma grubundaki yıldızların etkin sıcaklık (T_{eff}), yüzey çekim ivmesi ($\log g$) ve metal bolluğu ($[\text{Fe}/\text{H}]$) dağılımları. Pembe, kırmızı, mor ve mavi renk ile belirtilen dağılımlar, sırasıyla, Venn ve diğ. (2004), Reddy ve diğ. (2006), Nissen ve Schuster (2010), Bensby ve diğ. (2014)'nin çalışmalarını göstermektedir.

Tablo 3.1: Örtüşen yıldızların çalışma gruplarına göre dağılımları.

Çalışma grupları	Bensby ve diğ. (2014)	Nissen ve Schuster (2010)	Reddy ve diğ. (2006)	Venn ve diğ. (2004)
Bensby ve diğ. (2014)		17	30	22
Nissen ve Schuster (2010)	17		10	20
Reddy ve diğ. (2006)	30	10		24
Venn ve diğ. (2004)	22	20	24	
Toplam	69	47	64	66

Tablo 3.2: Çoklu örtüşen yıldızların çalışma gruplarına göre sayıları (N).

Çalışma grupları	N
Bensby ve diğ. (2014) $\cap$ Nissen ve Schuster (2010) $\cap$ Reddy ve diğ. (2006) $\cap$ Venn ve diğ. (2004)	7
Bensby ve diğ. (2014) $\cap$ Reddy ve diğ. (2006) $\cap$ Venn ve diğ. (2004)	2
Bensby ve diğ. (2014) $\cap$ Nissen ve Schuster (2010) $\cap$ Venn ve diğ. (2004)	6
Bensby ve diğ. (2014) $\cap$ Nissen ve Schuster (2010) $\cap$ Reddy ve diğ. (2006)	3
Nissen ve Schuster (2010) $\cap$ Reddy ve diğ. (2006) $\cap$ Venn ve diğ. (2004)	2

**Şekil 3.2:** Kalibrasyon yıldızlarının, farklı renkler ile gösterilen, çalışma gruplarına göre oluşturulan renk-parlaklık, iki-renk diyagramları ve rölatif paralaks hataları.

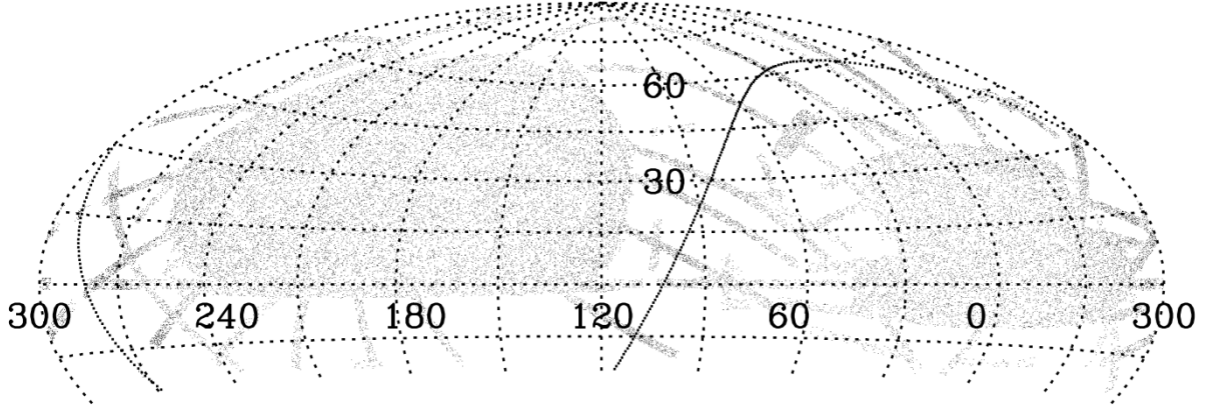
Bensby ve diğ. (2014)'den alınan kalibrasyon yıldızlarının renk-parlaklık diyagramı incelendiğinde yıldızların görünen parlaklıklarının $3 < V < 11$ kadir, renk indekslerinin $0.35 < V < 0.7$ kadir aralığında yer aldıkları görülmektedir (Şekil 3.2). Yıldızlarının $U-B \times B-V$ iki-renk diyagramındaki dağılımları incelendiğinde geniş bir band aralığında yer aldıkları görülmüştür. Yıldızlar model atmosfer parametrelerine göre sınıflandığından iki-renk diyagramı üzerindeki geniş dağılımları yıldızların zengin ve fakir metal bolluklarından kaynaklanmaktadır. Bensby ve diğ. (2014)'nin örneğinden alınan kalibrasyon yıldızlarının rölatif paralaks hatalarının histogramı incelendiğinde $\sigma_{\pi}/\pi = 0.5$ değerine kadar uzandığı görülürken, yıldızların büyük çoğunluğu (yaklaşık %89) $\sigma_{\pi}/\pi \leq 0.1$ değerinde olduğu tespit edilmiştir. Nissen ve Schuster (2010)'den kalibrasyon yıldızı olarak seçilen anakol yıldızlarının renk-parlaklık ve iki-renk diyagramları incelendiğinde görünen V parlaklıklarının $5.5 < V < 13$ kadir ve $B-V$ renk indekslerinin $0.4 < B-V < 0.7$ kadir ve $U-B$ renk indekslerinin $-0.3 < U-B < 0.1$ kadir aralıklarında bulundukları belirlenmiştir (Şekil 3.2). Bu kalibrasyon yıldızlarının rölatif paralaks hatalarının $\sigma_{\pi}/\pi = 0.5$ değerine varan bir dağılımı olduğu fakat yıldızların büyük kısmının $\sigma_{\pi}/\pi \leq 0.3$ değerinde bulunduğu görülmektedir. Reddy ve diğ. (2006)'den seçilen kalibrasyon anakol yıldızlarının renk-parlaklık ve iki-renk diyagramları dikkate alındığında görünen V parlaklıklarının $4 < V < 11$ kadir ve $B-V$ renk indekslerinin $0.45 < B-V < 0.85$ kadir ve $U-B$ renk indekslerinin $-0.25 < U-B < 0.4$ kadir aralıklarında bulundukları belirlenmiştir (Şekil 3.2). Bu kalibrasyon yıldızlarının rölatif paralaks hataları incelendiğinde $\sigma_{\pi}/\pi = 0.35$ değerine varan bir dağılımlarının olduğu fakat yıldızların büyük kısmının $\sigma_{\pi}/\pi \leq 0.15$ değerinde bulunduğu görülmektedir. Son olarak Venn ve diğ. (2004)'den seçilen kalibrasyon anakol yıldızlarının, renk-parlaklık ve iki-renk diyagramları incelendiğinde görünen V parlaklıklarının $3.5 < V < 12.5$ kadir ve $B-V$ renk indekslerinin $0.35 < B-V < 0.7$ kadir ve $U-B$ renk indekslerinin $-0.3 < U-B < 0.3$ kadir aralıklarında bulundukları tespit edilmiştir (Şekil 3.2). Bu kalibrasyon yıldızlarının rölatif paralaks hataları $\sigma_{\pi}/\pi = 0.45$ değerine varan bir dağılımının olduğu fakat yıldızların büyük çoğunluğunun $\sigma_{\pi}/\pi \leq 0.1$ değerinde bulunduğu görülmektedir. Model atmosfer parametrelerine göre sınıflanan (T_{eff} , $\log g$ ve $[Fe/H]$) 991 kalibrasyon yıldızının, fotometrik (V , $B-V$, $U-B$) verilerinden itibaren oluşturulan renk-parlaklık ve iki-renk diyagramlarındaki konumlarıyla uyumlu olduğu görülmüştür (Eker ve diğ., 2018).

3.1.2. SDSS Fotometrik Verileri

Doktora tez çalışmasında oluşturulan fotometrik metal bolluğu ve mutlak parlaklık kalibrasyonlarının SDSS sistemi için üretilmesi ve bu fotometrik sistemin de sönük parlaklıklara kadar duyarlı verilere (g , $u-g$, $g-r$) sahip nesnelerin gözlemiş olması, Galaksimizdeki farklı bileşenlerdeki anakol yıldızlarının metal bolluğu ve uzaklıklarının incelenmesine fırsat verir. SDSS bu özelliklerinden dolayı Galaksinin yapısı, oluşumu ve evrimiyle uğraşan bilim insanları tarafından tercih edilmektedir. SDSS ile ilgili detaylı bilgiler doktora tez çalışmasının Genel Kısımlar Bölüm 2.5'te verilmiştir.

Doktora tez çalışmasında SDSS sisteminin fotometrik verileri SDSS III DR 12'den (Alam ve diğ., 2015) alınmıştır. Bu veri sürümünde, 2008 ile 2014 yılları arasında yapılan fotometrik ve tayfsal gözlemlerin indirgenmiş verileri literatüre kazandırılmıştır. SDSS DR12'de (Alam ve diğ., 2015) 5,200 derece kare büyüklüğündeki yıldız alanlarına ait *ugriz* görüntüleri, SEGUE-2 kapsamında gözlemleri yapılan 138,099 yıldızın 155,520 tayfı; BOSS kapsamında 9,376 derece karelik yıldız alanında incelenen 247,216 yıldız, 294,512 kuazar ve 1,372,737 galaksi gözlemlerinden 2,497,484 tayf; APOGEE ve MARVELS projeleri kapsamında, sırasıyla, incelenen 156,593 yıldızın 618,080 tayfı ve 5,513 yıldızın da 197,040 tayfı bulunmaktadır. Bu veri sürümünde, SDSS projesi kapsamında ilk ışığın alındığı Mayıs 1998 tarihinden 2014 yılına kadar geçen zaman içerisinde tüm gökyüzünün üçte biri *ugriz* bandlarında görüntülenmiş ve incelenen nesnelerin beş milyondan fazla tayfı alınmıştır. SDSS III DR8'den (Aihara ve diğ., 2008) SDSS III DR 12'ye (Alam ve diğ., 2015) kadar geçen süreçteki veri sürümlerinde SDSS III programına uygun olarak gökyüzü görüntüleme ve indirgeme işlemleri yapılmamıştır. Ancak görüntü indirgeme işlemlerinde izlenen algoritmaların zaman içerisinde değişmesi veya geliştirilmesi söz konusu olduğundan, tez çalışmasında SDSS III DR 12 (Alam ve diğ., 2015) ile verilen fotometrik veriler tercih edilmiştir. Fotometrik veriler SDSS'in SQL¹ web sayfasından alınmıştır. 5,280 derece karelik gökyüzü bölgesinde bulunan kaynakların ekvatorial ve Galaktik koordinatları, sönümlemeden arındırılmış *ugriz* parlakları hatalarıyla birlikte istenmiş ve sorgu sonununda 26,719,324 nesnenin verilerine ulaşılmış ve bir fits dosyasına kaydedilmiştir. Fotometrik verilerine ulaşılan nesnelerin ekvatorial koordinatlarındaki konumları *aitoff projeksiyonu* üzerinde Şekil 3.3'te gösterilmiştir.

¹ <https://skyserver.sdss.org/dr12/en/tools/search/sql.aspx>



Şekil 3.3: SDSS III DR12 (Alam ve diğ., 2015) ile incelenen yıldız alanlarının (gri bölgeler) ekvatorial koordinat sistemindeki görüntülerinin aitoff projeksiyonu üzerindeki gösterimi.

3.2. YILDIZLARARASI KIZARMANIN HESAPLANMASI

Kalibrasyonlar için seçilen yıldızlar Güneş civarında bulunsalar bile parlaklık ve renkleri yıldızlararası ortamın neden olduğu sönükleşme ve kızarmadan etkilenmektedir. Bu etkinin ortadan kaldırılması için Schlafly ve Finkbeiner (2011)'in Samanyolu için oluşturdukları kızarma haritasından faydalanılmıştır. NASA Extragalactic Database¹ (NED) web sayfasında yer alan kızarma hesaplama aracı üzerinde, yıldızların Galaktik koordinatları girilerek yıldız doğrultusunda Galaksi sınırına kadar ölçülmüş V bandı sönümleme değerleri elde edilmiştir. Güneş ile yıldızlar arasındaki sönümlemelerin belirlenebilmesi için Bahcall ve Soneira (1980)'nin aşağıda verilen (3.1) bağıntısı kullanılmıştır.

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

Burada b yıldızın Galaktik enlemi, d yıldızın Güneş'ten olan uzaklığı, H tozun yükseklik ölçeği ($H=125$ pc; Marshall ve diğ., 2006), $A_\infty(b)$ yıldız doğrultusunda Schlafly ve Finkbeiner (2011)'in verdiği V bandındaki sönümleme değeri ve $A_d(b)$ de yıldız ile Güneş arasındaki uzaklık için indirgenmiş V bandı sönümleme değeridir.

¹ <https://ned.ipac.caltech.edu>

Yıldızların $E(B-V)$ renk artıklarının hesaplanmasında Cardelli ve diğ. (1989)'nin verdiği bağıntı (3.2) kullanılmıştır.

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

Yıldızların trigonometrik paralaksarı yeniden indirgenmiş *Hipparcos* kataloğundan hatalarıyla birlikte alınmıştır (van Leeuwen, 2007). Yıldızların trigonometrik paralaksarı $d(\text{pc}) = 1000/\pi$ (mas) bağıntısı kullanılarak Güneş'e uzaklıkları hesaplanmıştır. Yıldızların UBV fotometrisinde kızarmadan arındırılmış renkleriyle sönümlemeden arındırılmış V parlaklık hesaplanmasında aşağıdaki bağıntılar kullanılmıştır (Garcia ve diğ., 1988; Cardelli ve diğ., 1989).

$$E_d(U - B) = 0.72E_d(B - V) + 0.05E_d^2(B - V), \quad (3.3)$$

$$(B-V)_0 = (B - V) - E_d(B - V), \quad (3.4)$$

$$(U - B)_0 = (U - B) - E_d(U - B), \quad (3.5)$$

$$V_0 = V - 3.1 \times E_d(B - V). \quad (3.6)$$

Tez çalışmasındaki dört çalışma grubundan oluşturulan katalogdaki kalibrasyon yıldızlarının sönümlemeden ve yıldızlararası kızarmadan arındırılmış parlaklık ve renkleri bağıntılar (3.3) – (3.6) kullanılarak hesaplanmıştır.

3.3. FOTOMETRİK DÖNÜŞÜM FORMÜLLERİ

İki fotometrik sistem arasında köprü görevi gören matematiksel ifadeler *fotometrik dönüşüm formülleri* olarak adlandırılır. Teknolojinin gelişmesine paralel olarak bu yüzyılın başında farklı bilimsel problemleri çözebilmek üzere çok sayıda gökyüzü tarama programı tasarlandı. Bu tarama programlarında kullanılan fotometrik sistemler arasında geçişlerin sağlanabilmesi için fotometrik dönüşüm formülleri gereklidir. Literatürde sık kullanılan ve iyi bilinen *UBVRI* Johnson-Cousins (Cousins, 1976) fotometrik sistemiyle bir geniş bant fotometrisi olan SDSS (Fukugita ve diğ., 1996) arasında dönüşüm formüllerine ihtiyaç duyulmuştur. İki fotometrik sistem arasında ilk dönüşüm formülleri, sentetik olarak Fukugita ve diğ. (1996), gözlemsel olarak da Smith ve diğ. (2002) tarafından literatüre kazandırılmıştır. Fotometrik dönüşüm formülleri yıldızların tayf ve ışınma gücü sınıflarıyla birlikte metal bolluklarına duyarlıdır. Günümüzde sönük nesnelerin standart fotometrisi olarak kabul gören SDSS sistemi için

literatüre kazandırılmış çok sayıda fotometrik dönüşüm formülü bulunmaktadır. SDSS ile diğer fotometrik sistemler arasında oluşturulan fotometrik dönüşüm formülleri, dönüşümü yapılan fotometrik sistemler, yıldız grupları ve yazar künyelerini içerecek şekilde Tablo 3.3'te listelenmiştir.

Tablo 3.3: SDSS ile diğer fotometrik sistemler arasındaki oluşturulan fotometrik dönüşüm formülleri, geçerli olduğu yıldız grupları ve çalışmaları gerçekleştiren yazarların künyeleri.

Yazarlar	Dönüşüm yapılan sistemler	Kullanılan Nesneler	Yazar künyesi
Fukugita ve diğ. (1996)	SDSS - $UBVR_cI_c$	Anakol yıldızları	1996AJ....111.1748F
Smith ve diğ. (2002)	SDSS - $UBVR_cI_c$	Alan yıldızları	2002AJ....123.2121S
Karaali ve diğ. (2003a)	UBV - SDSS	Hyades anakolu	2003PASA...20...270K
Karaali ve diğ. (2005)	UBV - SDSS	Anakol yıldızları	2005PASA...22...24K
Bilir ve diğ. (2005)	$UBVR_cI_c$ - SDSS	Geç tip cüce yıldızlar	2005AN....326..321B
Jordi ve diğ. (2006)	SDSS - $UBVRI$ - RGU	Alan yıldızları	2006A&A...460..339J
Rodgers ve diğ. (2006)	$u'g'r'i'z'$ - $UBVR_cI_c$	Anakol yıldızları	2006AJ....132..989R
Ivezic ve diğ. (2007)	SDSS - $BVRI$	Şerit 82 yıldızları	2007ASPC..364..165I
Davenport ve diğ. (2007)	SDSS - SDSS	Kırmızı yıldızlar	2007AJ.134.2430D
Covey ve diğ. (2007)	SDSS - 2MASS	Anakol yıldızları	2007AJ....134.2398C
Bilir ve diğ. (2008)	2MASS - SDSS - $BVRI$	Cüce yıldızlar	2008MNRAS.384.1178B
Chonis ve Gaskell (2008)	$UBVRI$ - SDSS	Mavi-kırmızı anakol	2008AJ....135..264C
Yaz ve diğ. (2010)	2MASS - SDSS - BVI	Geç tip dev yıldızlar	2010AN....331..807Y
Bilir ve diğ. (2011)	$WISE$ - 2MASS - SDSS - $BVRI$	Cüce yıldızlar	2011MNRAS.417.2230B
Bilir ve diğ. (2012)	$WISE$ - 2MASS - SDSS - BVI	Kırmızı yığın yıldızlar	2012PASA...29..121B
Davenport ve diğ. (2014)	SDSS - 2MASS - $WISE$	Anakol yıldızları	2014MNRAS.440.3430D
Kellogg ve diğ. (2017)	SDSS - 2MASS - $WISE$	L ve T cüce yıldızları	2017AJ....154..112K

Chonis ve Gaskell (2008), SDSS ile $UBVRI$ arasındaki fotometrik dönüşüm formüllerini gözlemsel olarak elde etmiştir. Bu amaç doğrultusunda Chonis ve Gaskell (2008), Landolt (1992) kataloğundaki standart yıldız alanlarını incelemiş ve Landolt (1992)'un standart yıldızlarının $ugriz$ parlaklıklarını SDSS DR5 (Abazajian ve diğ., 2005) veri setinde belirlemiştir. İncelenen bu yıldızlar daha çok parlak, mavi ve kırmızı yıldızları içeren $0.08 < r-i < 0.5$ ve $0.2 < g-r < 1.4$ kadir aralığındadır. Seçilen yıldızlar daha sonra $g-r \times r-i$ iki-renk diyagramına yerleştirilmiş ve duyarlı fotometrik verileri olan yıldızları belirleyebilmek için en küçük kareler yöntemiyle doğrusal bir bağıntı elde edilmiştir. Bu bağıntıdan 2.5 standart sapma değerinden daha büyük konumda bulunan yıldızlar çalışmadan çıkartılmıştır. Örnek içindeki yıldızların $g-r$ ve $r-i$ renkleriyle B, V, R, I parlaklıkları arasında doğrusal bağıntılar elde edebilmek için en küçük kareler yöntemi kullanılarak fotometrik dönüşüm bağıntıları oluşturulmuş ve bağıntılar (3.7) – (3.10)'da verilmiştir. Ancak yıldızların U bandı parlaklıkları genelde sorunlu olduğundan dönüşüm formüllerinin elde edilmesinde bazı özel şartlar getirerek

dönüşüm bağıntısı daha farklı bir şekilde tanımlanmıştır. Bunun için öncelikle parlaklıkları doyum seviyesine ulaşmamış *ugriz* verileri (Abazajian ve diğ., 2005) için *u-g*, *g-r*, *r-i*, *i-z* iki-renk diyagramları oluşturulmuş ve her bir iki-renk diyagramda doğrusal fitler geçirilerek fitlerden 2.5 standart sapma uzaklığında bulunan yıldızlar örnekten çıkartılmıştır. Bu şekilde örnekte kalan yıldızların *u-g* renk indeksleri ve parlaklık aralıkları, sırasıyla, $1 < u-g < 2$ ve $u > 16$ kadirdir. Yukarıda bahsedilen sınırlamalar sonucunda kalan yıldızların *u* ile *U* parlaklıkları arasında sadece bir seviye farkının bulunduğu tespit edilerek bağıntı (3.11)'deki gibi verilmiştir. Johnson-Cousins fotometrik sisteminde *U*, *B*, *V*, *R* ve *I* filtreleri için gözlemsel hatalar, sırasıyla, ± 0.007 , ± 0.007 , ± 0.005 , ± 0.005 ve ± 0.009 kadir verilmiştir.

$$B = g + 0.327 \pm 0.047(g - r) + 0.216 \pm 0.027 \quad (3.7)$$

$$V = g - 0.587 \pm 0.022(g - r) - 0.011 \pm 0.013 \quad (3.8)$$

$$R = r - 0.272 \pm 0.092(r - i) - 0.159 \pm 0.022 \quad (3.9)$$

$$I = i - 0.337 \pm 0.191(r - i) - 0.370 \pm 0.041 \quad (3.10)$$

$$U = u - 0.854 \pm 0.007 \quad (3.11)$$

Doktora tez çalışmasında kullanılan kalibrasyon yıldızlarının *UBV* parlaklık ve renklerinin *ugriz* parlaklık ve renklerine dönüştürülmesi gerekmektedir. Bunun için oluşturulan katalogdaki kalibrasyon yıldızlarının *V*, *B-V* ve *U-B* parlaklık ve renk indekslerinin dönüşümleri için Chonis ve Gaskell (2008)'in fotometrik dönüşüm formüllerinden yararlanılmıştır. Ancak Chonis ve Gaskell (2008)'in fotometrik dönüşümleri *ugriz* fotometrik sisteminden *UBVRI* fotometrik sistemine tanımlandığından elde edilen dönüşüm formüllerinin terslerine ihtiyaç vardır. Dolayısıyla doktora tez çalışmasında, Chonis ve Gaskell (2008)'in dönüşüm formülleri kullanılarak bu bağıntılardan (3.7), (3.8) ve (3.11) ters dönüşüm formülleri bağıntı (3.12), (3.13) ve (3.14) elde edilmiştir.

$$g = V + 0.642 (B - V) \quad (3.12)$$

$$u - g = U - B + 0.358 (B - V) + 0.989 \quad (3.13)$$

$$g - r = 1.094 (B - V) - 0.248 \quad (3.14)$$

3.4. KALİBRASYONLAR VE YILDIZLARIN UZAKLIK TAYİNİ

3.4.1. Metal Bolluğu Kalibrasyonu

Metal bolluğu, yıldızın atmosfer yapısını belirleyen temel astrofizik parametrelerinden biri olup bir yıldızda helyumdan daha ağır elementlerin hidrojene oranıyla tanımlanır. Metal bolluğu değeri *dekaexponansiyel* anlamında gelen *dex* ile ifade edilmektedir. Yıldızların metal bolluğunun belirlenmesinde genelde fotometrik bir yöntem olan mor-ötesi artığı yöntemi kullanılır (örneğin; Sandage, 1969; Carney ve diğ., 1979; Karaali ve diğ., 2003a; 2005; 2011). Doktora tez çalışmasında sönük yıldızların duyarlı fotometrik gözlemlerinin yapıldığı SDSS sisteminde, fotometrik mor-ötesi artığı yöntemiyle alan yıldızlarının metal bolluğu tayin edilmiştir.

Güneş civarındaki yıldızlar HR diyagramı üzerine yerleştirildiğinde, bazılarının anakol yıldızlarının mutlak parlaklığından 2 ile 3 kadir daha sönük bölgelerde yoğunlaştıkları görülmüş ve bunlara *altcüce* isimi verilmiştir (Morgan, Keenan ve Kellman, 1943). Altücelerin detaylı tayfsal analizleri yapıldığında, aynı tayf türündeki anakol yıldızlarının metal çizgilerine göre daha *zayıf* çizgi şiddetlerine sahip oldukları görülmüştür (Roman, 1955). Daha sonra altücelerin *UBV* fotometrik sisteminde fotoelektrik gözlemleri yapılarak $U-B \times B-V$ iki-renk diyagramlarında konumlarıyla Güneş bolluğundaki anakol yıldızlarının $U-B$ renk indeksleri arasında büyük bir mor-ötesi artığının bulunduğu gösterilmiştir (Melbourne, 1960; Wallerstein ve Carlson, 1960; Wildey, 1962; Sandage, 1969). Sandage ve Eggen (1959), Güneş'teki tayfsal metal çizgilerin tek tek çıkartılması durumunda Güneş benzeri bir yıldızın $U-B \times B-V$ iki-renk diyagramındaki konumunu merak etmiş ve blanketing çizgilerinin $(\Delta(U-B)/\Delta(B-V))$ eğimini hesaplamışlardır (bkz Şekil 2.32). Sandage (1969), öz hareket verileri büyük 112 yıldızın kimyasal bollukları ve kinematik özelliklerini dikkate alarak Güneş civarındaki yıldızlar için mor-ötesi artıklarıyla metal bollukları arasında bir ilişkiyi literatüre kazandırmıştır (Şekil 3.4). Yaptığı çalışmada Sandage (1969), yıldızların mor-ötesi artıklarını Güneş bolluğuna yakın ve genç bir açık küme olan Hyades'in anakolunu kullanarak hesaplamıştır. Elde ettiği sonuçlar da $B-V$ renk indeksinin bir fonksiyonu olarak Tablo 3.4'te verilmiştir. Tablodan da görüleceği gibi en büyük mor-ötesi artığının ($\delta_{U-B} = 0.31$ kadir) $B-V = 0.6$ renginde olduğu tespit edilmiştir. Buna karşın $B-V = 0.6$ renk indeksinden daha mavi ve daha kırmızı renklerdeki mor-ötesi artıklarının, sırasıyla, $\delta_{U-B} = 0.25$ ve $\delta_{U-B} = 0.12$

kadirine azaldığını gösterilmiştir. Aynı metal bolluğunda fakat farklı mor-ötesi artıklarındaki bu değerleri normalize edebilmek için en büyük mor-ötesi artışının olduğu $B-V = 0.6$ rengini dikkate alan Sandage (1969), diğer renk indekslerindeki mor-ötesi artıklarını f ismini verdiği giyotin çarpanıyla genişleterek $B-V = 0.6$ renk indeksine normalize etmiştir. Giyotin çarpanları Tablo 3.4'te listelenmiştir.

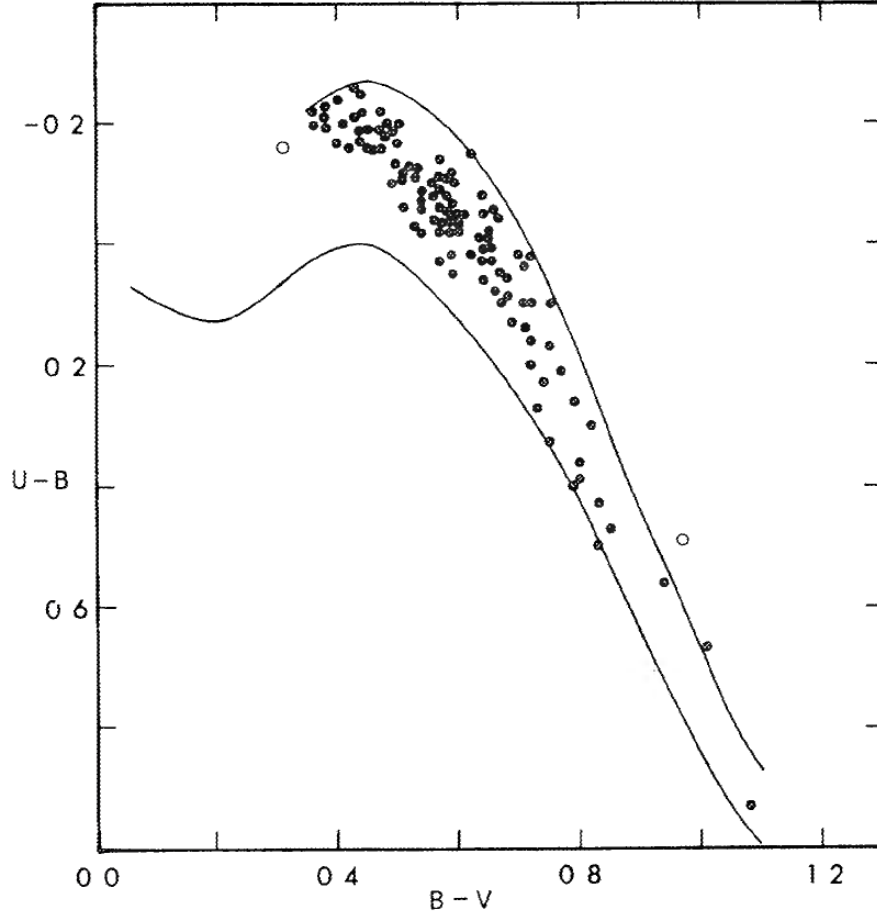
Tablo 3.4: Sandage (1969)'in Güneş civarından seçtiği büyük öz hareketli 112 yıldızı kullanılarak hesapladığı mor-ötesi artıkları ve giyotin çarpanı. İlk iki sütunda Hyades kümesinin $B-V$ ve $(U-B)_H$ renk indeksleri, üçüncü sütunda metalce fakir zarfın $(U-B)_*$ renk indeksi, dördüncü sütunda aynı $(B-V)$ renk indeksine karşılık gelen $U-B$ renk indeks farkı ve son sütunda $B-V = 0.6$ renk indeksine kalibre edilmiş f giyotin değerleri verilmiştir.

$B-V$ (kadir)	$(U-B)_H$ (kadir)	$(U-B)_*$ (kadir)	δ_{U-B} (kadir)	f
0.35	0.03	-0.22	0.25	1.24
0.40	0.01	-0.25	0.26	1.19
0.45	0.00	-0.27	0.27	1.15
0.50	0.03	-0.25	0.28	1.11
0.55	0.08	-0.22	0.30	1.03
0.60	0.13	-0.18	0.31	1.00
0.65	0.19	-0.11	0.30	1.03
0.70	0.25	-0.03	0.28	1.10
0.75	0.34	0.08	0.26	1.19
0.80	0.43	0.19	0.24	1.29
0.85	0.54	0.32	0.22	1.41
0.90	0.64	0.44	0.20	1.55
0.95	0.74	0.55	0.19	1.63
1.00	0.84	0.67	0.17	1.82
1.05	0.94	0.79	0.15	2.06
1.10	0.99	0.87	0.12	2.58

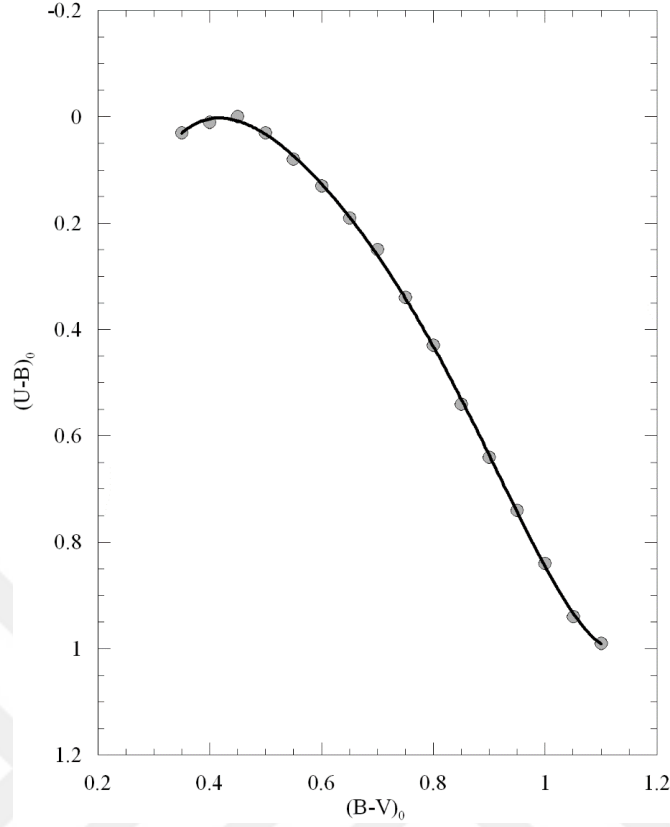
Doktora tez çalışmasının amaçlarından biri, mor-ötesi artışına duyarlı fotometrik metal bolluğu ve mutlak parlaklık kalibrasyonlarını üretmek olduğundan, literatürde astrofizik parametreleri iyi bilinen Hyades açık kümesinin üye yıldızlarının V , $B-V$, $U-B$ parlaklık ve renkleriyle *Hipparcos* trigonometrik paralaksıları dikkate alınmıştır (Sandage, 1969; ESA, 1997; Karaali ve diğ., 2003b). Kalibrasyonlarda Hyades açık kümesinin iki-renk ve renk-parlaklık diyagramları kullanılacağından öncelikle Hyades açık kümesinin güncel fotometrik ve trigonometrik verileri literatürden araştırılmıştır. Hyades kümesinin $U-B \times B-V$ iki-renk diyagramındaki fotometrik veriler Sandage (1969)'in çalışmasından alınmıştır. Sandage (1969), Hyades açık kümesinin anakolunun oluşturulmasında kümedeki yıldızların ortalama $U-B$, $B-V$ renklerini hesaplamış ve anakolun renk uzaylarındaki ağırlık noktalarını belirlemiştir (bkz Tablo 3.4). Bu tablonun ilk iki sütundaki veriler kullanılarak oluşturulan Hyades kümesinin anakolu, $U-B \times B-V$ iki-renk

diyagramı üzerinde işaretlenerek Şekil 3.5'te gösterilmiştir. Bu fotometrik verileri temsil eden beşinci dereceden polinom fonksiyon bağıntı (3.15)'te verilmiştir. Bağıntının korelasyon katsayısı ve standart sapması, sırasıyla, $R^2 = 0.999$ ve $\sigma = 0.007$ kadirdir.

$$(U - B)_0 = 2.791(0.702) - 20.567(5.558) \times (B - V)_0 + 58.355(16.920) \times (B - V)_0^2 - 81.837(24.938) \times (B - V)_0^3 + 59.220(17.631) \times (B - V)_0^4 - 17.115(4.857) \times (B - V)_0^5 \quad (3.15)$$



Şekil 3.4: Sandage (1969)'in çalışmasında kullandığı 112 yıldızın $U-B \times B-V$ iki-renk diyagramındaki konumları. Yıldızların altındaki ve üstündeki düz çizgiler, sırasıyla, Hyades açık kümesinin anakolu ve metalce fakir zarfını göstermektedir. Çember sembolü tayfsal olarak keşfedilen çift yıldızları ifade etmektedir.



Şekil 3.5: Hyades kümesinin anakolunu elde edilmesi için renk uzaylarında ağırlıklandırılmış verilerden oluşturulan (daire sembolü) $U-B \times B-V$ iki-renk diyagramı (Sandage, 1969). Eğri ağırlıklandırılmış veriye uygulanan beşinci dereceden polinom fiti göstermektedir.

δ_{U-B} mor-ötesi artığı, yıldızların metal bolluklarının tayini için duyarlı bir parametre olup bağıntı (3.16) ile gösterilmiştir.

$$\delta_{U-B} = (U - B)_{Hyades} - (U - B)_{Yıldız} \quad (3.16)$$

Burada δ_{U-B} , UBV sistemindeki mor-ötesi artığını, $(U-B)_{Hyades}$, bir yıldızın $B-V$ rengine karşılık gelen Hyades kümesindeki $U-B$ rengini ve $(U-B)_{Yıldız}$ da, yıldızın $U-B$ rengini ifade etmektedir. Sandage (1969)'in tanımladığı normalize edilmiş mor-ötesi artığı bağıntıyla (3.17) verilmiştir:

$$\delta_{0.6} = f \times \delta_{U-B} \quad (3.17)$$

Burada $\delta_{0.6}$ $B-V = 0.6$ renk indeksindeki artığa göre normalize edilmiş mor-ötesi artığı ve f giyotin çarpanını göstermektedir. Sandage (1969)'in $0.35 < B-V < 1.1$ kadir aralığındaki 16 ağırlıklandırılmış nokta için hesapladığı f değerlerini daha duyarlı belirleyebilmek için doktora tez çalışmasında $B-V$ renk indeksleriyle f değerleri arasındaki ilişki ayrıca araştırılmıştır.

Tablo 3.4’te verilen $B-V$ renk indeksleriyle f değerleri arasındaki ilişki Şekil 3.6’da gösterilmiş olup veriler arasındaki en iyi uyum altıncı dereceden bir polinom fonksiyon ile temsil edilmiştir.

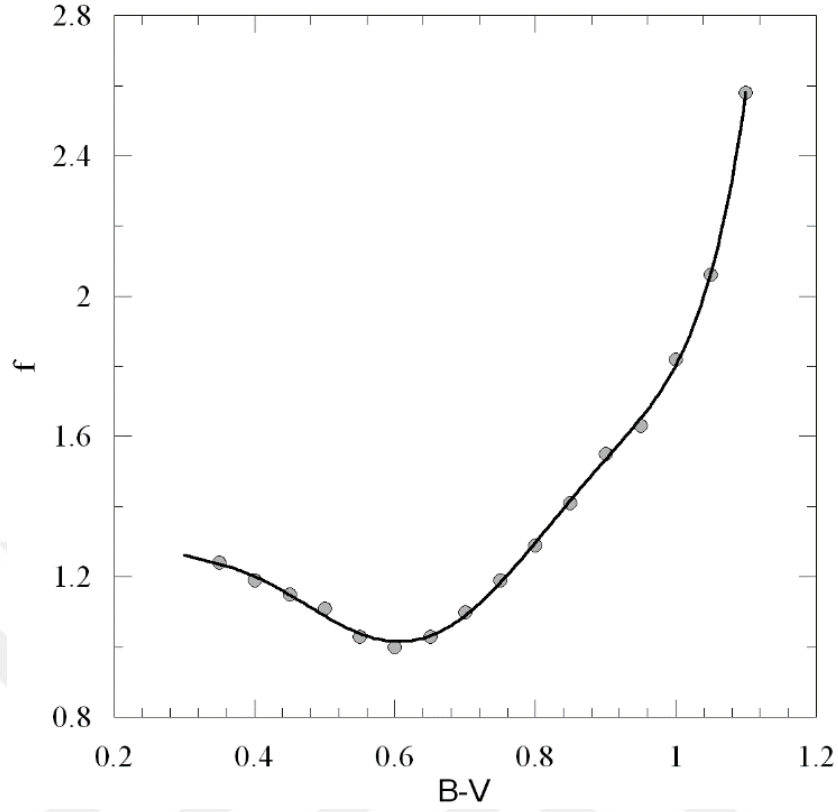
$$f = 8.175 - 83.963(B - V)_0 + 409.970(B - V)_0^2 - 1018.242(B - V)_0^3 + 1341.239(B - V)_0^4 - 889.844(B - V)_0^5 + 234.468(B - V)_0^6 \quad (3.18)$$

Şimdiye kadar verilen tanımlar ve hesaplamalarda kullanılacak temel bağıntılar UBV fotometrisi için üretilmiştir. Tez çalışmasında SDSS fotometrik verileri kullanılacağından yukarıda bahsedilen bağıntılar SDSS fotometrik sistemine çevrilmesi gerekmektedir. Bu aşamadan sonra fotometrik metal bolluğu tayini için kullanılacak yöntem, literatüre bağlı kalınarak, aşağıda açıklanmıştır.

Doktora tez çalışmasında fotometrik metal bolluğu ve mutlak parlaklık kalibrasyonları SDSS sisteminde üretileceğinden ve kalibrasyon yıldızlarının fotometrik verileri de UBV sisteminde verildiğinden, kalibrasyon yıldızlarının UBV verileri öncelikle fotometrik dönüşüm formülleri kullanılarak SDSS sistemine çevrilmelidir. Bu aşamadan sonra fotometrik metal bolluğu kalibrasyonunun üretilebilmesi için literatürden seçilen anakol yıldızlarının tayfsal metal bolluklarının derlenmesi ve SDSS sisteminde mor-ötesi artıklarının hesaplanarak $[Fe/H] \times \delta_{u-g}$ düzlemi üzerine işaretlenmesi gerekir. Bu hassas veriler üzerinden yüksek dereceden geçirilecek bir polinom fonksiyon ile mor-ötesi artıkların tayfsal metal bollukları arasındaki ilişki belirlenecektir. Örneğin Karaali ve diğ. (2003a; 2011) oluşturdukları fotometrik metal bolluğu bağıntılarını, sırasıyla, üçüncü ve ikinci dereceden vermişlerdir. Doktora tez çalışmasında duyarlı benzer bir bağıntının hesaplamasında en az üçüncü dereceden bir polinom fonksiyon dikkate alınacaktır (bağıntı 3.19):

$$[Fe/H] = a + b \times \delta_{u-g} + c \times \delta_{u-g}^2 + d \times \delta_{u-g}^3 \quad (3.19)$$

Burada, $[Fe/H]$ tayfsal metal bolluğunu, δ_{u-g} normalize edilmiş mor-ötesi artığını, a , b , c , d , sırasıyla, polinomun katsayılarını ifade etmektedir. Ayrıca bu bağıntıdaki korelasyon katsayı ve standart sapma dışında hesaplanan ve tayfsal metal bollukları arasındaki farkların mor-ötesi artıklarıyla olan ilişkisi incelenerek, sistematik farklılıkların olup olmadığı araştırılacaktır. Buradaki yöntemin detayları, elde edilen kalibrasyonlar ve sonuçlar tez çalışmasının Bulgular kısmında detaylı bir şekilde anlatılacaktır.



Şekil 3.6: Sandage (1969)'in $B-V$ renk indeksleriyle f giyotin çarpanları arasındaki dağılım (daire sembolü). Eğri bu verilere uygulanan altıncı dereceden polinom fitini göstermektedir.

3.4.2. Mutlak Parlaklık Kalibrasyonu

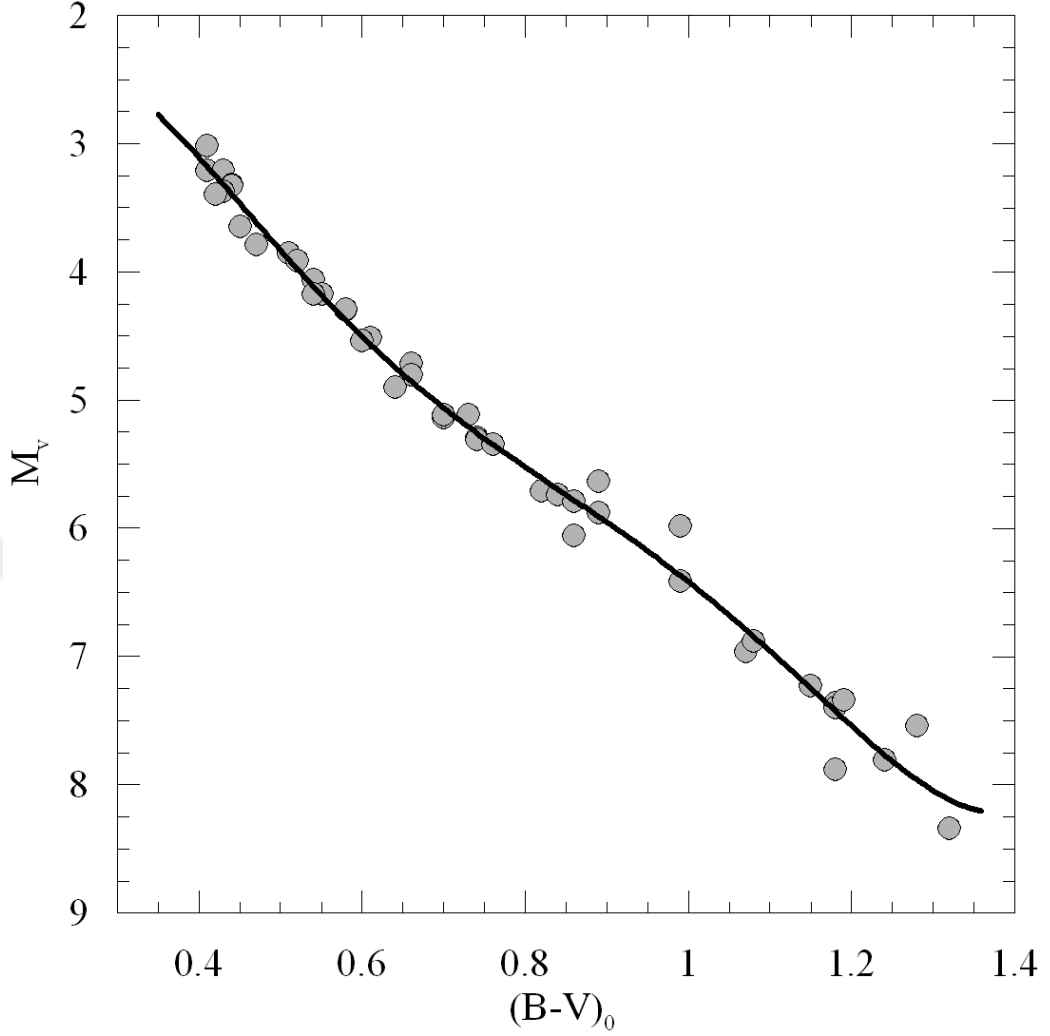
Güneş civarındaki parlak alan ve küme yıldızlarının uzaklıkları literatürde iyi bilinen yöntemler (trigonometrik paralaks ve anakol çakıştırma yöntemi) ile belirlenebilirken, daha sönük alan yıldızlarının uzaklıklarının tayin edilmesi daha zordur. Sönük parlaklıklara doğru gidildikçe yıldızların popülasyon türleri değişmeye başladığından metal bolluklarının uzaklık tayininde önemli bir rolü olur. Bu durum en iyi yakın yıldızların HR diyagramı üzerindeki anakol ve alt cüce yıldızlarının konumlarından görülebilir (Morgan ve diğ., 1943). Ayrıca sönük yıldızların metal bollukları da henüz tüm yıldızlar için tayfsal gökyüzü tarama programlarıyla belirlenemediğinden metalce fakir yıldızların uzaklıkları belirsizliğini korumaktadır. Sönük yıldızların uzaklık probleminin çözüme kavuşturulabilmesi için 1980'li yıllardan bu yana özellikle orta tayf türündeki anakol yıldızlarının tayfsal ve astrometrik verilerinin bir arada incelenmesiyle oluşturulan fotometrik mutlak parlaklık kalibrasyonları ön plana çıkmıştır (Laird ve diğ., 1988). Zaman içerisinde yer tabanlı trigonometrik paralaks ölçümleri yerini

Hipparcos uydusundan sağlanan astrometrik verilere bırakmıştır (ESA, 1997). Bu aşamadan sonra literatürde artan tayfsal çalışmalar ve *Hipparcos* trigonometrik verilerinin bir arada kullanılmaya başlanmasıyla mutlak parlaklık kalibrasyon çalışmaları yeniden hız kazanmıştır (Karaali ve diğ., 2003b; 2005; Karataş ve Schuster, 2006). Tayfsal ve astrometrik verilerdeki duyarlılığın artması Güneş civarındaki yakın komşumuz Hyades açık kümesinin önemi daha da arttırmıştır (Perryman ve diğ., 1998). Yıldızlararası kızarması bulunmayan, 650 milyon yıl yaşında ve çoğu yıldızlarının trigonometrik paralakslarının bilinmesi Hyades açık kümesinin kalibrasyon çalışmalarında iyi bir araç olarak kullanılmasını mümkün kılmıştır (Laird ve diğ., 1988; Karaali ve diğ., 2003a; 2005). Karaali ve diğ. (2003a) kümeye üyelikleri *Hipparcos* astrometrik verileriyle (ESA, 1997) belirlenen 45 Hyades anakol yıldızını kullanarak bu açık küme için analitik olarak renk-parlaklık ilişkisini hesaplamıştır. *Hipparcos* verilerinin literatüre kazandırılmasından 10 yıl sonra indirgeme aşamalarında meydana gelen problemlerin üstesinden gelebilmek için van Leeuwen (2007) geliştirdiği yeni bir algoritmayla *Hipparcos* ham verilerini yeniden indirgemıştır. Doktora tez çalışmasında, Hyades'e üye 45 anakol yıldızının yeniden indirgenen *Hipparcos* verileri kullanılarak kümenin anakolu daha hassas belirlenmiştir. Yıldızların trigonometrik paralaks ve görünen V parlaklıkları bilindiğinden Pogson bağıntısı kullanılarak her bir yıldızın M_V mutlak parlaklıkları hesaplanmış ve kümeye üye yıldızların $M_V \times (B-V)_0$ renk-parlaklık diyagramı Şekil 3.7'de gösterilmiştir. Verilere kümenin anakolunu temsil etmek üzere beşinci dereceden bir eğri geçirilmiş ve elde edilen bağıntı (3.20)'de verilmiştir.

$$M_V = 5.661(3.185) - 36.582(22.392) \times (B - V)_0 + \frac{133.228(58.043) \times (B - V)_0^2 - 188.632(72.402) \times (B - V)_0^3 + 122.703(43.577) \times (B - V)_0^4 - 29.961(10.156) \times (B - V)_0^5}{(3.20)} \quad (3.20)$$

Bağıntının korelasyon katsayısı ve standart sapması, sırasıyla, $R^2 = 0.989$ ve $\sigma = 0.164$ kadardır.

Doktora tez çalışmasında kullanılacak fotometrik paralaks yönteminde Hyades açık kümesinin anakolu temel alınacağı için 45 yıldızın UBV fotometrik verileri Chonis ve Gaskell (2008)'in ters fotometrik dönüşüm formülleriyle SDSS sistemine çevrilmesi gerekmektedir. Yukarıda bahsedilen yöntem ile 45 yıldızın M_g mutlak parlaklıkları hesaplanmış ve $M_g \times (g-r)_0$ düzleminde Hyades anakolu oluşturulmuştur.



Şekil 3.7: Hyades açık kümesine üye 45 anakol yıldızının (daire sembolü) $M_V \times (B-V)_0$ renk-parlaklık diyagramı. Eğri verilere uygulanan beşinci dereceden polinom fonksiyonu gösterir.

SDSS sisteminde mor-ötesi artığın bir fonksiyonu olarak seçilen kalibrasyon yıldızlarının $(g-r)_0$ rengine karşılık gelen Hyades anakolu mutlak parlaklığıyla, yıldızın *Hipparcos* verilerinden hesaplanmış mutlak parlaklıkları arasındaki fark ile tayin edilecektir. Kalibrasyon yıldızlarının mutlak parlaklık farkları (ΔM) bağıntısıyla (3.21) tanımlanmıştır. Kalibrasyonda kullanılacak yıldızların g görünen parlaklıkları ve trigonometrik paralaksarı (π) Pogson bağıntısıyla yıldızların, M_g mutlak parlaklıkları hesaplanacaktır. ΔM değeri bağıntı (3.21) ile hesaplanarak kalibrasyon yıldızlarının mutlak parlaklıklarının belirlenmesinde kullanılacaktır.

$$\Delta M = M_g - M_{g(Hyades)} \quad (3.21)$$

Burada M_g *Hipparcos* verilerinden hesaplanmış mutlak parlaklığı, $M_{g(Hyades)}$, Hyades anakolu mutlak parlaklığını, ΔM de *Hipparcos* verilerinden hesaplanmış mutlak parlaklığıyla Hyades anakolu mutlak parlaklığın farkını ifade etmektedir. Bağıntı (3.21) ile hesaplanan ΔM değerleri

ile δ_{u-g} mor-ötesi artığı arasındaki ilişkiyi incelenmek için $\Delta M \times \delta_{u-g}$ dağılımı oluşturulacak ve bu dağılımı en iyi temsil eden eğri için yüksek dereceden (üçüncü) bir polinom hesaplanacaktır. Elde edilen bağıntının genel ifadesi bağıntı (3.22) ile verilmiştir.

$$\Delta M = a + b \times \delta_{u-g} + c \times \delta_{u-g}^2 + d \times \delta_{u-g}^3 \quad (3.22)$$

Burada a , b , c ve d polinomun katsayılarıdır. Uygulama aşamasında bir yıldızın mor-ötesi artığı bilindiğinden bağıntı (3.22)'den ΔM değeri hesaplanacak ve (3.21) bağıntısında ΔM ve $M_g(\text{Hyades})$ verileri yerine yazılarak yıldızın M_g mutlak parlaklığı elde edilecektir. Doktora tez çalışmasında mutlak parlaklık kalibrasyonu SDSS verileri için de, aynı yöntemlerden yararlanılarak, mor-ötesi artığının bir fonksiyonu olarak hesaplanacaktır.

3.4.3. Uzaklık Tayini

SDSS fotometrisi için üretilen mutlak parlaklık kalibrasyonu g bandında M_g mutlak parlaklık değerlerini orta tayf türündeki anakol yıldızları için hesaplar. Yıldızların g_0 ve M_g değerleri bilindiğinden yıldızların Güneş'e uzaklıkları Pogson bağıntısıyla kolaylıkla hesaplanır:

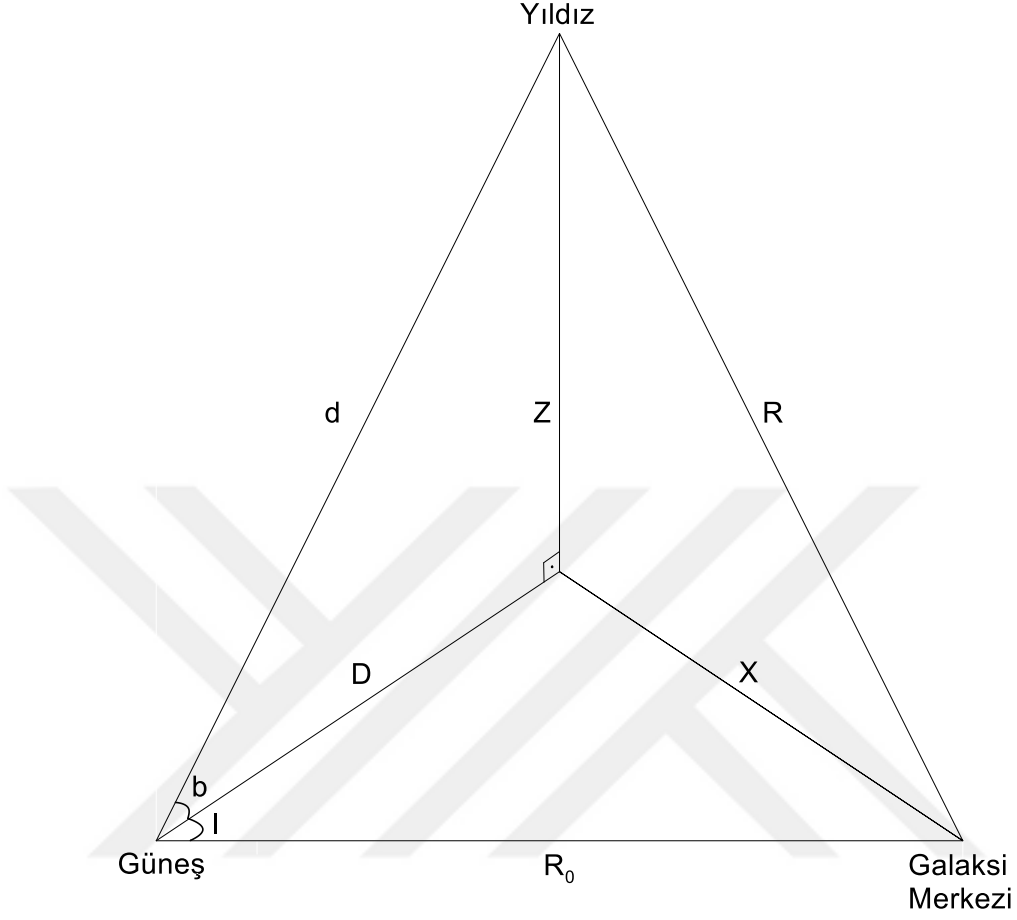
$$g_0 - M_g = 5 \log d - 5 \quad (3.23)$$

Burada d yıldızın Güneş'e uzaklığı olup pc biriminde verilir. Doktora tez çalışmasında farklı doğrultular için metal bolluğu gradyentleri hesaplandığından sadece incelenen yıldızların d uzaklıkları dışında Galaktik düzlemden dik doğrultuda (Z) ve Galaksi merkezinden radyal doğrultulardaki (R) uzaklıklarının da belirlenmesi gerekmektedir. Bir yıldızın Güneş'e ve Galaksi merkezine göre Galaktik koordinatlardaki konumu ve uzaklıkları Şekil 3.8'de verilen şematik çizim ile gösterilmiştir.

Şekil 3.8'den de görüleceği gibi bir yıldızın Galaktik düzlemden dik doğrultudaki Z uzaklığı bağıntı (3.24) ile verilmiştir:

$$Z = d \times \sin b \quad (3.24)$$

Burada d , Pogson bağıntısından hesaplanan yıldızın uzaklığı, b yıldızın Galaktik enlemini ifade eder. Literatürde genellikle yakın yıldızlar incelendiğinden uzaklıklar Güneş'e göre verilir. Sönük parlaklıktaki yani uzak yıldızların incelenmesi söz konusu olduğunda ise uzaklıklar Galaksi merkezine taşınır.



Şekil 3.8: Güneş merkezli Galaktik koordinat sisteminin Galaksi merkezli koordinat sistemine taşınmasını gösteren şematik çizimi¹.

Yıldızların Galaksi merkezine uzaklıklarının belirlenebilmesi için Galaktik koordinatları (l, b) ve Güneş'e uzaklıklarının bilinmesi gerekir. Bu veriler kosinüs teorimi yardımıyla Güneş merkezli Galaktik koordinat sisteminden Galaksi merkezli koordinat sistemine geçişi sağlar (bkz Şekil 3.8). Bu durumda yıldızın Galaksi merkezine uzaklığı bağıntı (3.25) ile verilir:

$$R = \sqrt{R_0^2 + d^2 \cos^2 b - 2 R_0 d \cos b \cos l + \frac{d^2 \sin^2 b}{\eta^2}}. \quad (3.25)$$

Burada, R_0 Güneş'in Galaksi merkezine uzaklığını ($R_0 = 8$ kpc; Majewski, 1993) ve η da Galaksinin eksen (c/a) basıklık oranıdır ($\eta = 0.85$, Carney ve diğ., 1996).

¹ http://www.thinkastronomy.com/M13/Manual/common/galactic_coords.html

3.6. METAL BOLLUĞU GRADYENTİ

Belli bir Galaktik koordinat doğrultusundaki (l , b) yıldızların hesaplanmış uzaklıklarıyla (R veya Z) metal bollukları ($[Fe/H]$) arasındaki dağılıma geçirilen doğrusal fitin eğimi, literatürde *metal bolluğu gradyenti* olarak tanımlanır ve bağıntı (3.26)'daki gibi verilir.

$$d[Fe/H]/dr = a[Fe/H] + b \quad (3.26)$$

Burada, r uzaklığı, a ve b bağıntının, sırasıyla, eğimini ve sabitini gösterir; yani a katsayısı metal bolluğu gradyentini verir.

Metal bolluğu gradyentleri, Galaksimizin çökerek, birleşerek veya bunların hibriti sonucunda oluştuğunu öneren senaryoların sınanmasında oldukça önemlidir. Yapılan çalışmalarda metal bolluğu gradyentinin bulunması durumunda Galaksimizin çökerek oluştuğu, metal gradyentinin bulunamaması durumunda ise Galaksimizin önemli miktarda gaz akışı sonucu birleşmelerden oluştuğu senaryoları kabul görür. Tanımlanmış çeşitli uzaklıklar kullanılarak hesaplanan radyal ve dik metal bolluğu gradyentleri Galaksimizin geçmişi hakkında bilgilere ulaşılmasını sağlar.

3.6.1. Galaksi Merkezinden Radyal Doğrultudaki Metal Bolluğu Gradyenti

Galaksi merkezinden belli bir doğrultuda metal bolluğu gradyenti hesaplanırsa buna *radyal metal bolluğu gradyenti* adı verilir. Radyal metal bolluğu gradyenti için yıldızların Galaksi merkezinden uzaklığı (R) dikkate alınır ve bağıntısı (3.27)'deki gibi ifade edilir:

$$d[Fe/H]/dR = a[Fe/H] + b \quad (3.27)$$

Burada a ve b bağıntının, sırasıyla, eğimini ve sabitini gösterir. Galaksimizin herhangi bir bileşeni için hesaplanan radyal metal bolluğu gradyentinin belirlenmesi durumunda, Galaksimizin incelenen bileşeninin *içten dışa doğru* bir oluşum senaryosuna dair kanıt sağlanmış olur (Chiappini ve diğ., 1997).

3.6.2. Galaktik Düzleme Dik Doğrultudaki Metal Bolluğu Gradyenti

Galaktik düzlemde dik doğrultudaki uzaklıklar için metal bolluğu gradyenti hesaplanırsa buna *Galaktik düzleme dik doğrultudaki metal bolluğu gradyenti* denir. Galaktik düzlemin dik doğrultularında hesaplanan metal bolluğu gradyentleri üzerine yapılan çalışmalarda iki farklı

dik uzaklık kullanılır. 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 uzaklıklarıyla Z_{max} ifade edilir. Bu doktora tez çalışmasında Z değerleri kullanılmıştır. Genel olarak ifade aşağıda bağıntıyla (3.28) gösterilir:

$$d[\text{Fe}/\text{H}]/dZ = a[\text{Fe}/\text{H}] + b. \quad (3.28)$$

Burada a ve b bağıntının, sırasıyla, eğimini ve sabitini gösterir. Bir Galaktik bileşen için Galaktik düzlemden dik doğrultudaki metal bolluğu gradyentinin belirlenmesi durumunda söz konusu Galaktik bileşenin düzenli bir çökme yoluyla oluştuğunun kanıtı olarak değerlendirilir (ELS, 1962).

3.7. SDSS FOTOMETRİSİNDE YILDIZLARIN FARKLI CİSİMLERDEN TEMİZLENMESİ

SDSS fotometrik gözlem stratejisi gereği hem parlak hem de sönük nesneleri incelemek için tasarlandığından, Galaksi ve galaksi-dışı nesnelerin ayırımında ciddi sorunlar ile karşılaşmıştır (Newberg ve Yanny, 1997). Bu sorunların üstesinden gelebilmek için, SDSS'in ilk zamanlarında anakol yıldızları, çok yoğun emisyon çizgili galaksiler (CELG), beyaz cüceler (WD) ve kuazarlar (QSO) gibi farklı türden nesnelerin karakteristik akı dağılımları *ugriz* sisteminde sentetik olarak ölçülmüş ve sayısal benzetimler (simülasyonlar) kullanılarak seçilen nesne türlerinin SDSS'deki renk uzaylarındaki konumları belirlenmiştir (Fan, 1999). Bununla birlikte, bu sayısal benzetimlerde kuzarlar için fotometrik kırmızıya kayma (z) değerleri de sentetik olarak hesaplanmış ve renk uzaylarında gösterilmiştir. SDSS'in artan fotometrik ve tayfsal verilerinin incelenmeye başlanmasıyla, farklı türden nesnelerin renk uzaylarındaki ayırımı için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir (Helmi ve diğ., 2003; Juric ve diğ., 2008). Doktora tez çalışmasında bu amaç için birden fazla yöntem kullanılmış ve bunlar aşağıdaki bölümlerde detaylı olarak anlatılmıştır.

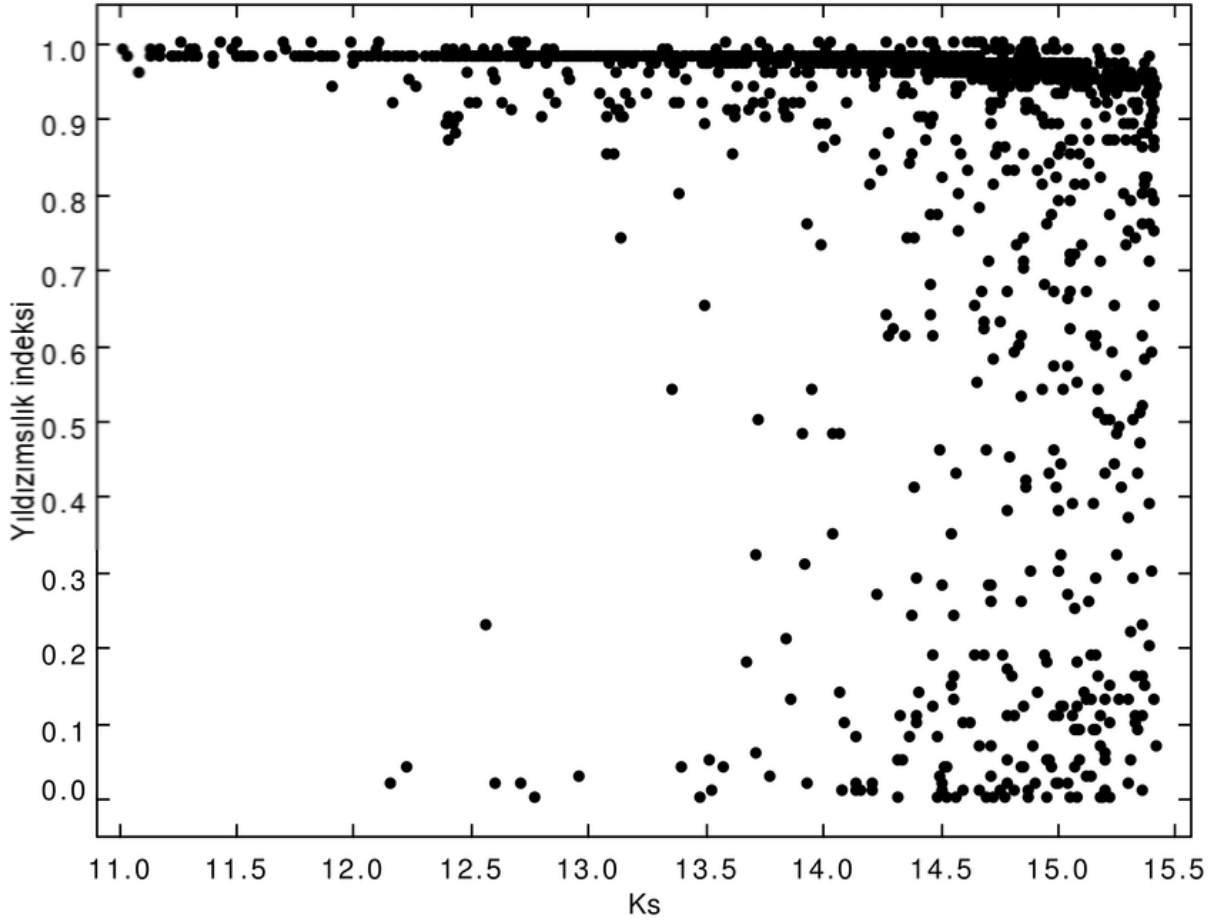
3.7.1. Farklı Türden Nesnelerin Ayırımı

Fotometrik gözlemlerden en kolay ayırımı yapılan nesne türü farklı morfolojik yapıları bulunan galaksilerdir. CCD görüntüsü üzerinde nokta kaynaklar ile basık görünümlü nesnelerin ayırımı, parlaklıklar ve görüntü çapları arasındaki ilişki dikkate alınarak yapılmaktadır. Bertin ve

Arnouts (1996) yıldız alanlarındaki kaynakların CCD görüntüsü üzerindeki yapısal parametrelerinden yıldız/galaksi-dışı ayrımını yapan bir yöntem geliştirmiştir. Hazırlamış oldukları *kaynak-çıkartıcı yıldızlımsılık indeksi* isimli yazılımlarıyla (Sextractor; Source-Extractor Stellerity Index) CCD görüntüsündeki her bir kaynak için 0 ile 1 arasında verilen yıldızlımsılık indeksi (YI) parametresi üretmişlerdir (Bertin ve Arnouts, 1996). Buna göre $YI = 1$ 'e yakın değerlerde bulunan kaynakların *yıldız*, $YI = 0$ 'a yakın değerlerde olanların ise galaksi-dışı nesneler olduğunu ifade edilmiştir. Bir yıldız alanında kaynakların Bertin ve Arnouts (1996)'un yöntemine göre hesaplanan yıldızlımsılık indeksiyle K_S görünen parlaklıkları arasındaki dağılım Şekil 3.9'da gösterilmiştir (Coldwell ve diğ., 2014). Yıldızlımsılık indeksi $YI = 0.8$ 'den daha büyük ve eşit olanlar nokta kaynak, yani yıldız, $YI = 0.8$ 'den daha küçük değerdekiler ise galaksi-dışı nesneler olarak sınıflandırılmıştır.

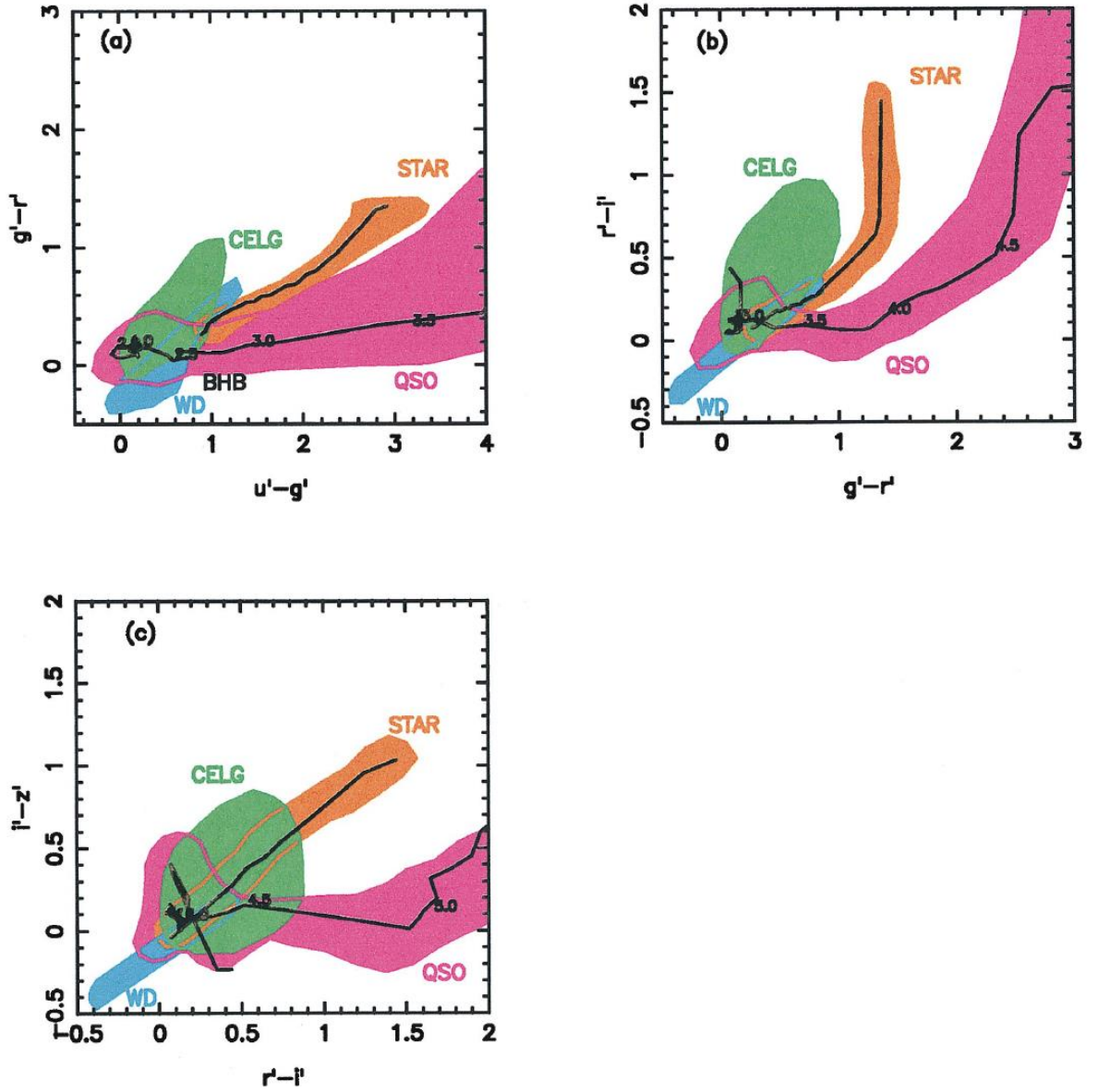
SDSS fotometrisinde alınan CCD görüntülerinde nokta yayılım fonksiyonuyla gözlenen nesnelerin parlaklıkları ölçülerek, bu nesnelerin nokta kaynaktan saçılmaları hakkında bilgi sahibi olunabilir. Doktora tez çalışmasında gözlenen her nesnenin YI analizi yapılmıştır. Bunun için SDSS web sayfasındaki *SQL* kodunun (*probPSF*) yazıldığı ilgili alana 1 değeri yazılarak nesneler çağırılmış ve nokta kaynaklar seçilmiştir. Fakat bu ayrım sönük parlaklıklarda iyi sonuç vermediği için buna ek olarak SDSS sisteminde Fan (1999)'ın geliştirdiği renk sayısal benzetimleri de uygulanmıştır.

SDSS fotometrisinde farklı türden nesnelerin ayrımı için Fan (1999), sentetik veriler kullanarak SDSS renk uzayında sayısal benzetimler yapmıştır. Bu sayısal benzetimler, yıldız veya galaksi-dışı nesnelerin tayfsal enerji dağılımı üzerinde kullanılan fotometrik sistemin duyarlılık fonksiyonlarından elde edilen renklerin iki-renk diyagramlarındaki konumlarıdır. En iyi ayrımın, $(g'-r' \times r'-i')$ iki-renk diyagramıyla yapılabildiği görülmektedir. Fan (1999)'ın SDSS sistemi için hazırladığı sayısal benzetimlerin iki-renk diyagramları Şekil 3.10'da verilmiştir.



Şekil 3.9: Bir yıldız alanında yıldız-galaksi ayırmında kullanılan kaynakların yıldızimsılık indeksiyle K_s görünen parlaklıkları arasındaki dağılım (Coldwell ve diğ., 2014).

Tez çalışmasında sönük parlaklıklarda yıldız örneğindeki kuazarların belirlenmesinde Fan (1999)'ın renk uzaylarındaki sayısal benzetimlerinden yararlanılmıştır. Ayrıca sönük parlaklıklarda SDSS fotometrisinde düşük kırmızıya kayma gösteren kuazarların yıldız örneğinden ayrılması için Chen ve diğ. (2001) $u-g > 0.5$ kadir şartını getirmişlerdir. Bu tez çalışmasında yıldız alanı doğrultusundaki nokta kaynak olarak görülen kuazar gibi galaksi-dışı kaynakların örneği etkilememesi için öncelikle parlaklık ve renklere, sırasıyla, $g_0 < 23$ ve $(u-g)_0 > 0.5$ kadir sınırlaması getirilmiştir (Chen ve diğ., 2001).



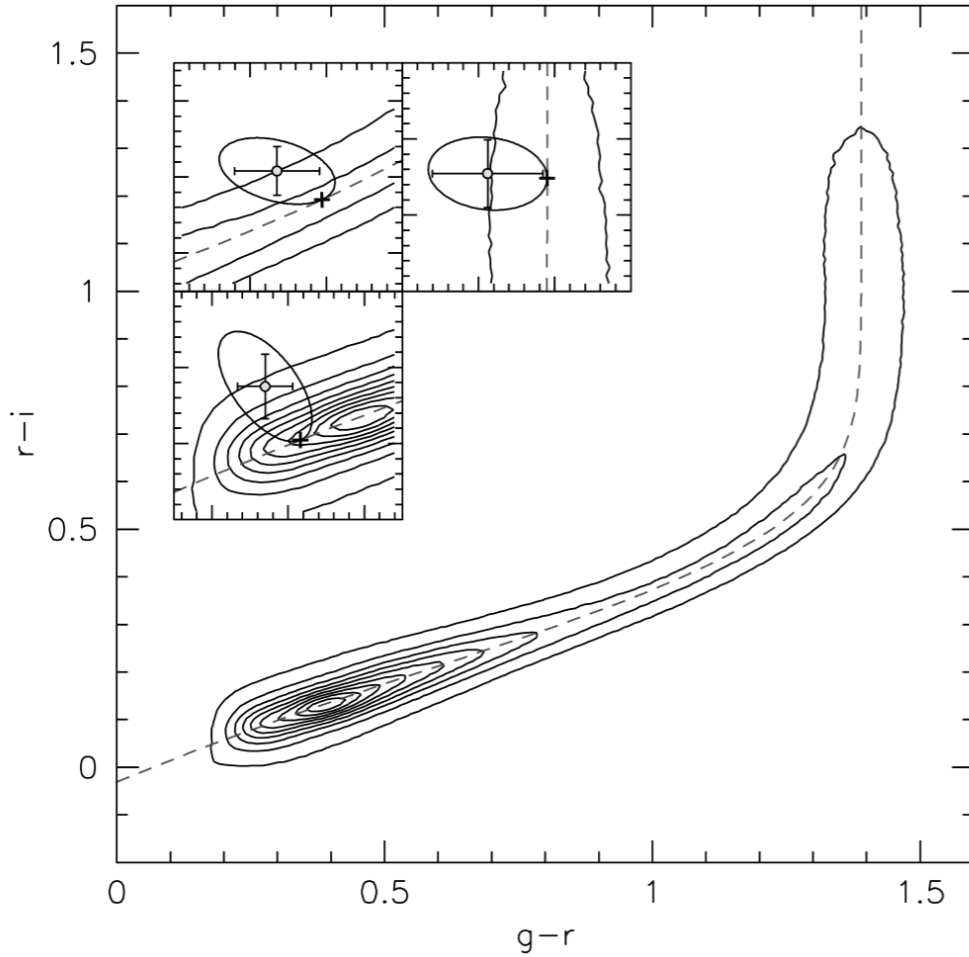
Şekil 3.10: SDSS sistemindeki iki-renk diyagramları üzerinde farklı türden nesnelerin sayısal benzetimlerinden belirlenen konumları (Fan, 1999). (a) $(u'-g' \times g'-r')$, (b) $(g'-r' \times r'-i')$ (c) $(r'-i' \times i'-z')$. Burada, WD: Beyaz cüce, CELG: Sıkışık emisyon çizgili galaksi, STAR: yıldız ve QSO: kuazarı ifade eder.

Juric ve diğ. (2008) 6,500 derece kare büyüklüğündeki yıldız alanında bulunan anakol yıldızlarının *ugriz* verilerini kullanarak Galaksimizdeki popülasyonların temel parametrelerini belirlemişlerdir. Çalışmalarındaki anakol yıldızlarının seçiminde, SDSS’de gözlenen nesnelerin $g-r \times r-i$ iki-renk diyagramlarını oluşturmuşlar ve yıldızların renk uzaylarındaki yerlerini dikkate alarak yaklaşık 48 milyon yıldızı çalışmalarına katmışlardır. Juric ve diğ. (2008) oluşturdukları $g-r \times r-i$ iki-renk diyagramında anakol yıldızlarının ağırlık noktalarını belirlemişler ve ortalama anakol bandını Şekil 3.11’de görüldüğü gibi kesikli çizgiyle

göstermişlerdir. Şekilden yıldızların çoğunun orta tayf türünde olduğu görülmektedir. Anakol yıldızlarının ağırlık noktası bağıntı (3.29)'da verilmiştir (Juric ve diğ., 2008):

$$g-r = 1.39 \{1 - \exp [-4.9(r-i)^3 - 2.45(r-i)^2 - 1.68(r-i) - 0.050]\} \quad (3.29)$$

Şekil 3.11'den görüldüğü gibi Juric ve diğ. (2008), yıldızların fotometrik hatalarını da dikkate alarak, saçılmaların yıldızların ağırlık noktalarından 0.3 kadiri geçmediğini deneysel olarak göstermiştir. Juric ve diğ. (2008)'nin geliştirdiği bu yöntem, doktora tez çalışmasında anakol yıldızlarının seçimi için kullanılmıştır.



Şekil 3.11: SDSS fotometrisiyle incelenen yaklaşık 48 milyon anakol yıldızının $(g-r) \times (r-i)$ iki-renk diyagramındaki konumları (Juric ve diğ., 2008). Panelin sol üst köşesinde parlak ve sönük yıldızların fotometrik hataları gösterilmiştir. Parlak ve mavi yıldızlarda $(g-r < 1)$ hata 0.02 kadir iken, sönük ve kırmızı yıldızlarda $(g-r \sim 1.4)$ bu değer 0.06 kadire ulaşmaktadır.

3.7.2. Evrimleşmiş Yıldızların Ayrımı

Doktora tez çalışmasında anakol yıldızlarını belirleyebilmek için evrimleşmiş (dev) yıldızların ayırt edilmesi gerekmektedir. Örnekteki evrimleşmiş yıldızların belirlenmesinde Helmi ve diğ. (2003) tarafından geliştirilen yöntem dikkate alınmıştır. Helmi ve diğ. (2003), Washington geniş band fotometrisindeki (Canterna, 1976) Spagetti Fotometrik Taramasını (SPS; Spagetti Photometric System; Morrison ve diğ., 2000) kullanarak evrimleşmiş yıldızların ayırımını SDSS fotometrisinin *ugriz* bantlarıyla yapmayı başarmışlardır.

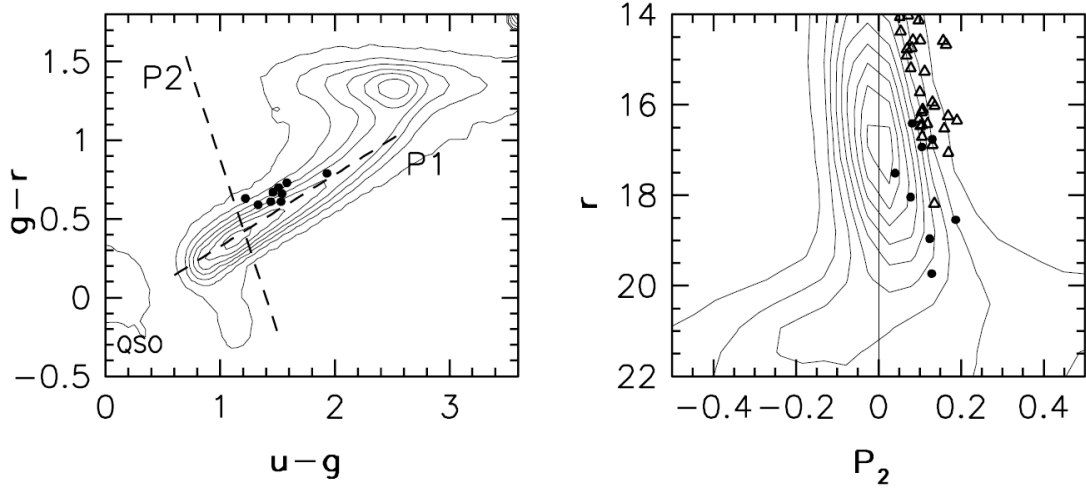
Washington geniş band fotometrisindeki ($M-T2$) ve ($M-51$) renkleri, yıldızların sıcaklıklarının tayininde 5,200 Å'daki Mg b ve MgH çizgi şiddetleri (Geisler ve diğ., 1991; Paltoglou ve Bell, 1994) yıldızların ışıma gücü sınıflarının belirlenmesinde önemli rol oynar. Bunu dikkate alan Helmi ve diğ. (2003) çalışmalarında SPS ile SDSS fotometrilerinin örtüştüğü yıldız alanlarını karşılaştırmışlar ve yıldızların M , $T2$, 51 , u , g , r , i , z parlaklıklarını içeren tayfsal gözlemleri yapılmış bir katalog oluşturmuşlardır. Helmi ve diğ. (2003) Mgb, MgH, CaI λ , Ca-II H ve K metal çizgilerinin şiddetlerini dikkate alarak evrimleşmiş ve anakol yıldızlarının ayrımı için bazı sınırlamalar getirmiştir: 5200 Å civarında bulunan Mgb ve MgH çizgileri anakol yıldızları için iyi bir göstergeyken, $0.8 \leq B-V \leq 1.3$ kadir aralığında evrimleşmiş yıldızlarda bu çizgiler bulunmaz (Flynn ve Morrison, 1990). CaI λ 4227 çizgisi genellikle anakol yıldızlarında görülürken, evrimleşmiş yıldızlarda görülmez. 3950 Å civarında bulunan Ca-II H ve K çizgileri, demir bolluğuna duyarlıdır (Beers ve diğ., 1999). Helmi ve diğ. (2003) bu kriterler sonucu SPS'den dokuz dev yıldız (Dohm-Palmer ve diğ., 2001) seçerek aynı yıldız alanında yer alan $r = 19$ kadirden daha parlak ve u , g , r bantlarındaki fotometrik hataları 0.05'ten daha küçük yaklaşık 19,000 yıldız ile birlikte $u-g \times g-r$ iki-renk diyagramı üzerinde kontürler çizerek göstermiştir (Şekil 3.12). Evrimleşmiş yıldızlar, anakol yıldızlarının ağırlıklı olarak bulunduğu bölgeden çok farklı bir konumda bulunurlar. Evrimleşmiş yıldızların $u-g \times g-r$ iki-renk diyagramı üzerindeki konumlarını daha iyi ifade edebilmek için P_1 ve P_2 isimli iki düzlem tanımlanmıştır. Burada P_1 ağırlıklı anakol yıldızlarının konumuna paralel olup P_2 de bu konuma olan uzaklığı ölçer (bkz Odenkirchen ve diğ., 2001; Willman ve diğ., 2002). İki-renk diyagramı ($u-g \times g-r$) üzerinde ölçümlerin merkezi olarak, en büyük yıldız yoğunluğunun bulunduğu ($u-g, g-r$) = (1.21, 0.42) kadir noktaları seçilmiştir. Metalce fakir evrimleşmiş yıldızlar sınırlı bir bölgede bulundukları için, Helmi ve diğ. (2003) kalibrasyonun renk aralıklarını

$1.1 \leq u-g \leq 2$ ve $0.3 \leq g-r \leq 0.8$ kadir ile sınırlamıştır. Bu işlem sonucunda bağıntılar (3.30) ve (3.31) elde etmiştir.

$$P_1 = 0.910 (u - g)_0 + 0.415 (g - r)_0 - 1.28 \quad (3.30)$$

$$P_2 = -0.415 (u - g)_0 + 0.910 (g - r)_0 + 0.12 \quad (3.31)$$

Şekil 3.12'nin sağ panelinde 47,771 SDSS yıldızının $r \times P_2$ düzlemindeki konumları gösterilmiştir. Şekil üzerinde SDSS yıldızları sayı yoğunluğuna göre kontür çizgileriyle, tayfsal olarak ışıma gücü sınıfı belirlenen evrimleşmiş yıldızlar, kare ve anakol yıldızları da üçgen sembolleriyle gösterilmiştir.



Şekil 3.12: SPS ile aynı yıldız alanında bulunan SDSS yıldızlarının $u-g \times g-r$ 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 evrimleşmiş ve anakol yıldızları, sırasıyla, (●) ve (Δ) üçgen sembolüyle gösterilmiştir.

SDSS yıldızlarının konumlarının r parlaklığına bağlı olduğu, P_2 renginin de sönük yıldızlara doğru daha kırmızılaştığı Şekil 3.12'in sağ panelinde görülmektedir. P_2 renginin r parlaklığıyla doğrusal değişimi, verilere geçirilen fit ile düzeltilmiştir. Bu düzeltmeler parlak ve sönük r bandında, sırasıyla, 0.03 ve 0.05 kadirdir. Söz konusu düzeltmenin yapılmasının ardından, Helmi ve diğ. (2003) yeni bir s rengi tanımlamışlardır. Tanımlanan s rengi, yaklaşık olarak bir banttaki ortalama fotometrik hataya eşit olacak şekilde yeniden normalize edilmiş ve bağıntı (3.32)'de gösterilmiştir.

$$s = -0.249u + 0.794g - 0.555r + 0.24 \quad (3.32)$$

Son olarak, Helmi ve diğ. (2003) SDSS alanlarındaki metalce fakir evrimleşmiş yıldızların seçilmesinde aşağıdaki bağıntı (3.33)'de verilen sınırlamaları getirmişler:

$$r < 19,$$

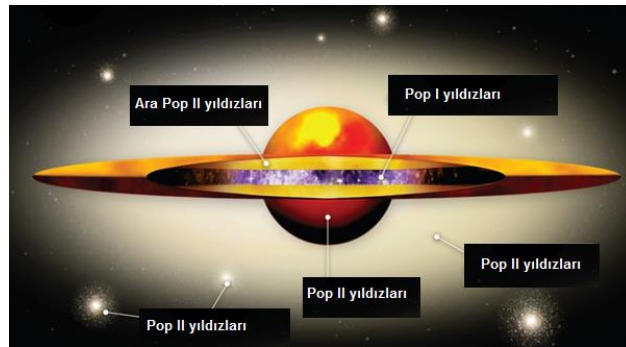
$$-0.1 < P_I < 0.6 \quad (1.1 \leq u-g \leq 2 \text{ ve } 0.3 \leq g-r \leq 0.8),$$

$$s > m_s + 0.05 \quad (3.33)$$

Burada m_s , s değerinin meydanını ifade eder ve yaklaşık 0.025 kadirdir. Doktora tez çalışmasında metalce fakir evrimleşmiş yıldızların belirlenmesinde Helmi ve diğ. (2003)'nin geliştirdiği bu sınırlamalar kullanılmıştır.

3.8. YILDIZ POPÜLASYONLARININ ETKİNLİĞİ

Galaksiler için tanımlanan *popülasyon* kavramı, benzer özelliklere sahip (yaş, metal bolluğu, yörünge biçimi ve uzay hızı) nesnelerin oluşturduğu topluluklara verilen isimdir. Galaksimizde iki tip popülasyon (Pop I ve Pop II) varlığını, Baade (1944); popülasyon III (Pop III) tanımını Kashlinsky ve Rees (1983) ve ara popülasyon (Ara Pop II) kavramını da Gilmore ve Reid (1983) literatüre kazandırmışlardır (Şekil 3.13). Pop I genç ve Pop II de yaşlı yıldızları içerirken Pop III de Pop II yıldızlarının atası olarak bilinen Galaksimizin oluşumunun ilk zamanlarında meydana gelmiş ilkel yıldızlardır (Bromm ve Larson, 2004).



Şekil 3.13: Galaktik bileşenlerin konumları ve popülasyon yıldızları¹.

¹ <https://www.universetoday.com/>

Galaksimiz farklı popülasyon türlerine ev sahipliği yaptığından, genel olarak dıştan içe, halo, kalın disk, ince disk ve şişkin bölge bileşenlerine ayrılmıştır (bkz Şekil 2.3, Gilmore ve Reid, 1983; Gilmore ve Wyse, 1985; 1986). Doktora tez çalışmasında farklı doğrultulardaki metal bolluğu gradyentlerinin hesaplanabilmesi için incelenen yıldızların popülasyon türlerine ayrılması gerekmektedir. Şişkin bölge çoğunlukla Pop II türündeki yaşlı ve metalce zengin/fakir yıldızlardan oluşur (Nataf ve diğ., 2013). Şişkin bölgedeki genç yıldızlar da düşük enlemlili yıldız alanlarında gözlenmiştir (Feltzing ve Gilmore, 2000). Kalın disk bileşeni Ara Pop II yıldızlarını, ince disk bileşeni ise Pop I türündeki genç yıldızları içerir. İnce disk nesneleri ortalama Güneş metal bolluğunda olup Güneş civarı metal bolluğu çalışmalarının en hassas araştırıldığı yerdir. Güneş civarı, Güneş merkezli yaklaşık bir kpc'lik yarıçap içindeki bölgeyi temsil eder (Wyse, 2006). İnce disk bileşeninin ortalama metal bolluğu $\langle [Fe/H] \rangle = -0.17$ dex olarak Soubiran ve diğ. (2003) tarafından verilmiş ve yükseklik ölçeği değeri de diğer Galaktik bileşenlerden daha küçüktür ($250 < h_z < 400$ pc; Bilir ve diğ., 2006a; 2006b). Gilmore ve Reid (1983)'in kalın disk bileşeninin keşfinden sonra diğer araştırmacılar tarafından da kalın disk incelenmiş, disk galaksilerin bir özelliği olduğu anlaşılmış (Yochim ve Dalcanton, 2006) ve ince disk ile halo arasında ayrı bir bileşen olarak tanımlanmıştır (Juric ve diğ., 2008). Kalın diskin ortalama metal bolluğu $\langle [Fe/H] \rangle = -0.48$ dex civarında ve yükseklik ölçeği ince diskten daha büyüktür ($h_z = 800$ pc; Soubiran ve diğ., 2003). Halo bileşeninin ortalama yaşı $\langle \tau \rangle = 13$ milyar yıl olup yaşlı Pop II yıldızlarından oluşmuştur (Carney ve diğ., 1990). Halo popülasyonunun ortalama metal bolluğu $\langle [Fe/H] \rangle = -1.60$ dex olarak verilmektedir (Cox, 2000). Metal bolluğu ve yörünge araştırmaları, halo bileşeninin iç ve dış olmak üzere iki kısımdan oluştuğunu göstermektedir. İç halo yıldız popülasyonlarının $10 < R < 15$ kpc ve dış halo yıldız popülasyonunun $15 < R < 20$ kpc uzaklığa kadar etkin olduğu bilinmektedir (Carollo ve diğ., 2007).

Galaksi modelleri, Galaksideki uzay yoğunluklarını Galaktik koordinatların bir fonksiyonu olarak ifade eden matematiksel formüllerdir. Modellerdeki parametreler gözlemler yardımıyla tayin edilmektedir. Gözlemsel bulgular fiziksel bir anlam içermesi için gözlemlerin modeller ile uyumlu olması gerekir. Galaksi modelleri Galaksimizdeki her popülasyon için oluşturulabilir. Literatürde disk bileşenleri için genellikle Galaksi merkezinden radyal doğrultu ve Galaktik düzleme dik doğrultuda tanımlanmış çift eksponansiyelli bir yoğunluk kanunu, halo bileşeni için sadece radyal doğrultuda değişim gösteren tek eksponansiyelli yoğunluk kanunu

kullanılır. Galaksimizin disk bileşenleri genellikle silindirik koordinatlarda radyal ve düşey doğrultudaki eksponansiyel fonksiyonlar olarak bağıntı (3.34) ile ifade edilir:

$$D_i(X, Z) = n_i \exp\left(-\frac{Z}{h_z}\right) \exp\left[-\frac{X-R_0}{h_R}\right] \quad (i = 1, 2) \quad (3.34)$$

Burada, ince disk bileşeni $i = 1$ ve kalın disk bileşeni de $i = 2$ değeriyle ifade edilmiştir. Z Galaksi düzlemine olan dik uzaklık, X Galaksi merkezine olan uzaklığın Galaktik düzlem üzerindeki izdüşümü, R_0 Güneş'in Galaksi merkezine uzaklığı (8 kpc; Majewski, 1993), h_z yükseklik ölçeği, h_R uzunluk ölçeği ve n_i normalleştirilmiş yerel uzay yoğunluğudur (bkz Şekil 3.8).

Halo (sferoid) bileşeninin yıldız yoğunluk kanunu farklı şekillerde ifade edilebilir. En çok kullanılan formu eliptik galaksilerin yüzey parlaklığını tanımlamak için kullanılan, de *Vaucouleurs* (1948) kanunudur. Bu kanun, Young (1976) tarafından analitik olarak aşağıda gibi ifade edilmiştir.

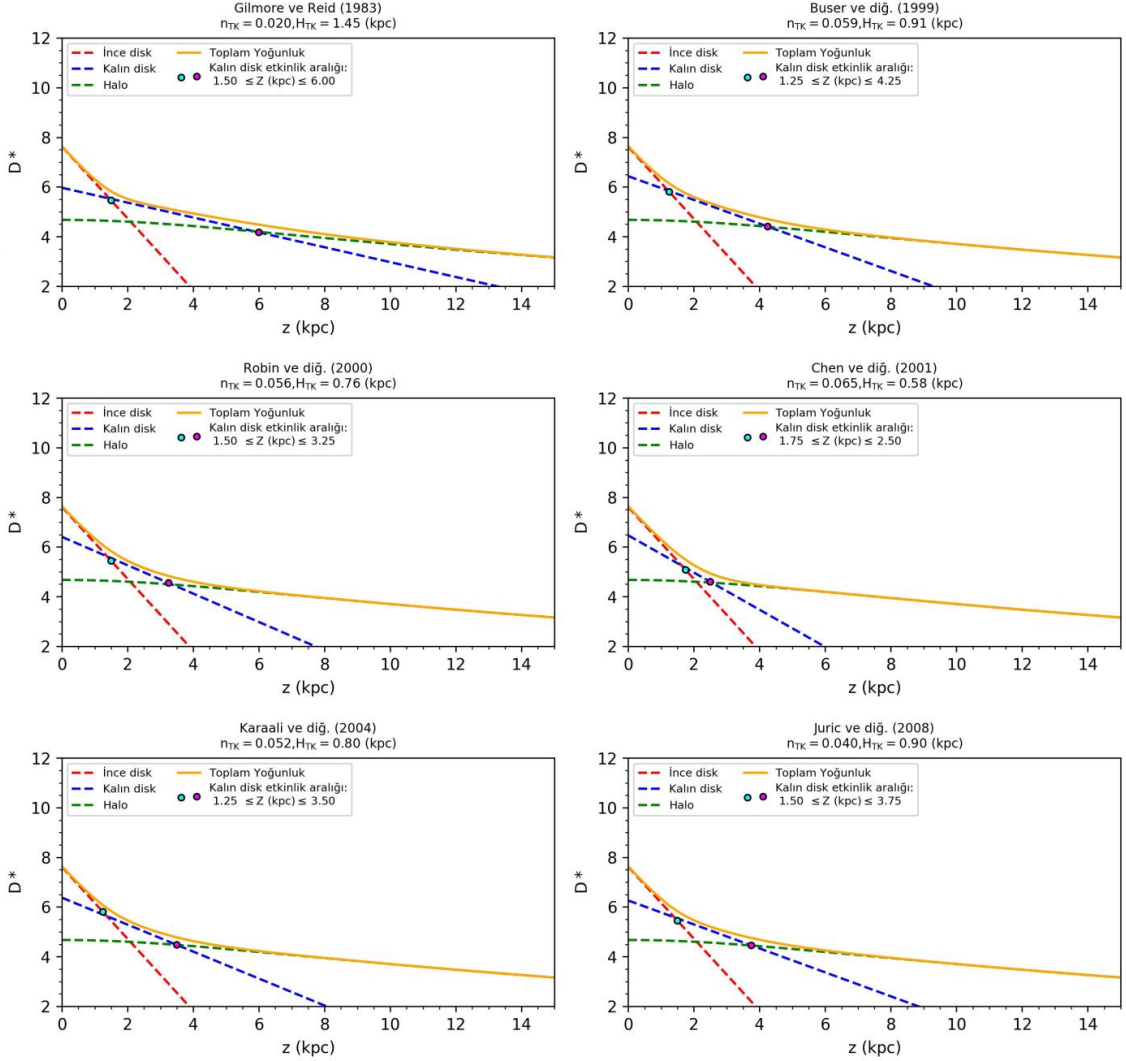
$$D_S(R) = n_s \exp[10.093(1 - (R/R_0)^{1/4})]/(R/R_0)^{7/8} \quad (3.35)$$

Burada, R küresel koordinatlarda Galaksi merkezine olan uzaklık ve n_s halonun normalleştirilmiş yerel uzay yoğunluğudur. R değerine $\eta = c/a$ eksen oranından kaynaklanan bir düzeltme uygulanması gerekir. R uzaklığına uygulanan düzeltme de $(R=[X^2+(Z/\eta)^2]^{1/2})$ olup burada, η , Galaksi halosunun basıklığını; X de incelenen nesnenin Galaksi merkezine olan uzaklığının Galaktik düzlem üzerindeki izdüşümünü ifade eder.

Doktora tez çalışmasında kalın diskin metal bolluğu gradyenti araştırıldığından, kalın diskin Galaktik düzlemde olan dik uzaklığının etkinlik aralığını belirleyebilmek için altı araştırma grubunun Galaktik model parametrelerinden yararlanılmıştır. Galaktik yıldız popülasyonlarının uzaklık aralıklarını belirleyebilmek için Galaktik koordinatları $(l, b) = (0^\circ, 90^\circ)$ olan bir yıldız alanı seçilmiştir. Gilmore ve Reid (1983), Buser ve diğ. (1999), Robin ve diğ. (2000), Chen ve diğ. (2001), Karaali ve diğ. (2004) ve Juric ve diğ. (2008)'in literatüre kazandırdıkları ve Tablo 3.5'te verilen Galaktik model parametreleri, bağıntılar (3.34) ve (3.35)'teki modellere uygulanarak her bir Galaktik bileşen ve bunların toplamı için teorik yıldız yoğunluk profilleri hesaplanmış ve bu profiller Şekil 3.14'de gösterilmiştir. Şekilde kırmızı kesikli çizgi ince disk

bileşenini, mavi kesikli çizgi kalın disk bileşenini ve yeşil kesikli çizgi halo bileşenini ifade etmektedir. Yeşil ve kırmızı daire ile gösterilen noktalar kalın disk bileşeninin, sırasıyla, ince disk ve halo bileşenleriyle kesiştiği Z uzaklıklarını göstermekte olup bu noktalar da söz konusu popülasyonların yıldız yoğunluklarının eşitlendiği yerlerdir.

$$(l^\circ, b^\circ) = (0, 90)$$



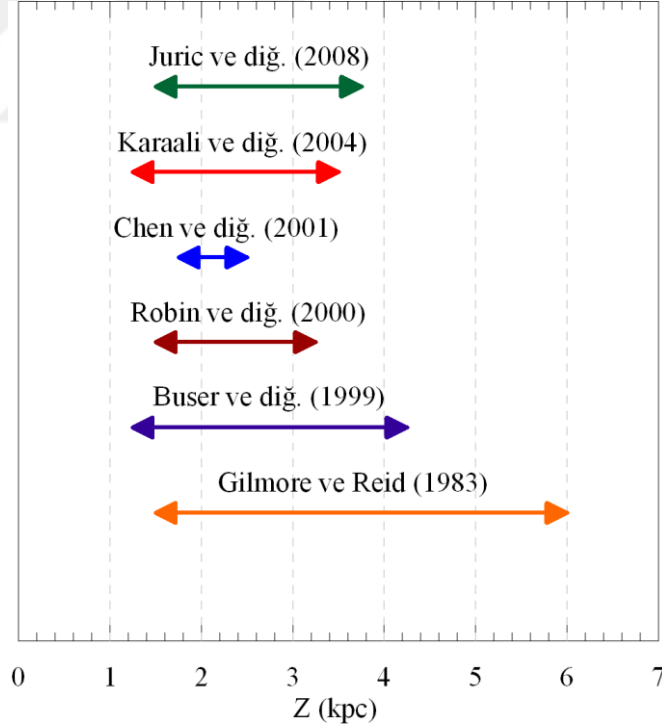
Şekil 3.14: Altı araştırma grubundan alınan Galaktik model parametrelerinin kuzey Galaktik kutup doğrultusunu için hesaplanan yıldız yoğunluk profilleri. Popülasyonlara ait yoğunluk profilleri ve bunların toplamaları her bir panelde verilmiştir. Çizgiler panellerin sol üst köşesinde açıklanmıştır.

Şekil 3.14’de her bir araştırma grubunda verilen model parametrelerinin kullanılmasıyla kalın disk popülasyonunun Galaktik düzlemde dik doğrultuda etkin uzaklık aralıkları belirlenmiştir. Bu uzaklıkları daha iyi ifade edebilmek için Şekil 3.15’te her bir araştırma grubundan belirlenen kalın diskin etkin uzaklık aralıkları tek boyutlu bir düzleme taşınmıştır. Kalın disk için altı araştırma grubundan belirlenen en küçük ve en büyük Z uzaklıkları, sırasıyla $Z = 1.25$ kpc

(Buser ve diğ., 1999; Karaali ve diğ., 2004) ve $Z = 6$ kpc (Gilmore ve Reid, 1983) olarak hesaplanmıştır. Tüm araştırma gruplarından elde edilen bulgular bir arada değerlendirildiğinde, Ara Pop II olarak tanımlanan kalın disk bileşeninin etkin olarak Galaktik düzlemden $2 < Z < 5$ kpc uzaklık aralığında bulunduğu tespit edilmiştir. Bu bulgu çalışmanın daha sonraki aşamalarında popülasyonların etkinlik sınırlarının belirlenmesinde kullanılmıştır.

Tablo 3.5: Altı araştırma grubunun Galaktik model parametreleri ve kalın diskin etkin uzaklık aralıkları. Burada n_{TK} kalın diskin göreceli yoğunluğu, $(h_z)_{TK}$ ve $(h_z)_{TN}$ sırasıyla kalın ve ince disklerin yükseklik ölçekleri, $(h_R)_{TN,TK}$ ince ve kalın disklerin uzunluk ölçekleri, n_s halonun göreceli uzay yoğunluğudur.

Araştırma Grupları	n_{TK} (kpc)	$(h_z)_{TK}$ (kpc)	$(h_z)_{TN}$ (pc)	$(h_R)_{TN,TK}$ (kpc)	n_s	Kalın disk popülasyonun etkin uzaklık aralığı (kpc)
Gilmore ve Reid (1983)	0.020	1.45	300	-	0.0020	$1.50 \leq Z \leq 6.00$
Buser ve diğ. (1999)	0.059	0.91	290	4.0	0.0005	$1.25 \leq Z \leq 4.25$
Robin ve diğ. (2000)	0.056	0.76	250-270	2.5	0.0015	$1.50 \leq Z \leq 3.25$
Chen ve diğ. (2001)	0.065	0.58	330	2.25	0.0013	$1.75 \leq Z \leq 2.50$
Karaali ve diğ. (2004)	0.052	0.80	265	-	0.0002	$1.25 \leq Z \leq 3.50$
Juric ve diğ. (2008)	0.040	0.90	-	-	-	$1.50 \leq Z \leq 3.75$



Şekil 3.15: Altı araştırma grubundan alınan Galaktik model parametrelerinin Galaksi modellerinde kullanılmasıyla kalın disk bileşeni için hesaplanan etkin Z uzaklık aralıklarının şematik gösterimi. Mavi, gri, mor, yeşil, kırmızı ve sarı katı çizgiler, sırasıyla, Gilmore ve Reid (1983), Buser ve diğ. (1999), Robin ve diğ. (2000), Chen ve diğ. (2001), Karaali ve diğ. (2004) ve Juric ve diğ. (2008)'ne ait modelleri ifade etmektedir.

3.9. GALAXIA MODELİ

Galaxia, Galaksimizin sentetik bir modelini oluşturmak için C++ programlama dilinde yazılmış matematiksel bir koddur (Sharma ve diğ., 2011). Bu yazılımda, Galaksimizin dinamik yapısını temsil eden fonksiyonlar ile oluşturulan analitik ya da *N*-cisim modelleri kullanılmaktadır¹.

Galaxia, Galaksimizi temsil eden bileşenlerin yoğunluk fonksiyonları kullanarak bir veya daha fazla sayıda renk-parlaklık sınırlaması, tarama çapı ve geometrisine uygun olarak sentetik bir yıldız taraması yapılmasını sağlayan istatistiksel bir araçtır (Sharma ve diğ., 2011). *Galaxia* kodu, Samanyolunun Galaktik bileşenlerini temsil eden yoğunluk dağılımları veya *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; **Star Formation Rate**), yaş-metal bolluğu ilişkisi (AMR; **Age Metallicity Relation**), yaş hız dispersiyonu ilişkisi (AVR; **Age Velocity Relation**) ve yoğunluk fonksiyonları şeklinde tanımlanmış girdi parametreleriyle çalışmaktadır. Bu parametreler, kuramsal eş-yaş eğrileriyle birlikte kullanılarak çok sayıda fotometrik sistem için sentetik yıldız katalogları oluşturulmaktadır.

Galaksimizdeki yıldızlar 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 kütesine (m) bağlıdır. Bu durumda yoğunluk fonksiyonu bağıntı (3.36) ile şu şekilde gösterilebilir:

$$f_j = f_j(r, v, \tau, Z, m) \quad (3.36)$$

Burada, j indeksi seçilen Galaktik bileşeni temsil eder. Galaksinin tüm özelliklerini tam olarak temsil etmesi beklenen bu fonksiyonun gerçek biçimi henüz bilinmemektedir. Bununla birlikte, son 25 yılda basit varsayımlar ile çalışan modeller geliştirilmiştir (Robin ve Creze, 1986; Bienayme ve diğ., 1987; Haywood ve diğ., 1997a; 1997b; Girardi ve diğ., 2005; Robin ve diğ., 2003). *Galaxia* modelinde kullanılan analitik işleyiş yukarıda kaynak gösterilen çalışmalara dayanmaktadır. Herhangi bir Galaktik bileşen için yıldız oluşum oranı $\Psi(\tau)$, kütle dağılımı $\xi(m, \tau)$, uzay dağılımı $f_{pos}(r, \tau)$, hız dağılımı $f_{vel}(v, r, \tau)$ ve metal bolluğu dağılımı $f_Z(Z, r, \tau)$

¹ <http://galaxia.sourceforge.net/>

kullanılarak yıldızın yaş ve konumunun bir fonksiyonu olarak aşağıdaki gibi bir model oluşturulabilir.

$$f_j = \frac{\Psi(\tau)}{\langle m \rangle} \xi(m, \tau) f_{pos}(r, \tau) f_{vel}(v, r, \tau) f_Z(Z, r, \tau) \quad (3.37)$$

Buradaki (3.37) bağıntısının sağ tarafında kalan fonksiyonlar, farklı Galaktik bileşenler için çeşitli şekillerde tanımlanabilir. Bu bağıntıda verilen kütle dağılım fonksiyonu (IMF) bağıntı (3.38)'de verildiği gibi normalize edilmiştir.

$$\int_{m_{min}}^{m_{max}} \xi(m, \tau) dm = 1 \quad (3.38)$$

Ayrıca, burada ortalama yıldız kütlesi bağıntı (3.39) ile tanımlanmıştır:

$$\langle m \rangle = \int_{m_{min}}^{m_{max}} m \xi(m) dm \quad (3.39)$$

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

$$f_Z = \frac{1}{\sigma_{\log \bar{Z}(\tau)} \sqrt{2\pi}} \exp(-(\log Z - \log \bar{Z}(\tau)) / (2\sigma_{\log \bar{Z}(\tau)}^2)) \quad (3.40)$$

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 AMR olarak bilinir.

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

$$f_Z = \frac{1}{\sigma_R \sigma_R \sigma_R (2\pi)^{3/2}} \exp\left(-\frac{v_R^2}{2\sigma_R^2(\tau, R)} - \frac{v_Z^2}{2\sigma_Z^2(\tau, R)}\right) \times \exp\left(-\frac{(v_\phi - v_{circ}(R) - v_{ad}(\tau, R))^2}{2\sigma_\phi^2(\tau, R)}\right) \quad (3.41)$$

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

$$v_{ad}(R, \tau) = \frac{\sigma_R^2}{2v_c} \left(\frac{d \ln p}{d \ln R} + \frac{d \ln \sigma_\phi^2}{d \ln R} + 1 - \frac{\sigma_\phi^2}{\sigma_R^2} + 1 - \frac{\sigma_Z^2}{\sigma_R^2} \right) \quad (3.42)$$

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

$$\sigma_{R,\phi,Z}^{thin}(R, \tau) = \sigma_{R_o, \phi_o, Z_o} \left(\frac{\tau + \tau_{min}}{\tau_{max} + \tau_{min}} \right)^\beta \left(\frac{\Sigma^{thin}(R)}{\Sigma_\odot^{thin}} \right)^q \quad (3.43)$$

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

Bu model iki önemli sınırlamaya sahiptir. Biri (3.37) 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 ve diğ. (1987)'nin 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: Bağıntı (3.36) ile yıldız dağılım fonksiyonu için r ve τ değerinin bilindiği durumda metal bolluğu ve hız dağılımları önemsizdir. Aynı durum, yıldızlara bir kütle atfederken de geçerli olup, yalnızca tek boyutlu bir kütle dağılımı dikkate alınır.

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

$$g(r, \tau) = \frac{\Psi(\tau) f_{pos}(r, \tau)}{\langle m \rangle} \quad (3.44)$$

(3.44) bağıntısı, çok boyutlu analitik dağılımdan elde edilen noktaların üretilmesinde kullanılan, en basit yaklaşım *von Neumann* uyarlanabilir ayırma tekniğidir. Buradaki mekanizma öncelikle rastgele bir (r, τ) koordinatlarına sahip bir yıldız ürettikten sonra 0 ile g_{max} aralığında rastgele bir x sayısı üretir ve sonunda $x < g(r, \tau)$ koşulunu sağlayan yıldızlar sentetik kataloğu oluşturmak üzere kabul edilir. Bu yaklaşım her ne kadar basit bir yapıya sahip gibi görünse de, belirlenen uzay hacmi içerisindeki tüm noktalar için sentetik yıldız

hesaplamaları çok uzun sürer. Üstelik hesaplama süresiyle üretilen çıktının hacmi farklı ölçeklerdedir. *Galaxia* modeli tüm Galaksi için üretilir 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 düğümde 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 ayırt etmek amacıyla yıldız sayısı bağıntı (3.45) ile hesaplanır:

$$N'_{node} = g_{max}(r, \tau, l) l_1 l_2 l_3 l_4 \quad (3.45)$$

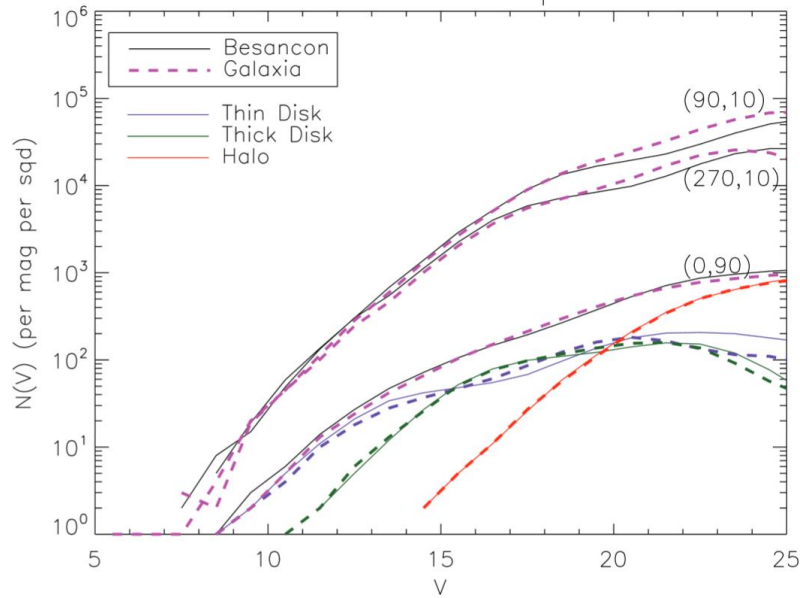
Burada, $g_{max}(r, \tau, l)$ analitik yoğunluk fonksiyonu olup bir düğüm içerisindeki sayı yoğunluğunu temsil eder ve l_1, l_2, l_3, l_4 bir düğümün kenar uzunluğunu verir. Bir düğümde bulunan son yıldız sayısı sayı yoğunluğunun, artan uzay ve zaman çözünürlüklü düğüm üzerinden ta ki belirsizlik $0.1\sqrt{N_{node}}$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

Sonuç olarak, uyarlanabilir *von Neumann* örnek üretme algoritması 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 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 $f_Z(Z, r, \tau)$ 'den hesaplanır. (Z, τ) 'ya karşı gelen en yakın eş-yaş eğrisi seçilir ve kütleye karşılık gelen yıldız parametreleri belirlenir. Hızlar, hız dağılım fonksiyonuna uygun hız elipsoidini gözetecek şekilde atanır.
- Son olarak hangi yıldızın sisteme dâhil edileceği ve hangisinin çıkarılacağı seçim fonksiyonuyla belirlenir.

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

Literatürde gözlemsel yıldız sayılarını teorik yıldız sayılarıyla karşılaştıran *Galaxia* (Sharma ve diğ., 2011) ve *Besancon* (Robin ve Creze, 1986; Robin ve diğ., 2003) isimli iki yıldız sayım modeli bulunmaktadır. İki Galaksi modelinin merkezi Galaktik koordinatları $(l, b)_1 = (0^\circ, 90^\circ)$, $(l, b)_2 = (90^\circ, 10^\circ)$ ve $(l, b)_3 = (270^\circ, 10^\circ)$ olan üç farklı yıldız alanı doğrultusunda ürettikleri yıldız sayılarının V görünen parlaklıklarına göre dağılımları Şekil 3.16’da gösterilmiştir. İki Galaksi modelinde kullanılan bileşenlerin Galaktik model parametrelerinin biraz farklı oluşu üretilen yıldız sayılarının benzer değerlerde olmadığını göstermektedir. Fakat Şekil 3.16 incelendiğinde üretilen yıldız sayılarının çok farklı olmadığı görülmektedir.



Şekil 3.16: *Galaxia* ve *Besancon* Galaksi modellerinde seçilen üç yıldız alanı doğrultusunda üretilen sentetik yıldız sayılarının V görünen parlaklığa göre dağılımları. Galaktik bileşenler farklı renklerdeki düz çizgiler ile Galaksi modelleri de kesikli mor ve düz siyah çizgiler ile gösterilmiştir.

4. BULGULAR

Doktora tez çalışmasında, SDSS fotometrisindeki F ve G tayf türünden anakol yıldızlarının metal bolluğu ve mutlak parlaklıklarının hesaplanabilmesi için iki yeni kalibrasyonun oluşturulması ve bu kalibrasyonların kuzey Galaktik yarıkürede bulunan orta/yüksek Galaktik enlemdeki anakol yıldızlarına uygulanarak Samanyolunda metal bolluğu gradyentlerinin araştırılması hedeflenmiştir. Yeni kalibrasyonların oluşturulmasında tayfsal, fotometrik ve astrometrik veriler literatürdeki duyarlı çalışmalardan seçilmiştir. Kalibrasyonlarda Güneş'e yakın, tüm yıldızlarının astrometrik verileri ölçülmüş ve yıldızlararası ortamın neden olduğu sönmüleme ve kızarma etkisinin neredeyse hiç olmadığı ve genç bir küme olan Hyades açık kümesinin fotometrik ve astrometrik verileri dikkate alınmıştır. Doktora tez çalışmasında öncelikle Hyades açık kümesine üye anakol yıldızlarının iki-renk ve renk-parlaklık diyagramları oluşturularak Hyades anakolunun $u-g$ ve M_g değerleri $g-r$ renginin bir fonksiyonu olarak hesaplanmıştır. Bu bağıntılar temel kabul edilerek yeni metal bolluğu ve mutlak parlaklık kalibrasyonlarının oluşturulmasında kullanılmıştır.

4.1. HYADES AÇIK KÜMESİNİN İKİ-RENK VE RENK PARLAKLIK DİYAGRAMLARI

Fotometrik metal bolluğu ve mutlak parlaklık kalibrasyonlarını elde etmek için literatürde astrofizik parametreleri iyi bilinen Hyades (Melotte 25) açık kümesindeki anakol yıldızlarının V , $B-V$, $U-B$ fotometrik verileriyle birlikte trigonometrik paralaksarı da dikkate alınmıştır (Sandage, 1969; Karaali ve diğ., 2003a). Hyades açık kümesindeki anakol yıldızlarının $U-B$, $B-V$ renk indeksleri Sandage (1969)'den, yıldızların M_V mutlak parlaklıkları da Karaali ve diğ. (2003b)'nin çalışmasından sağlanmıştır. Sandage (1969) Hyades açık kümesindeki anakol yıldızlarının $U-B$, $B-V$ renk indekslerinin gruplayarak ortalama değerlerini hesaplamış ve bu değerleri kümenin anakolunun oluşturulmasında kullanmıştır (bkz Tablo 3.1). Ayrıca bu tabloda yıldızların en büyük mor-ötesi artığının görüldüğü $B-V = 0.6$ kadirine normalize etmek için $B-V$ renklerine karşılık gelen f giyotin çarpanlarını belirlemiş ve listelemiştir.

Karaali ve diğ. (2003b) Hyades açık kümesinin renk-parlaklık diyagramı üzerinde anakolu belirleyebilmek için küme üyesi 45 anakol yıldızının trigonometrik paralaksarını *Hipparcos* uydu verilerinden sağlamış (ESA, 1997) ve Pogson bağıntısı yardımıyla da M_V mutlak parlaklıklarını hesaplamışlardır. Zaman içerisinde *Hipparcos* uydu verilerindeki hataların

ortaya çıkması, kataloğun yeni algoritmalar kullanılarak indirgenmesinin gerekliliğini ortaya koymuştur. *Hipparcos* kataloğundaki astrometrik verileri daha hassas hale getirilmesi (van Leeuwen, 2007), doktora tez çalışmasında kullanılacak Hyades açık kümesine ait anakolun güncel verilerden yeniden oluşturulması gerekliliğini ortaya koymuştur. Hyades açık kümesindeki 45 anakol yıldızının trigonometrik paralaks verileri van Leeuwen (2007)'in yeniden indirgenen *Hipparcos* kataloğundan alınarak $d(\text{pc}) = 1000/\pi$ (mas) bağıntısıyla Güneş'ten uzaklıkları hesaplanmış ve Pogson bağıntısıyla da yıldızların M_V mutlak parlaklıkları tayin edilmiştir. Hyades açık kümesine üye 45 anakol (α , δ) yıldızının ekvatorial koordinatları, V görünen parlaklığı, $B-V$, $U-B$ renk indeksleri, M_V mutlak parlaklığı ve π trigonometrik paralaks değerleri, hatalarıyla birlikte Tablo 4.1'de verilmiştir.

Doktora tez çalışmasında Galaksimizdeki farklı yıldız popülasyonlarının metal bolluğu dağılımları ve bu dağılımların uzaklık ile değişimleri araştırılacağından SDSS fotometrisi için duyarlı metal bolluğu ve mutlak parlaklık kalibrasyonlarının üretilmesi gerekmektedir. Fakat SDSS fotometrisinde $g < 14$ kadirdeki nesnelerin parlaklıkları doyum noktasına ulaştıklarından parlak bu nesnelerin fotometrik verileri yeterince kaliteli değildir. Bundan dolayı söz konusu kalibrasyonların oluşturulması için parlak yıldızların duyarlı fotometrik verilerinin bulunduğu UBV fotometrisi gibi bir sisteme ihtiyaç duyulur. UBV fotometrisi uzun yıllardır literatürde standart olarak kabul edildiğinden çoğu parlak yıldızın bu fotometrik sistemdeki parlaklık ve renk indeksleri bulunmaktadır (Mermilliod ve diğ., 1997). Parlak yıldızların UBV verileri fotometrik dönüşüm formülleriyle SDSS sistemine çevrilebilir. Chonis ve Gaskell (2008)'in SDSS sisteminden UBV sistemine geçiş yapan dönüşüm formüllerini literatüre kazandırmıştır (bkz Bölüm 3.3). Doktora tez çalışmasında ise Chonis ve Gaskell (2008)'in fotometrik dönüşüm formülleri, ters çevrilerek UBV sisteminden SDSS sistemine geçiş sağlanmıştır. Ters fotometrik dönüşüm formülleri bağıntı (3.12), (3.13) ve (3.14) ile verilmiştir ve bu bağıntılar kullanılarak Hyades kümesinin Tablo 4.1'de verilen UBV fotometrik verileri (M_V , $B-V$ ve $U-B$) SDSS fotometrik sistemine çevrilmiştir (M_g , $g-r$ ve $u-g$). Hyades açık kümesindeki 45 anakol yıldızının *Hipparcos* kataloğundaki sıra numarası, ekvatorial koordinatlarıyla (α , δ), ters dönüşüm formülleriyle hesaplanan $u-g$, $g-r$ SDSS renk indeksleri, g ve M_g görünen ve mutlak parlaklıkları Tablo 4.2'de listelenmiştir.

Tablo 4.1: Hyades açık kümesindeki anakol yıldızlarının fotometrik ve astrometrik verileri.

Sıra	Yıldız	α (hh mm ss.ss)	δ (dd mm ss.ss)	$B-V$ (kadir)	$U-B$ (kadir)	V (kadir)	M_V (kadir)	$\pi \pm \pi_{\text{hata}}$ (mas)
1	Hip 20357	04 18 45.20	+14 17 33.30	0.41	0.00	6.61	3.014	19.09±0.61
2	Hip 21152	04 32 04.80	+05 24 36.14	0.41	0.00	6.40	3.208	22.99±0.51
3	Hip 20349	04 21 31.64	+21 02 23.55	0.43	-0.03	6.80	3.210	19.14±0.51
4	Hip 20350	04 21 32.26	+18 25 03.29	0.44	0.00	6.81	3.322	20.06±0.59
5	Hip 20567	04 24 22.27	+17 04 44.23	0.44	0.00	6.97	3.328	18.69±0.84
6	Hip 21267	04 33 46.64	+13 15 06.78	0.43	-0.01	6.62	3.370	22.39±0.56
7	Hip 19504	04 10 42.36	+18 25 23.71	0.42	-0.01	6.62	3.392	22.62±0.52
8	Hip 20491	04 23 30.40	+24 24 19.45	0.45	0.03	7.18	3.646	19.64±0.60
9	Hip 19796	04 14 34.34	+10 42 04.99	0.51	0.05	7.12	3.852	22.20±0.51
10	Hip 21066	04 30 57.17	+10 45 06.36	0.47	0.00	7.04	3.788	22.37±0.59
11	Hip 20557	04 24 14.57	+21 44 10.48	0.52	0.04	7.14	3.910	22.59±0.77
12	Hip 20815	04 27 35.89	+15 35 21.08	0.54	0.06	7.42	4.059	21.27±0.86
13	Hip 20826	04 27 46.07	+11 44 11.10	0.55	0.05	7.51	4.175	21.53±0.84
14	Hip 22422	04 49 32.12	+15 53 19.47	0.58	0.11	7.74	4.296	20.47±0.72
15	Hip 21112	04 31 29.34	+13 54 12.51	0.54	0.06	7.77	4.175	19.10±0.76
16	Hip 21637	04 38 51.29	+23 08 59.90	0.58	0.10	7.53	4.287	22.46±0.72
17	Hip 20899	04 28 48.29	+17 17 07.68	0.61	0.13	7.85	4.513	21.51±0.86
18	Hip 19148	04 06 16.12	+15 41 53.23	0.60	0.10	7.85	4.539	21.77±1.30
19	Hip 19793	04 14 32.31	+23 34 29.80	0.66	0.20	8.09	4.709	21.08±0.93
20	Hip 20741	04 26 40.12	+16 44 48.83	0.66	0.20	8.12	4.805	21.73±1.23
21	Hip 19786	04 14 27.25	+12 26 07.13	0.64	0.17	8.06	4.896	23.29±1.25
22	Hip 20146	04 19 08.00	+17 31 29.11	0.73	0.31	8.45	5.117	21.55±0.90
23	Hip 19781	04 14 25.65	+14 37 30.15	0.70	0.24	8.46	5.134	21.62±1.10
24	Hip 21099	04 31 15.69	+20 07 59.40	0.74	0.35	8.60	5.293	21.81±1.33
25	Hip 21788	04 40 49.06	+23 48 34.64	0.70	0.24	8.83	5.116	18.08±1.27
26	Hip 23069	04 57 49.50	+14 00 07.88	0.74	0.35	8.89	5.309	19.22±1.39
27	Hip 20480	04 23 22.33	+21 22 44.75	0.76	0.35	8.85	5.342	19.88±1.14
28	Hip 22380	04 49 03.52	+18 38 28.48	0.82	0.51	8.97	5.710	22.28±1.53
29	Hip 20850	04 28 04.43	+13 52 04.57	0.84	0.53	9.04	5.738	21.86±1.72
30	Hip 20492	04 23 32.33	+14 40 13.72	0.86	0.54	9.12	5.785	21.53±1.75
31	Hip 19098	04 05 39.67	+17 56 15.75	0.89	0.58	9.29	5.631	18.54±1.12
32	Hip 18327	03 55 06.50	+16 59 54.52	0.89	0.64	8.99	5.878	23.86±1.19
33	Hip 20978	04 29 57.72	+16 40 22.22	0.86	0.56	9.11	6.056	24.50±1.33
34	Hip 20082	04 18 19.27	+16 05 17.99	0.99	0.80	9.60	5.982	18.90±1.80
35	Hip 19263	04 07 43.19	+16 31 07.64	0.99	0.89	9.94	6.409	19.67±1.87
36	Hip 18946	04 03 39.04	+19 27 18.04	1.07	1.03	10.13	6.964	23.27±2.42
37	Hip 21723	04 39 50.97	+12 43 42.52	1.08	1.00	10.04	6.880	23.33±1.70
38	Hip 20762	04 26 54.34	+13 08 17.43	1.15	1.04	10.44	7.223	22.73±2.58
39	Hip 22271	04 47 41.80	+26 09 00.82	1.18	1.10	10.60	7.363	22.52±2.44
40	Hip 19207	04 07 01.22	+15 20 06.10	1.18	1.12	10.48	7.398	24.19±2.11
41	Hip 21261	04 33 41.92	+19 00 50.52	1.19	1.17	10.74	7.340	20.89±2.27
42	Hip 19808	04 14 51.93	+13 03 17.81	1.18	1.18	10.75	7.882	26.69±2.70
43	Hip 20527	04 23 54.41	+14 03 07.57	1.28	1.26	10.90	7.534	21.22±3.11
44	Hip 21256	04 33 37.18	+21 09 03.06	1.24	1.13	10.67	7.806	26.74±1.78
45	Hip 19316	04 08 26.66	+12 11 30.64	1.32	1.26	11.27	8.339	25.93±2.34

Tablo 4.2: Hyades açık kümesine üye anakol yıldızlarının SDSS sistemindeki fotometrik verileri.

Sıra	Yıldız	α (hh mm ss.ss)	δ (dd mm ss.ss)	$u-g$ (kadir)	$g-r$ (kadir)	g (kadir)	M_g (kadir)
1	Hip 20357	04 18 45.20	+14 17 33.3	1.136	0.201	6.738	3.142
2	Hip 21152	04 32 04.80	+05 24 36.14	1.136	0.201	6.528	3.336
3	Hip 20349	04 21 31.64	+21 02 23.55	1.113	0.222	6.941	3.351
4	Hip 20350	04 21 32.26	+18 25 03.29	1.147	0.233	6.957	3.469
5	Hip 20567	04 24 22.27	+17 04 44.23	1.147	0.233	7.117	3.475
6	Hip 21267	04 33 46.64	+13 15 06.78	1.133	0.222	6.761	3.511
7	Hip 19504	04 10 42.36	+18 25 23.71	1.129	0.211	6.755	3.527
8	Hip 20491	04 23 30.40	+24 24 19.45	1.180	0.244	7.334	3.800
9	Hip 19796	04 14 34.34	+10 42 04.99	1.222	0.310	7.312	4.044
10	Hip 21066	04 30 57.17	+10 45 06.36	1.157	0.266	7.207	3.955
11	Hip 20557	04 24 14.57	+21 44 10.48	1.215	0.321	7.339	4.109
12	Hip 20815	04 27 35.89	+15 35 21.08	1.242	0.343	7.632	4.271
13	Hip 20826	04 27 46.07	+11 44 11.10	1.236	0.354	7.728	4.393
14	Hip 22422	04 49 32.12	+15 53 19.47	1.307	0.387	7.977	4.533
15	Hip 21112	04 31 29.34	+13 54 12.51	1.242	0.343	7.982	4.387
16	Hip 21637	04 38 51.29	+23 08 59.90	1.297	0.387	7.767	4.524
17	Hip 20899	04 28 48.29	+17 17 07.68	1.337	0.419	8.107	4.770
18	Hip 19148	04 06 16.12	+15 41 53.23	1.304	0.408	8.100	4.789
19	Hip 19793	04 14 32.31	+23 34 29.80	1.425	0.474	8.379	4.998
20	Hip 20741	04 26 40.12	+16 44 48.83	1.425	0.474	8.409	5.094
21	Hip 19786	04 14 27.25	+12 26 07.13	1.388	0.452	8.336	5.172
22	Hip 20146	04 19 08.00	+17 31 29.11	1.560	0.551	8.784	5.451
23	Hip 19781	04 14 25.65	+14 37 30.15	1.480	0.518	8.774	5.448
24	Hip 21099	04 31 15.69	+20 07 59.40	1.604	0.562	8.940	5.633
25	Hip 21788	04 40 49.06	+23 48 34.64	1.480	0.518	9.144	5.430
26	Hip 23069	04 57 49.50	+14 00 07.88	1.604	0.562	9.230	5.649
27	Hip 20480	04 23 22.33	+21 22 44.75	1.611	0.583	9.203	5.695
28	Hip 22380	04 49 03.52	+18 38 28.48	1.793	0.649	9.361	6.101
29	Hip 20850	04 28 04.43	+13 52 04.57	1.820	0.671	9.444	6.142
30	Hip 20492	04 23 32.33	+14 40 13.72	1.837	0.693	9.537	6.202
31	Hip 19098	04 05 39.67	+17 56 15.75	1.888	0.726	9.726	6.067
32	Hip 18327	03 55 06.50	+16 59 54.52	1.948	0.726	9.426	6.314
33	Hip 20978	04 29 57.72	+16 40 22.22	1.857	0.693	9.527	6.473
34	Hip 20082	04 18 19.27	+16 05 17.99	2.143	0.835	10.101	6.483
35	Hip 19263	04 07 43.19	+16 31 07.64	2.233	0.835	10.441	6.910
36	Hip 18946	04 03 39.04	+19 27 18.04	2.402	0.923	10.682	7.516
37	Hip 21723	04 39 50.97	+12 43 42.52	2.376	0.934	10.598	7.438
38	Hip 20762	04 26 54.34	+13 08 17.43	2.441	1.010	11.043	7.826
39	Hip 22271	04 47 41.80	+26 09 00.82	2.511	1.043	11.223	7.986
40	Hip 19207	04 07 01.22	+15 20 06.10	2.531	1.043	11.103	8.021
41	Hip 21261	04 33 41.92	+19 00 50.52	2.585	1.054	11.369	7.969
42	Hip 19808	04 14 51.93	+13 03 17.81	2.591	1.043	11.373	8.505
43	Hip 20527	04 23 54.41	+14 03 07.57	2.707	1.152	11.587	8.221
44	Hip 21256	04 33 37.18	+21 09 03.06	2.563	1.109	11.331	8.467
45	Hip 19316	04 08 26.66	+12 11 30.64	2.722	1.196	11.982	9.051

Sandage (1969) Güneş civarında incelediği yıldızları $U-B \times B-V$ iki-renk diyagramına yerleştirdiğinde, yıldızların mor-ötesi artıklarının $B-V = 0.6$ renk indeksinde en büyük değere ulaştığını görmüştür. Bu renk indeksinin mavi ve kırmızı taraflarında mor-ötesi artığı, aynı bir metal bolluğu değeri için azalmaktadır. Bu problemin üstesinden gelebilmek için Sandage (1969) farklı renk indekslerindeki mor-ötesi artıklarını $B-V = 0.6$ kadirindeki mor-ötesi artığına kalibre etmek üzere f ile gösterilen bir giyotin çarpanıyla normalize etmiştir (bkz Bağntı 3.15, 3.16). Sandage (1969)'nin elde ettiği f giyotin değerleri yıldızların $B-V$ ve $U-B$ renk indekslerine göre Tablo 4.3'te listelenmiştir. Ayrıca bu tabloda $B-V$ ve $U-B$ verilerine karşılık gelen ve Chonis ve Gaskell (2008)'nin ters fotometrik dönüşüm formüllerinden hesaplanan $g-r$ ve $u-g$ renk indeksleri de verilmiştir. Hyades açık kümesindeki anakolun SDSS sisteminde $0.13 < (g-r)_0 < 0.96$ renk indeksi aralığında yer aldığı görülmektedir.

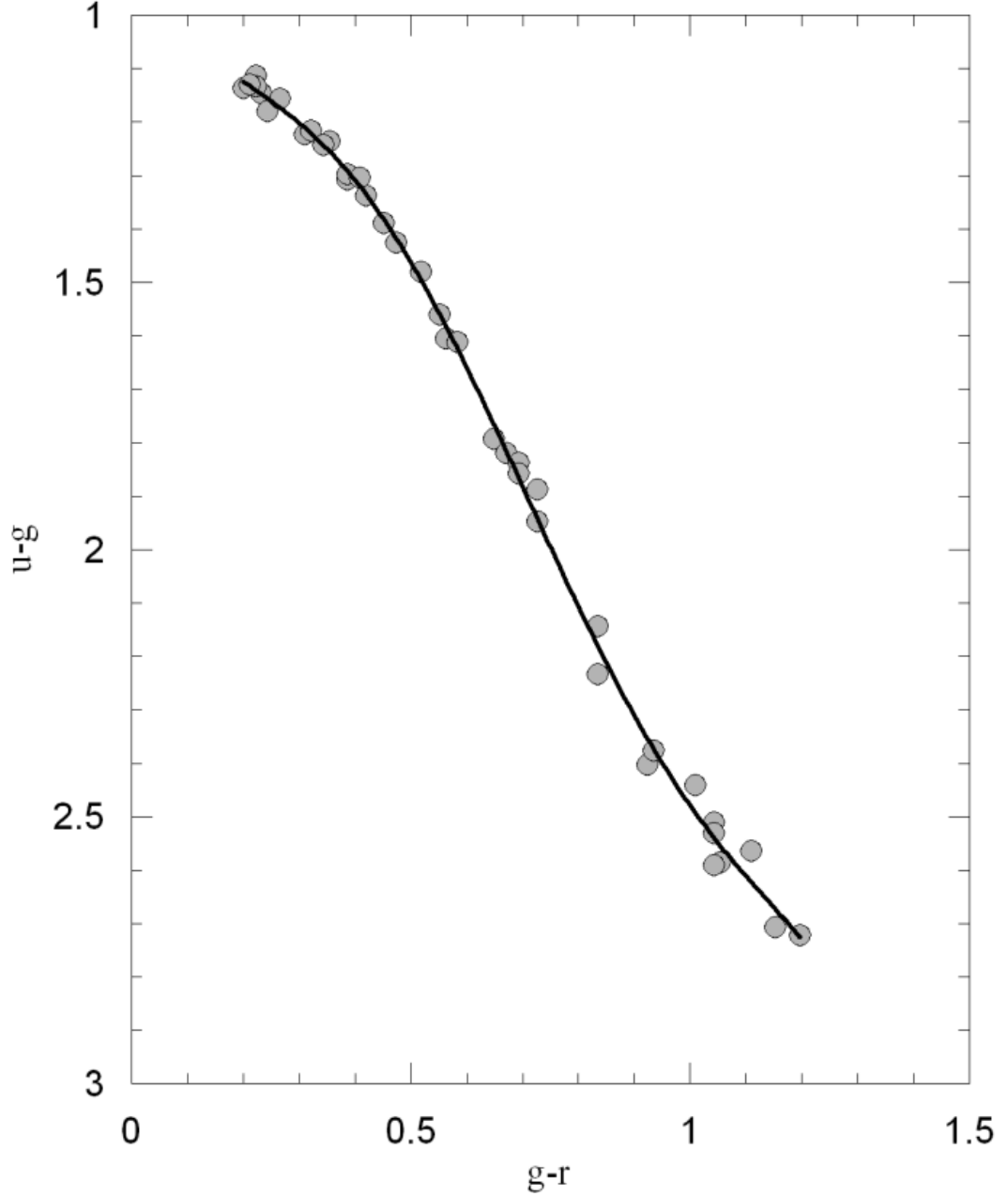
Doktora tez çalışmasında yıldızların UV (mor-ötesi) artığının hassas hesaplanabilmesi için Hyades açık kümesinin $u-g \times g-r$ iki-renk diyagramının oluşturulması gerekmektedir. Şekil 4.1'de gösterilen bu iki-renk diyagramı üzerinde Hyades açık kümesinin anakol yıldızları işaretlenmiş ve kümenin anakolu temsil eden beşinci dereceden bir polinom geçirilmiştir. Bu polinom bağıntı (4.1) ile ifade edilmiştir.

$$u - g = 0.839(0.241) + 2.756(2.397)(g - r) - 10.744(8.618)(g - r)^2 + 24.252(14.233)(g - r)^3 - 20.585(10.936)(g - r)^4 + 5.961(3.164)(g - r)^5 \quad (4.1)$$

Tablo 4.3: Hyades açık kümesinin anakolunun ağırlıklandırılmış renk uzaylarındaki konumları ve giyotin faktörü (Sandage, 1969) ve dönüşüm formülleri kullanılarak hesaplanan $u-g$, $g-r$ renk indeksleri.

$B-V$ (kadir)	$U-B$ (kadir)	f	$u-g$ (kadir)	$g-r$ (kadir)
0.35	0.03	1.24	1.144	0.135
0.40	0.01	1.19	1.142	0.190
0.45	0.00	1.15	1.150	0.244
0.50	0.03	1.11	1.198	0.299
0.55	0.08	1.03	1.266	0.354
0.60	0.13	1.00	1.334	0.408
0.65	0.19	1.03	1.412	0.463
0.70	0.25	1.10	1.490	0.518
0.75	0.34	1.19	1.598	0.573
0.80	0.43	1.29	1.705	0.627
0.85	0.54	1.41	1.833	0.682
0.90	0.64	1.55	1.951	0.737
0.95	0.74	1.63	2.069	0.791
1.00	0.84	1.82	2.187	0.846
1.05	0.94	2.06	2.305	0.901
1.10	0.99	2.58	2.373	0.955

Bağıntı (4.1)'de verilen $u-g$, Sandage (1969)'in Hyades açık kümesinin anakolunun oluşturulmasında kullandığı $U-B$ renginin SDSS sistemindeki karşılığı olan renk indeksidir. Bağıntıya ait korelasyon katsayısı ve standart sapma değerleri, sırasıyla, $R^2 = 0.998$ ve $\sigma = 0.027$ kadirdir. Şekil 4.1 incelendiğinde, Hyades kümesine ait $g-r$ ve $u-g$ renk indekslerinin değişim aralıkları, sırasıyla, $0.2 < g-r < 1.2$ ve $1.1 < u-g < 2.8$ kadirdir.



Şekil 4.1: $u-g \times g-r$ iki-renk diyagramında Hyades açık kümesinin anakol yıldızları (gri daire) ve bu yıldızları temsil eden beşinci dereceden eğri (siyah eğri).

Yeni mutlak parlaklık kalibrasyonunun oluşturulmasında Hyades açık kümesinin anakol yıldızlarının parlaklık, renk indeksi ve trigonometrik paralaks verilerine ihtiyaç vardır. Anakol yıldızlarının fotometrik ve astrometrik verileri Karaali ve diğ. (2003b)'nin çalışmasında listelenmiştir. Karaali ve diğ. (2003b)'nin çalışmasında verilen astrometrik veriler *Hipparcos* kataloğunun (ESA, 1997) ilk sürümünden alınmıştır. Tez çalışmasında Hyades anakolundaki yıldızların fotometrik verileri Karaali ve diğ. (2003b)'nin listesinden, astrometrik veriler (trigonometrik paralaks) van Leeuwen (2007)'in yeniden indirgenen *Hipparcos* kataloğundan derlenmiştir. Hyades anakol yıldızlarının M_V mutlak parlaklıkları da Pogson bağıntısı yardımıyla hesaplanmıştır. Hyades anakol yıldızlarının UBV fotometrisinde tanımlı verilerinin SDSS sistemine çevrilmesinde Chonis ve Gaskell (2008)'nin ters fotometrik dönüşüm bağıntıları (3.12-3.14) kullanılmıştır. Bu yolla yıldızların M_g mutlak parlaklık ve $g-r$ renk indeksleri hesaplanmış ve bulgular Tablo 4.2'de verilmiştir. Hyades açık kümesindeki anakol yıldızlarının SDSS sistemindeki renk-parlaklık diyagramı Şekil 4.2'de gösterilmiştir. Aynı şekil üzerinde kümenin anakolunu temsil etmek üzere beşinci dereceden bir eğri geçirilmiş ve eğriye ait parametreler aşağıdaki bağıntıyla ifade edilmiştir.

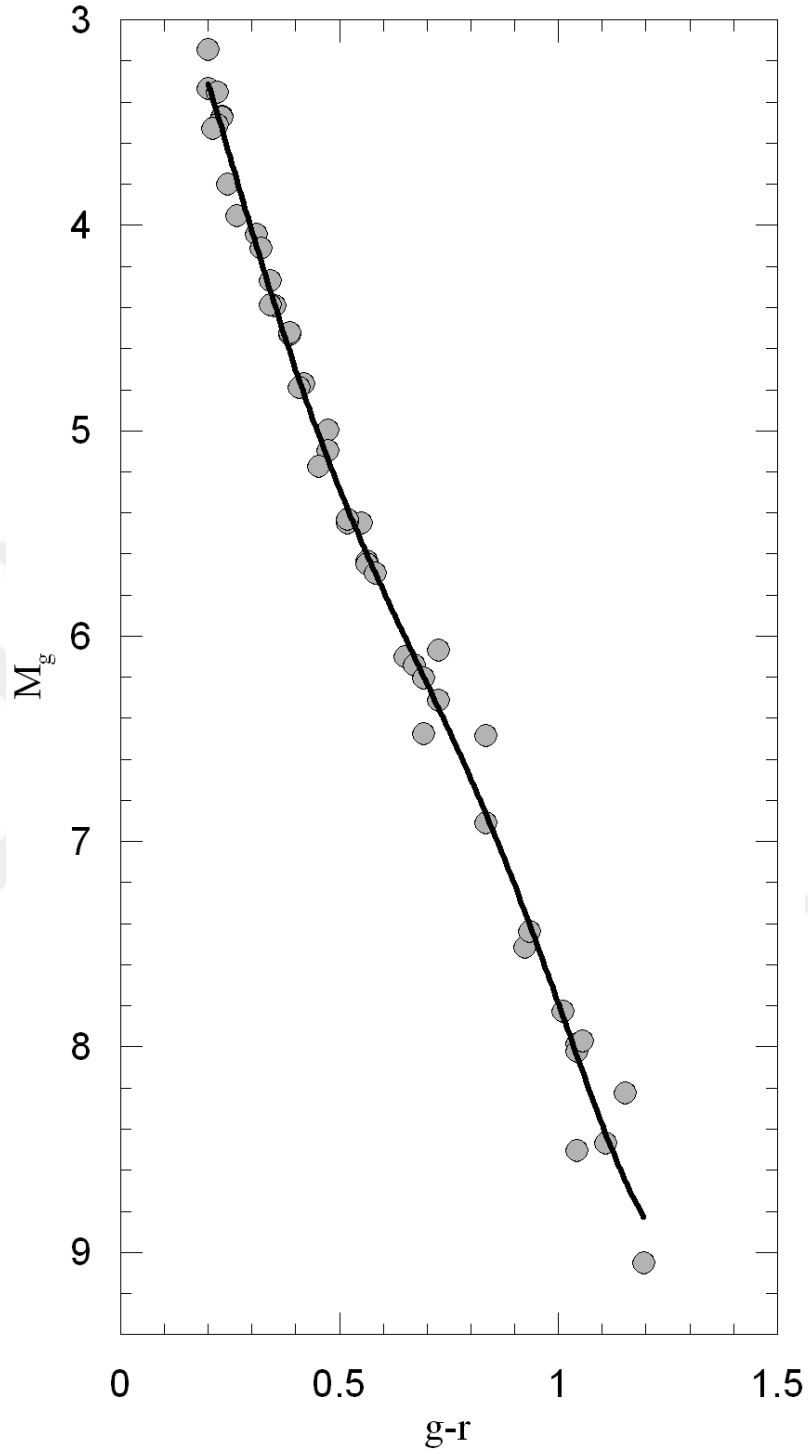
$$M_g = 2.343(1.955) + 0.575(0.177)(g - r) + 32.996(4.130)(g - r)^2 - 71.036(17.207)(g - r)^3 + 62.0392(13.731)(g - r)^4 - 19.128(13.469)(g - r)^5 \quad (4.2)$$

Bağıntı (4.2)'nin korelasyon katsayısı ve standart sapma değerleri, sırasıyla, $R^2=0.991$ ve $\sigma=0.164$ kadirdir.

Sandage (1969)'in giyotin değerlerini SDSS sisteminde tanımlamak için Tablo 4.3'te verilen f giyotin çarpanları $g-r$ renk indeksinin bir fonksiyonu olarak altıncı dereceden bir polinom ile temsil edilmiş (Bağıntı 4.3) ve Şekil 4.3'te gösterilmiştir.

$$f = 1.417 - 3.682(g - r) + 33.947(g - r)^2 - 166.936(g - r)^3 + 375.970(g - r)^4 - 378.842(g - r)^5 + 141.476(g - r)^6 \quad (4.3)$$

Bağıntı (4.3)'ün korelasyon katsayısı ve standart sapma değerleri, sırasıyla, $R^2 = 0.999$ ve $\sigma = 0.002$ 'dir.



Şekil 4.2: Hyades açık kümesindeki anakol yıldızlarının (gri daire) $M_g \times g-r$ renk-parlaklık diyagramı ve anakol yıldızlarını temsil eden beşinci dereceden eğri (siyah çizgi).

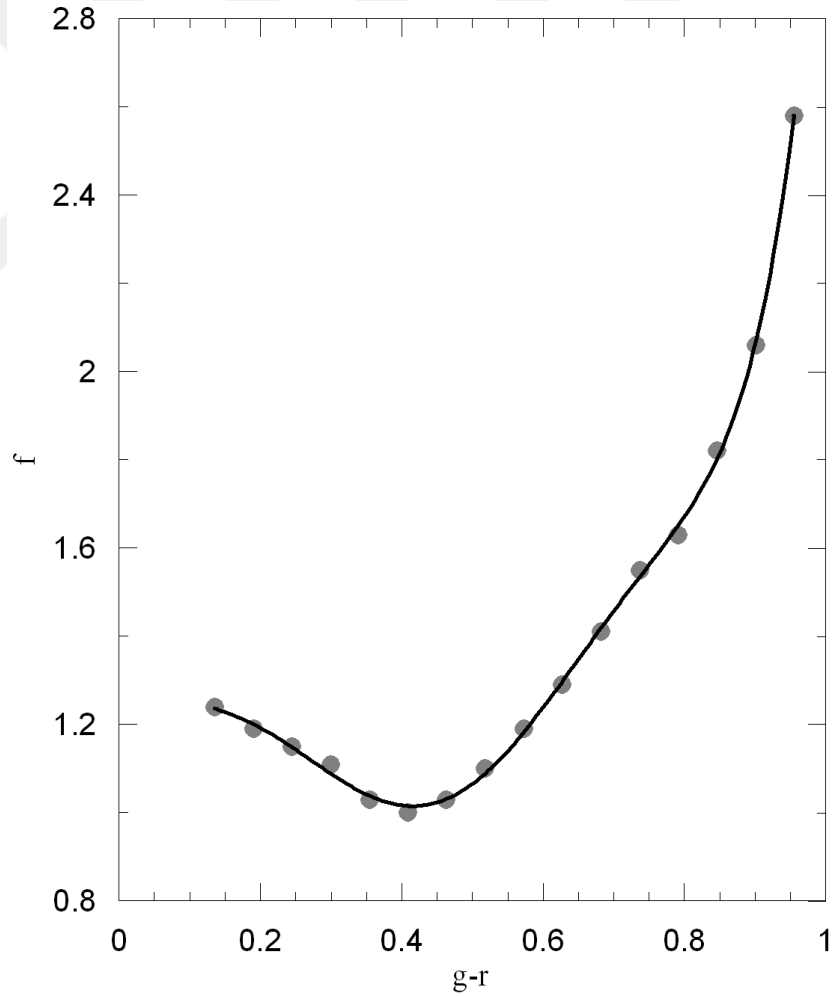
Sandage (1969)'ın $B-V = 0.6$ kadirine normalize ettiği mor-ötesi artıklarının SDSS sisteminde bir karşılığı olması gerekmektedir. Chonis ve Gaskell (2008)'nin ters fotometrik dönüşüm formülleri kullanılarak $B-V = 0.6$ kadirinin SDSS sisteminde $g-r = 0.41$ kadirine karşılık geldiği

hesaplanmıştır. Fotometrik metal bolluğu ve mutlak parlaklık tayininde kullanılan mor-ötesi artık teriminin (δ) SDSS sistemi için de tanımlanması gerekmektedir. Tez çalışmasında SDSS sistemindeki mor-ötesi artık ile $g-r = 0.41$ renk indeksine normalize edilmiş artık değerleri, sırasıyla, bağıntı (4.4) ve (4.5) ile verilmiştir.

$$\delta = (u - g)_H - (u - g)_* \quad (4.4)$$

$$\delta_{0.41} = f \times \delta \quad (4.5)$$

Burada $(u-g)_H$ mor-ötesi artık hesabının yapılacağı yıldızın $g-r$ renk indeksine karşılık gelen Hyades anakolundaki $u-g$ renk indeks değerini, $(u-g)_*$ yıldızın $u-g$ renk indeksini, δ yıldızın mor-ötesi artığını ve $\delta_{0.41}$ $g-r = 0.41$ kadirine normalleştirilmiş mor-ötesi artığını göstermektedir.



Şekil 4.3: SDSS sisteminde f giyotin çarpının $g-r$ renk indeksiyle değişimi. Şekildeki sürekli çizgi verileri temsil eden altıncı dereceden eğriyi gösterir.

4.2. METAL BOLLUĞU VE MUTLAK PARLAKLIK KALİBRASYONLARI

4.2.1. Fotometrik Metal Bolluğu Kalibrasyonu

Hyades açık kümesinden hesaplanan bağıntılar duyarlı tayfsal ve fotometrik verisi bulunan Güneş civarındaki yıldızlardan elde edilecek metal bolluğu ve mutlak parlaklık kalibrasyonlarının temelini oluşturmaktadır. Öncelikle tez çalışmasında metal bolluğu ve mutlak parlaklık kalibrasyonlarının mor-ötesi artığı yöntemiyle elde edilme amacına yönelik tayfsal ve fotometrik verileri içeren bir liste oluşturulmuştur. Bu liste hazırlanırken Güneş civarındaki yıldızları içeren çalışmalar incelenmiştir. Bu listede elde edilecek kalibrasyonları oluşturmak için trigonometrik paralaksarı ölçölmüş, duyarlı *UBV* parlaklıkları olan, yüksek çözönlörlökte tayfları alınmış ve model atmosfer parametrelerinin yani etkin sıcaklık (T_{eff}), yüzey çekim ivmesi ($\log g$) ve metal bolluğu ($[Fe/H]$) verilerinin bulunduğu yıldızları içeren çalışmalar tercih edilmiştir. Yapılan literatür taraması sonucu yukarıda bahsedilen şartlara uyan dört çalışmaya ulaşılmıştır (Bensby ve diğ., 2014; Nissen ve Schuster, 2010; Reddy ve diğ., 2006; Venn ve diğ., 2004).

Tez çalışmasında kalibrasyon yıldızları Güneş civarından seçilmiş olsalar bile bu yıldızların parlaklık ve renk indeksleri yıldızlararası ortamın neden olduğu sönökleşme ve kızarmadan etkilenmektedir. Bu etkinin ortadan kaldırılması için kalibrasyon yıldızlarına (3.1-3.6) bağıntıları kullanılarak parlaklık ve renk indeksleri, sönömlöme ve kızarmadan arındırılmıştır (bkz Bölüm 3.2). Bensby ve diğ. (2014), Nissen ve Schuster (2010), Reddy ve diğ. (2006) ve Venn ve diğ. (2004)'nin çalışmalarından alınan yıldızların model atmosfer parametreleri incelendiğinde (bkz Şekil 3.1) farklı tayf türü ve ışıma gücü sınıflarındaki 991 yıldızın bulunduğu görölmektedir. Kalibrasyon çalışmalarında F ve G tayf türündeki anakol yıldızları kullanılacağından bu yıldızlar için etkin sıcaklık ve yüzey çekim ivme değerlerine sınırlamalar getirilmelidir. Cox (2000), F ve G tayf türündeki anakol yıldızları için etkin sıcaklık aralığı $5310 < T_{eff} < 7300$ K ve yüzey çekim ivme değerleri için $\log g > 4$ (cm/sn^2) vermiştir. Bu şekilde tayfsal verilere sınırlamalar getirilmiştir. Kalibrasyon çalışmalarında kullanılacak fotometrik veriler için de bazı sınırlamaların gerekliliğı söz konusudur. Öncelikle dört çalışmada F ve G anakol yıldızı olarak seçilmiş fakat trigonometrik paralaksarı ve *UBV* parlaklıkları bulunmayan yıldızlar istatistik dışı bırakılmıştır. Kalibrasyon yıldızlarının daha hassas seçilebilmesi için listedeki yıldızların renk indeklerine, tayfsal metal bolluklarına ve rölatif paralaks hatalarına,

sırasıyla, $0.30 < (B-V)_0 < 0.68$ kadir, $-2 < [\text{Fe}/\text{H}] < 0.2$ dex ve $\sigma_\pi/\pi < 0.2$ sınırlamaları getirilmiştir. Bu son sınırlamalar ile kalibrasyon yıldız sayısı 168 olmuştur. Kalibrasyon yıldızlarının seçiminde uygulanan sınırlamalar araştırma gruplarına göre yıldız sayıları belirtilerek Tablo 4.4'te verilmiştir.

Fotometrik metal bolluğu ve mutlak parlaklık kalibrasyonlarının oluşturulması için belirlenen 168 yıldız *UBV* fotometrik sisteminde verildiğinden (Mermilliod ve diğ., 2007) çalışmanın amacına uygun olarak kalibrasyon yıldızlarının SDSS sistemine çevrilmesi gerekmektedir. Bu amaç için daha önce Hyades kümesindeki anakol yıldızları için uygulanan yöntem kalibrasyonların hazırlanması için seçilen 168 yıldız da uygulanmıştır. Kalibrasyon yıldızlarının; sıra, ekvatorial koordinatları (α , δ), *Hipparcos* numaraları, model atmosfer parametreleri (T_{eff} , $\log g$, $[\text{Fe}/\text{H}]$), *UBV* (V_0 , $(U-B)_0$, $(B-V)_0$) ve SDSS fotometrik sistemlerindeki (g_0 , $(u-g)_0$, $(g-r)_0$) yıldızlararası ortamın etkilerinden arındırılmış parlaklık ve renk indeksleri Tablo 4.5'te verilmiştir.

Tablo 4.4: Kalibrasyonların oluşturulabilmesi için Bensby ve diğ. (2014), Nissen ve Schuster (2010), Reddy ve diğ. (2006), Venn ve diğ. (2004)'nin çalışmalarındaki yıldızlara uygulanan sınırlamalar ve bu sınırlamalar sonucu kalan yıldız sayıları.

Sınırlamalar	Bensby ve diğ. (2014)	Nissen ve Schuster (2010)	Reddy ve diğ. (2006)	Venn ve diğ. (2004)
Yıldız sayısı	577	304	137	291
Ortak yıldızların çıkarılması	577	86	107	221
$5,310 < T_{\text{eff}} < 7,300$ K	530	81	82	215
$\log g > 4$ cm/sn ²	524	73	71	160
π değeri bilinenler	524	60	71	160
<i>UBV</i> verileri bulunanlar	282	60	71	160
$0.30 < (B-V)_0 < 0.68$ kadir	212	51	69	31
$-2 < [\text{Fe}/\text{H}] < 0.2$ dex	197	51	69	30
$\sigma_\pi/\pi < 0.2$	106	10	25	27

Tablo 4.5: Dört araştırma grubundan alınan 168 yıldızın ekvatorial koordinatları ve *Hipparcos* numaralarıyla verilen tayfsal ve fotometrik verileri. T_{eff} yıldızların etkin sıcaklığını, $\log g$ yüzey çekim ivmesini, $[Fe/H]$ metal bolluklarını, V_0 , $(U-B)_0$, $(B-V)_0$, sırasıyla, UBV sisteminde görünen parlaklık ve renk indekslerini, g_0 , $(u-g)_0$, $(g-r)_0$, sırasıyla, $SDSS$ sisteminde görünen parlaklık ve renk indekslerini ifade etmektedir.

Sıra	α_{2000} (hh mm ss.ss)	δ_{2000} (dd mm ss.s)	Yıldız	T_{eff} (K)	$\log g$ (cm/sn ²)	$[Fe/H]$ (dex)	V_0 (kadir)	$(U-B)_0$ (kadir)	$(B-V)_0$ (kadir)	g_0 (kadir)	$(u-g)_0$ (kadir)	$(g-r)_0$ (kadir)
1	00 11 15.86	-15 28 04.7	Hip 910	6,289	4.17	-0.33	4.886	-0.016	0.489	5.065	1.148	0.287
2	00 20 04.26	-64 52 29.3	Hip 1599	5,932	4.33	-0.19	4.225	0.017	0.571	4.457	1.210	0.377
3	00 25 01.42	-30 41 51.7	Hip 1976	5,982	4.32	0.19	7.548	0.152	0.611	7.805	1.360	0.420
4	00 34 27.83	-52 22 23.1	Hip 2711	6,499	4.22	0.06	5.563	-0.017	0.464	5.726	1.138	0.260
5	00 40 32.24	-29 52 05.8	Hip 3182	5,643	4.32	-0.29	8.695	0.084	0.627	8.963	1.297	0.438
6	00 44 26.65	-26 30 56.4	Hip 3479	5,563	4.40	-0.26	7.777	0.155	0.663	8.068	1.381	0.477
7	00 44 39.27	-65 38 58.3	Hip 3497	5,638	4.41	-0.32	6.538	0.106	0.652	6.822	1.328	0.465
8	00 47 30.75	-36 56 24.7	Hip 3704	6,078	4.40	-0.35	7.819	-0.044	0.536	8.028	1.137	0.338
9	00 50 07.59	-10 38 39.6	Hip 3909	6,352	4.45	-0.03	5.178	-0.005	0.507	5.368	1.166	0.307
10	01 02 49.72	-37 18 58.2	Hip 4892	5,994	4.42	-0.29	8.501	0.004	0.575	8.735	1.199	0.381
11	01 07 48.66	-08 14 01.3	Hip 5301	5,686	4.39	-0.11	8.384	0.157	0.632	8.655	1.372	0.443
12	01 15 11.12	-45 31 54.0	Hip 5862	6,145	4.24	0.17	4.954	0.097	0.570	5.185	1.290	0.376
13	01 42 29.32	-53 44 27.0	Hip 7978	6,219	4.41	0.05	5.531	-0.006	0.527	5.734	1.172	0.329
14	01 53 57.68	+10 36 50.5	Hip 8859	6,420	4.21	-0.30	6.730	-0.062	0.444	6.880	1.086	0.238
15	01 56 59.98	-51 45 58.5	Hip 9085	6,334	4.29	-0.26	6.088	-0.062	0.477	6.259	1.098	0.274
16	02 38 27.86	+30 48 59.9	Hip 12306	5,832	4.44	-0.52	7.306	-0.015	0.569	7.536	1.178	0.374
17	02 40 12.42	-09 27 10.4	Hip 12444	6,383	4.41	0.09	5.766	-0.013	0.517	5.963	1.161	0.318
18	02 42 33.47	-50 48 01.1	Hip 12653	6,375	4.73	0.27	5.394	0.073	0.553	5.614	1.260	0.357
19	02 45 41.01	-38 09 31.4	Hip 12889	5,999	4.23	-0.13	7.625	0.043	0.576	7.860	1.238	0.382
20	02 51 58.36	+11 22 11.9	Hip 13366	5,856	4.26	-0.69	8.234	-0.096	0.499	8.419	1.072	0.298
21	03 03 38.96	-05 39 58.7	Hip 14241	5,430	4.33	-0.45	8.048	0.108	0.658	8.335	1.333	0.472
22	03 15 06.39	-45 39 53.4	Hip 15131	5,985	4.54	-0.43	6.748	-0.023	0.576	6.983	1.172	0.382
23	03 15 22.52	-01 10 43.1	Hip 15158	6,191	4.18	-0.06	8.460	0.009	0.501	8.647	1.177	0.300
24	03 18 19.98	+18 10 17.8	Hip 15381	5,882	4.24	0.08	7.472	0.154	0.598	7.721	1.357	0.406
25	03 28 21.08	-06 31 51.3	Hip 16169	5,650	4.34	-0.57	8.210	0.022	0.612	8.468	1.230	0.422
26	03 40 22.06	-03 13 01.1	Hip 17147	5,970	4.52	-0.81	6.664	-0.092	0.532	6.871	1.087	0.334
27	04 52 09.91	-27 03 51.0	Hip 22632	5,909	4.22	-1.62	9.106	-0.196	0.481	9.280	0.965	0.278
28	05 03 53.95	-41 44 41.8	Hip 23555	6,466	4.64	0.22	6.296	0.039	0.528	6.500	1.217	0.330
29	05 44 27.79	-22 26 54.2	Hip 27072	6,323	4.16	-0.02	3.587	-0.008	0.48	3.760	1.153	0.277
30	05 59 55.79	-37 03 24.2	Hip 28403	5,668	4.31	-0.33	8.575	0.046	0.62	8.838	1.257	0.430
31	06 03 14.86	+19 21 38.7	Hip 28671	5,396	4.39	-1.11	9.260	-0.055	0.602	9.511	1.15	0.411
32	06 58 38.54	-00 28 49.7	Hip 33582	5,773	4.11	-0.62	8.987	-0.024	0.569	9.217	1.169	0.374
33	07 03 30.46	+29 20 13.5	Hip 34017	5,920	4.42	-0.12	5.921	0.058	0.588	6.163	1.258	0.395
34	07 09 04.96	+15 25 17.7	Hip 34511	5,789	4.44	-0.11	7.981	0.116	0.614	8.240	1.325	0.424
35	07 15 50.80	-13 02 58.1	Hip 35139	5,771	4.47	-0.52	7.749	-0.018	0.605	8.002	1.188	0.414

Tablo 4.5 (devam):

Sıra	α_{2000} (hh mm ss.ss)	δ_{2000} (dd mm ss.s)	Yıldız	T_{eff} (K)	$\log g$ (cm/sn ²)	[Fe/H] (dex)	V_0 (kadir)	$(U-B)_0$ (kadir)	$(B-V)_0$ (kadir)	g_0 (kadir)	$(u-g)_0$ (kadir)	$(g-r)_0$ (kadir)
36	07 30 29.02	+18 57 40.6	Hip 36491	5,869	4.31	-0.95	8.482	-0.12	0.514	8.677	1.053	0.314
37	07 34 35.11	+16 54 04.0	Hip 36849	6,012	4.16	-0.84	8.922	-0.116	0.501	9.109	1.052	0.300
38	07 40 54.38	-26 21 48.6	Hip 37419	5,715	4.38	-0.33	8.655	0.064	0.616	8.915	1.274	0.426
39	07 53 33.12	+30 36 18.3	Hip 38541	5,316	4.60	-1.84	8.288	-0.128	0.615	8.548	1.081	0.425
40	08 38 08.51	+26 02 56.3	Hip 42356	5,962	4.42	0.17	7.560	0.131	0.626	7.827	1.344	0.437
41	09 06 38.83	-43 29 31.1	Hip 44713	5,823	4.34	0.14	7.261	0.191	0.651	7.544	1.413	0.464
42	09 35 16.70	-49 07 48.9	Hip 47048	6,630	4.12	-0.50	8.451	-0.118	0.366	8.551	1.002	0.152
43	10 03 37.38	-29 02 36.0	Hip 49285	5,520	4.29	-0.21	8.073	0.191	0.668	8.367	1.419	0.483
44	10 09 49.58	-36 45 14.9	Hip 49793	5,764	4.33	-0.63	8.054	-0.026	0.587	8.296	1.173	0.394
45	10 11 48.07	+23 45 18.7	Hip 49942	5,676	4.36	-0.27	8.397	0.110	0.625	8.663	1.323	0.436
46	10 22 46.93	-45 28 14.2	Hip 50834	6,552	4.23	-0.27	9.239	-0.089	0.412	9.369	1.047	0.203
47	11 08 40.07	-44 15 33.7	Hip 54469	6,098	4.34	-0.43	9.749	-0.035	0.542	9.962	1.148	0.345
48	11 11 00.74	-65 25 37.8	Hip 54641	6,168	4.29	-1.14	8.083	-0.176	0.458	8.242	0.977	0.253
49	11 14 49.93	-23 38 47.9	Hip 54924	5,682	4.34	-0.80	9.018	-0.008	0.568	9.248	1.184	0.373
50	11 23 16.23	+19 53 37.7	Hip 55592	5,995	4.14	-1.02	9.942	-0.147	0.470	10.109	1.010	0.266
51	11 37 08.12	-39 28 12.0	Hip 56664	6,364	4.07	-0.68	8.636	-0.109	0.412	8.766	1.027	0.203
52	11 41 22.48	-26 40 01.9	Hip 57017	6,380	4.35	-0.43	7.508	-0.065	0.463	7.670	1.090	0.259
53	12 04 05.56	+03 20 26.7	Hip 58843	5,726	4.41	-0.84	9.194	-0.059	0.579	9.431	1.137	0.385
54	12 05 13.41	-28 43 02.0	Hip 58950	5,686	4.45	-0.19	7.757	0.134	0.642	8.034	1.353	0.454
55	12 10 57.93	-46 19 19.1	Hip 59380	5,901	4.38	-0.58	7.502	-0.059	0.554	7.723	1.128	0.358
56	12 37 39.13	+38 41 03.7	Hip 61619	6,429	4.26	0.04	7.338	-0.023	0.476	7.509	1.136	0.273
57	12 43 43.22	-44 40 31.6	Hip 62108	6,293	4.37	-1.53	9.841	-0.176	0.441	9.989	0.971	0.234
58	12 52 11.64	-56 34 28.0	Hip 62809	5,658	4.38	-0.77	8.424	-0.032	0.596	8.672	1.170	0.404
59	13 11 21.40	+09 37 33.5	Hip 64345	5,598	4.37	-0.60	8.718	0.047	0.613	8.977	1.255	0.423
60	13 15 36.97	+09 00 57.7	Hip 64698	5,624	4.35	-0.13	8.425	0.164	0.652	8.709	1.386	0.465
61	13 16 11.25	+35 53 09.1	Hip 64747	5,718	4.47	-0.21	8.271	0.118	0.637	8.545	1.335	0.449
62	13 34 32.65	-38 54 26.0	Hip 66238	5,660	4.42	-0.22	7.279	0.117	0.665	7.571	1.344	0.48
63	13 53 58.12	-46 32 19.5	Hip 67863	5,692	4.35	-0.76	9.004	-0.055	0.593	9.25	1.146	0.401
64	14 27 24.91	-18 24 40.4	Hip 70681	5,484	4.48	-1.30	9.259	-0.113	0.583	9.498	1.085	0.390
65	14 29 03.26	-46 44 28.0	Hip 70829	5,471	4.47	-0.67	8.903	0.084	0.673	9.200	1.314	0.488
66	14 40 28.26	-57 01 46.4	Hip 71735	5,513	4.43	-0.35	7.348	0.141	0.658	7.635	1.366	0.472
67	14 51 31.72	-60 55 50.8	Hip 72673	6,374	4.29	-0.56	7.117	-0.117	0.431	7.259	1.026	0.224
68	15 08 12.57	-07 54 47.5	Hip 74067	5,695	4.38	-0.81	7.969	-0.057	0.58	8.206	1.14	0.387
69	15 21 48.15	-48 19 03.5	Hip 75181	5,698	4.46	-0.32	5.639	0.066	0.635	5.912	1.282	0.447
70	16 03 13.30	+42 14 46.6	Hip 78640	6,069	4.30	-1.43	9.835	-0.202	0.468	10.00	0.955	0.264
71	16 39 04.14	-58 15 29.5	Hip 81520	5,746	4.62	-0.44	7.002	0.025	0.609	7.258	1.232	0.418
72	17 00 31.65	-57 17 49.6	Hip 83229	5,865	4.41	-0.49	6.987	-0.024	0.568	7.217	1.168	0.373
73	17 03 49.15	+17 11 21.1	Hip 83489	5,722	4.28	-0.29	9.078	0.088	0.635	9.351	1.304	0.447
74	17 22 12.65	-75 20 53.3	Hip 84988	5,686	4.25	-0.70	6.977	-0.016	0.593	7.223	1.185	0.401
75	17 22 27.65	+24 52 46.0	Hip 85007	6,064	4.32	-0.39	6.851	-0.068	0.505	7.040	1.102	0.304

Tablo 4.5 (devam):

Sıra	α_{J2000} (hh mm ss.ss)	δ_{J2000} (dd mm ss.s)	Yıldız	T_{eff} (K)	$\log g$ (cm/sn ²)	[Fe/H] (dex)	V_0 (kadir)	$(U-B)_0$ (kadir)	$(B-V)_0$ (kadir)	g_0 (kadir)	$(u-g)_0$ (kadir)	$(g-r)_0$ (kadir)
76	17 22 51.29	-02 23 17.4	Hip 85042	5,648	4.46	0.00	6.217	0.220	0.659	6.505	1.445	0.473
77	17 34 43.06	+06 00 51.6	Hip 86013	5,760	4.30	-0.81	8.353	-0.059	0.558	8.576	1.130	0.362
78	18 09 21.38	+29 57 06.2	Hip 88945	5,869	4.62	0.02	6.838	0.087	0.616	7.098	1.297	0.426
79	18 48 16.40	+23 30 53.1	Hip 92270	6,376	4.23	-0.05	6.098	0.015	0.494	6.280	1.181	0.292
80	18 54 23.20	-04 36 18.6	Hip 92781	5,765	4.33	-0.69	9.000	-0.067	0.561	9.225	1.123	0.366
81	18 58 51.00	+30 10 50.3	Hip 93185	5,864	4.54	-0.29	6.775	-0.004	0.575	7.009	1.191	0.381
82	19 15 33.23	-24 10 45.7	Hip 94645	6,365	4.56	0.24	6.232	0.065	0.533	6.439	1.245	0.335
83	19 32 40.33	-28 01 11.3	Hip 96124	5,577	4.47	-0.22	7.129	0.150	0.664	7.420	1.377	0.478
84	19 34 19.79	+51 14 11.8	Hip 96258	6,380	4.15	-0.03	5.721	-0.012	0.464	5.884	1.143	0.260
85	19 58 58.54	-46 05 17.0	Hip 98355	6,232	4.18	-0.62	7.445	-0.092	0.468	7.610	1.065	0.264
86	20 07 36.91	-41 01 09.6	Hip 99139	5,612	4.32	-0.37	8.809	0.093	0.63	9.078	1.308	0.441
87	20 23 35.85	-21 22 14.2	Hip 100568	5,800	4.48	-1.1	8.628	-0.139	0.541	8.840	1.044	0.344
88	20 26 11.92	+09 27 00.4	Hip 100792	6,002	4.31	-1.11	8.310	-0.182	0.472	8.478	0.976	0.268
89	20 40 22.33	-24 07 04.9	Hip 102018	5,933	4.12	0.13	7.187	0.137	0.594	7.433	1.339	0.402
90	20 40 49.38	-18 47 33.3	Hip 102046	6,009	4.13	-1.05	8.204	-0.137	0.486	8.381	1.026	0.284
91	20 49 15.19	-20 37 50.8	Hip 102762	5,948	4.30	-0.04	8.070	0.067	0.575	8.304	1.262	0.381
92	20 57 40.07	-44 07 45.7	Hip 103458	5,843	4.53	-0.61	6.507	-0.045	0.582	6.746	1.152	0.389
93	20 58 08.52	-48 12 13.5	Hip 103498	5,856	4.23	-1.11	8.271	-0.134	0.514	8.466	1.039	0.314
94	21 11 59.03	+17 43 39.9	Hip 104659	5,973	4.35	-1.08	7.343	-0.164	0.502	7.530	1.005	0.301
95	21 51 24.61	-23 16 14.2	Hip 107877	6,355	4.20	-0.24	6.850	-0.049	0.477	7.021	1.111	0.274
96	21 58 24.32	-12 39 52.8	Hip 108468	5,799	4.25	-0.08	7.188	0.110	0.618	7.450	1.320	0.428
97	22 01 36.52	-53 05 36.9	Hip 108736	5,990	4.47	-0.29	7.088	0.022	0.565	7.316	1.213	0.37
98	22 06 33.17	+01 51 25.7	Hip 109144	6,272	4.21	-0.08	7.216	0.014	0.515	7.412	1.187	0.315
99	22 09 34.61	-41 13 29.6	Hip 109381	5,803	4.46	0.13	7.828	0.208	0.657	8.115	1.432	0.471
100	22 17 15.14	+12 53 54.6	Hip 110035	5,907	4.42	-0.14	7.010	0.069	0.59	7.254	1.269	0.397
101	22 20 55.80	+08 11 12.3	Hip 110341	6,577	4.35	-0.09	6.147	-0.059	0.44	6.294	1.088	0.233
102	22 36 07.70	-54 36 38.2	Hip 111565	5,534	4.44	-0.48	7.571	0.098	0.662	7.861	1.324	0.476
103	23 01 33.17	+19 16 10.7	Hip 113688	5,757	4.29	-0.14	8.596	0.073	0.586	8.837	1.272	0.393
104	23 10 43.49	+18 54 32.6	Hip 114450	5,935	4.40	-0.05	8.427	0.024	0.552	8.646	1.211	0.356
105	23 14 07.47	-08 55 27.6	Hip 114702	6,028	4.33	-0.34	7.529	-0.043	0.546	7.745	1.141	0.349
106	23 57 33.52	-09 38 51.1	Hip 118115	5,833	4.39	0.02	7.832	0.139	0.631	8.102	1.354	0.442
107	01 36 05.80	-61 05 03.0	Hip 7459	5,759	4.31	-1.23	10.070	-0.167	0.52	10.269	1.008	0.321
108	05 05 28.70	+40 15 26.0	Hip 23688	6,293	4.41	-0.89	9.647	-0.163	0.416	9.779	0.975	0.207
109	08 19 22.60	+54 05 10.0	Hip 40778	6,006	4.23	-1.55	9.699	-0.222	0.467	9.864	0.934	0.263
110	09 36 49.50	+57 54 41.0	Hip 47174	5,603	4.33	-0.45	9.940	0.025	0.623	10.205	1.237	0.434
111	11 44 35.70	+25 32 12.0	Hip 57265	5,928	4.23	-0.93	10.318	-0.143	0.462	10.48	1.011	0.257
112	13 24 30.60	+20 27 22.0	Hip 65418	6,043	4.18	-1.56	12.138	-0.186	0.433	12.281	0.958	0.226
113	17 47 28.00	-08 46 48.0	Hip 87062	6,027	4.32	-1.49	10.266	-0.209	0.485	10.442	0.954	0.283
114	20 20 24.60	+06 01 53.0	Hip 100279	5,673	4.31	-0.72	10.039	-0.07	0.583	10.278	1.128	0.390
115	21 03 06.10	+29 28 56.0	Hip 103897	5,607	4.39	-0.67	10.083	0.005	0.576	10.318	1.200	0.382

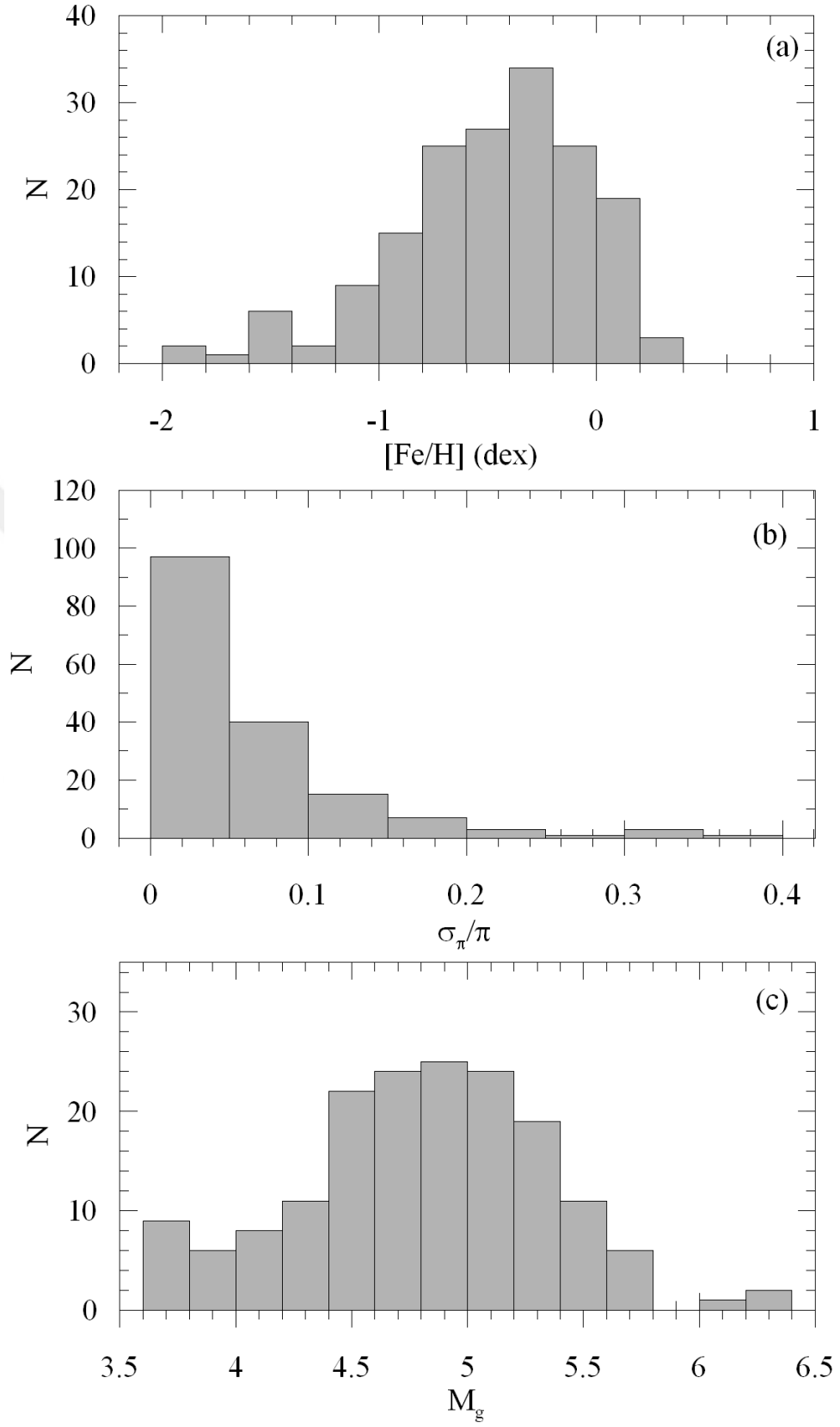
Tablo 4.5 (devam):

Sıra	α_{2000} (hh mm ss.ss)	δ_{2000} (dd mm ss.s)	Yıldız	T_{eff} (K)	$\log g$ (cm/sn ²)	[Fe/H] (dex)	V_0 (kadir)	$(U-B)_0$ (kadir)	$(B-V)_0$ (kadir)	g_0 (kadir)	$(u-g)_0$ (kadir)	$(g-r)_0$ (kadir)
116	22 23 49.10	+24 23 33.0	Hip 110560	5,791	4.14	-0.53	10.544	-0.013	0.54	10.756	1.169	0.343
117	00 58 11.69	+80 06 49.3	Hip 4544	5,832	4.51	-0.87	9.630	-0.135	0.492	9.811	1.030	0.290
118	01 06 05.15	+01 42 23.1	Hip 5163	5,547	4.63	-0.74	9.416	-0.007	0.584	9.656	1.191	0.391
119	01 18 59.99	-08 56 22.2	Hip 6159	5,653	4.56	-0.67	8.862	-0.027	0.583	9.101	1.171	0.390
120	02 14 40.30	-01 12 05.1	Hip 10449	5,566	4.64	-0.87	9.055	-0.077	0.571	9.287	1.116	0.377
121	02 17 07.14	+21 34 00.5	Hip 10652	5,499	4.58	-0.67	8.954	-0.008	0.592	9.199	1.193	0.400
122	02 38 21.50	+02 26 44.4	Hip 12294	6,069	4.58	-0.95	10.470	-0.171	0.443	10.619	0.977	0.237
123	05 09 56.96	+05 33 26.7	Hip 24030	5,738	4.64	-1.00	9.648	-0.147	0.497	9.832	1.020	0.296
124	05 31 13.78	+15 46 24.4	Hip 25860	5,543	4.56	-0.35	8.506	0.088	0.627	8.774	1.301	0.438
125	05 39 27.44	+03 57 02.7	Hip 26617	5,429	4.67	-0.75	10.116	-0.025	0.554	10.337	1.162	0.358
126	06 32 37.99	-06 29 18.5	Hip 31188	5,789	4.54	-0.59	8.514	-0.094	0.525	8.716	1.083	0.326
127	07 56 10.20	+50 32 27.3	Hip 38769	5,726	4.15	-0.79	8.780	-0.072	0.504	8.969	1.097	0.303
128	08 11 38.64	+32 27 25.7	Hip 40118	5,484	4.58	-0.47	6.817	0.125	0.676	7.116	1.356	0.492
129	08 52 44.51	+22 33 30.2	Hip 43595	5,506	4.67	-0.84	10.789	-0.049	0.587	11.031	1.150	0.394
130	09 49 42.82	+65 18 15.0	Hip 48209	5,415	4.64	-0.65	9.601	0.078	0.643	9.879	1.297	0.455
131	10 24 35.68	-05 31 10.8	Hip 50965	5,715	4.56	-0.57	9.753	-0.011	0.555	9.974	1.177	0.359
132	10 46 14.24	-29 20 25.5	Hip 52673	5,541	4.62	-0.66	9.531	0.021	0.627	9.799	1.234	0.438
133	10 47 23.16	+28 23 55.9	Hip 52771	5,354	4.77	-1.98	10.203	-0.232	0.488	10.381	0.932	0.286
134	11 46 35.15	+50 52 54.7	Hip 57450	5,315	4.74	-1.50	9.902	-0.154	0.555	10.123	1.034	0.359
135	14 48 18.70	+58 54 36.1	Hip 72407	5,567	4.56	-0.54	9.750	0.071	0.617	10.011	1.281	0.427
136	16 41 08.21	-02 51 26.2	Hip 81681	5,565	4.52	-0.38	7.160	0.050	0.604	7.413	1.255	0.413
137	17 38 15.61	+18 33 25.5	Hip 86321	5,760	4.59	-0.87	9.724	-0.117	0.465	9.888	1.038	0.261
138	19 09 39.24	-21 28 10.8	Hip 94129	5,630	4.35	-0.27	8.171	0.121	0.617	8.432	1.331	0.427
139	20 16 38.08	-07 26 37.8	Hip 99938	5,732	4.48	-0.54	8.360	-0.031	0.566	8.588	1.161	0.371
140	21 43 57.12	+27 23 24.0	Hip 107294	5,929	4.63	-1.14	9.993	-0.153	0.462	10.155	1.001	0.257
141	22 50 45.94	+01 51 54.6	Hip 112811	5,347	4.64	-0.70	9.283	0.069	0.664	9.574	1.296	0.478
142	01 32 57.60	+23 41 44.0	Hip 7217	5,550	4.20	-0.48	8.960	0.043	0.598	9.209	1.246	0.406
143	08 59 06.00	-00 37 26.0	Hip 44116	6,275	4.10	-0.58	8.456	-0.109	0.432	8.598	1.035	0.225
144	18 51 25.20	+38 37 36.0	Hip 92532	5,825	4.30	-0.56	7.138	-0.048	0.536	7.347	1.133	0.338
145	13 51 40.40	-57 26 08.0	Hip 67655	5,396	4.38	-0.93	7.941	-0.002	0.653	8.225	1.221	0.466
146	11 46 31.10	-40 30 01.0	Hip 57443	5,524	4.29	-0.35	4.879	0.098	0.662	5.169	1.324	0.476
147	02 44 12.00	+49 13 42.0	Hip 12777	5,309	4.30	-0.02	4.090	-0.009	0.482	4.264	1.153	0.279
148	08 54 17.90	-05 26 04.0	Hip 43726	5,763	4.37	0.01	6.007	0.211	0.665	6.299	1.438	0.480
149	10 59 28.00	+40 25 49.0	Hip 53721	5,882	4.34	0.01	5.027	0.123	0.605	5.280	1.329	0.414
150	12 30 50.10	+53 04 36.0	Hip 61053	6,060	4.35	-0.11	6.193	0.013	0.545	6.408	1.197	0.348
151	12 44 59.40	+39 16 44.0	Hip 62207	5,795	4.15	-0.59	5.945	-0.045	0.546	6.161	1.139	0.349
152	13 11 52.40	+27 52 41.0	Hip 64394	6,029	4.38	0.03	4.228	0.067	0.570	4.459	1.260	0.376
153	23 16 42.30	+53 12 49.0	Hip 114924	6,134	4.21	0.00	5.564	0.007	0.519	5.762	1.182	0.320
154	09 07 56.60	-50 28 57.0	Hip 44811	5,824	4.45	-0.64	7.622	-0.063	0.532	7.829	1.116	0.334
155	22 12 43.50	-06 28 08.0	Hip 109646	5,910	4.25	-0.64	7.408	-0.087	0.510	7.600	1.085	0.310

Tablo 4.5 (devam):

Sıra	α_{2000} (hh mm ss.ss)	δ_{2000} (dd mm ss.s)	Yıldız	T_{eff} (K)	$\log g$ (cm/sn ²)	[Fe/H] (dex)	V_0 (kadir)	$(U-B)_0$ (kadir)	$(B-V)_0$ (kadir)	g_0 (kadir)	$(u-g)_0$ (kadir)	$(g-r)_0$ (kadir)
156	00 05 54.70	+18 14 06.0	Hip 493	5,826	4.36	-0.29	7.435	0.036	0.555	7.656	1.224	0.359
157	06 12 00.60	+06 46 59.0	Hip 29432	5,726	4.58	-0.16	6.826	0.119	0.625	7.092	1.332	0.436
158	08 27 36.80	+45 39 11.0	Hip 41484	5,703	4.46	-0.08	6.312	0.118	0.623	6.577	1.330	0.434
159	10 07 33.80	-06 26 21.0	Hip 49615	6,019	4.29	-0.43	7.703	-0.064	0.504	7.892	1.105	0.303
160	10 57 09.60	+21 48 17.0	Hip 53537	6,019	4.43	0.05	7.928	0.117	0.616	8.188	1.327	0.426
161	11 25 31.80	+42 37 58.0	Hip 55761	5,741	4.35	-0.62	7.847	-0.043	0.536	8.056	1.138	0.338
162	13 55 50.00	+14 03 23.0	Hip 68030	6,081	4.40	-0.38	6.151	-0.087	0.498	6.336	1.08	0.297
163	14 23 15.30	+01 14 30.0	Hip 70319	5,597	4.44	-0.41	6.242	0.081	0.634	6.514	1.297	0.446
164	14 32 04.50	+18 50 10.0	Hip 71076	6,038	4.22	-0.39	7.787	-0.085	0.493	7.969	1.080	0.291
165	20 17 31.30	+66 51 13.0	Hip 100017	5,782	4.44	-0.19	5.854	0.045	0.567	6.083	1.237	0.372
166	20 49 37.80	+12 32 42.0	Hip 102805	6,337	4.31	-0.32	5.990	-0.095	0.414	6.121	1.042	0.205
167	23 03 57.30	-04 47 42.0	Hip 113896	5,872	4.28	-0.18	6.658	0.047	0.573	6.891	1.241	0.379
168	23 31 31.50	-04 05 15.0	Hip 116106	6,005	4.42	-0.24	6.480	-0.031	0.520	6.679	1.144	0.321

Kalibrasyonlarda kullanılacak 168 yıldızın metal bolluğu, rölatif paralaks hatası ve mutlak parlaklık verilerinin dağılımları, sırasıyla, Şekil 4.4, Şekil 4.5 ve Şekil 4.6 oluşturulmuştur. Kalibrasyon yıldızlarının tayfsal metal bollukları $-2 < [\text{Fe}/\text{H}] \text{ (dex)} < 0.4$ aralığında bulunduğu görülmektedir (Şekil 4.4a). Yıldızların yaklaşık %94'ü $-1.2 < [\text{Fe}/\text{H}] \leq +0.2$ dex aralığında, geriye kalan metalce fakir yıldızlar ise $-2 < [\text{Fe}/\text{H}] \leq -1.2$ dex aralığında yer almaktadır. 168 yıldızın uzaklıklarındaki duyarlılığının bir ölçütü olarak kullanılan rölatif paralaks değerlerinin dağılımları incelendiğinde (Şekil 4.4b), kalibrasyon yıldızlarının rölatif paralaks hataları $0 < \sigma_{\pi}/\pi < 0.4$ aralığındadır. Sola yatık bir dağılım gösteren bu histogramda, rölatif paralaks değerleri $\sigma_{\pi}/\pi \leq 0.1$ olan yıldızlar tüm örneğin yaklaşık %84'ü oluşturmaktadır. Bu da seçilen örnekteki yıldızların uzaklık değerlerinin oldukça duyarlı tayin edildiğini göstermektedir. Şekil 4.4c'de 168 kalibrasyon yıldızının ters fotometrik dönüşüm formülleri, trigonometrik paralaks ve Pogson bağıntısı kullanılarak hesaplanan M_g mutlak parlaklıklarının histogramı gösterilmiştir. Yıldızların mutlak parlaklık dağılımı incelendiğinde M_g değerlerinin $3.5 < M_g < 6.5$ kadir aralığında bulunduğu ve dağılımın modunun da yaklaşık $M_g = 4.9$ kadir olduğu görülmektedir. Kalibrasyon yıldızlarının trigonometrik paralaks, SDSS sistemindeki görünen ve mutlak parlaklık ile renk indeksleri, tayfsal metal bolluğu, f giyotin çarpanı, mor-ötesi ve normalleştirilmiş mor-ötesi artık değerleriyle Hyades anakolunun $(u-g)_0$ renk indeksi Tablo 4.6'da verilmiştir. Yıldızların $(g-r)_0$ renk indeksine karşılık gelen Hyades $(u-g)_0$ renk indeksi için bağıntı (4.1) ve f giyotin çarpanı için bağıntı (4.3), SDSS sistemindeki mor-ötesi ve normalize edilmiş artıklarının hesaplamasında, sırasıyla, (4.4) ve (4.5) bağıntıları kullanılmıştır.



Şekil 4.4: 168 yıldızın (a) tayfsal metal bolluğu, (b) rölatif paralaks hataları ve (c) SDSS fotometrik sistemindeki M_g mutlak parlaklık dağılımları.

Tablo 4.6: Kalibrasyon yıldızlarının *Hipparcos* numaraları, trigonometrik paralaksıları (π), SDSS sistemindeki parlaklık ve renkleri (g_0 , $(u-g)_0$, $(g-r)_0$), tayfsal metal bollukları $[\text{Fe}/\text{H}]$, giyotin çarpanı (f) SDSS sistemindeki mutlak parlaklıkları (M_g)_{orj}, yıldızların $(g-r)_0$ rengine karşılık gelen $(u-g)_{\text{Hya}}$ rengi ve mor-ötesi (δ) ve normalize edilmiş ($\delta_{0.41}$) morötesi artıkları.

Sıra	Yıldız	$\pi \pm \pi_{\text{hata}}$ (mas)	g_0 (kadir)	$(u-g)_0$ (kadir)	$(g-r)_0$ (kadir)	$[\text{Fe}/\text{H}]$ (dex)	f	$(M_g)_{\text{orj}}$ (kadir)	$(u-g)_{\text{Hya}}$ (kadir)	δ (kadir)	$\delta_{0.41}$ (kadir)
1	Hip 910	53.34±0.64	5.065	1.148	0.287	-0.33	1.102	3.700	1.190	0.042	0.046
2	Hip 1599	116.46±0.60	4.457	1.210	0.377	-0.19	1.025	4.788	1.280	0.070	0.072
3	Hip 1976	21.27±0.70	7.805	1.360	0.420	0.19	1.015	4.444	1.335	-0.025	-0.025
4	Hip 2711	39.24±0.34	5.726	1.138	0.260	0.06	1.132	3.695	1.168	0.030	0.034
5	Hip 3182	16.76±0.98	8.963	1.297	0.438	-0.29	1.018	5.084	1.361	0.064	0.065
6	Hip 3479	30.89±0.75	8.068	1.381	0.477	-0.26	1.042	5.517	1.423	0.042	0.044
7	Hip 3497	45.34±0.32	6.822	1.328	0.465	-0.32	1.032	5.104	1.403	0.075	0.077
8	Hip 3704	20.51±0.78	8.028	1.137	0.338	-0.35	1.051	4.588	1.237	0.100	0.105
9	Hip 3909	63.48±0.35	5.368	1.166	0.307	-0.03	1.081	4.381	1.207	0.041	0.044
10	Hip 4892	16.48±1.04	8.735	1.199	0.381	-0.29	1.023	4.820	1.285	0.086	0.088
11	Hip 5301	18.23±0.76	8.655	1.372	0.443	-0.11	1.020	4.959	1.369	-0.003	-0.003
12	Hip 5862	66.16±0.24	5.185	1.290	0.376	0.17	1.025	4.288	1.279	-0.011	-0.011
13	Hip 7978	57.36±0.25	5.734	1.172	0.329	0.05	1.059	4.527	1.228	0.056	0.059
14	Hip 8859	24.12±0.64	6.880	1.086	0.238	-0.30	1.156	3.792	1.152	0.066	0.076
15	Hip 9085	37.22±0.38	6.259	1.098	0.274	-0.26	1.116	4.113	1.179	0.081	0.090
16	Hip 12306	29.17±0.81	7.536	1.178	0.374	-0.52	1.026	4.861	1.276	0.098	0.101
17	Hip 12444	45.96±0.41	5.963	1.161	0.318	0.09	1.070	4.275	1.218	0.057	0.061
18	Hip 12653	58.25±0.22	5.614	1.260	0.357	0.27	1.036	4.440	1.257	-0.003	-0.003
19	Hip 12889	20.16±0.69	7.860	1.238	0.382	-0.13	1.022	4.382	1.286	0.048	0.049
20	Hip 13366	16.39±1.07	8.419	1.072	0.298	-0.69	1.090	4.492	1.200	0.128	0.140
21	Hip 14241	28.54±0.97	8.335	1.333	0.472	-0.45	1.037	5.612	1.414	0.081	0.084
22	Hip 15131	41.34±0.40	6.983	1.172	0.382	-0.43	1.022	5.065	1.286	0.114	0.117
23	Hip 15158	10.55±1.15	8.647	1.177	0.300	-0.06	1.088	3.763	1.201	0.024	0.026
24	Hip 15381	20.16±0.64	7.721	1.357	0.406	0.08	1.016	4.243	1.316	-0.041	-0.042
25	Hip 16169	21.38±0.88	8.468	1.230	0.422	-0.57	1.015	5.118	1.338	0.108	0.110
26	Hip 17147	39.12±0.56	6.871	1.087	0.334	-0.81	1.055	4.833	1.233	0.146	0.154
27	Hip 22632	15.00±1.13	9.280	0.965	0.278	-1.62	1.112	5.160	1.183	0.218	0.242
28	Hip 23555	31.50±0.31	6.500	1.217	0.330	0.22	1.058	3.992	1.229	0.012	0.013
29	Hip 27072	112.02±0.18	3.760	1.153	0.277	-0.02	1.113	4.006	1.182	0.029	0.032
30	Hip 28403	19.64±0.72	8.838	1.257	0.430	-0.33	1.016	5.304	1.350	0.093	0.094
31	Hip 28671	16.81±2.04	9.511	1.150	0.411	-1.11	1.015	5.639	1.323	0.173	0.176
32	Hip 33582	12.56±1.16	9.217	1.169	0.374	-0.62	1.026	4.712	1.276	0.107	0.110
33	Hip 34017	52.27±0.41	6.163	1.258	0.395	-0.12	1.018	4.754	1.302	0.044	0.045
34	Hip 34511	21.64±0.79	8.240	1.325	0.424	-0.11	1.015	4.916	1.341	0.016	0.016
35	Hip 35139	30.95±0.75	8.002	1.188	0.414	-0.52	1.015	5.455	1.327	0.139	0.141
36	Hip 36491	20.2±1.29	8.677	1.053	0.314	-0.95	1.074	5.204	1.214	0.161	0.173
37	Hip 36849	12.37±1.23	9.109	1.052	0.300	-0.84	1.088	4.571	1.201	0.149	0.162
38	Hip 37419	19.16±0.88	8.915	1.274	0.426	-0.33	1.016	5.327	1.344	0.070	0.071
39	Hip 38541	34.30±0.90	8.548	1.081	0.425	-1.84	1.016	6.224	1.342	0.261	0.265
40	Hip 42356	22.91±0.59	7.827	1.344	0.437	0.17	1.018	4.627	1.360	0.016	0.016
41	Hip 44713	26.83±0.51	7.544	1.413	0.464	0.14	1.032	4.687	1.401	-0.012	-0.012
42	Hip 47048	10.26±0.95	8.551	1.002	0.152	-0.50	1.227	3.607	1.084	0.082	0.101
43	Hip 49285	21.13±1.06	8.367	1.419	0.483	-0.21	1.047	4.991	1.433	0.014	0.015
44	Hip 49793	22.58±0.69	8.296	1.173	0.394	-0.63	1.018	5.065	1.301	0.128	0.130
45	Hip 49942	16.86±0.77	8.663	1.323	0.436	-0.27	1.018	4.797	1.358	0.035	0.036
46	Hip 50834	8.09±1.12	9.369	1.047	0.203	-0.27	1.190	3.909	1.126	0.079	0.094
47	Hip 54469	9.27±1.29	9.962	1.148	0.345	-0.43	1.045	4.797	1.244	0.096	0.100
48	Hip 54641	18.36±0.58	8.242	0.977	0.253	-1.14	1.140	4.561	1.163	0.186	0.212
49	Hip 54924	15.02±1.09	9.248	1.184	0.373	-0.80	1.027	5.131	1.275	0.091	0.093
50	Hip 55592	8.35±1.58	10.109	1.010	0.266	-1.02	1.125	4.717	1.173	0.163	0.183

Tablo 4.6 (devam):

Sıra	Yıldız	$\pi \pm \pi_{\text{hata}}$ (mas)	g_0 (kadir)	$(u-g)_0$ (kadir)	$(g-r)_0$ (kadir)	[Fe/H] (dex)	f	$(M_g)_{\text{orj}}$ (kadir)	$(u-g)_{\text{Hya}}$ (kadir)	δ (kadir)	$\delta_{0.41}$ (kadir)
51	Hip 56664	9.45±1.070	8.766	1.027	0.203	-0.68	1.190	3.643	1.126	0.099	0.118
52	Hip 57017	18.78±0.61	7.670	1.090	0.259	-0.43	1.133	4.038	1.168	0.078	0.088
53	Hip 58843	14.24±1.33	9.431	1.137	0.385	-0.84	1.021	5.199	1.290	0.153	0.156
54	Hip 58950	27.85±0.70	8.034	1.353	0.454	-0.19	1.025	5.258	1.386	0.033	0.034
55	Hip 59380	27.31±0.65	7.723	1.128	0.358	-0.58	1.036	4.905	1.258	0.130	0.135
56	Hip 61619	17.81±0.46	7.509	1.136	0.273	0.04	1.118	3.762	1.179	0.043	0.048
58	Hip 62809	20.67±1.04	8.672	1.170	0.404	-0.77	1.016	5.249	1.314	0.144	0.146
59	Hip 64345	16.88±1.04	8.977	1.255	0.423	-0.60	1.015	5.114	1.340	0.085	0.086
60	Hip 64698	18.48±1.10	8.709	1.386	0.465	-0.13	1.032	5.043	1.403	0.017	0.018
61	Hip 64747	21.87±0.80	8.545	1.335	0.449	-0.21	1.023	5.244	1.378	0.043	0.044
62	Hip 66238	33.27±0.61	7.571	1.344	0.480	-0.22	1.044	5.181	1.428	0.084	0.088
63	Hip 67863	16.70±1.24	9.250	1.146	0.401	-0.76	1.016	5.364	1.310	0.164	0.167
64	Hip 70681	21.04±1.12	9.498	1.085	0.390	-1.30	1.019	6.113	1.296	0.211	0.215
65	Hip 70829	19.18±1.21	9.200	1.314	0.488	-0.67	1.052	5.614	1.441	0.127	0.134
66	Hip 71735	37.71±0.72	7.635	1.366	0.472	-0.35	1.037	5.517	1.414	0.048	0.050
67	Hip 72673	20.06±0.71	7.259	1.026	0.224	-0.56	1.170	3.771	1.141	0.115	0.135
68	Hip 74067	26.62±0.86	8.206	1.140	0.387	-0.81	1.020	5.332	1.292	0.152	0.155
69	Hip 75181	67.51±0.39	5.912	1.282	0.447	-0.32	1.022	5.059	1.375	0.093	0.095
70	Hip 78640	08.41±1.02	10.000	0.955	0.264	-1.43	1.127	4.624	1.172	0.217	0.245
71	Hip 81520	44.54±0.54	7.258	1.232	0.418	-0.44	1.015	5.502	1.333	0.101	0.103
72	Hip 83229	32.77±0.63	7.217	1.168	0.373	-0.49	1.027	4.794	1.275	0.107	0.110
73	Hip 83489	13.43±1.41	9.351	1.304	0.447	-0.29	1.022	4.991	1.375	0.071	0.073
74	Hip 84988	35.67±0.50	7.223	1.185	0.401	-0.70	1.016	4.985	1.310	0.125	0.127
75	Hip 85007	34.12±0.57	7.040	1.102	0.304	-0.39	1.084	4.705	1.205	0.103	0.112
76	Hip 85042	51.22±0.40	6.505	1.445	0.473	0.00	1.038	5.052	1.416	-0.029	-0.030
77	Hip 86013	19.38±1.14	8.576	1.130	0.362	-0.81	1.033	5.013	1.263	0.133	0.137
78	Hip 88945	40.29±0.49	7.098	1.297	0.426	0.02	1.016	5.124	1.344	0.047	0.048
79	Hip 92270	34.78±0.41	6.280	1.181	0.292	-0.05	1.097	3.987	1.194	0.013	0.014
80	Hip 92781	14.59±1.29	9.225	1.123	0.366	-0.69	1.031	5.045	1.267	0.144	0.148
81	Hip 93185	41.94±0.47	7.009	1.191	0.381	-0.29	1.023	5.122	1.285	0.094	0.096
82	Hip 94645	36.30±0.70	6.439	1.245	0.335	0.24	1.054	4.239	1.234	-0.011	-0.012
83	Hip 96124	36.72±0.95	7.420	1.377	0.478	-0.22	1.043	5.245	1.424	0.047	0.049
84	Hip 96258	39.82±0.20	5.884	1.143	0.260	-0.03	1.132	3.885	1.168	0.025	0.028
85	Hip 98355	19.11±0.84	7.610	1.065	0.264	-0.62	1.127	4.016	1.172	0.107	0.121
86	Hip 99139	17.95±1.16	9.078	1.308	0.441	-0.37	1.019	5.348	1.366	0.058	0.059
87	Hip 100568	22.78±1.00	8.840	1.044	0.344	-1.10	1.046	5.628	1.243	0.199	0.208
88	Hip 100792	17.00±0.83	8.478	0.976	0.268	-1.11	1.123	4.630	1.175	0.199	0.223
89	Hip 102018	24.89±0.57	7.433	1.339	0.402	0.13	1.016	4.413	1.311	-0.028	-0.028
90	Hip 102046	16.15±0.93	8.381	1.026	0.284	-1.05	1.105	4.422	1.188	0.162	0.179
91	Hip 102762	17.11±0.88	8.304	1.262	0.381	-0.04	1.023	4.470	1.285	0.023	0.024
92	Hip 103458	45.17±0.46	6.746	1.152	0.389	-0.61	1.020	5.020	1.295	0.143	0.146
93	Hip 103498	18.95±0.76	8.466	1.039	0.314	-1.11	1.074	4.854	1.214	0.175	0.188
94	Hip 104659	29.10±0.64	7.530	1.005	0.301	-1.08	1.087	4.849	1.202	0.197	0.214
95	Hip 107877	24.91±0.56	7.021	1.111	0.274	-0.24	1.116	4.003	1.179	0.068	0.076
96	Hip 108468	29.93±0.74	7.450	1.320	0.428	-0.08	1.016	4.831	1.347	0.027	0.027
97	Hip 108736	27.95±0.55	7.316	1.213	0.370	-0.29	1.028	4.548	1.272	0.059	0.061
98	Hip 109144	19.52±0.77	7.412	1.187	0.315	-0.08	1.073	3.864	1.215	0.028	0.030
99	Hip 109381	23.53±0.76	8.115	1.432	0.471	0.13	1.037	4.973	1.413	-0.019	-0.020
100	Hip 110035	32.22±0.52	7.254	1.269	0.397	-0.14	1.017	4.795	1.305	0.036	0.037
101	Hip 110341	32.33±0.55	6.294	1.088	0.233	-0.09	1.161	3.842	1.148	0.060	0.070
102	Hip 111565	31.82±0.63	7.861	1.324	0.476	-0.48	1.041	5.375	1.421	0.097	0.101
103	Hip 113688	12.07±0.88	8.837	1.272	0.393	-0.14	1.018	4.246	1.300	0.028	0.029
104	Hip 114450	14.48±1.09	8.646	1.211	0.356	-0.05	1.037	4.450	1.256	0.045	0.047
105	Hip 114702	25.60±1.26	7.745	1.141	0.349	-0.34	1.042	4.786	1.249	0.108	0.113

Tablo 4.6 (devam):

Sıra	Yıldız	$\pi \pm \pi_{\text{hata}}$ (mas)	g_0 (kadir)	$(u-g)_0$ (kadir)	$(g-r)_0$ (kadir)	[Fe/H] (dex)	f	$(M_g)_{\text{orj}}$ (kadir)	$(u-g)_{\text{Hya}}$ (kadir)	δ (kadir)	$\delta_{0.41}$ (kadir)
106	Hip 118115	20.84±0.87	8.102	1.354	0.442	0.02	1.020	4.696	1.367	0.013	0.013
107	Hip 7459	10.87±1.33	10.269	1.008	0.321	-1.23	1.067	5.450	1.220	0.212	0.226
108	Hip 23688	08.79±1.20	9.779	0.975	0.207	-0.89	1.186	4.499	1.129	0.154	0.183
109	Hip 40778	10.35±1.56	9.864	0.934	0.263	-1.55	1.129	4.939	1.171	0.237	0.268
110	Hip 47174	11.99±1.71	10.205	1.237	0.434	-0.45	1.017	5.599	1.355	0.118	0.120
111	Hip 57265	06.25±1.71	10.480	1.011	0.257	-0.93	1.135	4.459	1.166	0.155	0.176
112	Hip 65418	03.12±3.30	12.281	0.958	0.226	-1.56	1.168	4.752	1.143	0.185	0.216
113	Hip 87062	09.59±2.21	10.442	0.954	0.283	-1.49	1.106	5.351	1.187	0.233	0.258
114	Hip 100279	10.46±1.60	10.278	1.128	0.390	-0.72	1.019	5.376	1.296	0.168	0.171
115	Hip 103897	07.70±1.63	10.318	1.200	0.382	-0.67	1.022	4.750	1.286	0.086	0.088
116	Hip 110560	05.32±1.65	10.756	1.169	0.343	-0.53	1.047	4.386	1.242	0.073	0.076
117	Hip 4544	09.23±1.03	9.811	1.030	0.290	-0.87	1.099	4.637	1.193	0.163	0.179
118	Hip 5163	10.84±1.29	9.656	1.191	0.391	-0.74	1.019	4.831	1.297	0.106	0.108
119	Hip 6159	15.35±1.17	9.101	1.171	0.390	-0.67	1.019	5.032	1.296	0.125	0.127
120	Hip 10449	15.87±1.23	9.287	1.116	0.377	-0.87	1.025	5.290	1.280	0.164	0.168
121	Hip 10652	15.93±1.19	9.199	1.193	0.400	-0.67	1.017	5.210	1.308	0.115	0.117
122	Hip 12294	05.82±2.18	10.619	0.977	0.237	-0.95	1.157	4.444	1.151	0.174	0.201
123	Hip 24030	08.66±1.77	9.832	1.020	0.296	-1.00	1.092	4.520	1.198	0.178	0.194
124	Hip 25860	20.07±1.15	8.774	1.301	0.438	-0.35	1.018	5.287	1.361	0.060	0.061
125	Hip 26617	08.79±2.67	10.337	1.162	0.358	-0.75	1.036	5.057	1.258	0.096	0.099
126	Hip 31188	16.79±0.91	8.716	1.083	0.326	-0.59	1.062	4.841	1.225	0.142	0.151
127	Hip 38769	11.56±0.98	8.969	1.097	0.303	-0.79	1.085	4.284	1.204	0.107	0.116
128	Hip 40118	45.90±0.55	7.116	1.356	0.492	-0.47	1.056	5.425	1.448	0.092	0.097
129	Hip 43595	07.87±2.47	11.031	1.150	0.394	-0.84	1.018	5.511	1.301	0.151	0.154
130	Hip 48209	13.10±1.20	9.879	1.297	0.455	-0.65	1.026	5.465	1.387	0.090	0.092
131	Hip 50965	09.14±1.37	9.974	1.177	0.359	-0.57	1.035	4.779	1.259	0.082	0.085
132	Hip 52673	14.07±1.29	9.799	1.234	0.438	-0.66	1.018	5.540	1.361	0.127	0.129
133	Hip 52771	10.45±1.42	10.381	0.932	0.286	-1.98	1.103	5.477	1.189	0.257	0.283
134	Hip 57450	12.85±1.33	10.123	1.034	0.359	-1.50	1.035	5.668	1.259	0.225	0.233
135	Hip 72407	10.65±0.73	10.011	1.281	0.427	-0.54	1.016	5.148	1.345	0.064	0.065
136	Hip 81681	33.82±0.58	7.413	1.255	0.413	-0.38	1.015	5.059	1.326	0.071	0.072
137	Hip 86321	08.38±1.29	9.888	1.038	0.261	-0.87	1.131	4.504	1.169	0.131	0.148
138	Hip 94129	17.60±0.76	8.432	1.331	0.427	-0.27	1.016	4.660	1.345	0.014	0.014
139	Hip 99938	17.64±0.82	8.588	1.161	0.371	-0.54	1.028	4.820	1.273	0.112	0.115
140	Hip 107294	9.03±1.68	10.155	1.001	0.257	-1.14	1.135	4.933	1.166	0.165	0.187
141	Hip 112811	16.56±1.22	9.574	1.296	0.478	-0.70	1.043	5.669	1.424	0.128	0.134
142	Hip 7217	14.60±1.14	9.209	1.246	0.406	-0.48	1.016	5.031	1.316	0.070	0.071
143	Hip 44116	12.70±1.15	8.598	1.035	0.225	-0.58	1.169	4.117	1.142	0.107	0.125
144	Hip 92532	32.72±0.36	7.347	1.133	0.338	-0.56	1.051	4.921	1.237	0.104	0.109
145	Hip 67655	39.42±0.97	8.225	1.221	0.466	-0.93	1.033	6.204	1.405	0.184	0.190
146	Hip 57443	108.45±0.22	5.169	1.324	0.476	-0.35	1.041	5.345	1.421	0.097	0.101
147	Hip 12777	89.87±0.22	4.264	1.153	0.279	-0.02	1.111	4.032	1.184	0.031	0.034
148	Hip 43726	57.52±0.39	6.299	1.438	0.480	0.01	1.044	5.098	1.428	-0.010	-0.010
149	Hip 53721	71.11±0.25	5.280	1.329	0.414	0.01	1.015	4.540	1.327	-0.002	-0.002
150	Hip 61053	45.92±0.35	6.408	1.197	0.348	-0.11	1.043	4.718	1.247	0.050	0.052
151	Hip 62207	57.55±0.32	6.161	1.139	0.349	-0.59	1.042	4.961	1.249	0.110	0.115
152	Hip 64394	109.54±0.17	4.459	1.260	0.376	0.03	1.025	4.657	1.279	0.019	0.019
153	Hip 114924	48.77±0.26	5.762	1.182	0.320	0.00	1.068	4.203	1.219	0.037	0.040
154	Hip 44811	24.53±0.56	7.829	1.116	0.334	-0.64	1.055	4.777	1.233	0.117	0.123
155	Hip 109646	27.64±0.68	7.600	1.085	0.310	-0.64	1.078	4.808	1.210	0.125	0.135
156	Hip 493	26.93±0.56	7.656	1.224	0.359	-0.29	1.035	4.807	1.259	0.035	0.036
157	Hip 29432	42.55±0.55	7.092	1.332	0.436	-0.16	1.018	5.236	1.358	0.026	0.026
158	Hip 41484	44.94±0.46	6.577	1.330	0.434	-0.08	1.017	4.840	1.355	0.025	0.025
159	Hip 49615	21.25±0.62	7.892	1.105	0.303	-0.43	1.085	4.529	1.204	0.099	0.107
160	Hip 53537	20.32±0.66	8.188	1.327	0.426	0.05	1.016	4.728	1.344	0.017	0.017

Tablo 4.6 (devam):

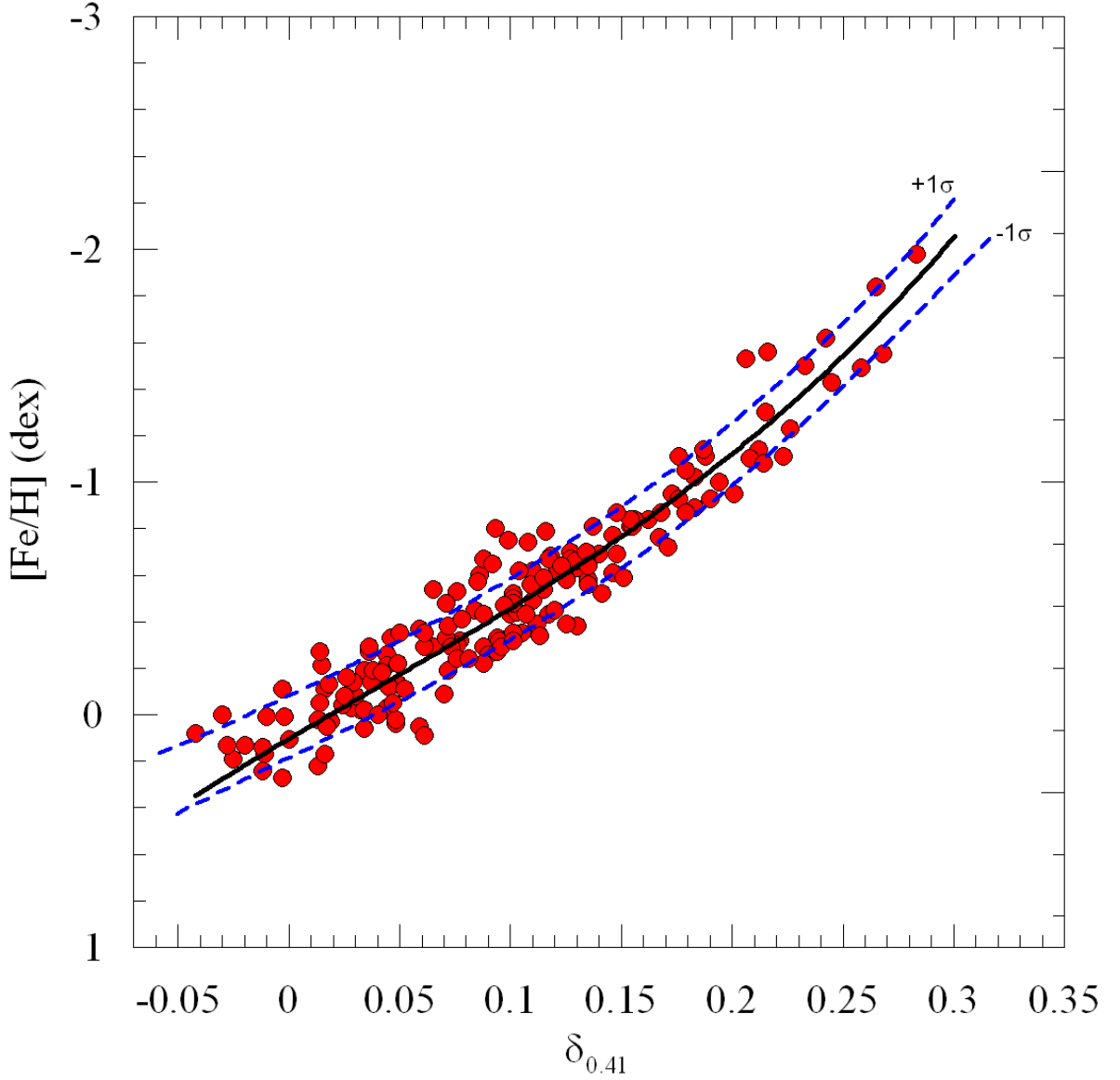
Sıra	Yıldız	$\pi \pm \pi_{\text{hata}}$ (mas)	g_0 (kadir)	$(u-g)_0$ (kadir)	$(g-r)_0$ (kadir)	[Fe/H] (dex)	f	$(M_g)_{\text{orj}}$ (kadir)	$(u-g)_{\text{Hya}}$ (kadir)	δ (kadir)	$\delta_{0.41}$ (kadir)
161	Hip 55761	22.95±0.64	8.056	1.138	0.338	-0.62	1.051	4.860	1.237	0.099	0.104
162	Hip 68030	40.22±0.37	6.336	1.080	0.297	-0.38	1.091	4.358	1.199	0.119	0.130
163	Hip 70319	58.17±0.53	6.514	1.297	0.446	-0.41	1.021	5.337	1.373	0.076	0.078
164	Hip 71076	17.24±0.75	7.969	1.080	0.291	-0.39	1.098	4.152	1.194	0.114	0.125
165	Hip 100017	56.92±0.24	6.083	1.237	0.372	-0.19	1.027	4.859	1.274	0.037	0.038
166	Hip 102805	32.66±0.41	6.121	1.042	0.205	-0.32	1.188	3.691	1.127	0.085	0.101
167	Hip 113896	34.03±0.77	6.891	1.241	0.379	-0.18	1.024	4.550	1.282	0.041	0.042
168	Hip 116106	38.29±0.54	6.679	1.144	0.321	-0.24	1.067	4.594	1.220	0.076	0.081

Doktora tez çalışmasında fotometrik metal bolluğu kalibrasyonunu elde edebilmek için 168 F ve G tayf türündeki anakol yıldızının hesaplanan mor-ötesi artıklarıyla ($\delta_{0.41}$) tayfsal yöntemlerden elde edilmiş metal bollukları ([Fe/H]) arasındaki ilişki araştırılmış ve sonuçlar Şekil 4.5'te gösterilmiştir. Şekil 4.5 üzerindeki siyah düz çizgi, fotometrik metal bolluğu kalibrasyonunu, mavi kesikli çizgiler de $\pm 1\sigma$ standart sapma değerlerini göstermektedir. 168 kalibrasyon yıldızının mor-ötesi artıklarının $-0.03 < \delta_{0.41} < 0.28$ kadir ve bu değerlere karşılık gelen tayfsal metal bolluklarının da $0.2 < [\text{Fe}/\text{H}] < -2$ dex aralığında olduğu tespit edilmiştir.

Oluşturulan dağılımdan verileri en iyi temsil eden üçüncü derece polinom fonksiyon geçirilmiş ve polinoma ait katsayılar hatalarıyla birlikte bağıntı (4.6) ile verilmiştir.

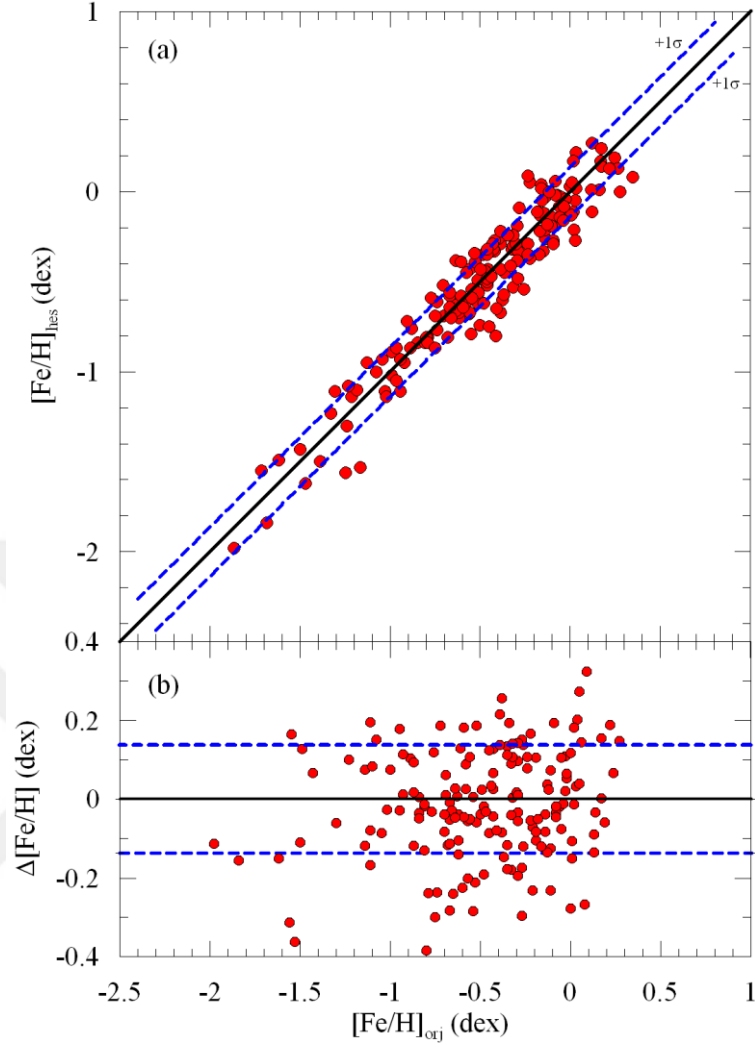
$$\left[\frac{\text{Fe}}{\text{H}}\right] = 0.105 (0.010) - 5.633 (0.521)\delta_{0.41} + 2.984 (5.895)\delta_{0.41}^2 - 27.209 (16.359)\delta_{0.41}^3 \quad (4.6)$$

Bağıntı (4.6)'nın korelasyon katsayısı ve standart sapma değeri, sırasıyla, $R^2 = 0.949$ ve $\sigma = 0.107$ dex'tir. Bu bağıntıda [Fe/H], hesaplanan fotometrik metal bolluğu değerini ve $\delta_{0.41}$ normalleştirilmiş mor-ötesi artığını ifade etmektedir. F ve G tayf türündeki anakol yıldızlarının fotometrik metal bolluğunun tayini için oluşturulan kalibrasyon, $0.15 < (g-r)_0 < 0.5$ kadir renk indeksi aralığında geçerlidir. Şekil 4.5 üzerindeki $\pm 1\sigma$ standart sapma eğrileri arasında kalan yıldızlar, tüm yıldızların %84'ünü içermektedir ki bu oran normal dağılımdan beklenen %68 değerinden %16 daha yüksektir.



Şekil 4.5: 168 kalibrasyon yıldızının SDSS fotometrisi kullanılarak hesaplanan mor-ötesi artıklarıyla ($\delta_{0.41}$) tayfsal yöntemlerden elde edilmiş metal bolluklarının ($[Fe/H]$) dağılımı. Siyah düz çizgi ve mavi kesikli çizgiler, sırasıyla, fotometrik metal bolluğu kalibrasyonunu ve $\pm 1\sigma$ standart sapma değerlerini gösterir.

Bu çalışmada mor-ötesi artıklardan hesaplanan fotometrik metal bolluğu değerlerinin ($[Fe/H]_{hes}$) tayfsal metal bolluklarıyla ($[Fe/H]_{orj}$) karşılaştırmaları Şekil 4.6a’da gösterilmiştir. 168 kalibrasyon yıldızının fotometrik metal bollukları bu çalışmada elde edilen (4.6) bağıntısı kullanılarak hesaplanmıştır. Fotometrik metal bolluğu değerleriyle tayfsal metal bolluğu değerleri arasındaki farklar ($\Delta[Fe/H]=[Fe/H]_{orj}-[Fe/H]_{hes}$) Şekil 4.6b’de gösterilmiştir.

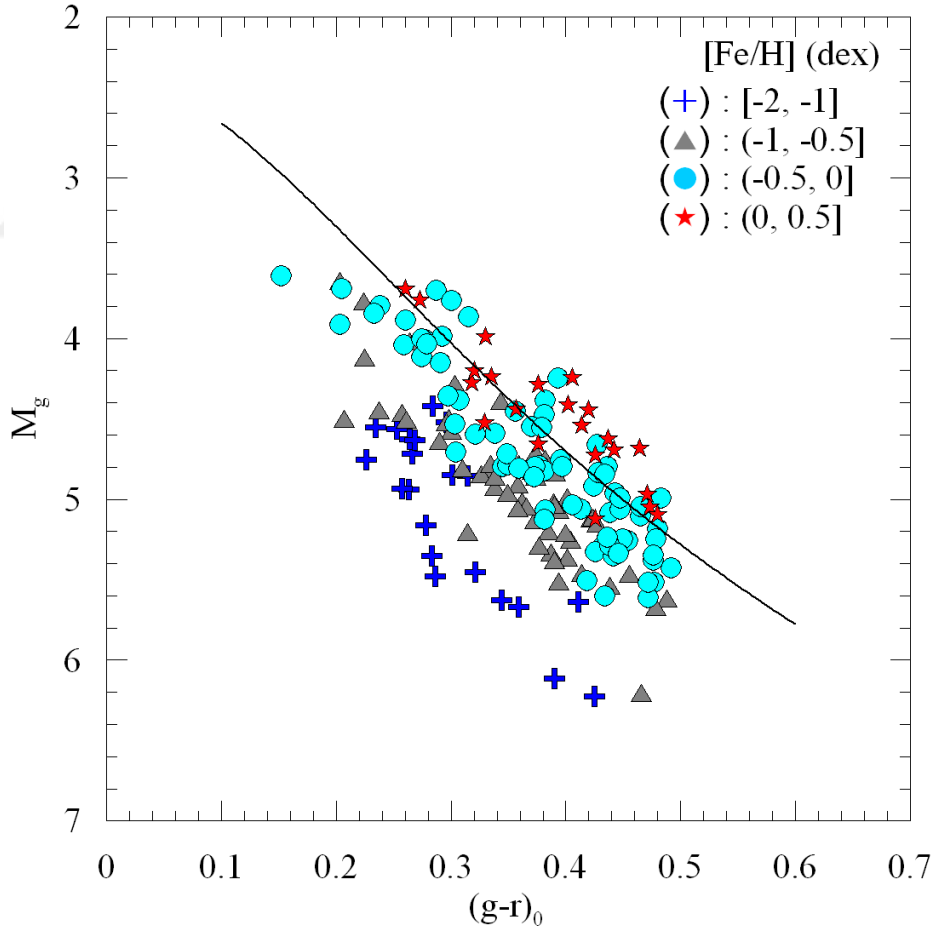


Şekil 4.6: (a) Kalibrasyon yıldızlarının fotometrik metal bolluklarıyla tayfsal metal bollukları arasındaki dağılım. Siyah düz çizgi bire bir çizgisini, kesikli mavi çizgiler $\pm 1 \sigma$ standart sapmayı gösterir. (b) Kalibrasyon yıldızlarının iki farklı yöntem ile belirlenmiş metal bolluğu farkları ile tayfsal metal bolluğu değerleri arasındaki değişim. Siyah düz çizgi sıfır seviyesini, mavi kesikli çizgiler de farklarının $\pm 1 \sigma$ standart sapma değerlerini göstermektedir.

Kalibrasyon yıldızlarının iki farklı yöntemden hesaplanan metal bolluğu değerleri arasındaki farkların ortalaması $\langle [\text{Fe}/\text{H}] \rangle$ ile bu farkların standart sapma değeri, sırasıyla, $\langle [\text{Fe}/\text{H}] \rangle = 0.00$ ve $\sigma_{\langle [\text{Fe}/\text{H}] \rangle} = 0.137$ dex'tir. Şekil 4.6a'daki dağılımın bire-bir çizgisi etrafında toplandığı ve metal bolluğu farklarındaki saçılmanın da küçük olduğu görülmektedir. Şekil 4.6b'deki iki farklı yöntemden hesaplanan metal bolluğu farklarının ± 0.4 dex aralığında bulunduğu ve çoğu kalibrasyon yıldızının $\pm 1 \sigma$ standart sapma arasında kaldığı tespit edilmiştir. Bu istatistiksel analizler tez çalışmasında elde edilen yeni fotometrik metal bolluğu kalibrasyonunun yeterince güvenilir olduğunu göstermektedir.

4.2.2. Mutlak Parlaklık Kalibrasyonu

Doktora tez çalışmasında oluşturulması planlanan ikinci kalibrasyon, yıldızların mor-ötesi artıklarına duyarlı mutlak parlaklık bağıntısının elde edilmesidir. Bunun için kalibrasyon yıldızlarının $(g-r)_0$ renk indekslerine karşılık gelen $(M_g)_{Hyd}$ mutlak parlaklıklarıyla trigonometrik paralakslarından hesaplanan M_g değerlerinin farkıyla yıldızların mor-ötesi artıkları arasındaki ilişkinin yeterince hassas bir polinom fonksiyonuyla ifade edilmesini gerektirir. Fakat bu ilişkiyi elde etmeden önce mutlak parlaklık farklarının yıldızların tayfsal metal bolluklarına duyarlı olduğu ortaya konmalıdır. Bu duyarlılığı gösterebilmek için 168 kalibrasyon yıldızı seçilen dört farklı metal bolluğu aralıklarına ayrılarak $(-2 \leq [\text{Fe}/\text{H}] < -1$, $-1 \leq [\text{Fe}/\text{H}] < -0.5$, $-0.5 \leq [\text{Fe}/\text{H}] < 0$ ve $0 \leq [\text{Fe}/\text{H}] < +0.5$ dex) Şekil 4.7’de gösterilen $M_g \times (g-r)_0$ renk-parlaklık diyagramı üzerine işaretlenmiştir.



Şekil 4.7: 168 kalibrasyon yıldızın $M_g \times (g-r)_0$ renk-parlaklık diyagramı üzerindeki dağılımı. Şekil üzerindeki semboller farklı metal bolluğu aralıklarında bulunan yıldızları ve siyah düz çizgi de Hyades anakolunu göstermektedir.

Şekil 4.7’den de görüleceği gibi Güneş civarından seçilen 168 kalibrasyon yıldızının metal bollukları fakirleştikçe aynı $(g-r)_0$ renk indeksindeki metalce zengin yıldızlara göre mutlak parlaklıklarının arttığı görülmektedir. Bu da bir yıldızın mutlak parlaklığının metal bolluğuna doğrudan bağlı olduğunu gösteren önemli delillerden biridir. Bu durum tez çalışmasında planlanan mutlak parlaklık kalibrasyonunun üretilebileceğini göstermektedir.

Mutlak parlaklık kalibrasyonun oluşturulmasında kalibrasyon yıldızlarının SDSS fotometrisindeki mor-ötesi artıkları ve söz konusu yıldızların $(g-r)_0$ renk indekslerine karşılık gelen $(M_g)_{Hya}$ mutlak parlaklıklarıyla trigonometrik paralakslarından hesaplanan M_g değerlerinin farkları arasındaki bir ilişkinin gösterilmesi gerekir. 168 kalibrasyon yıldızının iki farklı yöntem ile hesaplanmış mutlak parlaklık farkı bağıntı (4.7)’de verilmiştir.

$$\Delta M_g = (M_g)_{orj} - (M_g)_{Hya} \quad (4.7)$$

Burada $(M_g)_{orj}$ bir yıldızın trigonometrik paralaksından hesaplanan mutlak parlaklığını ve $(M_g)_{Hya}$ yıldız ile aynı $(g-r)_0$ renk indeksinde bulunan Hyades yıldızının mutlak parlaklığını ifade eder. Kalibrasyon yıldızlarının mutlak parlaklıklarıyla mor-ötesi artıklarına ait türetilen veriler Tablo 4.7’de ve yıldızların mutlak parlaklık farklarıyla mor-ötesi artıkları arasındaki ilişki de Şekil 4.8’de gösterilmiştir.

Şekil 4.8’den de görüleceği gibi kalibrasyon yıldızlarının mor-ötesi artıkları $-0.03 < \delta_{0.41} < 0.30$ kadir aralığında olup bu değerlere karşılık gelen mutlak parlaklık farkları $-0.6 < \Delta M_g < 1.6$ kadirdir. Bu verileri temsil eden en iyi eğri üçüncü dereceden bir polinom fonksiyondur. Bu polinomun katsayıları ve bu katsayılarla ait hatalar bağıntı (4.8)’de verilmiştir.

$$\begin{aligned} \Delta M_g = & -0.133(0.031) + 5.169(0.965)\delta_{0.41} - 3.623(9.978)\delta_{0.41}^2 \\ & + 21.497(27.799)\delta_{0.41}^3 \end{aligned} \quad (4.8)$$

Bağıntının korelasyon katsayısı ve standart sapma değeri, sırasıyla, $R^2 = 0.816$ ve $\sigma = 0.180$ kadirdir. Şekil 4.8 üzerinde üçüncü derece polinom siyah düz eğriyle, $\pm 1\sigma$ standart sapma değerlerini temsil eden eğriler de mavi kesikli çizgiyle gösterilmiştir.

Tablo 4.7: 168 yıldızın hesaplanan mutlak parlaklık ve mor-ötesi artık değerleri. M_g yıldızın trigonometrik paralakstan hesaplanan değerini, $\delta_{0.41}$ yıldızın normalleştirilmiş mor-ötesi artığı, $(M_g)_{Hya}$ yıldız ile aynı $(g-r)_0$ renk indeksine sahip Hyades yıldızının mutlak parlaklığını, $\Delta M_g = (M_g)_{orj} - (M_g)_{Hya}$ farkı, ΔM_{hes} mor-ötesi artık yöntemiyle hesaplanan mutlak parlaklık farkını, $(M_g)_{hes}$ yıldızı mor-ötesi artık yönteminden hesaplanan mutlak parlaklığını ve $(M_g)_{hes} - (M_g)_{orj}$ de yıldızın iki farklı yöntemden hesaplanmış mutlak parlaklık farkını ifade etmektedir.

Sıra	Yıldız	$(M_g)_{orj}$ (kadir)	$\delta_{0.41}$ (kadir)	$(M_g)_{Hya}$ (kadir)	ΔM (kadir)	ΔM_{hes} (kadir)	$(M_g)_{hes}$ (kadir)	$(M_g)_{hes} - (M_g)_{orj}$ (kadir)
1	Hip 910	3.700	0.046	3.931	-0.231	0.099	4.030	0.330
2	Hip 1599	4.788	0.072	4.551	0.237	0.229	4.780	-0.008
3	Hip 1976	4.444	-0.025	4.823	-0.379	-0.265	4.558	0.114
4	Hip 2711	3.695	0.034	3.736	-0.041	0.040	3.776	0.081
5	Hip 3182	5.084	0.065	4.931	0.153	0.194	5.125	0.041
6	Hip 3479	5.517	0.044	5.155	0.362	0.089	5.244	-0.273
7	Hip 3497	5.104	0.077	5.088	0.016	0.253	5.341	0.237
8	Hip 3704	4.588	0.105	4.290	0.298	0.395	4.685	0.097
9	Hip 3909	4.381	0.044	4.073	0.308	0.089	4.162	-0.219
10	Hip 4892	4.820	0.088	4.577	0.243	0.309	4.886	0.066
11	Hip 5301	4.959	-0.003	4.961	-0.002	-0.148	4.813	-0.146
12	Hip 5862	4.288	-0.011	4.545	-0.257	-0.190	4.355	0.067
13	Hip 7978	4.527	0.059	4.228	0.299	0.164	4.392	-0.135
14	Hip 8859	3.792	0.076	3.576	0.216	0.248	3.824	0.032
15	Hip 9085	4.113	0.090	3.837	0.276	0.319	4.156	0.043
16	Hip 12306	4.861	0.101	4.532	0.329	0.374	4.906	0.045
17	Hip 12444	4.275	0.061	4.151	0.124	0.174	4.325	0.050
18	Hip 12653	4.440	-0.003	4.419	0.021	-0.148	4.271	-0.169
19	Hip 12889	4.382	0.049	4.584	-0.202	0.114	4.698	0.316
20	Hip 13366	4.492	0.140	4.009	0.483	0.579	4.588	0.096
21	Hip 14241	5.612	0.084	5.127	0.485	0.289	5.416	-0.196
22	Hip 15131	5.065	0.117	4.584	0.481	0.457	5.041	-0.024
23	Hip 15158	3.763	0.026	4.024	-0.261	-0.001	4.023	0.260
24	Hip 15381	4.243	-0.042	4.736	-0.493	-0.358	4.378	0.135
25	Hip 16169	5.118	0.110	4.835	0.283	0.421	5.256	0.138
26	Hip 17147	4.833	0.154	4.262	0.571	0.656	4.918	0.085
27	Hip 22632	5.160	0.242	3.866	1.294	1.211	5.077	-0.083
28	Hip 23555	3.992	0.013	4.235	-0.243	-0.066	4.169	0.177
29	Hip 27072	4.006	0.032	3.859	0.147	0.030	3.889	-0.117
30	Hip 28403	5.304	0.094	4.884	0.420	0.339	5.223	-0.081
31	Hip 28671	5.639	0.176	4.768	0.871	0.782	5.550	-0.089
32	Hip 33582	4.712	0.110	4.532	0.180	0.421	4.953	0.241
33	Hip 34017	4.754	0.045	4.667	0.087	0.094	4.761	0.007
34	Hip 34511	4.916	0.016	4.847	0.069	-0.051	4.796	-0.120
35	Hip 35139	5.455	0.141	4.786	0.669	0.584	5.370	-0.085
36	Hip 36491	5.204	0.173	4.123	1.081	0.764	4.887	-0.317
37	Hip 36849	4.571	0.162	4.024	0.547	0.701	4.725	0.154
38	Hip 37419	5.327	0.071	4.859	0.468	0.224	5.083	-0.244
39	Hip 38541	6.224	0.265	4.853	1.371	1.383	6.236	0.012
40	Hip 42356	4.627	0.016	4.925	-0.298	-0.051	4.874	0.247
41	Hip 44713	4.687	-0.012	5.082	-0.395	-0.195	4.887	0.200
42	Hip 47048	3.607	0.101	2.975	0.632	0.374	3.349	-0.258
43	Hip 49285	4.991	0.015	5.188	-0.197	-0.056	5.132	0.141
44	Hip 49793	5.065	0.130	4.661	0.404	0.525	5.186	0.121
45	Hip 49942	4.797	0.036	4.919	-0.122	0.050	4.969	0.172
46	Hip 50834	3.909	0.094	3.324	0.585	0.339	3.663	-0.246
47	Hip 54469	4.797	0.100	4.338	0.459	0.369	4.707	-0.090
48	Hip 54641	4.561	0.212	3.685	0.876	1.005	4.690	0.129
49	Hip 54924	5.131	0.093	4.525	0.606	0.334	4.859	-0.272
50	Hip 55592	4.717	0.183	3.779	0.938	0.824	4.603	-0.114

Tablo 4.7 (devam):

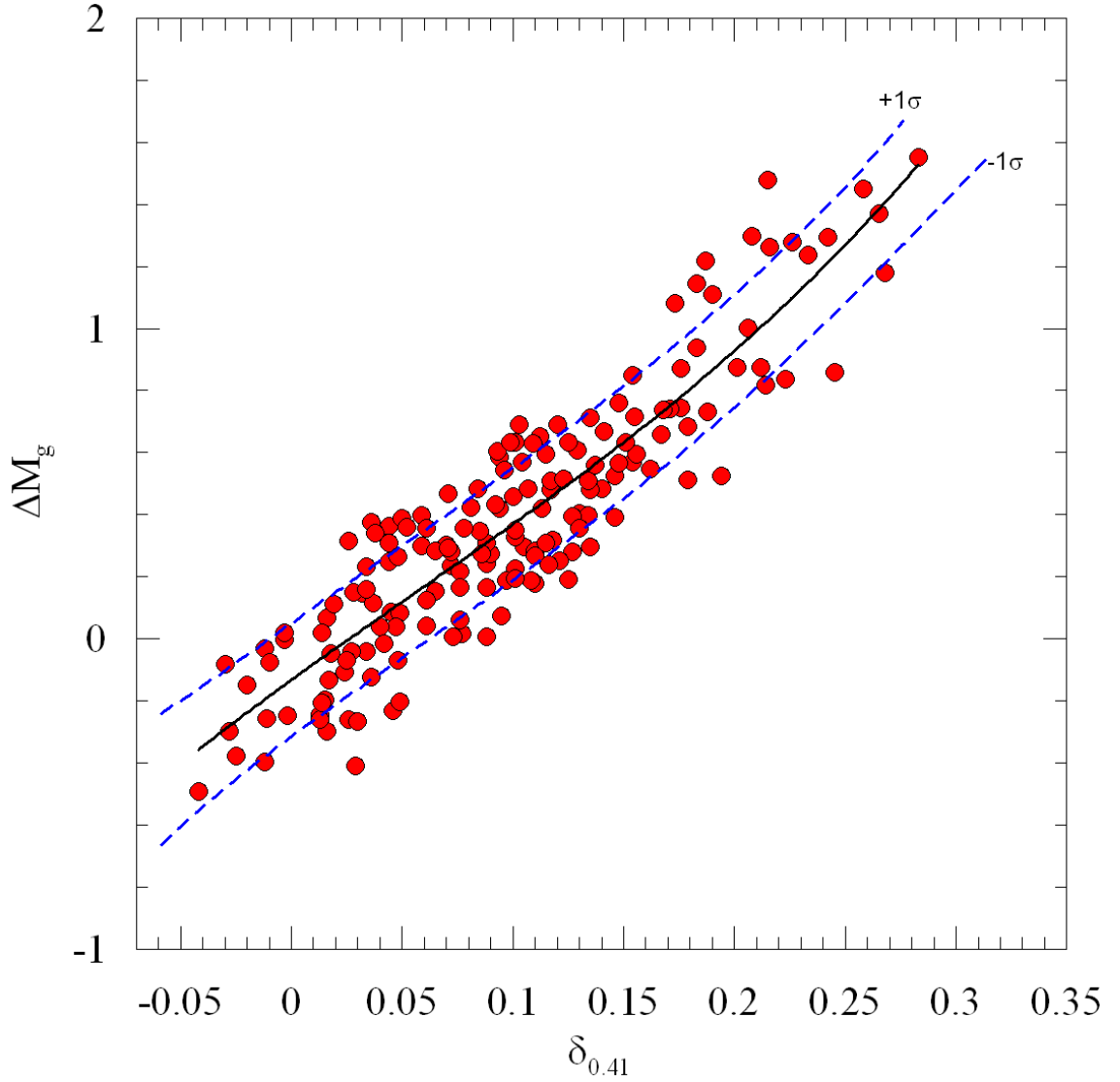
Sıra	Yıldız	$(M_g)_{orj}$ (kadir)	$\delta_{0.41}$	$(M_g)_{Hya}$ (kadir)	ΔM (kadir)	ΔM_{hes} (kadir)	$(M_g)_{hes}$ (kadir)	$(M_g)_{hes} - (M_g)_{orj}$ (kadir)
51	Hip 56664	3.643	0.118	3.324	0.319	0.462	3.786	0.143
52	Hip 57017	4.038	0.088	3.728	0.310	0.309	4.037	-0.001
53	Hip 58843	5.199	0.156	4.603	0.596	0.667	5.270	0.071
54	Hip 58950	5.258	0.034	5.025	0.233	0.040	5.065	-0.193
55	Hip 59380	4.905	0.135	4.425	0.480	0.552	4.977	0.072
56	Hip 61619	3.762	0.048	3.830	-0.068	0.109	3.939	0.177
57	Hip 62108	4.550	0.206	3.547	1.003	0.966	4.513	-0.037
58	Hip 62809	5.249	0.146	4.724	0.525	0.612	5.336	0.087
59	Hip 64345	5.114	0.086	4.841	0.273	0.299	5.140	0.026
60	Hip 64698	5.043	0.018	5.088	-0.045	-0.041	5.047	0.004
61	Hip 64747	5.244	0.044	4.996	0.248	0.089	5.085	-0.159
62	Hip 66238	5.181	0.088	5.172	0.009	0.309	5.481	0.300
63	Hip 67863	5.364	0.167	4.705	0.659	0.729	5.434	0.070
64	Hip 70681	6.113	0.215	4.635	1.478	1.025	5.660	-0.453
65	Hip 70829	5.614	0.134	5.215	0.399	0.546	5.761	0.147
66	Hip 71735	5.517	0.050	5.127	0.390	0.119	5.246	-0.271
67	Hip 72673	3.771	0.135	3.475	0.296	0.552	4.027	0.256
68	Hip 74067	5.332	0.155	4.616	0.716	0.661	5.277	-0.055
69	Hip 75181	5.059	0.095	4.984	0.075	0.344	5.328	0.269
70	Hip 78640	4.624	0.245	3.765	0.859	1.232	4.997	0.373
71	Hip 81520	5.502	0.103	4.811	0.691	0.385	5.196	-0.306
72	Hip 83229	4.794	0.110	4.525	0.269	0.421	4.946	0.152
73	Hip 83489	4.991	0.073	4.984	0.007	0.234	5.218	0.227
74	Hip 84988	4.985	0.127	4.705	0.280	0.509	5.214	0.229
75	Hip 85007	4.705	0.112	4.052	0.653	0.431	4.483	-0.222
76	Hip 85042	5.052	-0.030	5.133	-0.081	-0.292	4.841	-0.211
77	Hip 86013	5.013	0.137	4.452	0.561	0.563	5.015	0.002
78	Hip 88945	5.124	0.048	4.859	0.265	0.109	4.968	-0.156
79	Hip 92270	3.987	0.014	3.967	0.020	-0.061	3.906	-0.081
80	Hip 92781	5.045	0.148	4.479	0.566	0.622	5.101	0.056
81	Hip 93185	5.122	0.096	4.577	0.545	0.349	4.926	-0.196
82	Hip 94645	4.239	-0.012	4.269	-0.030	-0.195	4.074	-0.165
83	Hip 96124	5.245	0.049	5.161	0.084	0.114	5.275	0.030
84	Hip 96258	3.885	0.028	3.736	0.149	0.009	3.745	-0.140
85	Hip 98355	4.016	0.121	3.765	0.251	0.478	4.243	0.227
86	Hip 99139	5.348	0.059	4.949	0.399	0.164	5.113	-0.235
87	Hip 100568	5.628	0.208	4.331	1.297	0.979	5.310	-0.318
88	Hip 100792	4.630	0.223	3.794	0.836	1.078	4.872	0.242
89	Hip 102018	4.413	-0.028	4.711	-0.298	-0.281	4.430	0.017
90	Hip 102046	4.422	0.179	3.909	0.513	0.800	4.709	0.287
91	Hip 102762	4.470	0.024	4.577	-0.107	-0.011	4.566	0.096
92	Hip 103458	5.020	0.146	4.629	0.391	0.612	5.241	0.221
93	Hip 103498	4.854	0.188	4.123	0.731	0.854	4.977	0.123
94	Hip 104659	4.849	0.214	4.031	0.818	1.018	5.049	0.200
95	Hip 107877	4.003	0.076	3.837	0.166	0.248	4.085	0.082
96	Hip 108468	4.831	0.027	4.872	-0.041	0.004	4.876	0.045
97	Hip 108736	4.548	0.061	4.505	0.043	0.174	4.679	0.131
98	Hip 109144	3.864	0.030	4.130	-0.266	0.020	4.150	0.286
99	Hip 109381	4.973	-0.020	5.122	-0.149	-0.238	4.884	-0.089
100	Hip 110035	4.795	0.037	4.680	0.115	0.055	4.735	-0.060
101	Hip 110341	3.842	0.070	3.540	0.302	0.219	3.759	-0.083
102	Hip 111565	5.375	0.101	5.149	0.226	0.374	5.523	0.148
103	Hip 113688	4.246	0.029	4.654	-0.408	0.015	4.669	0.423
104	Hip 114450	4.450	0.047	4.412	0.038	0.104	4.516	0.066
105	Hip 114702	4.786	0.113	4.365	0.421	0.436	4.801	0.015

Tablo 4.7 (devam):

Sıra	Yıldız	$(M_g)_{orj}$ (kadir)	$\delta_{0.41}$ (kadir)	$(M_g)_{Hya}$ (kadir)	ΔM (kadir)	ΔM_{hes} (kadir)	$(M_g)_{hes}$ (kadir)	$(M_g)_{hes} - (M_g)_{orj}$ (kadir)
106	Hip 118115	4.696	0.013	4.955	-0.259	-0.066	4.889	0.193
107	Hip 7459	5.450	0.226	4.172	1.278	1.098	5.270	-0.180
108	Hip 23688	4.499	0.183	3.353	1.146	0.824	4.177	-0.322
109	Hip 40778	4.939	0.268	3.757	1.182	1.406	5.163	0.224
110	Hip 47174	5.599	0.120	4.908	0.691	0.472	5.380	-0.219
111	Hip 57265	4.459	0.176	3.714	0.745	0.782	4.496	0.037
112	Hip 65418	4.752	0.216	3.489	1.263	1.031	4.520	-0.232
113	Hip 87062	5.351	0.258	3.902	1.449	1.329	5.231	-0.120
114	Hip 100279	5.376	0.171	4.635	0.741	0.753	5.388	0.012
115	Hip 103897	4.750	0.088	4.584	0.166	0.309	4.893	0.143
116	Hip 110560	4.386	0.076	4.324	0.062	0.248	4.572	0.186
117	Hip 4544	4.637	0.179	3.952	0.685	0.800	4.752	0.115
118	Hip 5163	4.831	0.108	4.642	0.189	0.410	5.052	0.221
119	Hip 6159	5.032	0.127	4.635	0.397	0.509	5.144	0.112
120	Hip 10449	5.290	0.168	4.551	0.739	0.735	5.286	-0.004
121	Hip 10652	5.210	0.117	4.699	0.511	0.457	5.156	-0.054
122	Hip 12294	4.444	0.201	3.569	0.875	0.934	4.503	0.059
123	Hip 24030	4.520	0.194	3.995	0.525	0.891	4.886	0.366
124	Hip 25860	5.287	0.061	4.931	0.356	0.174	5.105	-0.182
125	Hip 26617	5.057	0.099	4.425	0.632	0.364	4.789	-0.268
126	Hip 31188	4.841	0.151	4.207	0.634	0.639	4.846	0.005
127	Hip 38769	4.284	0.116	4.045	0.239	0.452	4.497	0.213
128	Hip 40118	5.425	0.097	5.237	0.188	0.354	5.591	0.166
129	Hip 43595	5.511	0.154	4.661	0.850	0.656	5.317	-0.194
130	Hip 48209	5.465	0.092	5.031	0.434	0.329	5.360	-0.105
131	Hip 50965	4.779	0.085	4.432	0.347	0.294	4.726	-0.053
132	Hip 52673	5.540	0.129	4.931	0.609	0.520	5.451	-0.089
133	Hip 52771	5.477	0.283	3.924	1.553	1.527	5.451	-0.026
134	Hip 57450	5.668	0.233	4.432	1.236	1.147	5.579	-0.089
135	Hip 72407	5.148	0.065	4.866	0.282	0.194	5.060	-0.088
136	Hip 81681	5.059	0.072	4.780	0.279	0.229	5.009	-0.050
137	Hip 86321	4.504	0.148	3.743	0.761	0.622	4.365	-0.139
138	Hip 94129	4.660	0.014	4.866	-0.206	-0.061	4.805	0.145
139	Hip 99938	4.820	0.115	4.512	0.308	0.446	4.958	0.138
140	Hip 107294	4.933	0.187	3.714	1.219	0.848	4.562	-0.371
141	Hip 112811	5.669	0.134	5.161	0.508	0.546	5.707	0.038
142	Hip 7217	5.031	0.071	4.736	0.295	0.224	4.960	-0.071
143	Hip 44116	4.117	0.125	3.482	0.635	0.499	3.981	-0.136
144	Hip 92532	4.921	0.109	4.290	0.631	0.415	4.705	-0.216
145	Hip 67655	6.204	0.190	5.093	1.111	0.866	5.959	-0.245
146	Hip 57443	5.345	0.101	5.149	0.196	0.374	5.523	0.178
147	Hip 12777	4.032	0.034	3.873	0.159	0.040	3.913	-0.119
148	Hip 43726	5.098	-0.010	5.172	-0.074	-0.185	4.987	-0.111
149	Hip 53721	4.540	-0.002	4.786	-0.246	-0.143	4.643	0.103
150	Hip 61053	4.718	0.052	4.358	0.360	0.129	4.487	-0.231
151	Hip 62207	4.961	0.115	4.365	0.596	0.446	4.811	-0.150
152	Hip 64394	4.657	0.019	4.545	0.112	-0.036	4.509	-0.148
153	Hip 114924	4.203	0.040	4.165	0.038	0.069	4.234	0.031
154	Hip 44811	4.777	0.123	4.262	0.515	0.488	4.750	-0.027
155	Hip 109646	4.808	0.135	4.095	0.713	0.552	4.647	-0.161
156	Hip 493	4.807	0.036	4.432	0.375	0.050	4.482	-0.325
157	Hip 29432	5.236	0.026	4.919	0.317	-0.001	4.918	-0.318
158	Hip 41484	4.840	0.025	4.908	-0.068	-0.006	4.902	0.062
159	Hip 49615	4.529	0.107	4.045	0.484	0.405	4.450	-0.079
160	Hip 53537	4.728	0.017	4.859	-0.131	-0.046	4.813	0.085

Tablo 4.7 (devam):

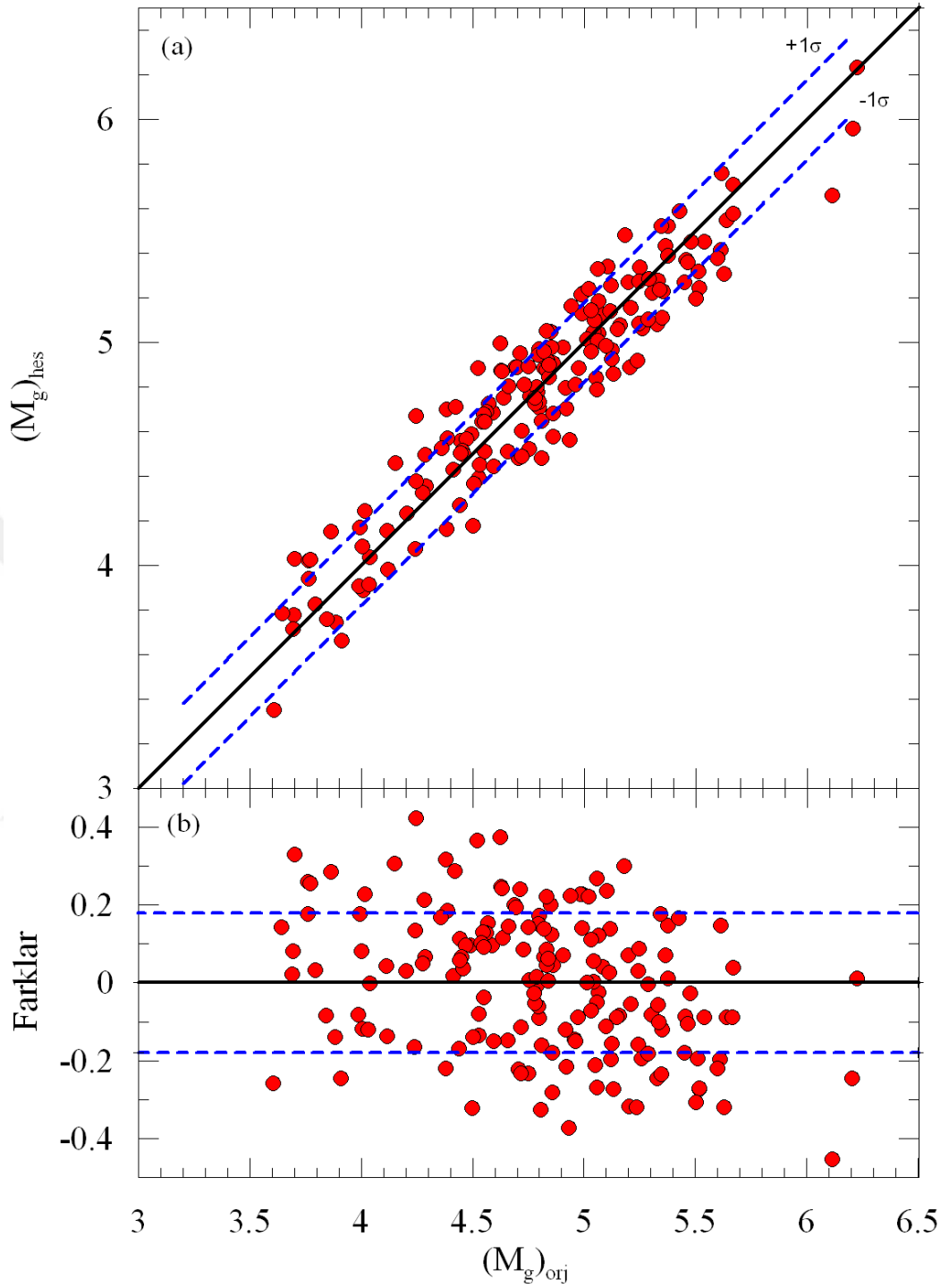
Sıra	Yıldız	$(M_g)_{orj}$ (kadir)	$\delta_{0.41}$ (kadir)	$(M_g)_{Hya}$ (kadir)	ΔM (kadir)	ΔM_{hes} (kadir)	$(M_g)_{hes}$ (kadir)	$(M_g)_{hes} - (M_g)_{orj}$ (kadir)
161	Hip 55761	4.860	0.104	4.290	0.570	0.390	4.680	-0.180
162	Hip 68030	4.358	0.130	4.002	0.356	0.525	4.527	0.169
163	Hip 70319	5.337	0.078	4.978	0.359	0.258	5.236	-0.101
164	Hip 71076	4.152	0.125	3.959	0.193	0.499	4.458	0.306
165	Hip 100017	4.859	0.038	4.518	0.341	0.060	4.578	-0.281
166	Hip 102805	3.691	0.101	3.339	0.352	0.374	3.713	0.022
167	Hip 113896	4.550	0.042	4.564	-0.014	0.079	4.643	0.093
168	Hip 116106	4.594	0.081	4.172	0.422	0.273	4.445	-0.149



Şekil 4.8: 168 kalibrasyon yıldızının ΔM_g ile $\delta_{0.41}$ değerleri arasındaki dağılımı. Siyah eğri kalibrasyonu, mavi kesikli çizgiler $\pm 1\sigma$ standart sapma değerlerini göstermektedir.

Kalibrasyon yıldızları kullanılarak elde edilen yeni mutlak parlaklık bağıntısı (4.8) ile hesaplanan mutlak parlaklıkların ($(M_g)_{hes}$) yeniden indirgenmiş *Hipparcos* uydu verilerinden sağlanan trigonometrik paralaksından tayin edilen mutlak parlaklıkların ($(M_g)_{orj}$) arasındaki farkları gösterebilmek için yıldızların bu iki değeri arasında bir karşılaştırma yapılmıştır (Şekil 4.9). Şekildeki siyah düz çizgi bire-bir doğrusunu, mavi kesikli çizgiler de dağılımın $\pm 1\sigma$ standart sapma değerlerini göstermektedir. İki bağımsız yöntemden hesaplanan mutlak parlaklıkların birbirleriyle oldukça uyumlu olduğu Şekil 4.9a'dan görülmektedir. İki yöntemden hesaplanan mutlak parlaklık farkları da Şekil 4.9b'de $(M_g)_{orj}$ değerinin bir fonksiyonu olarak verilmiştir. Mutlak parlaklık farklarının ortalaması ve bu farkların standart sapma değeri, sırasıyla $\langle (M_g)_{orj} - (M_g)_{hes} \rangle = 0.000$ ve $\sigma_{\langle (M_g)_{orj} - (M_g)_{hes} \rangle} = 0.179$ kadirdir. Bu istatistiksel sonuçlar üretilen mutlak parlaklık kalibrasyonun yeterince duyarlı olduğunu göstermektedir.

Doktora tez çalışmasında üretilen bu yeni metal bolluğu ve mutlak parlaklık kalibrasyonları, mor-ötesi artığının bir fonksiyonu olup derin ve hassas bir fotometrik gökyüzü tarama programı olarak bilinen SDSS sistemindeki F ve G tayf türündeki anakol yıldızlarının fotometrik metal bolluklarının ve mutlak parlaklıklarının hesaplanmasında kullanılabilir.



Şekil 4.9: (a) 168 kalibrasyon yıldızının mutlak parlaklıklarıyla bu çalışmada hesaplanan mutlak parlaklıkların bire-bir dağılımı. Siyah düz çizgi (1-1) çizgisini belirtir. (b) 168 kalibrasyon yıldızının mutlak parlaklıklarıyla tez çalışmasında hesaplanan mutlak parlaklıklar arasındaki farklar. Mavi kesikli çizgiler $\pm 1\sigma$ standart sapma değerlerini göstermektedir.

4.3. ANAKOL YILDIZLARINDAN METAL BOLLUĞU GRADYENTLERİNİN HESABI

Galaksimizin oluşum ve evriminin anlaşılmasında Galaksi merkezinden radyal doğrultuda ve Galaktik düzleme dik doğrultudaki metal bolluğu gradyentlerinin araştırılması önemlidir. Samanyolunun oluşumu ve evrimine yönelik ipuçlarının bulunması için doktora tez çalışmasında yeni üretilen fotometrik metal bolluğu ve mutlak parlaklık kalibrasyonları hassas ve derin bir gökyüzü tarama programı olan SDSS'e uyarlanmıştır. Orta/yüksek Galaktik enlemlerde bulunan F ve G tayf türündeki anakol yıldızlarına uygulanan yeni kalibrasyonlar sayesinde yıldızların metal bollukları ve uzaklıkları hesaplanmış ve iki doğrultuda metal bolluğu gradyentleri elde edilmiştir. Konuyla ilgili detaylar aşağıda açıklanmıştır.

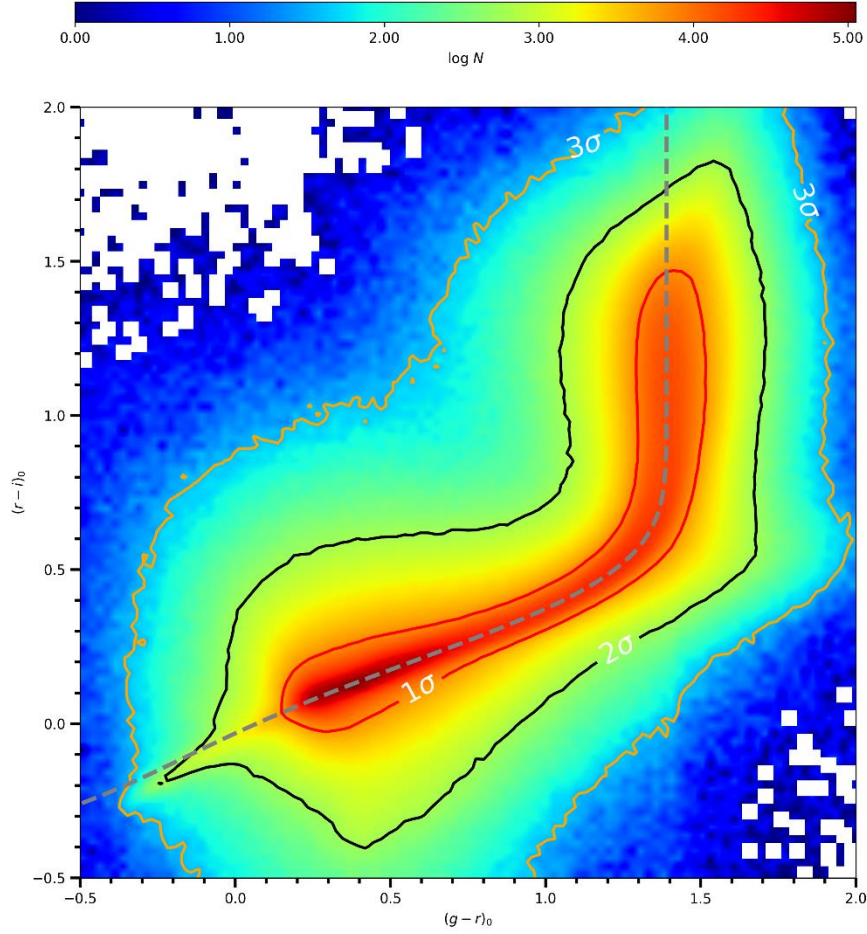
4.3.1. F ve G Tayf Türü Anakol Yıldızlarının Seçimi

SDSS'in gözlem stratejisinden dolayı fotometrik gözlemler kuzey Galaktik kutup merkezli ve tüm gökyüzünün dörte birini içerecek şekilde tasarlanmıştır. Galaktik yapının dış kısımlarını (kalın disk ve halo) ve galaksi-dışındaki nesnelerin üç boyutlu haritasını çıkartmayı hedefleyen bu projede, özellikle Galaktik düzlem civarında bulunan gaz ve tozdan kaçınılmıştır. Doktora tez çalışmasında bu durumlar dikkate alınarak orta/yüksek Galaktik enlemlerde bulunan F ve G tayf türünden anakol yıldızları seçilmiştir. Kuzey Galaktik yarıküre üzerinde Galaktik enlemi $b > 50^\circ$ olan tüm gökyüzü parçası *ugriz* filtreleriyle gözlenmiştir. Bu gökyüzü parçası yaklaşık 5,280 derece karelik büyüklüğe sahiptir. SDSS fotometrik verilerinin seçiminde SDSS-III'ün son veri sürümü DR12 kullanılmıştır (Alam ve diğ., 2015).

Fotometrik verilerin elde edilmesinde SDSS'in SQL¹ web sayfası kullanılmıştır. Web sayfasında yaklaşık 5,280 derece karelik gökyüzü bölgesinde bulunan nesnelerin ekvatorial ve Galaktik koordinatları, fotometrik sönmülemenden arındırılmış *ugriz* parlaklıkları ve hataları istenmiş ve sorgu sonucunda 26,719,324 nesnenin verilerine ulaşılmıştır. Bölüm 3.7'de detaylı anlatılan, yıldız örneğinin oluşturulabilmesi için SDSS'den seçilen verilerin farklı türden nesnelerden temizlenmesi gerekmektedir. Bunun için öncelikle galaksi-dışı nesneler veriden ayıklanmalı ve daha sonra evrimleşmiş yıldızlar da örnekten çıkartılmalıdır. 26,719,324 nesne içinde galaksi-dışı nesne olarak sınıflanan ve yıldızlardan pek de ayırt edilemeyen kuazarların oluşturulan örneği etkilememesi için listedeki nesnelerin parlaklık ve renk

¹ <https://skyserver.sdss.org/dr12/en/tools/search/sql.aspx>

indekslerine, sırasıyla, $g_0 \leq 23$ ve $(u-g)_0 > 0.5$ kadir sınırlaması getirilmiştir. Büyük kırmızıya kayma gösteren kuazarların ($z > 2$) ayıklanması için kullanılan bu sınırlama, Chen ve diğ. (2001) tarafından literatüre sunulmuştur. Nesnelerin parlaklık ve renklerine getirilen sınırlamalar sonucunda 16,281,265 nesne *yıldız* olarak sınıflanmış ve bu nesnelerin $(g-r)_0 \times (r-i)_0$ iki-renk diyagramlarındaki konumları, yıldız sayı yoğunluğuna göre oluşturulmuş ve Şekil 4.10 ile gösterilmiştir.



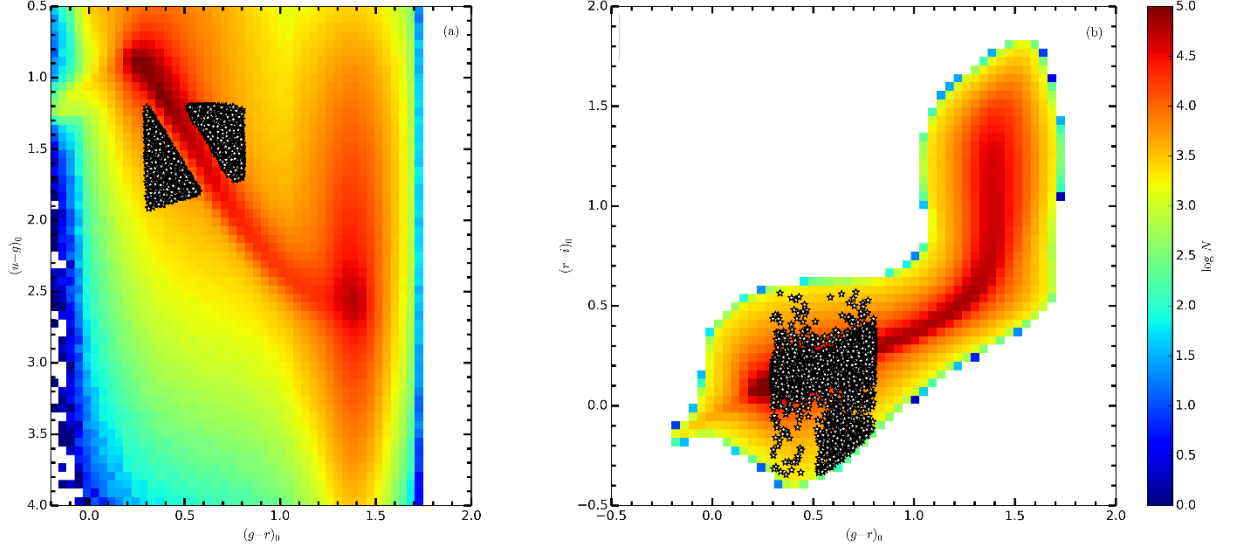
Şekil 4.10: Yıldız olarak sınıflanmış 16,281,265 nesnenin sayı yoğunluğuna göre oluşturulmuş $(g-r)_0 \times (r-i)_0$ iki-renk diyagramı. Kırmızı, siyah ve turuncu sürekli çizgiler, sırasıyla, yıldız sayı yoğunluğuna göre hesaplanan 1, 2 ve 3 standart sapma değerlerini gösterir. Kesik çizgi anakolu temsilen yıldızların yerini temsil eder (Juric ve diğ., 2008). Şeklin üst kısmında görülen renk ölçeği yıldızların sayı yoğunluğu gösterir.

Şekil 4.10’da, Juric ve diğ. (2008) tarafından verilen bağıntı (3.29) uygulanarak ortalama anakol eğrisi çizilmiştir, bu eğriden itibaren yıldızların sayı yoğunlukları dikkate alınarak 1, 2 ve 3 standart sapma değerleri hesaplanmış ve farklı renkteki kontürler ile gösterilmiştir. Kırmızı, siyah ve turuncu düz çizgiler ile gösterilen bu kontür çizgileri, sırasıyla, 1, 2 ve 3 standart sapma

değerlerine karşılık gelir. Şekil 4.10 üzerinde farklı renklerde görülen her bir karesel bölge yıldız sayı yoğunluğuna göre renklendirilmiştir. Juric ve diğ. (2008)'nin $(g-r)_0 \times (r-i)_0$ iki-renk diyagramındaki yıldızların ağırlık noktalarından itibaren 0.3 kadirlik uzaklık içinde kalan nesneleri yıldız olarak kabul etme varsayımı (bkz Bölüm 3.7.1), tez çalışmasındaki $\pm 2\sigma$ değerleri arasında kalan nesnelerin iki-renk diyagramı üzerindeki konumlarıyla uyumlu olduğu görülmüştür. Tez çalışmasında SDSS örneğinin oluşturulması için $\pm 2\sigma$ değeri içinde kalan yıldızlar seçilmiştir. Böylece, yıldız sayısı 15,456,605 olmuştur. Bu yıldız örneği içinde anakol yıldızlarını belirleyebilmek için evrimleşmiş (dev) yıldızların ayırt edilmesi gerekmektedir. Metalce fakir evrimleşmiş yıldızların anakol yıldızlarından ayırt edilebilmesi için Bölüm 3.7'de detaylı olarak bahsedilen Helmi ve diğ. (2003)'nin yöntemi kullanılmıştır. (3.30), (3.31), (3.32) ve (3.33) numaralı bağıntılarının uygulanmasıyla yıldız örneği içerisinde 7,613 evrimleşmiş yıldız belirlenmiştir. Anakol ve evrimleşmiş yıldızların $(u-g)_0 \times (g-r)_0$ ve $(g-r)_0 \times (r-i)_0$ iki-renk diyagramları üzerindeki konumları Şekil 4.11'de gösterilmiştir. İki-renk diyagramlarında siyah daireler evrimleşmiş yıldızları, farklı renklerle gösterilen karesel bölgeler de anakol yıldızlarının sayı yoğunluklarını ifade etmektedir. Evrimleşmiş yıldızların istatistik-dışı bırakılmasıyla anakol yıldızlarının sayısı 15,448,992 olmuştur. Bu tez çalışmasında yeni üretilen kalibrasyonların SDSS sisteminde geçerli olduğu $0.15 < (g-r)_0 < 0.50$ renk indeksi aralığı dikkate alındığında F ve G tayf türündeki anakol yıldızlarının sayısı da 4,402,895 olarak belirlenmiştir.

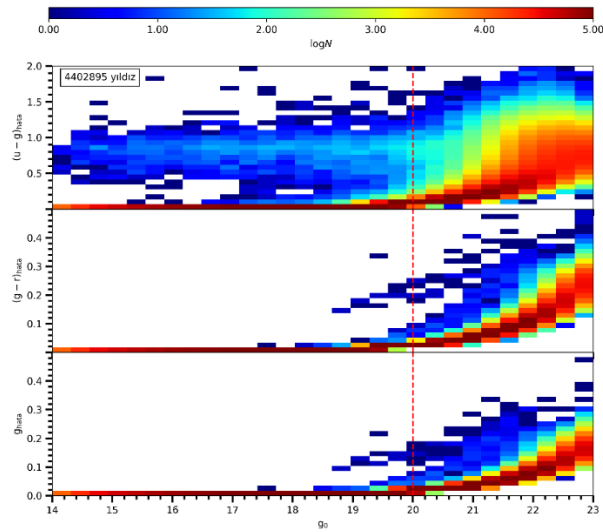
Anakol yıldızlarının metal bolluklarının ($[Fe/H]$) tayininde fotometrik hatalar büyük önem taşır. Ayrıca fotometrik hatalar görünen parlaklık ile artar. Bu hataların belirlenmesinde yıldızların görünen parlaklıklarına göre, parlaklık ve renk hataları dikkate alınmalıdır. Bundan dolayı doktora tez çalışmasındaki 4,402,895 yıldızın g_0 görünen parlaklıklarına karşı g_0 , $(u-g)_0$ ve $(g-r)_0$ renk hatalarının dağılımları yıldızların sayı yoğunluklarına bağlı olarak araştırılmış ve Şekil 4.12'de gösterilmiştir. Şekil 4.12 detaylıca incelendiğinde, $g_0 = 14$ kadirde $g_0 = 20$ kadirine gidildikçe parlaklık ve renk hatalarının arttığı görülmektedir. Özellikle $g_0 = 20$ kadirinde fotometrik hatalarda belirgin bir artış dikkat çekmektedir. Bu artış g ve $g-r$ parlaklık ve renginde daha azken $u-g$ renginde daha belirgindir. Bu renk indeksinde $14 < g_0 < 20$ kadir aralığında, az sayıda olsa bile, 0.5 ile 1.5 kadirlik hataların bulunduğu Şekil 4.12'den görülebilir. SDSS sisteminde oluşturulan yeni kalibrasyonlar, yıldızların parlaklık ve renklerine doğrudan bağlı olduğundan bu fotometrik verilerden gelecek hatalar, kalibrasyonlardan

belirlenen metal bolluğu ve mutlak parlaklık hesaplamalarını iç hatalar ile birlikte daha da etkileyecektir.



Şekil 4.11: Işıma gücü sınıflarına göre ayırımı yapılan örnekteki yıldızların (a) $(u-g)_0 \times (g-r)_0$ ve (b) $(g-r)_0 \times (r-i)_0$ iki-renk diyagramları. İki-renk diyagramları üzerinde gösterilen renkler yıldız sayı yoğunluğa göre sınıflanmıştır. Evrimleşmiş yıldızlar siyah daire sembolüyle gösterilmiştir.

Fotometrik hataları en aza indirebilmek için tez çalışmasında $g_0 = 20$ kadiri sönük parlaklık sınırı olarak kabul edilmiştir. Görünen parlaklığı $g_0 = 20$ kadirine kadar g_0 , $(g-r)_0$ ve $(u-g)_0$ parlaklık ve renk indekslerindeki medyan hatalar, sırasıyla, 0.006, 0.008 ve 0.022 kadirdir.



Şekil 4.12: Örneğimizdeki yıldızların g_0 görünen parlaklığına karşı g , $u-g$ ve $g-r$ parlaklık ve renk hataları. Panellerdeki kırmızı kesikli çizgi $g_0 = 20$ kadir limit parlaklığını göstermektedir.

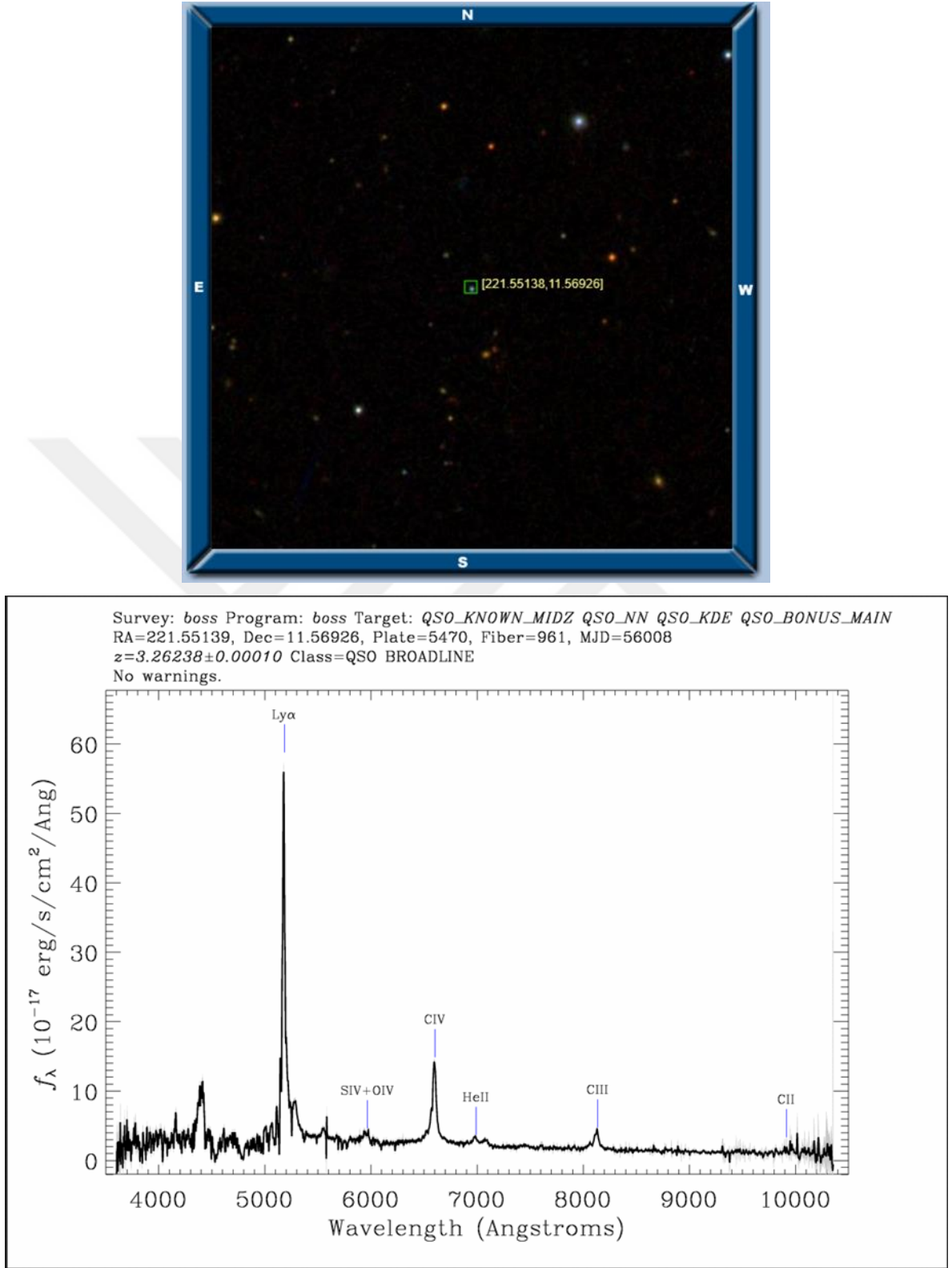
Anakol yıldız örneğindeki parlaklık ve renk indekslerine ait fotometrik hatalar incelendiğinde en büyük hataların $u-g$ renk indeksinde bulunduğu tespit edilmiştir (bkz Şekil 4.14). Bu fotometrik hataların nedenlerini belirleyebilmek için $u-g$ renk indekslerindeki hataları 0.5 ile 1.5 kadir aralığında bulunan nesnelerin görüntüleri ve mevcut tayfsal çalışmaları incelenmiştir. Birim görünen parlaklık aralığında ($\Delta g_0 = 1$) rastgele seçilen 10 kaynağın ekvatorial koordinatları SDSS III web sitesindeki görüntü bağıntısı¹ kullanılarak her bir kaynağın görüntüsü ve varsa tayfı incelenmiştir. İstatistiksel olarak yeterli sayıda kaynak (yaklaşık 80) bu şekilde incelendiğinde büyük kısmının yüksek kırmızıya kayma gösteren kuazarlar, galaksiler veya metalce zengin evrimleşmiş yıldızlar olduğu tespit edilmiştir. Çalışmanın başında kuazar ve evrimleşmiş yıldızların gelişmiş yöntemler (Chen ve diğ., 2001; Helmi ve diğ., 2003) kullanılarak istatistik-dışı bırakılmış olmasına rağmen aynı türden fakat farklı özellikler gösteren alt grup nesneler olduğu görülmüştür. Örneğimizdeki nesnelerin SDSS parlaklık ve renk indekslerinde görülen büyük fotometrik hataların ortadan kaldırılması için $u-g$ renk indeksine $(u-g)_{hata} > 0.2$ kadir sınırlaması getirilmiş ve hatası büyük olan yıldızlar örnekten çıkartılmıştır. Renk indeks hataları büyük olan üç kaynak için SDSS web sayfasından alınan görüntüler ve tayf bilgileri Şekil 4.13, 4.14 ve 4.15’de, ekvatorial koordinatları, tayfsal analize göre sınıflanan türleri ve fotometrik verileri de Tablo 4.8’de verilmiştir.

Tablo 4.8: Renk hataları büyük olan üç kaynağın ekvatorial koordinatları ve türleri.

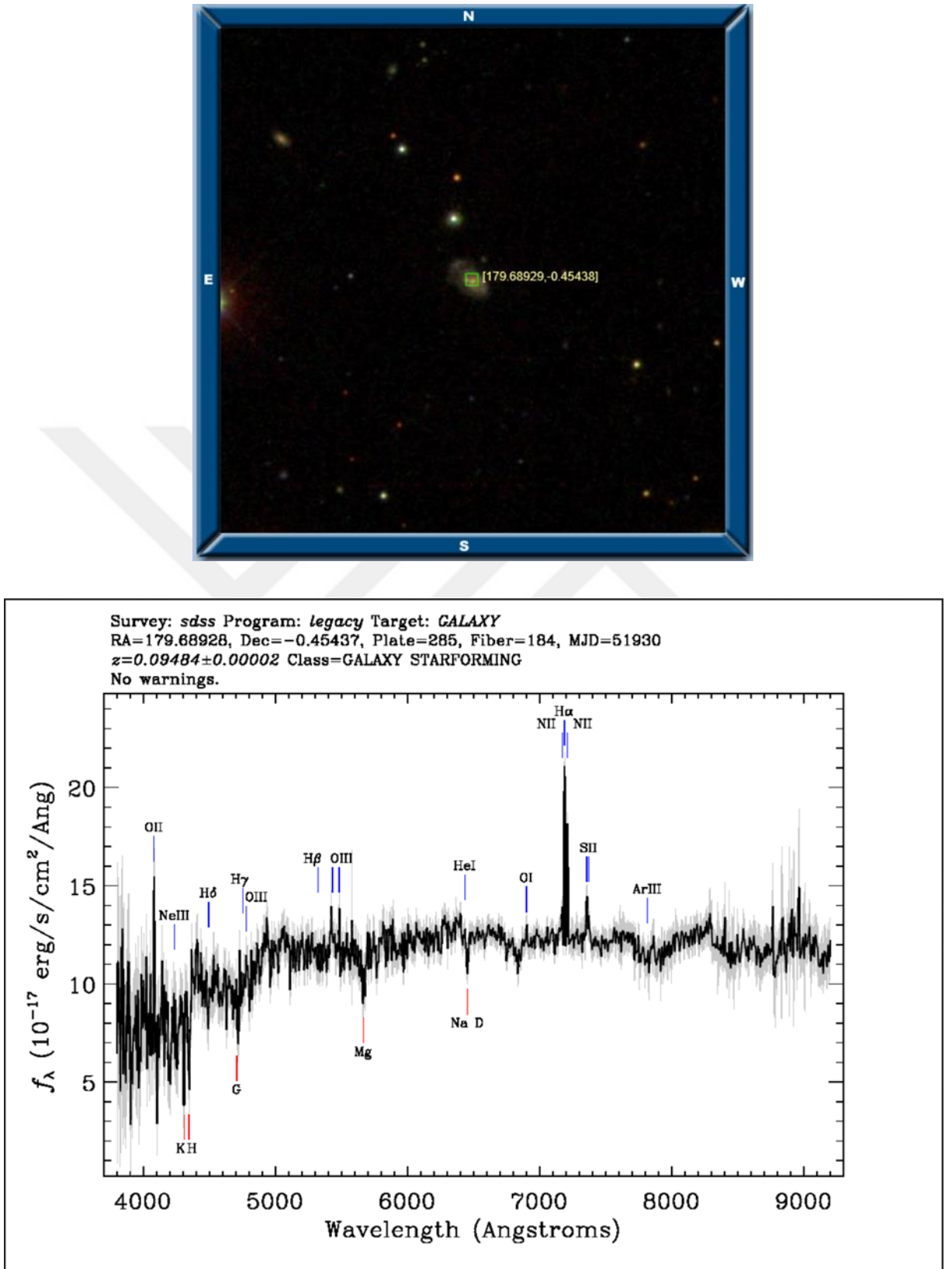
Sıra	α (derece)	δ (derece)	Kaynak	g_0	$(u-g)_0$	$(g-r)_0$
1	221.55138	+11.56926	Kuazar	20.00±0.02	2.50±0.25	-0.22±0.03
2	179.68929	-0.45437	Galaksi	17.60±0.01	1.49±0.05	0.78±0.01
3	226.49631	+4.21543	Dev yıldız	19.60±0.02	2.43±0.40	0.26±0.03

Fotometrik hataların $g_0 = 20$ kadirine kadar dikkate alınması anakol yıldızlarının duyarlı metal bolluğu ve mutlak parlaklıklarının tayin edilebileceğini göstermektedir. Bu nedenle SDSS yıldız örneği g_0 görünen parlaklığı $14 < g_0 \leq 20$ kadir aralığında sınırlandırıldığında F ve G tayf türündeki anakol yıldızlarının sayısı 1,895,264 olmuştur. Çalışmada üretilen fotometrik metal bolluğu (bağıntı 4.6) ve mutlak parlaklık (bağıntı 4.8) kalibrasyonlarının anakol yıldızlarına uygulanması sonucunda 457,797 yıldızın bu kalibrasyonların tanım aralıklarının dışında yer aldığı görülmüş ve metal bolluğu gradyent analizlerinde kullanılmak üzere 1,437,467 anakol yıldızının bulunduğu tespit edilmiştir. Fotometrik verilerin seçimi aşamasında örneğe getirilen sınırlamalar sonucunda bulunan kaynakların sayısı Tablo 4.9’da listelenmiştir.

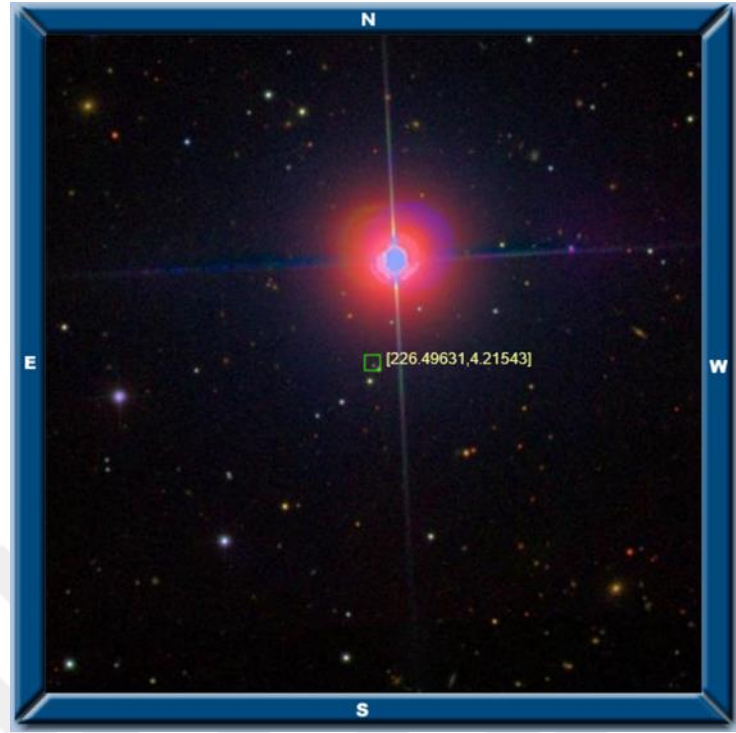
¹ <http://skyserver.sdss.org/dr12/en/tools/chart/navi.aspx>



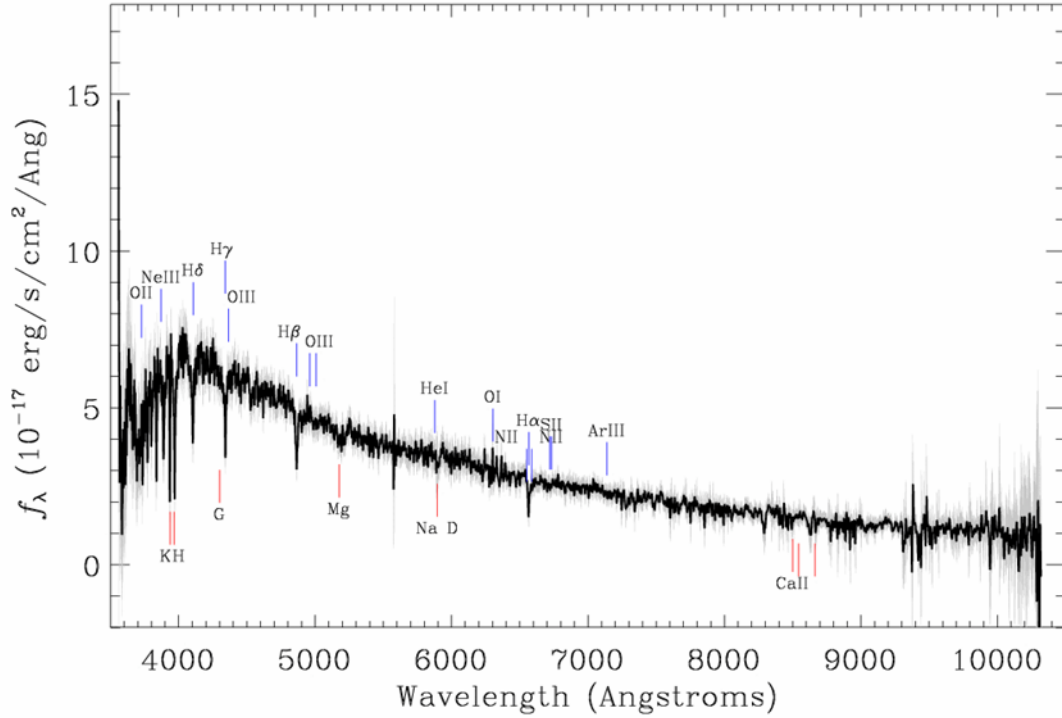
Şekil 4.13: Kuazar olarak tespit edilmiş kaynağın görüntüsü (üst panel), tayfı ve bilgileri (alt panel)



Şekil 4.14: Galaksi olarak tespit edilmiş kaynağın görüntüsü (üst panel), tayfı ve bilgileri (alt panel)



Survey: *boss* Program: *boss* Target: *QSO_NN QSO_KDE QSO_CORE_MAIN QSO_BONUS_MAIN*
 RA=226.49632, Dec=4.21544, Plate=4776, Fiber=434, MJD=55652
 cz=57+/-8 km/s Class=STAR FOIII (89025)
 No warnings.



Şekil 4.15: Evrimleşmiş yıldız olarak tespit edilmiş kaynağın görüntüsü (üst panel) ve tayfı (alt panel)

Tablo 4.9: F ve G tayf türündeki anakol yıldızlarının seçiminde kullanılan sınırlamalar ve bu sınırlamalara karşılık gelen nesne/yıldız sayıları.

Sınırlamalar	Nesne/Yıldız sayısı
Verilerin seçimi: $b \geq 50^\circ$	26,719,324
Galaksi dışı cisimlerin temizlenmesi: $g_0 \leq 23$ ve $(u-g)_0 > 0.5$ kadir	16,281,265
Yıldızların $(u-g)_0 \times (g-r)_0$ iki-renk diyagramından seçimi: $\pm 2\sigma$	15,456,605
Evrimleşmiş yıldızların Helmi ve diğ. (2003) yöntemiyle belirlenmesi	7,613
Örnekten evrimleşmiş yıldızların çıkartılması sonucu belirlenen anakol yıldızları	15,448,992
F ve G tayf türündeki anakol yıldızlarının SDSS sistemindeki tanım aralığı: $0.15 < (g-r)_0 < 0.50$ kadir	4,402,895
Fotometrik hataların dikkata alınarak duyarlı anakol yıldız seçimi: $14 < g_0 < 20$ kadir	1,895,264
Kalibrasyonların geçerlilik aralıklarına düşen yıldız sayısı	1,437,467

4.3.2. Metal Bolluğu Gradyent Hesaplamaları

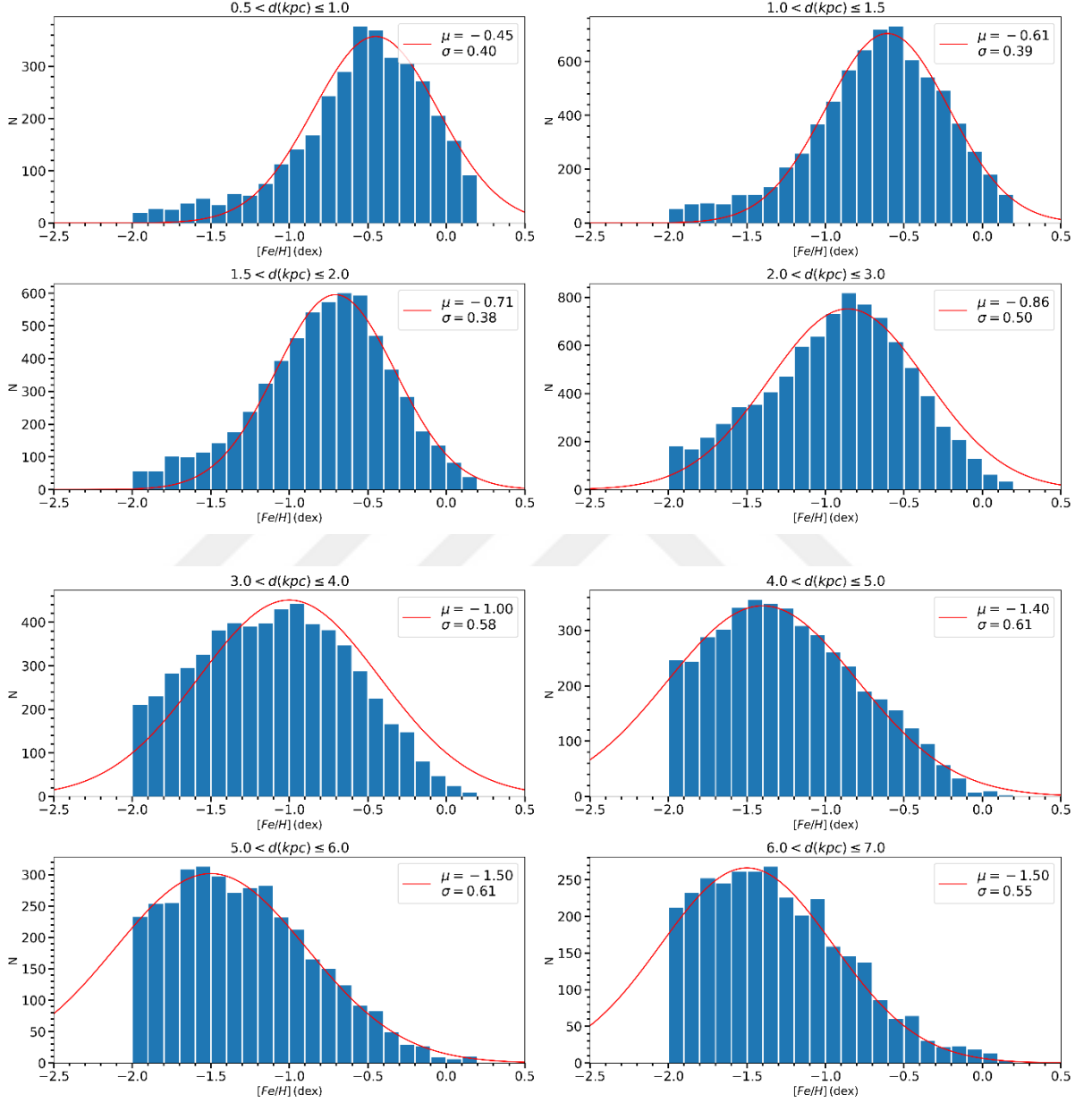
F ve G tayf türünde 1,437,467 anakol yıldızının fotometrik g_0 parlaklığı ve $(u-g)_0$ ve $(g-r)_0$ renk indeksleri doktora tez çalışmasında elde edilen fotometrik metal bolluğu (bağıntı 4.6) ve mutlak parlaklık kalibrasyonları (bağıntı 4.8) uygulanarak her bir yıldız için $[\text{Fe}/\text{H}]$ metal bolluğu ve M_g mutlak parlaklığı elde edilmiştir. Yıldızların uzaklıkları da Pogson bağıntısı (bağıntı 3.23) yardımıyla hesaplanmıştır. Bağıntıda g_0 yıldızın yıldızlararası ortamın neden olduğu sönmülenmeden arındırılmış görünen parlaklığı, M_g bağıntı (4.8) ile tayin edilmiş mutlak parlaklığı ve d yıldızın Güneş'e uzaklığını göstermektedir. Yıldızların Galaktik düzlemde dik doğrultudaki uzaklıkları Galaktik enlemlerinin bir fonksiyonu olarak bağıntı (3.24) kullanılarak belirlenirken, yıldızların Galaksi merkezine uzaklıkları da bağıntı (3.25) ile hesaplanmıştır (bkz Şekil 3.8). Bu hesaplamaların ardından tez çalışmasında hedeflenen metal bolluğu gradyent analizleri için gerekli tüm parametreler elde edilmiştir.

4.3.2.1. Galaksi Merkezinden Radyal Doğrultudaki Metal Bolluğu Gradyenti

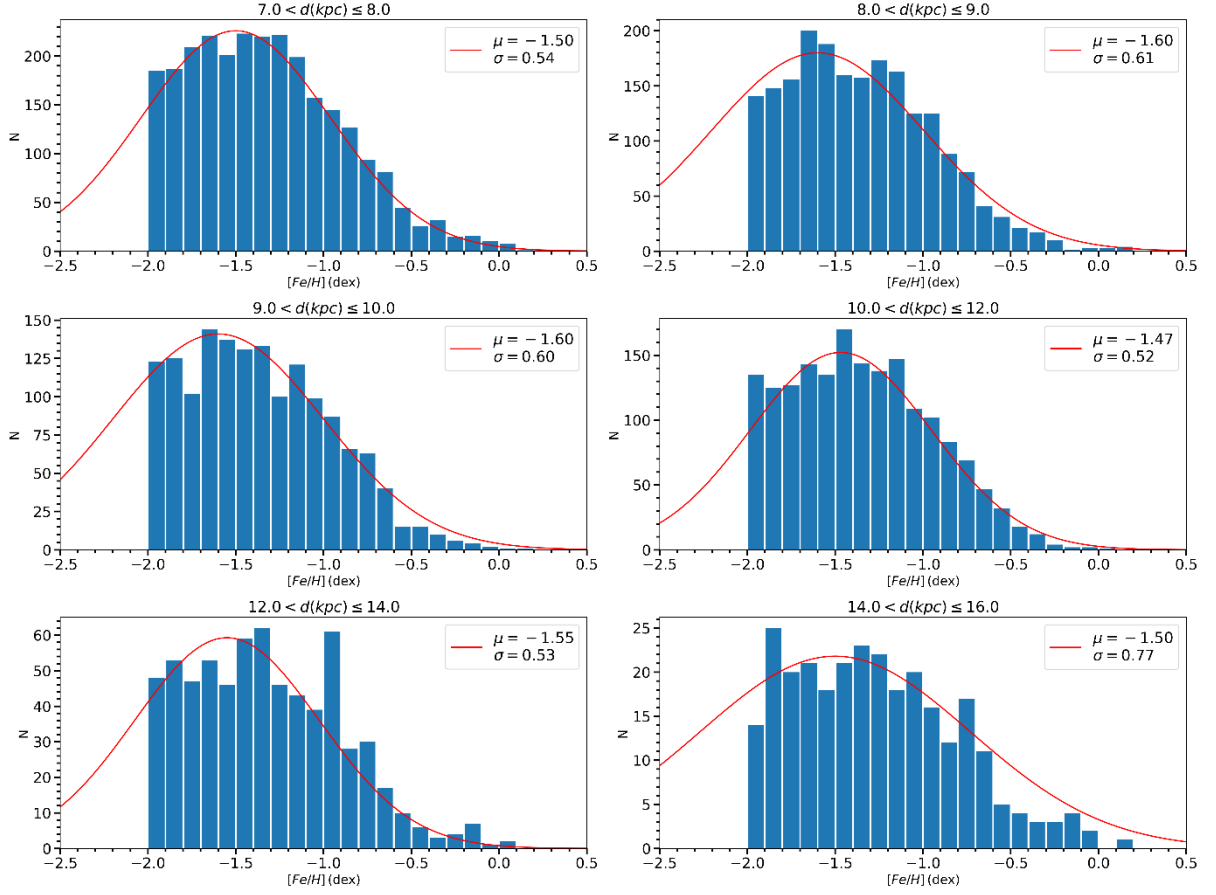
Doktora tez çalışmasında Samanyolunun oluşum ve evriminin araştırılmasında kilit rol oynayan radyal metal bolluğu gradyent hesabı için örneğimizdeki 1,437,467 F ve G tayf türündeki anakol yıldızının yeni kalibrasyonlar ile hesaplanan fotometrik metal bolluğu ve Güneş'e uzaklıkları kullanılmıştır. Yıldızların hesaplanmış uzaklıkları daha sonra bağıntı (3.25) ile Galaksi merkezine (R) taşınmıştır. Farklı Galaktik popülasyonlarda bulunan yıldızları $[\text{Fe}/\text{H}] \times R$ diyagramlarına yerleştirerek bağıntı (3.27) verilen doğrusal fitlerin bu yıldızlara uygulanmasıyla incelenen popülasyonların radyal metal bolluğu gradyentleri hatalarıyla birlikte hesaplanmıştır.

Tez çalışmasında farklı Galaktik enlem ve boylamlarda çok sayıda yıldız bulunduğundan hesaplanan metal bolluğu gradyentlerinin fiziksel anlamlılığını tartışabilmek için F ve G tayf türündeki anakol yıldızları Galaktik boylamlara göre 20'şer derecelik 18 alt gruba ayrılmıştır ($0^\circ < l \leq 20^\circ$, $20^\circ < l \leq 40^\circ$, ..., $320^\circ < l \leq 340^\circ$ ve $340^\circ < l \leq 360^\circ$). Her bir alt grup da Güneş'ten 14 farklı uzaklık aralıklarına bölünerek ($0.5 < d \leq 1$, $1 < d \leq 1.5$, $1.5 < d \leq 2$, ..., $14 < d \leq 16$ kpc) bulundukları uzay hacmindeki yıldız sayısı, medyan R ve Z uzaklıkları hesaplanmıştır. Tez çalışmasında oluşturulan 18 alt gruptaki ortalama $[Fe/H]$ metal bolluğu değerlerinin hesaplanması için yıldızların seçilen uzaklık aralıkları da dikkate alınarak metal bolluğu histogramları oluşturulmuştur. Bu metal bolluğu histogramlarından Gauss eğrileri geçirilerek dağılımların ortalama metal bollukları hesaplanmıştır. Bu işlemler çok sayıda tablo ve grafik içerdiğinden doktora tez çalışmasında örnek bir alt grup ($160^\circ < l \leq 180^\circ$) seçilmiş ve tüm analizler belirlenen bu alt gruba uygulanmıştır. İncelenmesi yapılan diğer alt grupların tablo ve şekilleri, sırasıyla, EK-1 ve EK-2'de verilmiştir.

Doktora tez çalışmasında, örnek alt grup olarak seçilen $160^\circ < l \leq 180^\circ$ Galaktik boylam aralığındaki yıldızlar 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 ayırarak, bu aralıklara denk gelen yıldız sayıları, medyan R ve Z değerleri hesaplanmıştır. Örnek gruptaki yıldızların ortalama metal bolluklarının belirlenmesinde her bir uzaklık aralığı için metal bolluğu histogramları çizilmiş ve her bir dağılıma Gauss eğrisi fit edilmiştir. Bu şekilde her bir uzaklık aralığı için ortalama bir metal bolluğu değeri hatasıyla birlikte hesaplanmıştır. Galaktik boylamı $160^\circ < l \leq 180^\circ$ aralığındaki yıldızların metal bolluğu histogramları ve bu histogramlara uygulanan Gauss eğrileri Şekil 4.16'da, uzaklık aralıklarına karşılık gelen yıldız sayıları, medyan R ve Z ile ortalama metal bolluğu değerleri Tablo 4.10'da listelenmiştir.



Şekil 4.16: Galaktik boylam aralığı $160^\circ < l \leq 180^\circ$ olan örnek alt gruptaki 14 uzaklık aralığı için oluşturulan metal bolluğu dağılımları. Kırmızı düz çizgiler dağılımlardan geçirilen Gauss eğrisilerini göstermektedir. Her bir uzaklık grubunun ortalama metal bolluğu ve standart sapma değerleri ilgili panellerin sağ üst kısımlarında verilmiştir.

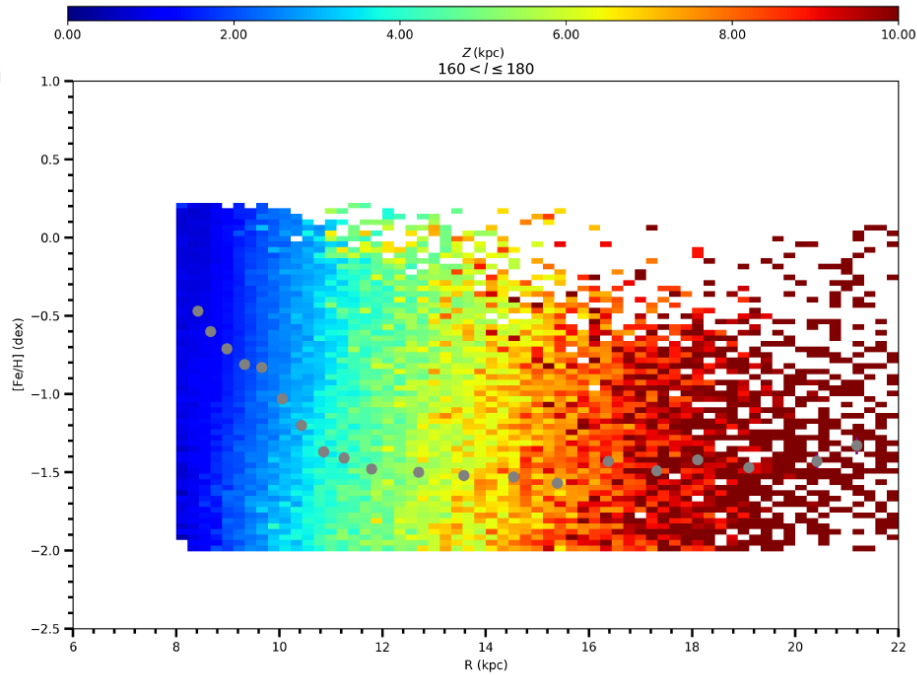


Şekil 4.16 (devam):

Tablo 4.10: Tez çalışmasında örnek alt grup seçilen Galaktik boylamı $160^\circ < l \leq 180^\circ$ aralığındaki yıldızların Güneş'ten uzaklıklarına göre ayrılmış N yıldız sayıları, medyan R ve Z değerleri ve Gauss eğrileriyle belirlenen metal bollukları.

<i>Uzaklık Aralığı (d)</i> (kpc)	<i>Uzaklık Aralığı (Z)</i> (kpc)	<i>N</i>	$\bar{R}$ (kpc)	$\bar{Z}$ (kpc)	$[Fe/H]$ (dex)
$0.5 < d \leq 1$	$0.44 < Z \leq 0.87$	3,420	8.42	0.74	-0.45 ± 0.01
$1 < d \leq 1.5$	$0.87 < Z \leq 1.31$	7,094	8.67	1.09	-0.61 ± 0.00
$1.5 < d \leq 2$	$1.31 < Z \leq 1.74$	6,019	8.98	1.51	-0.71 ± 0.00
$2 < d \leq 3$	$1.74 < Z \leq 2.62$	8,866	9.44	2.15	-0.86 ± 0.01
$3 < d \leq 4$	$2.62 < Z \leq 3.49$	5,890	10.20	3.03	-1.00 ± 0.01
$4 < d \leq 5$	$3.49 < Z \leq 4.36$	4,404	11.00	3.92	-1.40 ± 0.01
$5 < d \leq 6$	$4.36 < Z \leq 5.23$	3,679	11.78	4.85	-1.50 ± 0.01
$6 < d \leq 7$	$5.23 < Z \leq 6.10$	3,143	12.70	5.72	-1.50 ± 0.01
$7 < d \leq 8$	$6.10 < Z \leq 6.98$	2,623	13.58	6.64	-1.50 ± 0.01
$8 < d \leq 9$	$6.98 < Z \leq 7.85$	2,027	14.54	7.49	-1.60 ± 0.01
$9 < d \leq 10$	$7.85 < Z \leq 8.72$	1,525	15.39	8.47	-1.60 ± 0.02
$10 < d \leq 12$	$8.72 < Z \leq 10.46$	1,745	16.75	9.67	-1.47 ± 0.01
$12 < d \leq 14$	$10.46 < Z \leq 12.21$	665	18.51	11.60	-1.55 ± 0.02
$14 < d \leq 16$	$12.21 < Z \leq 13.95$	280	20.69	13.25	-1.50 ± 0.05

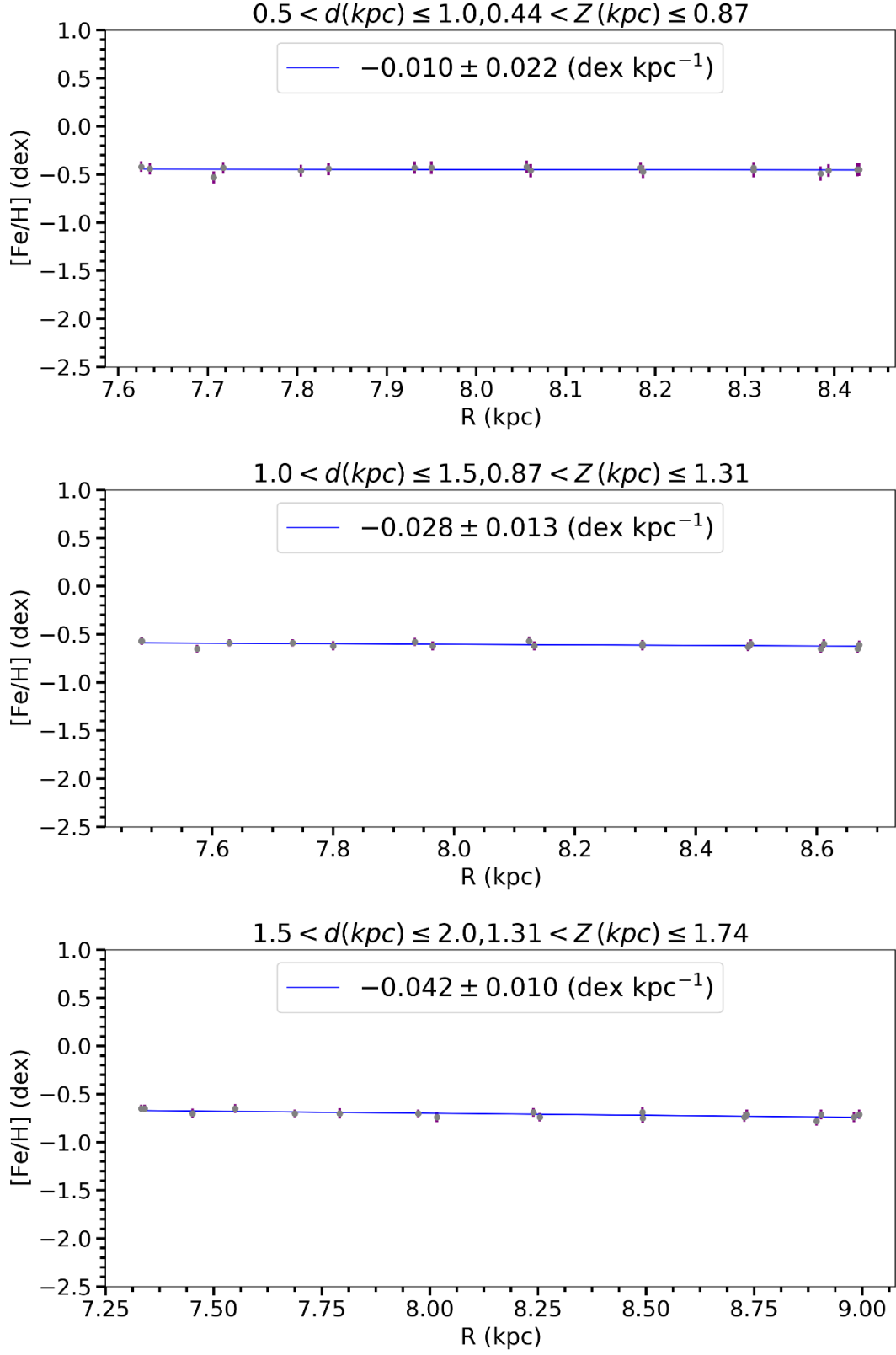
Örnek alt gruptaki ($160^\circ < l \leq 180^\circ$) yıldızların radyal metal bolluğu gradyentinin hesaplanmasında Tablo 4.10'da verilen medyan R ve $\langle [\text{Fe}/\text{H}] \rangle$ değerleri kullanılmıştır. Yıldız alanı doğrultusundaki metal bolluğu profilinin oluşturulmasında kullanılan medyan R ve $\langle [\text{Fe}/\text{H}] \rangle$ değerleri Şekil 4.17'de gri daireler ile gösterilmiştir. Ayrıca, Şekil 4.17'de yıldızların Galaktik düzlemden dik uzaklıkları da (Z) üst panelde gösterilen renk ölçeğinin bir fonksiyonu olarak verilmiştir. Tez çalışmasında incelenen örnek alt 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. Yıldız alanı doğrultusundaki metal bolluğu profili Z değerlerine göre incelendiğinde de Galaksi merkezinden $8 < R < 12$ kpc uzaklık aralığındaki yıldızların Galaktik düzlemden $0.5 < Z < 6.2$ kpc uzaklık aralığında bulunduğu ve güçlü bir metal bolluğu değişiminin varlığı dikkat çekmektedir. Bu uzaklık aralığının ötesinde yıldızın ortalama metal bolluklarında belirgin bir değişim söz konusu değildir. Bu bölgedeki yıldızların ($6.2 < Z < 14$ kpc) Galaksimizin halosuna ait olduğu şeklin üstünde verilen renk ölçeğine bağlı olarak Şekil 4.17'den görülmektedir.



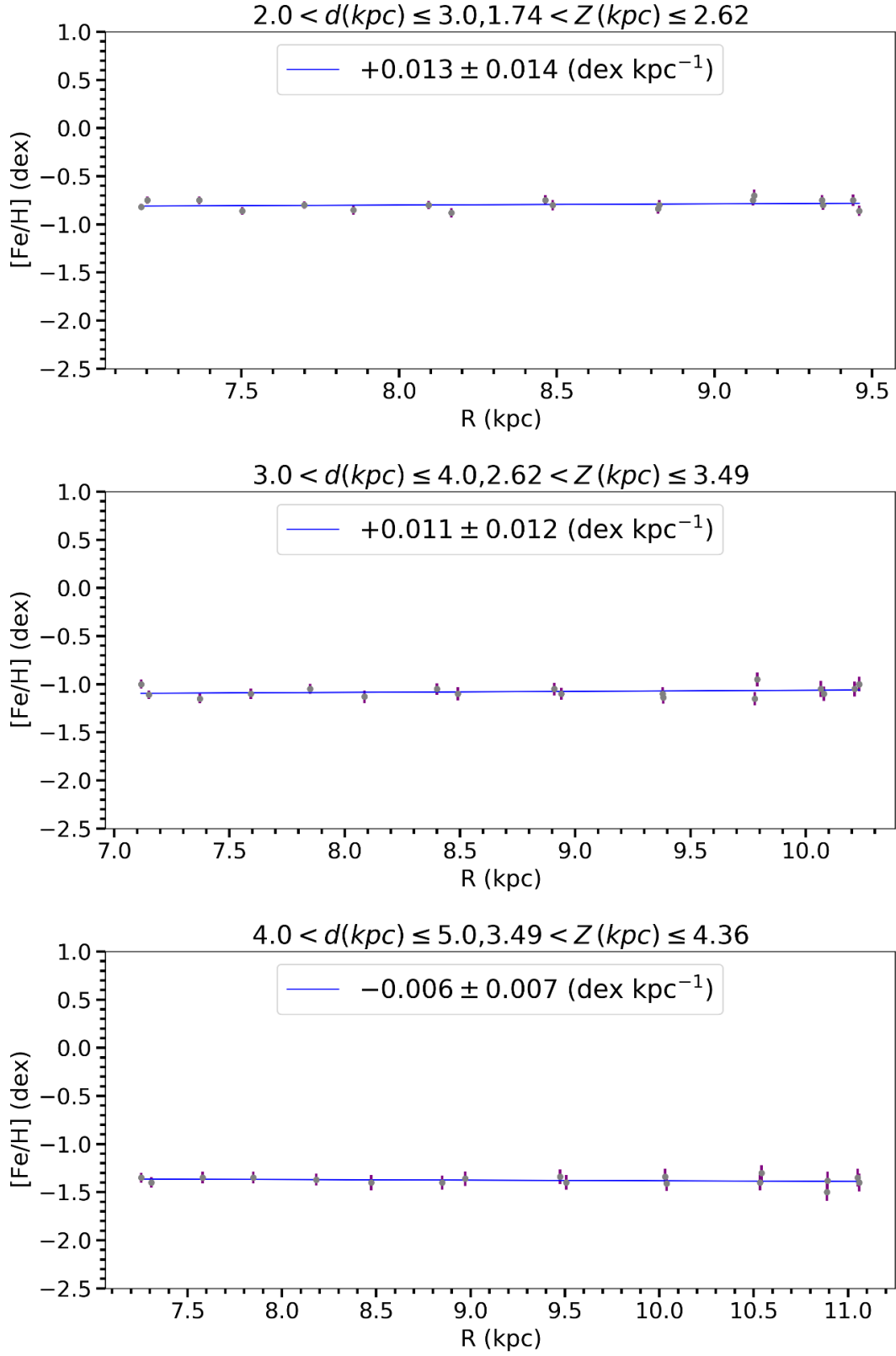
Şekil 4.17: Tez çalışmasındaki örnek alt grup olan $160^\circ < l \leq 180^\circ$ Galaktik boylam aralığındaki F-G anakol yıldızları kullanılarak elde edilen $R \times [\text{Fe}/\text{H}]$ diyagramı. Gri daireler Tablo 4.10 ile verilen değerleri ve renkler de grafiğin üst panelinde görüldüğü gibi farklı Z uzaklıklarını ifade eder.

Doktora tez çalışmasında $0^\circ < l \leq 360^\circ$ Galaktik boylam aralığında $20'$ 'şer derecelik dilimlere 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 ($[Fe/H]$) ile Galaksi merkezinden uzaklıklar (R) arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Bu da seçilen 14 uzaklık aralığı (d veya Z) için radyal metal bolluğu gradyent hesabının yapılabilmesine olanak verir. Her bir uzaklık aralığındaki yıldızların metal bolluklarıyla Galaksi merkezinden uzaklıkları arasında oluşturulan grafiklerde verilere doğrusal fitler geçirilmek suretiyle radyal metal bolluğu gradyentleri hesaplanmıştır (Şekil 4.18). Bu şekilden de görülebileceği gibi Güneş civarından uzaklaştıkça ortalama metal bolluğunun azaldığı, Galaksi merkezinden uzaklıklarının da arttığı 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 gradyentleri, sırasıyla, -0.010 ± 0.022 , -0.028 ± 0.013 ve -0.042 ± 0.010 dex/kpc'tir.

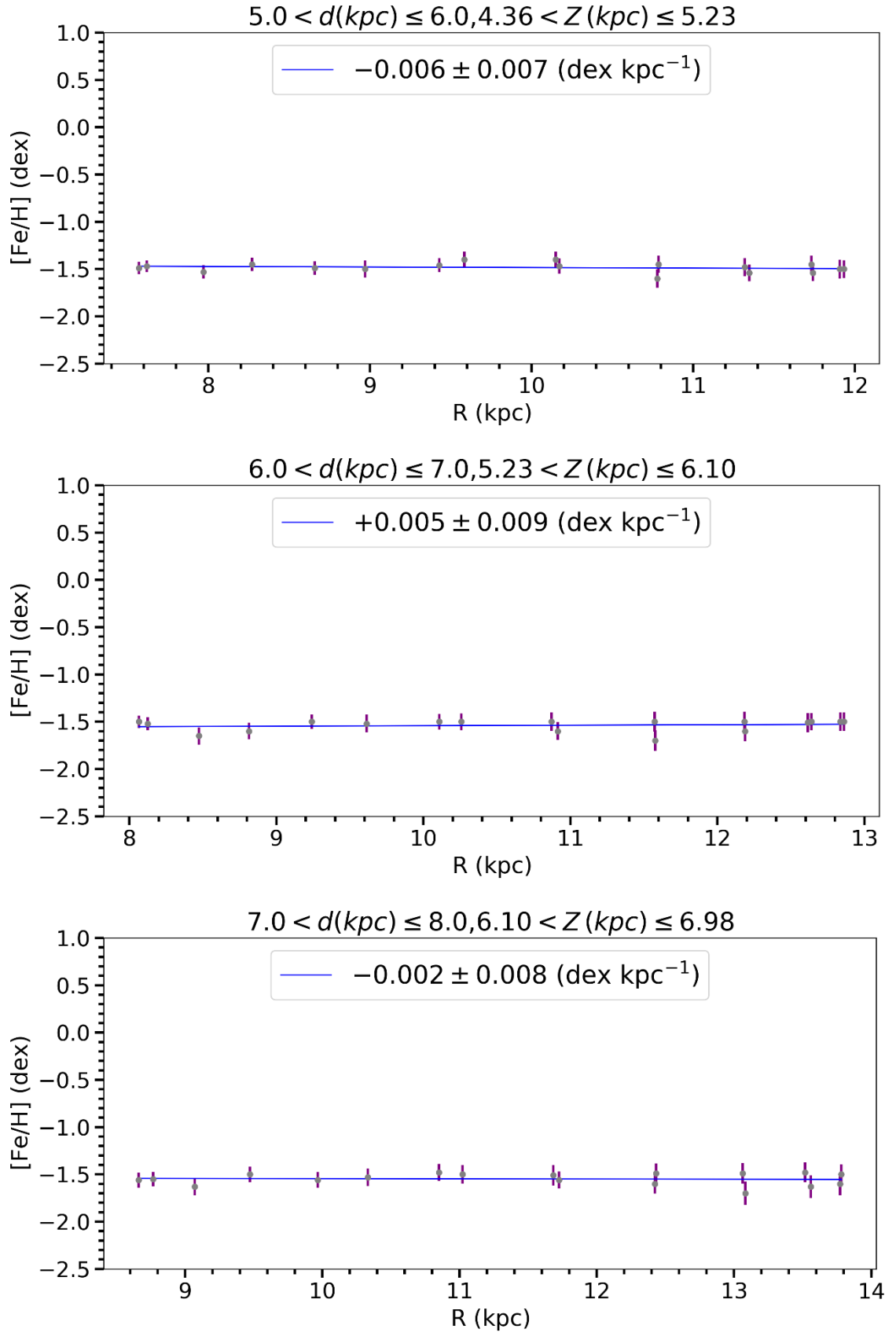
Tez çalışmasında her bir uzaklık aralığı için hesaplanan radyal metal bolluğu gradyentleri Galaktik düzlemden dik doğrultuda hesaplanan Z uzaklıklarına göre çizilmiş ve Şekil 4.19'da gösterilmiştir. Genel olarak $Z = 2$ kpc uzaklığına kadar radyal metal bolluğu gradyentleri negatif değerlerdeyken, bu uzaklığın ötesinde metal bolluğu gradyentleri sıfıra yakın ya da pozitif değerlerdedir. Bu bulgu, ince disk bileşeninin 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 çalışmada ince disk popülasyonun hâkim olduğu uzaklık aralıklarında hesaplanan negatif radyal metal bolluğu gradyentleri, Chiappini ve diğ. (1997) tarafından önerilen ikili çökme modelini desteklemektedir.



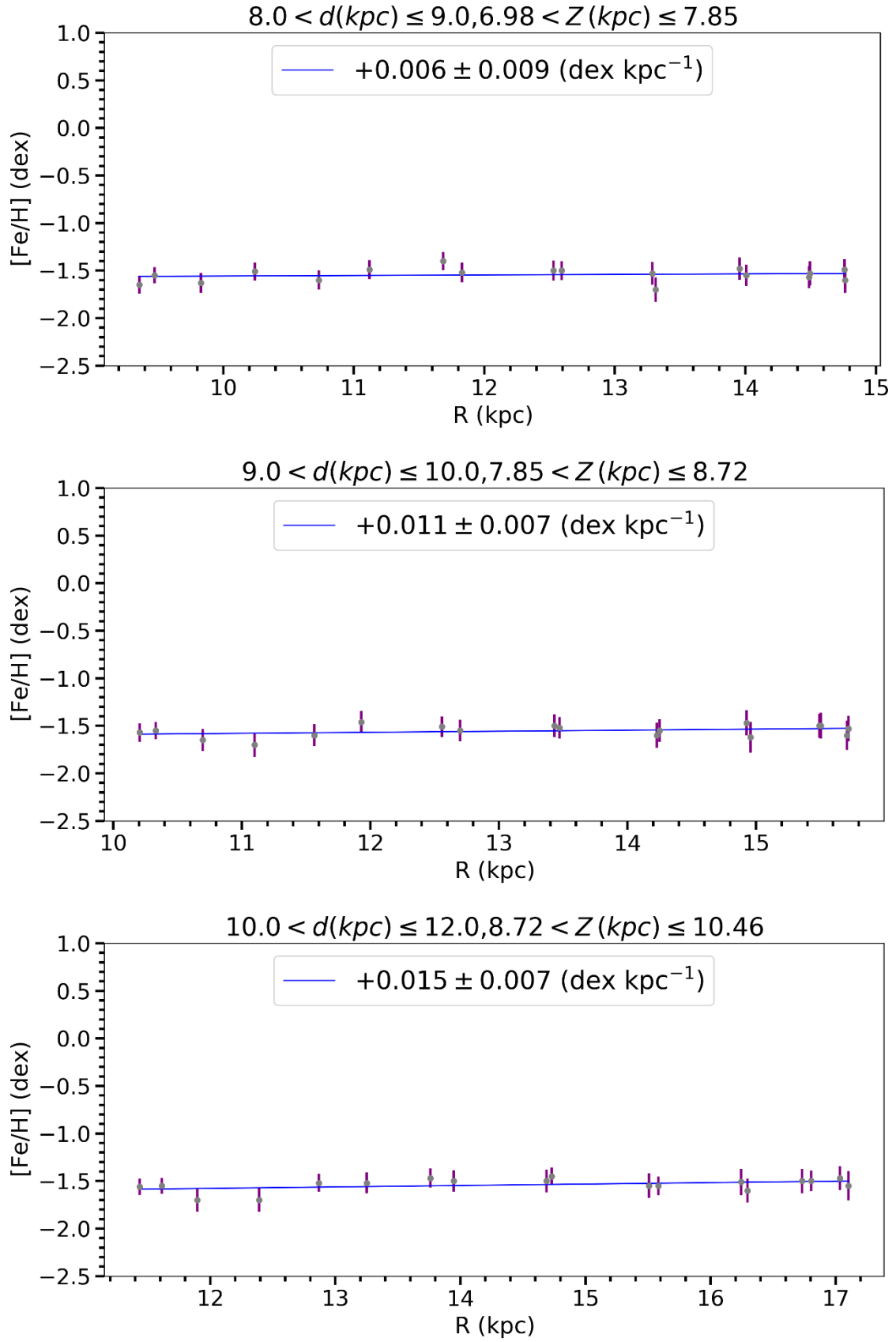
Şekil 4.18: Seçilen alan yıldızlarının 14 alt uzaklık aralığı için hesaplanan radyal metal bolluğu gradyentleri. Panellerdeki mavi çizgiler verilere uygulanan doğrusal fitleri, kırmızı çizgiler metal bolluklarına ait standart hataları göstermektedir.



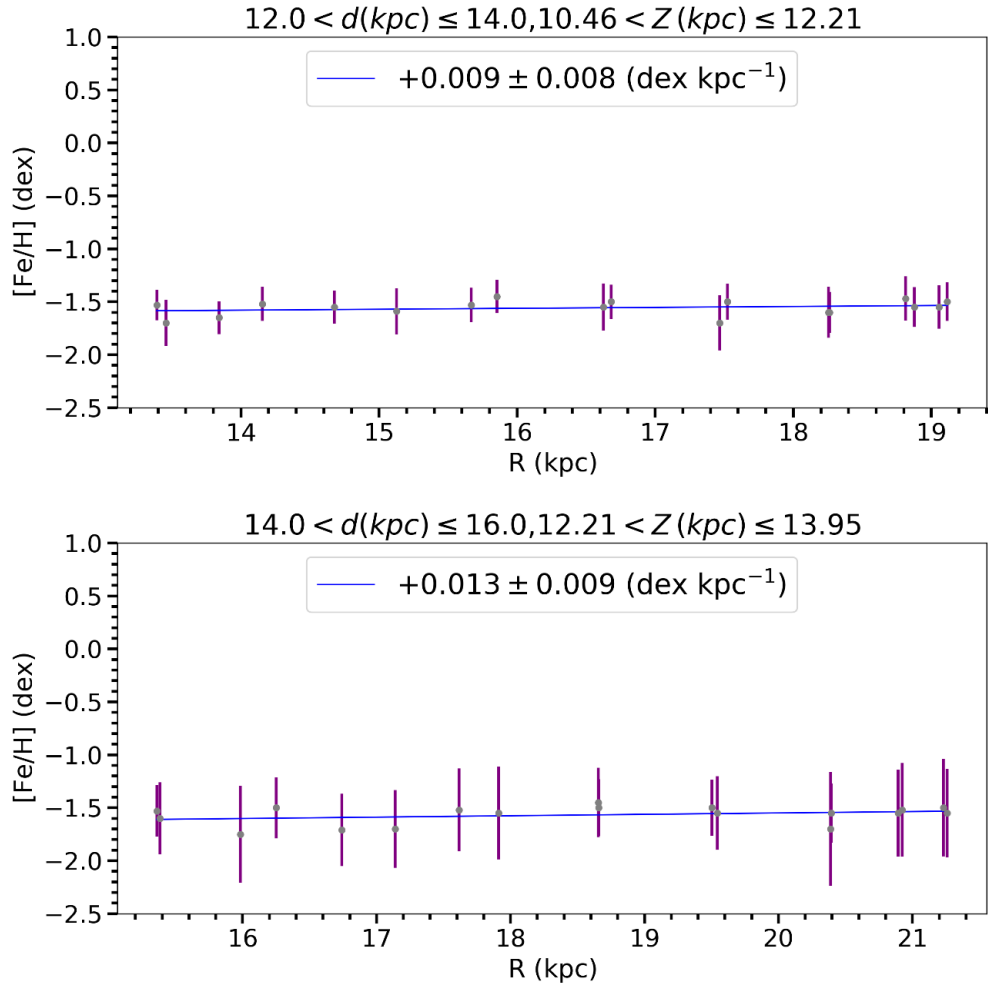
Şekil 4.18 (devam):



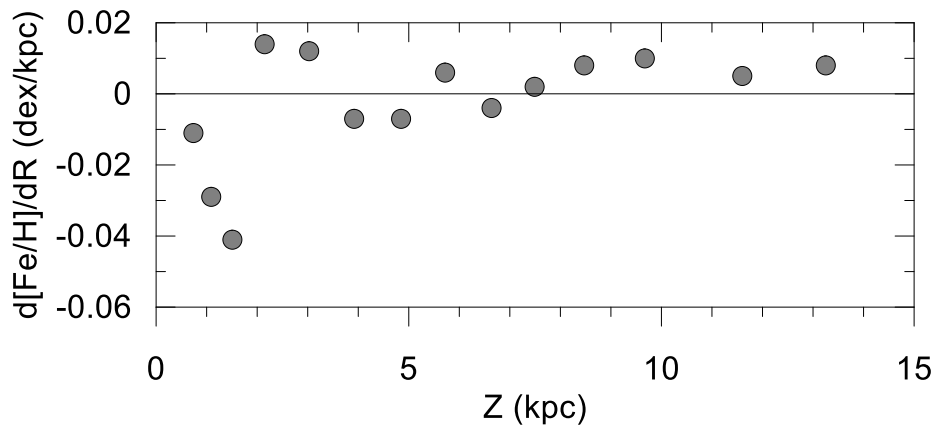
Şekil 4.18 (devam):



Şekil 4.18 (devam):



Şekil 4.18 (devam):



Şekil 4.19: 14 farklı uzaklık aralığından elde edilen radyal metal bolluğu gradyentlerinin Z uzaklığına göre değişimi.

4.3.3 Galaktik Düzleme Dik Doğrultudaki Metal Bolluğu Gradyenti

Galaksimizin oluşum ve evrimin anlaşılmasında Galaktik düzleme dik doğrultudaki metal bolluğu gradyenti incelenerek istatistiksel bakımdan anlamlı ve büyük bir değerin hesaplanması, Samanyolunun yekpare bir bulutun çökmesiyle oluştuğuna dair ipuçlarını verir (ELS, 1962). Tez çalışmasında kullanılan SDSS'e ait fotometrik veriler orta/yüksek Galaktik enlemdeki yıldızları içerdiği ($b > 50^\circ$) ve parlak kadirdeki yıldızların da $g_0 > 14$ kadirinden daha sönük olması nedeniyle örnekteki yıldızların özellikle yaşlı ince disk, kalın disk ve halo popülasyonlarında bulunduğunu gösterir. Bu durum Galaktik düzlemde dik uzaklıklar için hesaplanacak metal bolluğu gradyentlerinin yorumlanmasında dikkatli olunmasını gerektirir. Bu etkiyi daha iyi görebilmek için 1,437,467 yıldızdan oluşan örneğin Galaktik düzlemde dik doğrultudaki uzaklıklar ile Galaksi merkezinden radyal doğrultudaki uzaklıklar $Z \times R$ düzleminde oluşturulacak yıldız sayı yoğunluğu ($\log N$), Güneş'ten uzaklık (d) ve metal bolluğunun ($[Fe/H]$) bir fonksiyonu olarak incelenmelidir.

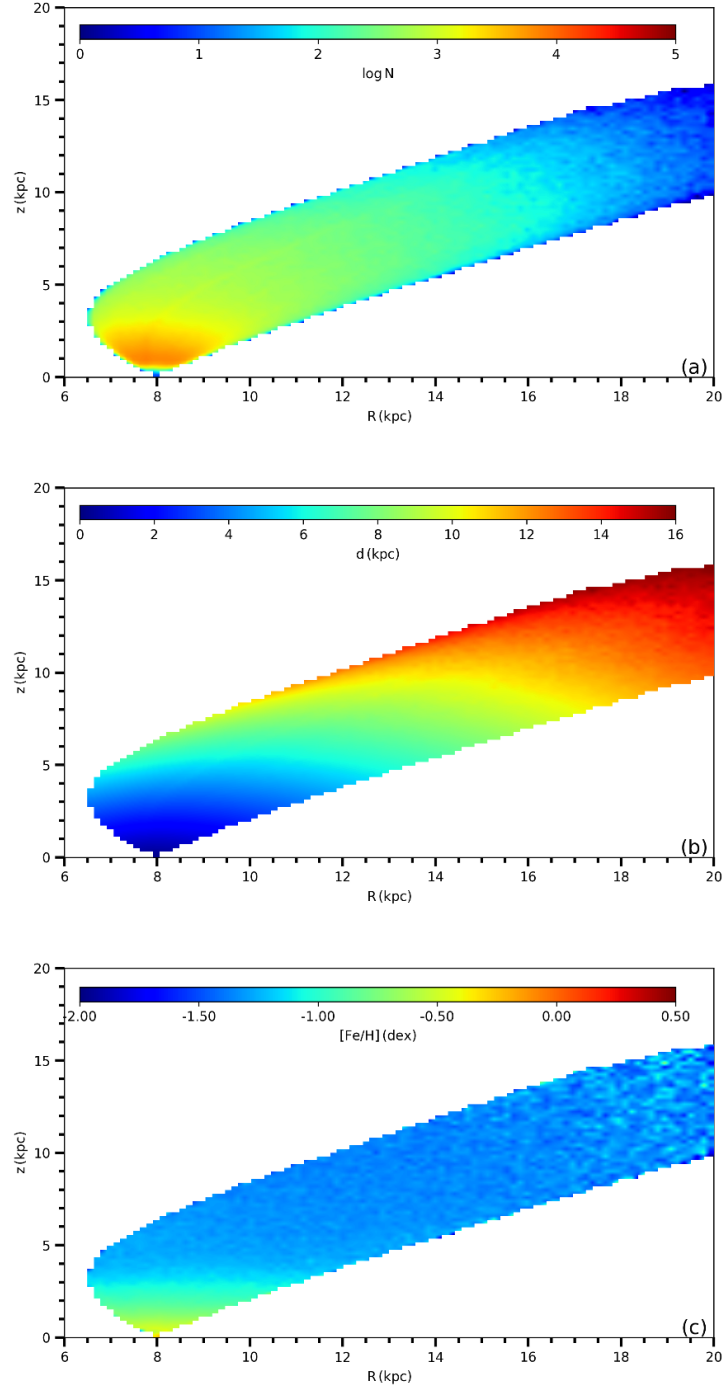
Doktora tez çalışmasındaki yaklaşık 1.44 milyon anakol yıldızının $Z \times R$ diyagramı Şekil 4.20'de gösterilmiştir. Yıldız sayı yoğunlarına göre oluşturulan ve Şekil 4.20a'da gösterilen panelde yıldızların $6 < R < 20$ kpc ve Galaktik düzlemde $0 < Z < 16$ kpc uzaklık aralıklarında bulunduğu görülmektedir. Yıldızların büyük kısmı $6 < R \leq 10$ kpc ve $Z \leq 8$ kpc uzaklıklarında bulunurken, $R > 10$ kpc uzaklığının ötesinde yıldız sayılarında ciddi bir azalma vardır. Ayrıca Şekil 4.20a ayrıntılı incelendiğinde, $R > 10$ kpc ötesinde $Z < 2.5$ kpc uzaklıkta hiç yıldız bulunmadığı ve artan R uzaklıklarıyla Z değerlerinin de büyüdüğü tespit edilmiştir. $Z \times R$ diyagramı üzerinde yıldızların Güneş'e uzaklıklarına göre renklendirilmiş dağılımları Şekil 4.20b'de gösterilmiştir. Yıldızların artan R ve Z değerleriyle birlikte Güneş'e uzaklıkları da doğru orantılı bir şekilde artmaktadır. Örnekteki yıldızlar $R = 12$ ve $R = 16$ kpc uzaklıklara eriştiklerinde, sırasıyla, Güneş'ten $d = 6$ ve $d = 10$ kpc'lik uzaklıkta bulundukları Şekil 4.20b'den tespit edilmiştir. Yine örnekteki yıldızların $Z \times R$ diyagramı üzerinde metal bolluklarına göre dağılımları incelendiğinde (Şekil 4.20c), Güneş civarında ($6 < R < 10$ ve $Z \leq 3$ kpc) metal bolluklarının $[Fe/H] = -1$ dex'e eriştiği, $R > 10$ kpc uzaklığının ötesinde ise yıldızların $-1 < [Fe/H] \leq 2$ dex aralığında bulunduğu görülmektedir.

Yıldızların $Z \times R$ diyagramı üzerindeki dağılımları incelendiğinde (Şekil 4.20), Galaktik düzleme dik doğrultularda hesaplanacak metal bolluğu gradyent hesaplarında R 'nin de dikkate alınması gerektiği görülmektedir. Bu durumun göz ardı edilmesi halinde Galaktik düzleme dik doğrultular için hesaplanacak *metal bolluğu gradyentlerinin dejenerasyonluğa* uğrayacağı kaçınılmazdır.

Galaktik düzleme dik doğrultularda hesaplanacak metal bolluğu gradyentleri için yıldızlar, Galaktik enlemlerine göre üç gruba ($50^\circ < b \leq 65^\circ$, $65^\circ < b \leq 80^\circ$ ve $80^\circ < b \leq 90^\circ$), Galaktik boylamlarına göre dört gruba ($0^\circ < l \leq 90^\circ$, $90^\circ < l \leq 180^\circ$, $180^\circ < l \leq 270^\circ$ ve $270^\circ < l \leq 360^\circ$) ve Galaksi merkezinden uzaklıklarına göre de üç gruba ayrılmıştır ($6 < R \leq 10$, $10 < R \leq 15$ ve $15 < R \leq 20$ kpc). Ayrıca Galaktik bileşenlerin etkin bulundukları Z aralıkları da (bkz Şekil 4.20) çalışmada dikkate alınmıştır. Buna göre $6 < R \leq 10$ ve $10 < R \leq 15$ kpc uzaklık aralıkları için üçer Z aralıkları, sırasıyla, $0.5 < Z \leq 2$, $2 < Z \leq 5$, $5 < R \leq 8$ kpc ve $2 < Z \leq 5$, $5 < Z \leq 10$, $10 < R \leq 12$ kpc ile $15 < R \leq 20$ kpc uzaklık aralığında için de iki Z aralığı, $7 < Z \leq 10$ ve $10 < R \leq 15$ kpc, seçilmiştir. Bu şartları sağlayan 96 alt grubun bulunduğu tespit edilmiş ve bu alt gruplar için yıldız sayıları (N), ortalama metal bollukları ($\langle [\text{Fe}/\text{H}] \rangle$) ve Galaktik düzleme dik doğrultulardaki metal bolluğu gradyentleri ($d[\text{Fe}/\text{H}]/dZ$) Tablo 4.11'de verilmiştir.

Doktora tez çalışmasında Galaktik enlemi $50^\circ < b \leq 65^\circ$ ve Galaksi merkezinden uzaklığı $6 < R \leq 10$ kpc aralığında, Galaksimizin ince disk bileşenini temsil eden $0.5 < Z \leq 2$ kpc uzaklık aralığı her bir Galaktik çeyrekler dikkate alınarak incelendiğinde, dört Galaktik çeyrek için, ortalama metal bollukları hemem hemen birine yakın ($-0.70 \leq \langle [\text{Fe}/\text{H}] \rangle \leq -0.65$ dex) ve Galaktik düzlemde dik doğrultudaki metal bolluğu gradyent değerlerinin de $-0.317 \pm 0.016 \leq d[\text{Fe}/\text{H}]/dZ \leq -0.296 \pm 0.012$ dex/kpc'e benzer değerlerde hesaplandığı Tablo 4.11'den görülmektedir. Aynı Galaktik enlem ve Galaksi merkezinden uzaklık aralıklarında $2 < Z \leq 5$ kpc uzaklık aralığı için ortalama metal bollukları $-1.12 \leq \langle [\text{Fe}/\text{H}] \rangle \leq -0.98$ dex ve Galaktik düzlemde dik doğrultudaki metal bolluğu gradyent değerlerinin $-0.166 \pm 0.012 \leq d[\text{Fe}/\text{H}]/dZ \leq -0.128 \pm 0.038$ dex/kpc olduğu hesaplanmıştır (bkz Tablo 4.11). Son olarak, aynı aralıklarda ve $5 < Z \leq 8$ kpc uzaklık aralığında I. ve IV. Galaktik çeyreklerde yaklaşık 29 bin ile 34.5 bin yıldız bulunurken, II. ve III. Galaktik çeyreklerde ise, SDSS'in gözlem programından dolayı, yıldız bulunmamaktadır. Bu iki Galaktik çeyreklerdeki ortalama metal bollukları birbirine çok yakın olup $-1.37 \leq \langle [\text{Fe}/\text{H}] \rangle \leq -1.34$ dex'tir. Ayrıca I. ve IV. Galaktik çeyrekler için Galaktik düzlemde

dik doğrultudaki metal bolluğu gradyent değerleri, sırasıyla, -0.022 ± 0.004 dex/kpc ve -0.027 ± 0.006 dex/kpc hesaplanmıştır.



Şekil 4.20: 1,437,467 F ve G anakol yıldızının a) yıldız sayısı ($\log N$), b) Güneş'ten uzaklıkları (d) ve c) metal bolluklarının göre $Z \times R$ dağılımı.

Tablo 4.11: Galaktik düzleme dik doğrultudaki $6 < R \leq 10$, $10 < R \leq 15$ ve $15 < R \leq 20$ kpc uzaklık aralıkları için hesaplanan metal bolluğu gradyentleri. Burada Z , Galaktik düzlemden dik uzaklığı, l ve b Galaktik boylam ve enlemi, N incelenen aralıktaki yıldız sayısını, $[Fe/H]$ ortalama metal bolluğu ve $d[Fe/H]/dZ$ metal bolluğu gradyentidir.

$6 < R \leq 10$ (kpc)										
$50^\circ < b \leq 65^\circ$			$65^\circ < b \leq 80^\circ$			$80^\circ < b \leq 90^\circ$				
Z (kpc)	l ($^\circ$)	N	$[Fe/H]$ (dex)	$d[Fe/H]/dZ$ (dex/kpc)	N	$[Fe/H]$ (dex)	$d[Fe/H]/dZ$ (dex/kpc)	N	$[Fe/H]$ (dex)	$d[Fe/H]/dZ$ (dex/kpc)
(0.5-2]	(0-90]	104,235	-0.70	-0.296 $\pm$ 0.012	33,928	-0.73	-0.312 $\pm$ 0.015	5,095	-0.73	-0.309 $\pm$ 0.030
	(90-180]	63,546	-0.65	-0.298 $\pm$ 0.012	23,604	-0.70	-0.292 $\pm$ 0.018	4,765	-0.68	-0.329 $\pm$ 0.031
	(180-270]	64,145	-0.70	-0.317 $\pm$ 0.016	24,679	-0.72	-0.328 $\pm$ 0.018	4,532	-0.75	-0.293 $\pm$ 0.015
	(270-360]	71,916	-0.68	-0.317 $\pm$ 0.016	33,661	-0.69	-0.311 $\pm$ 0.022	4,720	-0.76	-0.367 $\pm$ 0.046
(2-5]	(0-90]	122,960	-1.12	-0.166 $\pm$ 0.012	44,165	-1.13	-0.162 $\pm$ 0.010	7,014	-1.13	-0.174 $\pm$ 0.015
	(90-180]	26,706	-0.98	-0.128 $\pm$ 0.038	20,450	-1.05	-0.151 $\pm$ 0.013	5,621	-1.07	-0.171 $\pm$ 0.014
	(180-270]	31,401	-1.03	-0.150 $\pm$ 0.018	23,535	-1.06	-0.169 $\pm$ 0.010	5,705	-1.15	-0.180 $\pm$ 0.010
	(270-360]	90,278	-1.11	-0.160 $\pm$ 0.012	49,471	-1.09	-0.171 $\pm$ 0.010	7,127	-1.15	-0.158 $\pm$ 0.011
(5-8]	(0-90]	34,457	-1.37	-0.022 $\pm$ 0.004	10,265	-1.37	-0.016 $\pm$ 0.022	746	-1.37	-0.032 $\pm$ 0.066
	(90-180]	---	---	---	---	---	---	5	---	---
	(180-270]	---	---	---	---	---	---	1	---	---
	(270-360]	28,982	-1.34	-0.027 $\pm$ 0.006	12,471	-1.35	-0.030 $\pm$ 0.012	825	-1.39	-0.044 $\pm$ 0.056
$10 < R \leq 15$ (kpc)										
$50^\circ < b \leq 65^\circ$			$65^\circ < b \leq 80^\circ$			$80^\circ < b \leq 90^\circ$				
Z (kpc)	l ($^\circ$)	N	$[Fe/H]$ (dex)	$d[Fe/H]/dZ$ (dex/kpc)	N	$[Fe/H]$ (dex)	$d[Fe/H]/dZ$ (dex/kpc)	N	$[Fe/H]$ (dex)	$d[Fe/H]/dZ$ (dex/kpc)
(2-5]	(0-90]	542	-1.30	-0.018 $\pm$ 0.022	19	---	---	---	---	---
	(90-180]	30,248	-1.21	-0.171 $\pm$ 0.011	6,937	-1.31	-0.156 $\pm$ 0.038	461	-1.33	-0.136 $\pm$ 0.013
	(180-270]	33,360	-1.24	-0.167 $\pm$ 0.013	8,065	-1.32	-0.105 $\pm$ 0.022	464	-1.37	0.196 $\pm$ 0.015
	(270-360]	374	-1.33	0.021 $\pm$ 0.046	29	---	---	---	---	---
(5-10]	(0-90]	24,897	-1.38	-0.014 $\pm$ 0.003	18,487	-1.40	-0.010 $\pm$ 0.002	4,283	-1.41	-0.016 $\pm$ 0.008
	(90-180]	22,253	-1.36	-0.028 $\pm$ 0.010	17,445	-1.38	-0.011 $\pm$ 0.005	4,643	-1.39	-0.002 $\pm$ 0.004
	(180-270]	29,162	-1.37	0.010 $\pm$ 0.005	20,756	-1.38	-0.007 $\pm$ 0.003	4,480	-1.41	0.003 $\pm$ 0.005
	(270-360]	21,172	-1.38	0.000 $\pm$ 0.003	22,013	-1.37	-0.005 $\pm$ 0.003	4,416	-1.40	-0.003 $\pm$ 0.007
(10-12]	(0-90]	2,888	-1.40	-0.034 $\pm$ 0.019	2,814	-1.41	0.016 $\pm$ 0.014	487	-1.38	-0.039 $\pm$ 0.020
	(90-180]	---	---	---	77	-1.38	-0.389 $\pm$ 0.004	149	-1.36	-0.005 $\pm$ 0.005
	(180-270]	---	---	---	82	-1.37	-0.323 $\pm$ 0.001	133	-1.45	-0.002 $\pm$ 0.003
	(270-360]	2,936	-1.38	0.013 $\pm$ 0.028	3,339	-1.38	-0.020 $\pm$ 0.011	517	-1.43	-0.047 $\pm$ 0.052
$15 < R \leq 20$ (kpc)										
$50^\circ < b \leq 65^\circ$			$65^\circ < b \leq 80^\circ$			$80^\circ < b \leq 90^\circ$				
Z (kpc)	l ($^\circ$)	N	$[Fe/H]$ (dex)	$d[Fe/H]/dZ$ (dex/kpc)	N	$[Fe/H]$ (dex)	$d[Fe/H]/dZ$ (dex/kpc)	N	$[Fe/H]$ (dex)	$d[Fe/H]/dZ$ (dex/kpc)
(7-10]	(0-90]	110	-1.30	-0.296 $\pm$ 0.056	---	---	---	---	---	---
	(90-180]	6,863	-1.37	0.012 $\pm$ 0.007	1,422	-1.39	0.060 $\pm$ 0.054	11	---	---
	(180-270]	8,944	-1.38	0.010 $\pm$ 0.007	1,821	-1.39	0.053 $\pm$ 0.025	7	---	---
	(270-360]	80	-1.26	1.212 $\pm$ 0.007	---	---	---	---	---	---
(10-15]	(0-90]	1,925	-1.31	0.052 $\pm$ 0.017	2,101	-1.40	0.014 $\pm$ 0.008	536	-1.35	-0.007 $\pm$ 0.021
	(90-180]	1,977	-1.35	-0.013 $\pm$ 0.018	2,957	-1.39	0.020 $\pm$ 0.010	898	-1.36	0.001 $\pm$ 0.019
	(180-270]	3,082	-1.37	-0.015 $\pm$ 0.013	3,983	-1.40	0.011 $\pm$ 0.008	850	-1.41	0.023 $\pm$ 0.012
	(270-360]	1,946	-1.36	0.020 $\pm$ 0.008	2,577	-1.37	0.000 $\pm$ 0.008	602	-1.42	-0.023 $\pm$ 0.024

Galaktik enlemi $65^\circ < b \leq 80^\circ$ ve Galaksi merkezinden uzaklığı $6 < R \leq 10$ kpc aralığındaki $0.5 < Z \leq 2$ kpc uzaklık aralığındaki dört Galaktik çeyrek (I, II, III ve IV) incelendiğinde ortalama metal bollukları birine yakın ($-0.73 \leq \langle [Fe/H] \rangle \leq -0.69$ dex) ve Galaktik düzlemden dik doğrultudaki metal bolluğu gradyent değerlerinin de $-0.328 \pm 0.018 \leq d[Fe/H]/dZ \leq -0.292 \pm 0.018$ dex/kpc aralığında hesaplandığı görülmektedir. Aynı Galaktik enlem aralığı ve Galaksi merkezinden uzaklık aralığında $2 < Z \leq 5$ kpc uzaklık aralığı için ortalama metal bollukları $-1.05 \leq \langle [Fe/H] \rangle \leq -1.13$ dex ve Galaktik düzlemden dik doğrultudaki metal bolluğu

gradyent değerlerinin $-0.151 \pm 0.013 \leq d[\text{Fe}/\text{H}]/dZ \leq -0.171 \pm 0.010$ dex/kpc olduğu hesaplanmıştır (bkz Tablo 4.11). Son olarak, aynı aralıklarda ve $5 < Z \leq 8$ kpc uzaklık aralığında I. ve IV. Galaktik çeyreklerde yaklaşık 10 bin ile 12.5 bin yıldız bulunurken, II. ve III. Galaktik çeyreklerde ise yıldız bulunmamaktadır. I. ve IV. Galaktik çeyreklerdeki yıldızların ortalama metal bollukları birbirine çok yakın olup $-1.37 \leq \langle [\text{Fe}/\text{H}] \rangle \leq -1.35$ dex'tir. Bu iki Galaktik çeyrekte bulunan yıldızlar için hesaplanan metal bolluğu gradyent değerleri, sırasıyla, -0.016 ± 0.022 dex/kpc ve -0.030 ± 0.012 dex/kpc'tir.

Galaktik enlemi $80^\circ < b \leq 90^\circ$ ve Galaksi merkezinden uzaklığı $6 < R \leq 10$ kpc aralığındaki $0.5 < Z \leq 2$ kpc uzaklık aralığındaki dört Galaktik çeyreklerdeki ortalama metal bollukları $-0.76 \leq \langle [\text{Fe}/\text{H}] \rangle \leq -0.68$ dex ve Galaktik düzlemden dik doğrultudaki metal bolluğu gradyent değerlerinin de $-0.367 \pm 0.046 \leq d[\text{Fe}/\text{H}]/dZ \leq -0.293 \pm 0.015$ dex/kpc aralığında bulunduğu Tablo 4.11'den tespit edilmiştir. Aynı Galaktik enlem ve Galaksi merkezinden uzaklık aralıklarında $2 < Z \leq 5$ kpc uzaklık aralığı için ortalama metal bollukları $-1.15 \leq \langle [\text{Fe}/\text{H}] \rangle \leq -1.07$ dex ve Galaktik düzlemden dik doğrultudaki metal bolluğu gradyent değerlerinin de $-0.180 \pm 0.010 \leq d[\text{Fe}/\text{H}]/dZ \leq -0.158 \pm 0.011$ dex/kpc olduğu hesaplanmıştır (bkz Tablo 4.11). Son olarak, aynı aralıklarda ve $5 < Z \leq 8$ kpc uzaklık aralığında I. ve IV. Galaktik çeyreklerde yaklaşık 750 ile 825 yıldız bulunurken, II. ve III. Galaktik çeyreklerde ise hiç yıldız bulunmamaktadır. I. ve IV. Galaktik çeyreklerdeki yıldızların ortalama metal bollukları birbirine çok yakın $-1.39 \leq \langle [\text{Fe}/\text{H}] \rangle \leq -1.37$ dex ve hesaplanan metal bolluğu gradyent değerleri de, sırasıyla, -0.032 ± 0.066 dex/kpc ve -0.044 ± 0.056 dex/kpc'tir.

Galaktik enlemi $50^\circ < b \leq 65^\circ$ ve Galaksi merkezinden uzaklığı $10 < R \leq 15$ kpc uzaklık aralığındaki yıldızların Galaktik düzlemden $2 < Z \leq 12$ kpc uzaklığında bulunduğu görülmüş ve metal bolluğu gradyent hesaplamalarında popülasyonlarında etkin olduğu $2 < Z \leq 5$, $5 < Z \leq 10$ ve $10 < Z \leq 12$ kpc aralıkları dikkate alınmıştır (bkz Şekil 4. 20). $2 < Z \leq 5$ kpc uzaklık aralığında Galaktik çeyreklerdeki ortalama metal bollukları $-1.33 \leq \langle [\text{Fe}/\text{H}] \rangle \leq -1.21$ dex aralığında yer almaktadır. I. ve IV. Galaktik çeyreklerde yıldız sayıları yaklaşık 550'den az olduğundan ortalama metal bollukları -1.30 dex'ten daha fakir, II. ve III. çeyreklerdeki yıldız sayıları 30 binden fazla olduğu için de ortalama metal bollukları da -1.24 dex'ten daha zengin hesaplanmıştır. Yıldız sayılarının fazla olduğu II. ve III. Galaktik çeyreklerde Galaktik düzlemden dik doğrultudaki metal bolluğu gradyent değerleri, sırasıyla, -0.167 ± 0.013

ve -0.171 ± 0.011 dex/kpc iken, yıldız sayılarının az olduğu I. ve IV. çeyreklerde Galaktik düzlemde dik doğrultudaki metal bolluğu gradyent değerleri, sırasıyla, -0.018 ± 0.022 ve 0.021 ± 0.046 dex/kpc hesaplanmıştır. Bu aralıklarda hem ortalama metal bolluğu hem de metal bolluğu gradyentlerinin yıldız sayılarının az bulunduğu I. ve IV. Galaktik çeyreklerde, yıldız sayılarının fazla bulunduğu II. ve III. Galaktik çeyreklerle göre çok farklı hesaplanmış olması bu hesaplamaların yıldız sayısına doğrudan bağlı olduğunu göstermektedir. Bu nedenle II. ve III. Galaktik çeyreklerdeki sonuçların daha doğru değerleri yansıttığı söylenebilir.

Aynı Galaktik enlem ve aynı Galaksi merkezinden uzaklık aralıklarında $5 < Z \leq 10$ kpc uzaklıktaki, dört Galaktik çeyrekte bulunan yıldız sayıları 20 bin ile 30 bin arasında olup istatistiksel olarak metal bolluğu gradyent araştırmaları için oldukça uygundur. Bu aralıktaki metal bolluğu değerleri dört Galaktik çeyrek için birbirine çok yakın olup $-1.38 \leq \langle [\text{Fe}/\text{H}] \rangle \leq -1.36$ dex aralığındadır. Galaktik düzlemde dik doğrultudaki metal bolluğu gradyent değerleri I. ve II. Galaktik çeyreklerde negatif gradyent verirken, III. ve IV. Galaktik çeyreklerde pozitif değer vermektedir ki bu değerler, sırasıyla, -0.014 ± 0.003 , -0.028 ± 0.010 , $+0.010 \pm 0.005$ ve 0.000 ± 0.003 dex/kpc'dir.

Aynı Galaktik enlem ve Galaksi merkezinden uzaklık aralıklarında $10 < Z \leq 12$ kpc uzaklıktaki, I. ve IV. Galaktik çeyreklerde yaklaşık 3 bin yıldız bulunurken, II. ve III. Galaktik çeyreklerde ise yıldız bulunmamaktadır. I. ve IV. Galaktik çeyreklerdeki ortalama metal bollukları birbirine çok yakın olup ($-1.40 \leq \langle [\text{Fe}/\text{H}] \rangle \leq -1.38$ dex), Galaktik düzlemde dik doğrultudaki metal bolluğu gradyent değerleri de, sırasıyla, -0.034 ± 0.019 dex/kpc ve $+0.013 \pm 0.028$ dex/kpc olarak hesaplanmıştır.

Galaktik enlemi $65^\circ < b \leq 80^\circ$ ve Galaksi merkezinden uzaklığı $10 < R \leq 15$ kpc uzaklık aralığında $2 < Z \leq 5$ kpc'teki II. ve III. Galaktik çeyreklerde, sırasıyla, 6,937 ile 8,065 yıldızın ortalama metal bolluğu -1.31 ve -1.32 dex, Galaktik düzlemde dik doğrultudaki metal bolluğu gradyentleri de, -0.156 ± 0.038 ve -0.131 ± 0.022 dex/kpc hesaplanmıştır. Aynı Galaktik enlem aralığı ve Galaksi merkezinden uzaklık aralığında $5 < Z \leq 10$ kpc uzaklık aralığında dört Galaktik çeyrekteki yıldız sayıları hemen hemen birbirine yakın olup, ortalama metal bollukları $-1.40 \leq \langle [\text{Fe}/\text{H}] \rangle \leq -1.37$ dex aralığında bulunmaktadır. Aynı aralık için hesaplanan metal bolluğu gradyent değerleri de $-0.011 \pm 0.005 \leq d[\text{Fe}/\text{H}]/dZ \leq -0.005 \pm 0.003$ dex/kpc hesaplanmıştır (bkz Tablo 4.11). $10 < Z \leq 12$ kpc uzaklık aralığında I. ve IV. Galaktik

eyreklerde 2,800'den fazla yıldız bulunurken II. ve III. Galaktik çeyreklerde bu sayı 82'yi geçmemektedir. Yıldız sayılarındaki eksiklikten dolayı metal bolluğu gradyentleri dikkate alınmamıştır. I. ve IV. Galaktik eyrek için hesaplanan ortalama metal bollukları $-1.41 \leq \langle [\text{Fe}/\text{H}] \rangle \leq -1.38$ dex aralığındayken, bu aralıklar için hesaplanan metal bolluğu gradyent değerleri de $-0.020 \pm 0.011 \leq d[\text{Fe}/\text{H}]/dZ \leq +0.016 \pm 0.014$ dex/kpc'tir.

Galaktik enlemi $80^\circ < b \leq 90^\circ$ ve Galaksi merkezinden uzaklığı $10 < R \leq 15$ kpc aralığındaki $2 < Z \leq 5$ kpc uzaklığında II. ve III. Galaktik çeyreklerde yaklaşık 465 yıldız tespit edilmiştir. Bu yıldızların bulunduğu Galaktik eyreklerdeki ortalama metal bollukları, sırasıyla, -1.33 ve -1.37 dex ve bu aralıklar için hesaplanan metal bolluğu gradyent değerleri de, sırasıyla, -0.136 ± 0.013 ve -0.196 ± 0.015 dex/kpc'tir.

Aynı Galaktik enlem aralığı ve Galaksi merkezinden uzaklık aralığında $5 < Z \leq 10$ kpc uzaklık aralığında dört Galaktik çeyrekteki yıldız sayıları hemen hemen birbirine yakın olup, ortalama metal bollukları $-1.41 \leq \langle [\text{Fe}/\text{H}] \rangle \leq -1.39$ dex aralığında bulunmaktadır. Aynı aralık için hesaplanan metal bolluğu gradyent değerleri de $-0.016 \pm 0.008 \leq d[\text{Fe}/\text{H}]/dZ \leq +0.003 \pm 0.005$ dex/kpc hesaplanmıştır (bkz Tablo 4.11). $10 < Z \leq 12$ kpc uzaklık aralığında her bir Galaktik eyrek için yıldız sayıları yaklaşık 520'den azdır. Dört Galaktik eyrek için hesaplanan ortalama metal bollukları $-1.45 \leq \langle [\text{Fe}/\text{H}] \rangle \leq -1.36$ dex aralığında ve metal bolluğu gradyent değerleri de $-0.047 \pm 0.052 \leq d[\text{Fe}/\text{H}]/dZ \leq -0.002 \pm 0.003$ dex/kpc aralığında hesaplanmıştır.

Galaktik enlemi $50^\circ < b \leq 65^\circ$ ve Galaksi merkezinden uzaklığı $15 < R \leq 20$ kpc uzaklık aralığında $7 < Z \leq 10$ kpc'teki II. ve III. Galaktik çeyreklerde, sırasıyla, 6,863 ile 8,944 yıldızın ortalama metal bolluğu -1.37 ve -1.38 dex, Galaktik düzlemde dik doğrultudaki metal bolluğu gradyentleri de, $+0.012 \pm 0.007$ ve $+0.010 \pm 0.007$ dex/kpc hesaplanmıştır. I. ve IV. Galaktik çeyreklerde yıldızların sayısı 110'den azdır. Bu yıldızların ortalama metal bollukları, sırasıyla, -1.30 ve -1.26 dex olarak hesaplanmış ve metal bolluğu gradyentlerinin de, sırasıyla, -0.003 ± 0.006 ve $+0.002 \pm 0.007$ dex/kpc belirlenmiştir. $10 < Z < 15$ kpc uzaklık aralığında dört Galaktik çeyrekte yıldız sayıları yaklaşık olarak 2,000 ile 3,100 aralığındadır. Ortalama metal bollukları $-1.37 \leq \langle [\text{Fe}/\text{H}] \rangle \leq -1.31$ dex aralığında ve metal bolluğu gradyent değerleri de $-0.013 \pm 0.018 \leq d[\text{Fe}/\text{H}]/dZ \leq +0.052 \pm 0.017$ dex/kpc aralığında hesaplanmıştır.

Galaktik enlemi $65^\circ < b \leq 80^\circ$ ve Galaksi merkezinden uzaklığı $15 < R \leq 20$ kpc aralığındaki $7 < Z \leq 10$ kpc uzaklığında I. ve IV. Galaktik çeyreklerinde yıldız bulunmamaktadır. II. ve III. Galaktik çeyreklerde yıldız sayısı, sırasıyla, 1,422 ve 1,821 olup bu yıldızlardan hesaplanan ortalama metal bolluğu değeri birbirine eşit ve $\langle [\text{Fe}/\text{H}] \rangle = -1.39$ dex'tir. Bu aralıklar için hesaplanan metal bolluğu gradyentleri de, sırasıyla, $+0.053 \pm 0.025 \leq d[\text{Fe}/\text{H}]/dZ \leq +0.060 \pm 0.054$ dex/kpc'tir. $10 < Z < 15$ kpc uzaklık aralığında dört Galaktik çeyrekte istatistiksel olarak anlamlı kabul edilecek yıldız sayıları bulunmakta ve bu Galaktik çeyrekler için hesaplanan ortalama metal bolluğu değerleri de $-1.40 \leq \langle [\text{Fe}/\text{H}] \rangle \leq -1.37$ dex aralığındadır. Bu çeyrekler için hesaplanan metal bolluğu gradyentleri $0.000 \pm 0.008 \leq d[\text{Fe}/\text{H}]/dZ \leq +0.020 \pm 0.010$ dex/kpc aralığında hesaplanmıştır.

Galaktik enlemi $80^\circ < b \leq 90^\circ$ ve Galaksi merkezinden uzaklığı $15 < R \leq 20$ kpc aralığındaki tüm Galaktik çeyreklerde $7 < Z \leq 10$ kpc uzaklığında yıldız yokken, $10 < Z \leq 15$ kpc uzaklığındaki yıldız sayıları 900'ü geçmemektedir. Bu aralıktaki tüm çeyrekler için hesaplanan ortalama metal bollukları $-1.42 \leq \langle [\text{Fe}/\text{H}] \rangle \leq -1.35$ dex ve metal bolluğu gradyentleri de, $-0.023 \pm 0.024 \leq d[\text{Fe}/\text{H}]/dZ \leq +0.023 \pm 0.012$ dex/kpc aralığında hesaplanmıştır.

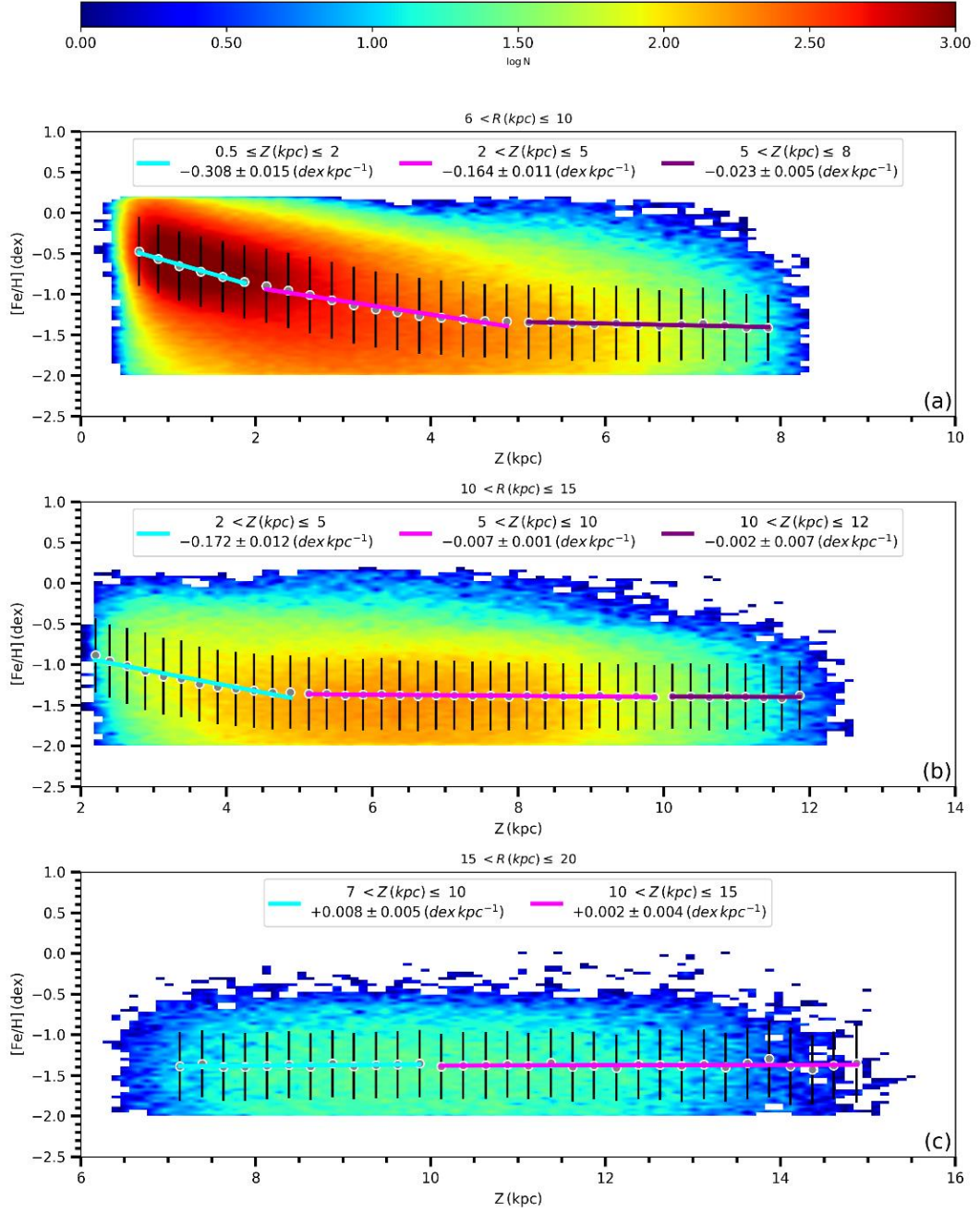
Çalışmanın son kısmında Galaktik düzlemden dik doğrultulardaki metal bolluğu değişimi sadece Galaksi merkezinden üç farklı uzaklık aralığı ($6 < R \leq 10$, $10 < R \leq 15$ ve $15 < R \leq 20$ kpc) için incelenmiştir. Her bir R aralığı da Galaksimizdeki popülasyonların etkin bulundukları Galaktik düzleme dik doğrultulardaki uzaklıklar dikkate alınarak detaylı bir şekilde araştırılmıştır. Buna göre örnekteki F ve G tayf türündeki anakol yıldızları $6 < R \leq 10$ kpc uzaklık aralığında $0.5 < Z \leq 2$, $2 < Z \leq 5$ ve $5 < Z \leq 8$ kpc, $10 < R \leq 15$ kpc uzaklık aralığında $2 < Z \leq 5$, $5 < Z \leq 10$ ve $10 < Z \leq 12$ kpc, $15 < R \leq 20$ kpc uzaklık aralığında da, $7 < Z \leq 10$ ve $10 < Z \leq 15$ kpc aralıkları ayrılmış ve bu uzaklıklar için metal bolluğu gradyentleri hesaplanarak elde edilen sonuçlar Tablo 4.12'de listelenmiştir.

Üç farklı Galaksi merkezinden uzaklık ($6 < R \leq 10$, $10 < R \leq 15$ ve $15 < R \leq 20$ kpc) ile bu uzaklıklar arasından belirlenen sekiz farklı Galaktik düzlemden dik uzaklık aralıkları için hesaplanan metal bolluğu gradyentleri Şekil 4.21'de gösterilmiştir. $6 < R \leq 10$ kpc uzaklık aralığında Galaktik düzlemden dik doğrultudaki $0.5 < Z \leq 2$, $2 < Z \leq 5$ ve $5 < Z \leq 8$ kpc uzaklık aralıkları için hesaplanan metal bolluğu gradyentleri, sırasıyla, -0.308 ± 0.015 , -0.164 ± 0.011 ve

-0.023 ± 0.005 dex/kpc'dir. $10 < R \leq 15$ kpc uzaklık aralığında Galaktik düzlemden dik doğrultudaki $2 < Z \leq 5$, $5 < Z \leq 10$ ve $10 < Z \leq 12$ kpc uzaklık aralıkları için hesaplanan metal bolluğu gradyentleri, sırasıyla, -0.172 ± 0.012 , -0.007 ± 0.001 ve -0.002 ± 0.007 dex/kpc'tir. Son olarak, $15 < R \leq 20$ kpc uzaklık aralığında Galaktik düzlemden dik doğrultudaki $7 < Z \leq 10$ ve $10 < Z \leq 15$ kpc uzaklık aralıkları için hesaplanan metal bolluğu gradyentleri, sırasıyla, $+0.008 \pm 0.005$ ve $+0.002 \pm 0.004$ dex/kpc'tir. Bu sonuçlar bir arada incelendiğinde, sadece $6 < R \leq 10$ kpc aralığında ince disk popülasyonu için Galaktik düzleme dik doğrultudaki güçlü bir metal bolluğu gradyent varlığı (-0.308 ± 0.015 dex/kpc) tespit edilmiştir. Kalın disk popülasyonu için de $6 < R \leq 10$ ve $10 < R \leq 15$ kpc uzaklık aralığı için, sırasıyla, -0.164 ± 0.011 ve -0.172 ± 0.012 dex/kpc birbirine çok yakın iki metal bolluğu gradyenti hesaplanmıştır. Halo popülasyonu için üç R aralığındaki tüm verilerden metal bolluğu gradyentleri hesaplanmış ve metal bolluğu gradyentlerinin sıfıra çok yakın değerlerde bulunduğu görülmüştür. Bu bulgular genel itibariyle Galaksimizdeki popülasyonlar için verilen değerler ile oldukça uyumludur.

Tablo 4.12: Galaksi merkezinden üç farklı uzaklık aralığı ve farklı Galaktik düzleme dik doğrultulardaki uzaklıklara göre hesaplanmış metal bolluğu gradyentleri ve hataları. R , Galaksi merkezinden uzaklığı, Z , Galaktik düzleme dik uzaklığı ve $d[\text{Fe}/\text{H}]/dZ$ Galaktik düzleme dik doğrultulardaki metal bolluğu gradyentini ifade etmektedir.

R (kpc)	Z (kpc)	$d[\text{Fe}/\text{H}]/dZ$ (dex/kpc)
$6 < R \leq 10$	$0.5 < Z \leq 2$	-0.308 ± 0.015
	$2 < Z \leq 5$	-0.164 ± 0.011
	$5 < Z \leq 8$	-0.023 ± 0.005
$10 < R \leq 15$	$2 < Z \leq 5$	-0.172 ± 0.012
	$5 < Z \leq 10$	-0.007 ± 0.001
	$10 < Z \leq 12$	-0.002 ± 0.007
$15 < R \leq 20$	$7 < Z \leq 10$	$+0.008 \pm 0.005$
	$10 < Z \leq 15$	$+0.002 \pm 0.004$



Şekil 4.21: Yıldızların Galaktik düzleme dik doğrultulardaki uzaklıklarıyla metal bollukları arasındaki dağılımları: (a) $6 < R \leq 10$, (b) $10 < R \leq 15$ ve (c) $15 < R \leq 20$ kpc uzaklık aralıkları için. Panellerdeki renkler yıldız sayı yoğunluğuna göre sınıflanmıştır. Şekiller üzerindeki gri daireler yıldızların ağırlıklandırılmış Z ve $[Fe/H]$ değerlerini, siyah dik çizgiler ağırlıklandırılmış verinin metal bolluğundaki belirsizlikleri, farklı renkler ile çizilmiş düz çizgiler de seçilen Z uzaklık aralığındaki metal bolluğu gradyentlerinin göstermektedir.

4.3.4. Metal Bolluğu Gradyentlerindeki Dış Hataların Hesabı

Doktora tez çalışmasında istatistiksel açıdan metal bolluğu gradyent değerlerini etkileyebilecek dış hataları belirleyebilmek için kalibrasyon aşamasında metal bolluğu ve mutlak parlaklık kalibrasyonlarındaki hatalar dikkate alınmıştır. Fotometrik metal bolluğu ve mutlak parlaklık kalibrasyonlarında hesaplanan belirsizlikler, sırasıyla, $\sigma_{[\text{Fe}/\text{H}]} = \pm 0.137$ dex ve $\sigma_{M_g} = \pm 0.18$ kadirdir (bkz Şekil 4.5 ve Şekil 4.8). Yaklaşık 1.44 milyon F ve G tayf türündeki anakol yıldızının hesaplanan metal bolluğu ve mutlak parlaklıklarına, sırasıyla, $-0.137 \leq [\text{Fe}/\text{H}] \leq +0.137$ dex ve $-0.18 \leq M_g \leq +0.18$ kadir aralıklarından seçilen rastgele değerler atanarak eklenmiş ve bu işlem 1,000 kez tekrarlanarak 1,000 sentetik katalog oluşturulmuştur. Daha sonra sentetik olarak üretilen her bir katalog için metal bolluğu gradyentleri yeniden hesaplanmıştır.

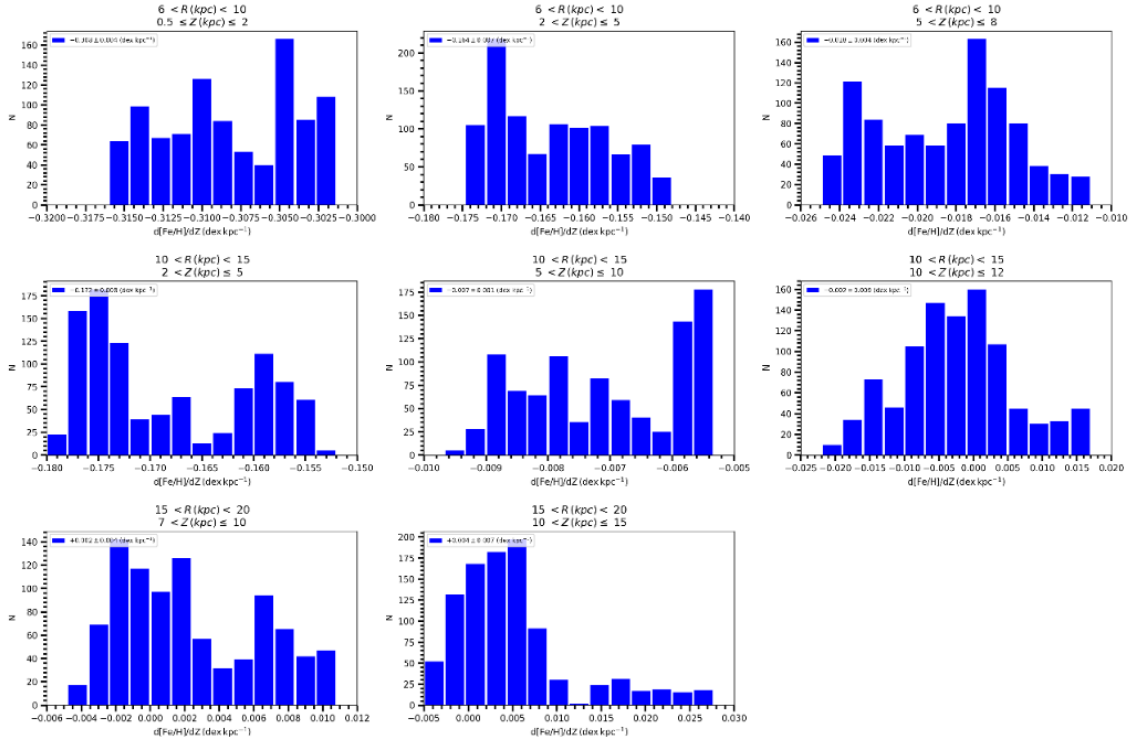
Ayrıca her bir yıldızın uzaklığındaki belirsizlik tez çalışmasındaki fotometrik hatalar dikkate alınarak hesaplanmıştır. Bölüm 4.3.1’de bahsedildiği gibi, tez çalışmasındaki yıldızların $g_0 = 14$ ile $g_0 = 20$ kadir aralıklarında görünen parlaklıklarındaki en büyük hatalar 0.02 ve 0.18 kadirdir (bkz Şekil 4.12). Bağntı (4.8) ile verilen mutlak parlaklık kalibrasyonuna ait belirsizlik de $\sigma_{M_g} = \pm 0.18$ kadirdir. Yıldızların uzaklıkları Pogson bağıntısıyla hesaplandığı için bu bağıntıdan gelecek belirsizlik, incelenen yıldızın görünen g_0 ve M_g mutlak parlaklıklarına bağlıdır. Pogson bağıntısından tayin edilen uzaklıktaki belirsizliğin hesaplanması için bağıntının türevi alınmış ve aşağıdaki bağıntı (4.9) elde edilmiştir.

$$\delta d = 0.2 \times \ln 10 \times 10^{0.2\mu+1} \times \delta\mu = 0.461 \times d \times \delta\mu \quad (4.9)$$

Burada d , yıldızın Güneş’e uzaklığını, μ uzaklık modülünü, δd ve $\delta\mu$, sırasıyla, uzaklıktaki ve uzaklık modülündeki hataları gösterir. Görünen parlak ve sönük limit parlaklıklar ile mutlak parlaklık hatalarının hata yayılımları dikkate alındığında bağıntı (4.9) kullanılarak $g_0 = 14$ ve $g_0 = 20$ kadir için yıldızların uzaklıklarında yapılan hatalar, sırasıyla, $\delta d/d = \%8.35$ ve $\delta d/d = \%11.74$ olarak hesaplanmıştır.

Sentetik olarak üretilen her bir katalog, Tablo 4.12’de verilen Galaksi merkezine göre seçilen $6 < R \leq 10$, $10 < R \leq 15$ ve $15 < R \leq 20$ kpc ve Galaktik düzlemde dik doğrultulardaki, $0.5 < Z \leq 2$, $2 < Z \leq 5$, $5 < Z \leq 8$, $8 < Z \leq 10$, $10 < Z \leq 12$ ve $12 < Z \leq 15$ kpc uzaklık aralıklarına ayrılarak metal bolluğu gradyentleri hesaplanmıştır. 1,000 sentetik katalogtan

hesaplanan metal bolluğu gradyent değerlerinin histogramları Şekil 4.22’de gösterilmiştir. Her bir histogram detaylı bir şekilde incelendiğinde, metal bolluğu gradyetlerinin orijinal verilerden hesaplanan değerlerine göre en fazla $|\Delta d[\text{Fe}/\text{H}]/dZ| = 0.03$ dex/kpc değerine ulaştığı tespit edilmiştir. Bu bulgu orijinal verilerden hesaplanan metal bolluğu gradyentlerini istatistiksel olarak etkilememek ile birlikte elde edilen bu değerlerin oldukça duyarlı olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.22: 1,000 sentetik katalogdan hesaplanan metal bolluğu gradyentlerinin farklı uzaklık aralıklarına göre dağılımları.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Doktora tez çalışmasında, SDSS fotometrisi için F ve G tayf türünden anakol yıldızlarının metal bolluğu ve mutlak parlaklıklarının hesaplanabilmesi için iki yeni kalibrasyon oluşturulmuştur. Bu kalibrasyonlar kuzey Galaktik yarıküredeki Galaktik enlemi $b > 50^\circ$ olan F ve G tayf türünden anakol yıldızlarının fotometrik verilerine uygulanarak Galaksimizin farklı doğrultularında metal bolluğu dağılımları ve metal bolluğu gradyentleri araştırılmıştır. Metal bolluğu gradyent araştırılması hem Galaksi merkezinden radyal hem de Galaktik düzlemde dik doğrultular için hesaplanmıştır.

Fotometrik metal bolluğu ve mutlak parlaklık kalibrasyonlarının hazırlanmasında Güneş komşuluğunda bulunan 1,309 yıldızın yüksek çözünürlüklü tayfsal (Bensby ve diğ., 2014; Nissen ve Schuster, 2010; Reddy ve diğ., 2006; Venn ve diğ., 2004), fotometrik (Mermilliod ve diğ., 2007) ve astrometrik (van Leeuwen, 2007) verileri literatürden derlenmiştir. Oluşturulması planlanan kalibrasyonların duyarlı olması için tayfsal verilere $5,310 < T_{eff} < 7,300$ (K), $\log g > 4$ (cgs) ve $-2 < [\text{Fe}/\text{H}] \leq 0.2$ (dex), fotometrik verilere $0.3 < (B-V)_0 < 0.68$ kadir ve astrometrik verilere $\sigma_\pi/\pi < 0.2$ sınırlamaları getirilmiş ve bu şartları sağlayan 168 kalibrasyon yıldızı seçilmiştir. Kalibrasyon yıldızları SDSS sisteminde ölçülemeyecek kadar parlak olduklarından Chonis ve Gaskell (2008)'in SDSS sistemi ile *UBV* sistemi arasındaki fotometrik dönüşüm formüllerinin tersleri dikkate alınarak Güneş civarındaki yıldızların parlaklık ve renk indeksleri *UBV*'den SDSS sistemine dönüştürülmüştür.

Metal bolluğu ve mutlak parlaklık kalibrasyonlarının oluşturulmasında yıldızların mor-ötesi artıklarına ve artıkların belirlenmesi için de yıldızlararası kızarması, uzaklığı, metal bolluğu ve yaşı iyi bilen bir açık kümeye ihtiyaç duyulur. Literatürde bu astrofizik özellikleri iyi bilenen yegane açık küme Hyades'tir. *UBV* fotometrik sisteminde parlaklık ve renk indeksleri bilinen ve *Hipparcos* uydusu tarafından trigonometrik paralaksarı ölçülen 45 yıldızın verileri derlenmiştir. Hyades açık kümesinin *UBV* fotometrisindeki verileri Chonis ve Gaskell (2008)'in ters dönüşüm formülleriyle SDSS sistemine çevrilerek kümenin iki-renk (Şekil 4.1) ve renk-parlaklık (Şekil 4.2) diyagramları oluşturulmuştur. Bu diyagramlardan Hyades açık kümesinin *u-g* rengi (bağıntı 4.1) ile M_g mutlak parlaklıkları (bağıntı 4.2) yıldızların *g-r* renk

indeksi beşinci dereceden polinom fonksiyonlar yardımıyla elde edilmiştir. Bu bağıntılar yıldızların mor-ötesi artıklarının ve mutlak parlaklıklarının belirlenmesinde kullanılmıştır.

Kalibrasyon yıldızlarının mor-ötesi artıklarıyla yıldızların literatürden derlenen tayfsal metal bollukları arasında üçüncü dereceden bir polinom fonksiyon ile duyarlı bir fotometrik metal bolluğu kalibrasyonu (bağıntı 4.6) elde edilmiştir. Bununla birlikte kalibrasyon yıldızlarının yeniden indirgenen *Hipparcos* trigonometrik paralakslarından (van Leeuwen, 2007) hesaplanan *V* bandındaki mutlak parlaklıklarının Hyades kümesindeki yıldızların mutlak parlaklık farklarıyla yıldızların mor-ötesi artıkları arasında kurulan üçüncü dereceden bir polinom fonksiyon ile de bir mutlak parlaklık kalibrasyonu oluşturulmuştur (bağıntı 4.8).

Doktora tez çalışmasının ilk kısmında elde edilen kalibrasyonlar, Samanyolunun oluşumu ve evriminin araştırılması için fotometrik olarak duyarlı ve uzak nesneler gözlem programı içinde inceleyen SDSS fotometrisine uygulanmıştır. Yıldızların seçiminde Galaktik koordinatları $0^\circ < l \leq 360^\circ$ ve $b > 50^\circ$ olan yaklaşık 5,280 derece kare büyüklüğündeki gökyüzü parçasının SDSS DR12 veri tabanındaki *ugriz* fotometrik verileri kullanılmıştır (Alam ve diğ., 2015). Fotometrik verileri yıldızlararası ortamın etkilerinden arındırılmış, yıldız/galaksemi ayrımı yapılmış *ugriz* verileri SDSS'in SQL sorgu sayfasından alınmıştır. Sorgu sonucunda yaklaşık 26.8 milyon nesnenin verilerine ulaşılmıştır. Veri setindeki nesneler gelişmiş yöntemler kullanılarak kuazarlardan, evrimleşmiş yıldızlardan, fotometrik hatalardan arındırılmış ve F ve G tayf türündeki anakol yıldızlarının seçiminde yıldızların renk uzaylarındaki yerleri dikkate alınarak örnek sayısı 1.44 milyon yıldız olarak belirlenmiştir.

Orta/yüksek Galaktik enlemlerde bulunan yaklaşık 1.44 milyon F ve G tayf türündeki anakol yıldızının $[Fe/H]$ fotometrik metal bollukları ve M_g mutlak parlaklıkları doktora tez çalışmasının ilk aşamasında elde edilen kalibrasyonlar ile hesaplanmıştır. Bu aşamadan sonra yıldızların Galaksi merkezinden radyal ve Galaktik düzlemden dik doğrultularda metal bolluğu gradyentleri araştırılmıştır. Bu araştırmada yıldız örneği büyük bir gökyüzü parçasında yer aldığından metal bolluğu dağılımları, Galaktik enlem ve boylamların ve uzaklıkların bir fonksiyonu olarak incelenmiştir. Bu amaç doğrultusunda tez çalışmasında yıldız örnekleri 96 alt gruba ayrılmış ve bu örneklerin yıldız sayıları, medyan metal bollukları, R ve Z değerleri hesaplanmıştır. Bu verilerden Galaksi merkezinden radyal ve Galaktik düzlemden dik doğrultular için metal bolluğu gradyentleri hesaplanmış ve elde edilen bulgular, sırasıyla, Tablo 4.11 ve Tablo 4.12'de listelenmiştir.

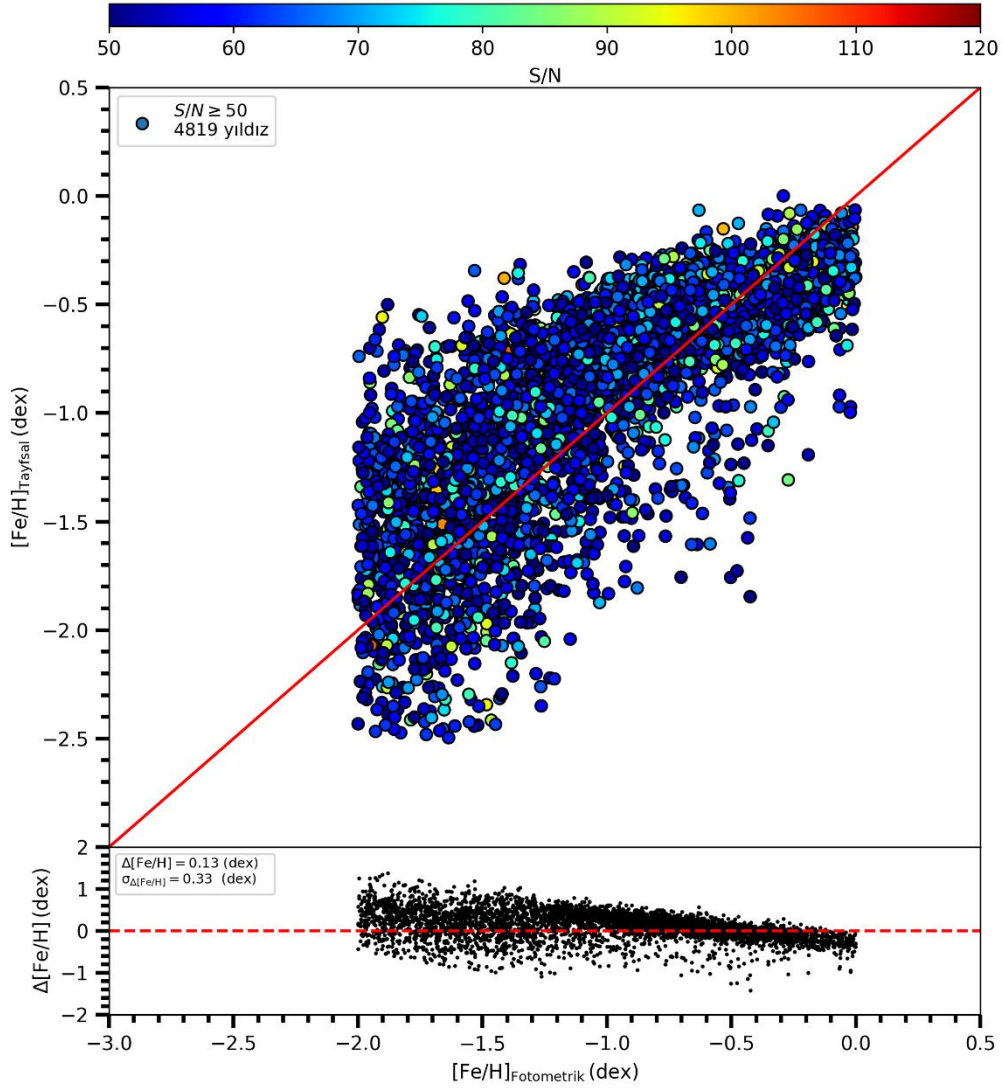
5.1. YENİ METAL BOLLUĞU KALİBRASYONUNUN LİTERATÜR İLE KARŞILAŞTIRILMASI

5.1.1. SEGUE Verileriyle Karşılaştırma

Tez çalışmasında üretilen fotometrik metal bolluğu bağıntısı sönük yıldızların tayfsal analizlerinin yapıldığı SEGEU verileriyle karşılaştırılarak metal bolluğu değerlerindeki uyum araştırılmıştır. Bölüm 2.5.3'te SDSS'in alt bir çalışma grubunu oluşturan SEGUE'nin bilimsel hedefleri ayrıntılı olarak bahsedilmiştir. SEGUE taramasında A-F-G-K tayf türünden olan yaklaşık 240,000 yıldızın düşük çözünürlüklü ($\sim 1,800$) tayfları analiz edilerek yıldızların radyal hızları, etkin sıcaklıkları, yüzey çekim ivmeleri ve metal bollukları tayin edilmiştir. SEGUE taramasının sonuçlarını içeren ilk çalışmada Lee ve diğ. (2008a) program dâhilinde incelenen yıldızların tayfsal (V_{rad} , T_{eff} , $\log g$ ve $[\text{Fe}/\text{H}]$) ve fotometrik ($ugriz$) verilerini eşleştirmiştir. Hesaplanan tayfsal verilerin uyumlarının ortaya koyulabilmesi için Lee ve diğ. (2008b) açık ve küresel kümelerdeki yıldızlar ile SEGUE verilerini karşılaştırmıştır.

Doktora tez çalışmasında hazırlanan yeni metal bolluğu kalibrasyonu orta/yüksek kuzey Galaktik enlemlerde yaklaşık 1.44 milyon F ve G tayf türünden anakol yıldızının metal bolluğu tayini yapılmıştır. Tez çalışmasındaki yıldızların ekvatorial koordinatları SEGUE veri tabanındaki yaklaşık 240,000 yıldız ile eşleştirilmiştir. Bu eşleştirmede tayfsal ve fotometrik verileri yeterince duyarlı anakol yıldızlarını seçebilmek için $S/N \geq 50$, $\log g > 4$ (cgs) ve $15 < g_0 < 17$ kadir şartlarını sağlayanlar dikkate alınmıştır. Söz konusu sınırlamalar sonucunda 4,819 anakol yıldızının SEGUE verilerine ulaşılmıştır.

Her iki çalışmada ortak olarak belirlenen 4,819 anakol yıldızının fotometrik metal bolluklarıyla ($[\text{Fe}/\text{H}]_{\text{Fotometrik}}$) SEGUE taramasında belirlenen tayfsal metal bollukları ($[\text{Fe}/\text{H}]_{\text{Tayfsal}}$) Şekil 5.1'de gösterilmiştir. Şekil üzerinde S/N değerleri 50 ile 120 aralığında bulunan yıldızlar farklı renklerle gösterilmiştir. Şekil 5.1'deki metal bolluğu dağılımı detaylı incelendiğinde metal bollukları $0 < [\text{Fe}/\text{H}] \leq -0.4$ dex aralığındaki yıldızların fotometrik yöntem ile belirlenmiş metal bolluklarının tayfsal olanlara göre ortalama olarak yaklaşık 0.2 dex daha zengin ölçüldüğü tespit edilmiştir. Fotometrik yöntem ile metal bolluğu belirlenmiş fakir yıldızlara doğru gidildikçe tayfsal olarak ölçülen metal bolluklarının daha zengin tayin edildiği görülmüştür. İki yöntemde arasında zayıf bir sistematik farklılık görülmektedir.



Şekil 5.1: Fotometrik ve tayfsal yöntemler kullanılarak hesaplanmış 4,819 F ve G tayf türü anakol yıldızının metal bolluklarının karşılaştırılması (üst panel) ve iki yöntemden hesaplanan metal bolluğu farklarının fotometrik metal bolluklarıyla karşılaştırılması (alt panel). Yıldızlar üst panelde S/N değerlerine göre renklendirilmiştir. Kırmızı düz çizgi 1-1 doğrusunu, kırmızı kesikli çizgi de sıfır seviyesini göstermektedir.

Fotometrik ve tayfsal yöntemler kullanılarak hesaplanan metal bolluklarının karşılaştırmasında ortalama metal bolluğu farkı ve farkların standart sapması, sırasıyla, $\langle [Fe/H] \rangle = 0.13$ ve $\sigma_{\langle [Fe/H] \rangle} = 0.33$ dex olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlar iki yöntemden belirlenen metal bolluklarının istatistiksel açıdan birbiriyle uyumlu olduğunu göstermektedir. Belirsizlikler fotometrik metal bolluğu bağıntıları için kabul edilebilir seviyedir (Karaali ve diğ., 2005; 2011). Bununla birlikte, SEGUE tayf çözünürlüklerinin düşük olması ($R \sim 1,800$) atmosfer model parametrelerindeki belirsizliklerin büyük olacağı gösterir ki bu da iki yöntemden hesaplanan metal bollukları arasındaki sistematik farkların nedenini açıklayabilir.

5.1.2. Karaali ve diğ. (2005)'nin Çalışmasıyla Karşılaştırma

Karaali ve diğ. (2003a) Güneş civarındaki 88 anakol yıldızının atmosfer model parametreleriyle *UBV* fotometrisindeki mor-ötesi artıkları arasında üçüncü dereceden bir polinom yardımıyla bir metal bolluğu kalibrasyonu elde etmişlerdir. Bu çalışmadan sonra SDSS'in fotometrik verilerinin (*ugriz*) astronomların kullanımına açılması duyarlı fotometrik verilerden metal bolluğu tayin çalışmalarına önem kazandırmıştır. Bilindiği gibi SDSS sönük yıldızları ($g > 14$ kadir) incelediği için Güneş komşuluğundaki tayfsal çalışmaları yapılmış yıldızların fotometrik verilerini içermemektedir. Bu durumu dikkate alan Karaali ve diğ. (2005) SDSS sisteminde metal bolluğu ve mutlak parlaklık kalibrasyonlarını oluşturabilmek için öncelikle *UBV* fotometrisiyle SDSS fotometrisi arasında fotometrik dönüşüm bağıntıları belirlemeye çalışmıştır.

Karaali ve diğ. (2005), Isaac Newton Teleskobu'nun (INT; Isaac Newton Telescope) Cambridge Astronomi Tarama Birimi (CASU; Cambridge Astronomy Survey Unit) tarafından La Palma yerleşkesinden gerçekleştirilen fotometrik CCD *UBV* ve *u'g'r'* standart yıldız gözlem verilerini kullanarak SDSS fotometrisi için fotometrik metal bolluğu ve mutlak parlaklık kalibrasyonlarını üretmişlerdir. SDSS ile *UBV* fotometrisi arasında köprü görevi gören fotometrik dönüşüm formülleri Smith ve diğ. (2002) tarafından literatüre kazandırılmıştır. Bu bağıntılar genellikle tek renk indeksine bağlı doğrusal fonksiyonlar ile tanımlanmıştır. Karaali ve diğ. (2005) anakol yıldızlarının metal bolluğu tayininde blanketing vektörlerinin de dikkate alınması gerektiğini ifade etmişlerdir. Bilindiği gibi blanketing vektörleri iki-renk diyagramı üzerinde doğrusal bir düzlemde yer aldığı için hem *U-B* hem de *B-V* renk indeksine bağlıdır. Bu nedenle SDSS sistemi için üretilecek fotometrik dönüşüm bağıntılarının iki-renk indeksine duyarlı olması gerekmektedir. *UBV* sisteminden SDSS sistemine dönüşümleri yapabilmek için Karaali ve diğ. (2005) INT CASU grubundan sağlanan 224 standart yıldızın *UBV* ve *u'g'r'* parlaklıklarını kullanmışlardır. Daha sonra Karaali ve diğ. (2005), doktora tez çalışmasında izlenen benzer yöntemler ile, fotometrik metal bolluğu ve mutlak parlaklık kalibrasyonlarını oluşturmuşlardır. Mor-ötesi artığına duyarlı tayin ettikleri metal bolluğu kalibrasyonu bağıntı (5.1)'de verilmiştir.

$$[\text{Fe}/\text{H}] = 0.10 - 3.54\delta_{0.43} - 39.63\delta_{0.43}^2 + 63.51\delta_{0.43}^3 \quad (5.1)$$

Burada $\delta_{0.43}$, SDSS fotometrisinde $g'-r' = 0.43$ kadirine karşılık gelen normalleştirilmiş mor-ötesi artığını ifade eder.

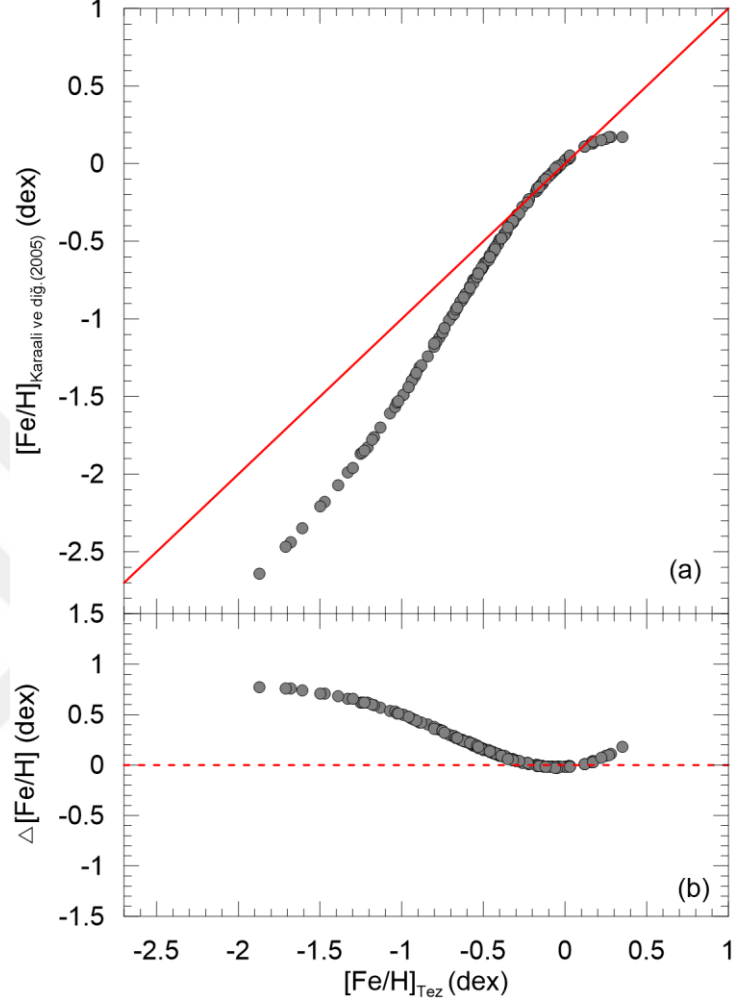
Doktora tez çalışmasında Güneş civarında tayfsal, fotometrik ve astrometrik verileri duyarlı olan 168 F ve G tayf türündeki anakol yıldızından SDSS fotometrisi için mor-ötesi artığına bağlı metal bolluğu bağıntısı elde edilmiştir (bağıntı 4.6). Bu bağıntı kullanılarak hesaplanan fotometrik metal bolluklarının duyarlılıklarını karşılaştırabilmek için benzer yöntemler kullanan Karaali ve diğ. (2005)'nin mor-ötesi artığına duyarlı bağıntısı (bağıntı 5.1) 168 yıldıza uygulanmış ve iki yöntemden elde edilen metal bollukları birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırılmanın yapıldığı Şekil 5.2'den de görülebileceği gibi metal bolluğu 0.2 ile -0.4 dex aralığında iki çalışmanın birbiriyle oldukça uyumlu olduğu, metalce fakir yıldızlara doğru gidildikçe aralıklarındaki farkların 0.75 dex'e kadar sistematik olarak büyüdüğü ve uyumun bozulduğu dikkat çekmektedir.

SDSS fotometrik sistemi için tasarlanmış iki farklı metal bolluğu kalibrasyonunun birbirinden oldukça uyumsuz sonuçlar vermesinin birçok nedeni bulunmaktadır. Bunlar şu şekilde verilebilir:

- i. Karaali ve diğ. (2005) UBV ile SDSS fotometrik sistemleri arasındaki dönüşümleri sağlayabilmek için INT CASU biriminden sağlanmış standart yıldızların UBV ve $g'r'i'$ fotometrik verilerini kullanmışlardır. Doktora tez çalışmasında ise SDSS sisteminin 2.5 m'lik teleskobu için geliştirilen ugr fotometrik verileri kullanılmıştır.
- ii. İki çalışmada kullanılan fotometrik dönüşüm formülleri farklıdır.
- iii. İki çalışmada mor-ötesi artıklarının hesaplanması için kullanılan Hyades kümesinin iki-renk diyagramındaki anakol Sandage (1969)'den alınmasına karşın dönüşüm formüllerinden dolayı aynı $g-r$ renk indeksine karşılık gelen $u-g$ renk indeksleri arasında -0.05 ile +0.02 kadire ulaşan farklar bulunmaktadır ki bu da metal bolluğu tayinine duyarlı olan mor-ötesi artığını doğrudan etkilemektedir.

168 yıldızın metal bolluğu hesaplamasında görülen farkların yukarıda maddeler halinde verilen etkileri, birbirlerini yok edebileceği gibi katlanarak artırabilme durumları da söz konusudur. Bu nedenle Güneş komşuluğunda bulunan yıldızların $ugriz$ parlaklıklarının belirlenmesinde Chonis ve Gaskell (2008)'nin SDSS'deki 2.5 m teleskobuna yönelik üretmiş oldukları ve tez çalışmasında kullanılan bu dönüşüm formüllerinin dikkate alınması, metal bolluğu ve mutlak

parlaklık kalibrasyonlarının oluşturulmasındaki belirsizliği azalttığından, hazırlanan kalibrasyonların güvenilirliğini arttırmaktadır.



Şekil 5.2: Tez çalışmasında ve Karaali ve diğ. (2005)'nin metal bollukları kalibrasyonlarının 168 kalibrasyon yıldızına uygulanması sonucunda hesaplanan metal bolluklarının karşılaştırılması (a) ve metal bollukları arasındaki farklar (b). Kırmızı düz çizgi biri-bir doğrusunu, kırmızı kesikli çizgi de sıfır seviyesini göstermektedir.

5.1.3. Ivezic ve diğ. (2008)'nin Çalışmasıyla Karşılaştırma

Yaklaşık 60,000 F ve G tayf türündeki anakol yıldızının SDSS tayflarından etkin sıcaklık (T_{eff}) ve metal bolluklarını ($[\text{Fe}/\text{H}]$) hesaplayan Ivezic ve diğ. (2008), yıldızların tayfsal metal bolluklarını SDSS $u-g$ ve $g-r$ renk indekleriyle bir arada analiz ederek fotometrik metal bolluğu kalibrasyonlarını geliştirmişlerdir. Bu metal bolluğu kalibrasyonları, SDSS fotometrik verileri bulunan yaklaşık iki milyon F ve G tayf türündeki anakol yıldızına uygulanarak, Samanyolundaki yıldız popülasyonlarının metal bolluğu dağılımları incelenmiştir. Ivezic ve

diğ. (2008) metalce fakir yıldızlar ($0.8 < u-g < 1$ ve $0.2 < g-r < 0.6$ kadir) için $u-g$ renk indeksine bağlı doğrusal bir fonksiyon (bağıntı 5.2), metalce zengin yıldızlar ($0.8 < u-g < 1.4$ ve $0.2 < g-r < 0.4$ kadir) için de yine $u-g$ renk indeksine bağlı üçüncü dereceden bir polinom fonksiyonu (bağıntı 5.3) literatüre kazandırmıştır. Bu metal bolluğu bağıntıları $-2 < [\text{Fe}/\text{H}] < -0.4$ dex aralığındaki anakol yıldızları için geçerlidir.

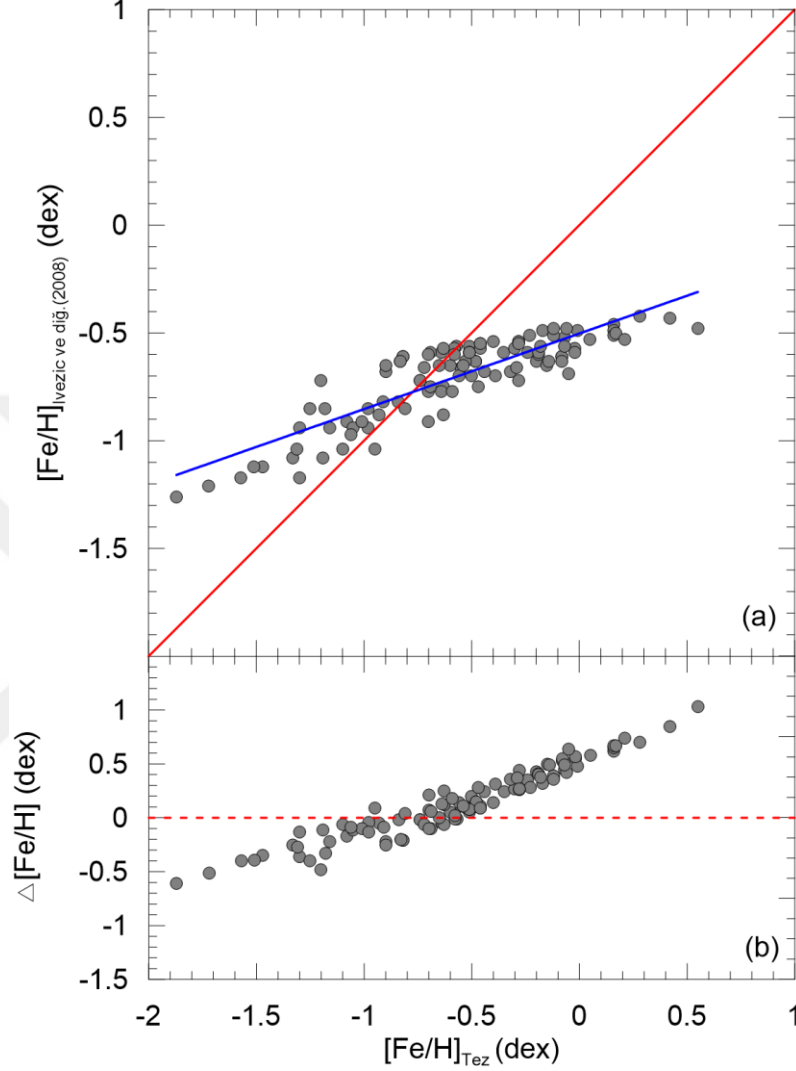
$$[\text{Fe}/\text{H}] = 5.14(u - g) - 6.10, \quad (5.2)$$

$$[\text{Fe}/\text{H}] = -21.88 + 47.39(u - g) - 35.50(u - g)^2 - 9.018(u - g)^3. \quad (5.3)$$

Doktora tez çalışmasında geliştirilen metal bolluğu kalibrasyonun (bağıntı 4.6) duyarlılığını, Ivezić ve diğ. (2008)'nin kalibrasyonlarıyla karşılaştırabilmek için iki yöntemden belirlenen metal bolluğu kalibrasyonları 168 yıldızla uygulanmıştır. Ivezić ve diğ. (2008)'nin kalibrasyonları, yıldızların belli renk indeksi aralıklarına duyarlı olduğundan 168 yıldızdan ancak 108'i için karşılaştırma yapılabilmiştir. Şekil 5.3'te 108 yıldızın iki farklı yöntemden hesaplanan metal bolluklarının karşılaştırılması gösterilmiştir.

Tez çalışmasında elde edilen metal bolluğu kalibrasyonunun 108 yıldızla uygulanmasıyla yıldızların hesaplanan metal bollukları $-2 < [\text{Fe}/\text{H}] \leq 0.2$ dex aralığında bulunurken, Ivezić ve diğ. (2008)'nin kalibrasyonlarıyla yıldızların metal bollukları $-1.3 < [\text{Fe}/\text{H}] \leq -0.4$ dex aralığında hesaplandığı tespit edilmiştir. Şekil 5.3'ten de görüleceği gibi iki yöntemden elde edilen metal bollukları arasında bire-bir ilişki yerine daha düşük eğimli bir doğrusal bağıntının $([\text{Fe}/\text{H}]_{\text{Ivezić ve diğ. (2008)}} = 0.369 [\text{Fe}/\text{H}]_{\text{Tez}} - 0.488)$ bulunduğu görülmektedir. Tez çalışmasında kalibrasyonların oluşturulması için Güneş civarından seçilen 108 yıldızın metal bollukları incelendiğinde $-2 < [\text{Fe}/\text{H}] \leq 0.2$ dex aralığında bulundukları görülmüştür. Bu da Ivezić ve diğ. (2008)'in kalibrasyonlarının bu yıldızlarının metal bolluklarını ($-1.3 < [\text{Fe}/\text{H}] \leq -0.4$ dex) iyi temsil etmediğini göstermektedir. Bu bulgu, Ivezić ve diğ. (2008)'nin metal bolluğu kalibrasyonlarının yanlış olduğunu göstermekte olup farklılığın kalibrasyonların oluşturulmasında düşük çözünürlüklü ($R \sim 1,800$) tayf verilerinin analizlerden hesaplanan atmosfer model verilerinin yeterince duyarlı tayin edilemediğini göstermektedir. Çalışmada iki farklı yöntemden hesaplanan metal bolluklarının karşılaştırılmasında, seçilen 168 yıldızdan 108'inin Güneş civarında yüksek çözünürlüklü ve S/N oranı yüksek tayf verilerinin analizlerinden belirlenen atmosfer model parametrelerinin SDSS tayflarından hesaplananlara

göre daha duyarlı olduğu söylenebilir. Bu nedenle doktora tez çalışmasında oluşturulan metal bolluğu kalibrasyonunun sonuçları daha güvenilirlerdir.



Şekil 5.3: Tez çalışmasında ve Ivezic ve diğ. (2008)'nin metal bollukları kalibrasyonlarının 108 kalibrasyon yıldızına uygulanması sonucunda hesaplanan metal bolluklarının karşılaştırılması (a) ve metal bollukları arasındaki farklar (b). Kırmızı düz çizgi biri-bir doğrusunu, mavi sürekli çizgi iki yöntemden hesaplanan metal bollukları arasındaki doğrusal bağıntıyı ve kırmızı kesikli çizgi de sıfır seviyesini göstermektedir.

5.2. YENİ MUTLAK PARLAKLIK KALİBRASYONUNUN LİTERATÜR İLE KARŞILAŞTIRILMASI

5.2.1. Karaali ve diğ. (2005)'nin Çalışmasıyla Karşılaştırma

Karaali ve diğ. (2003a) Güneş civarında tayfsal analizler sonucunda atmosfer model parametreleri belirlenmiş 1,236 orta tayf türündeki yıldızların ($0.3 < (B-V)_0 \leq 1.1$ kadir) UBV fotometrik sisteminde mutlak parlaklık kalibrasyonunu oluşturmuşlardır. Yıldızların *Hipparcos* trigonometrik paralakslardan hesaplanan V bandındaki mutlak parlaklıklarıyla (M_V) yıldızın aynı $(B-V)_0$ renk indeksindeki Hyades anakolundaki mutlak parlaklıkları arasındaki fark hesaplanmış ve yıldızların mor-ötesi artıkları arasında ilişki kurularak mutlak parlaklık kalibrasyonunu oluşturmuşlardır. $(B-V)_0$ renk indekslerine göre sekiz gruba ayrılan yıldızlar için üçüncü dereceden polinom fonksiyon elde edilerek UBV fotometrisi için bir mutlak parlaklık kalibrasyonu oluşturulmuştur. Bu bağıntılar Tablo 2.6'da, katsayıları da Tablo 2.7'de listelenmiştir. Aynı çalışmada UBV sistemi için üretilen kalibrasyonlar Fukugita ve diğ. (1996) tarafından sentetik renk dönüşüm formülleriyle SDSS sistemine taşınmıştır. Böylece mutlak parlaklık kalibrasyonları hem UBV hem de SDSS için literatüre kazandırılmıştır.

Karaali ve diğ. (2005), 2003 yılında elde ettikleri kalibrasyonlarını daha hassas dönüşüm formülleriyle SDSS fotometrisi için güncellemişlerdir (bkz Bölüm 5.1.2). Bu güncellemelerde kalibrasyon hesaplamalarında gerekli olan Hyades açık kümesinin mutlak parlaklığı, farklı renk indekslerindeki yıldızlar için hesaplanan mutlak parlaklık kalibrasyonları ve yıldızın mutlak parlaklık hesabı, sırasıyla, bağıntılar (5.4) – (5.6) ile verilmiştir.

$$M_{g'}^H = -2.0987(g' - r')^2 - 0.0008(u' - g')^2 + 0.0842(g' - r')(u' - g') + 7.7557(g' - r') - 0.1556(u' - g') + 1.9714 \quad (5.4)$$

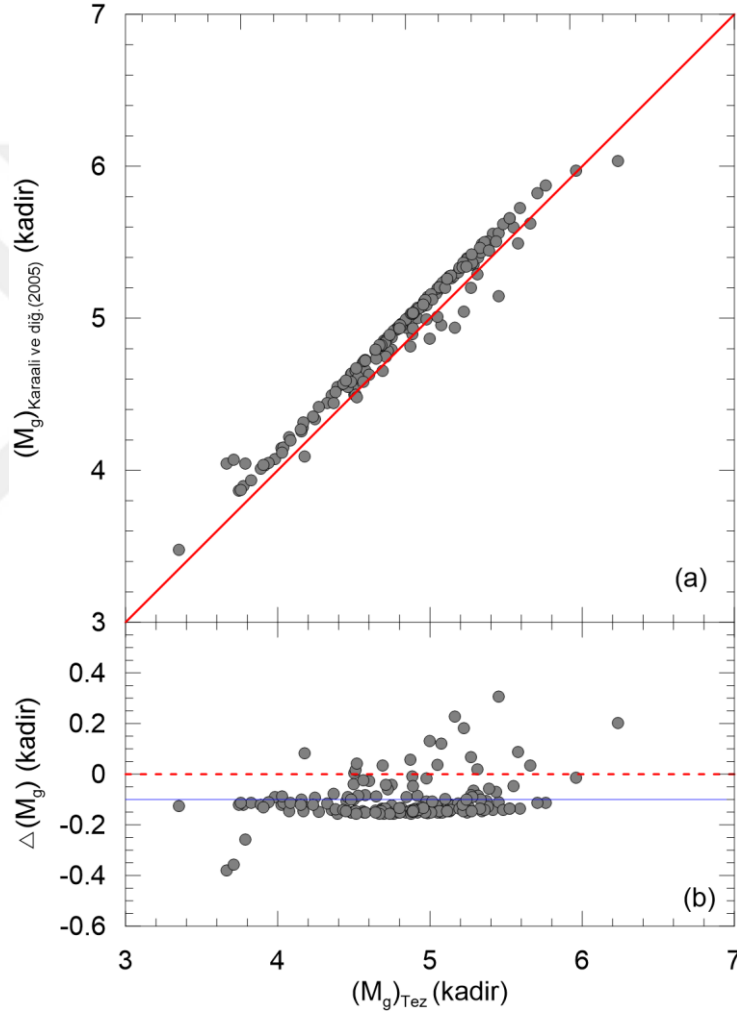
$$\Delta M_{g'}^H = c_3 \delta_{0.43}^3 + c_2 \delta_{0.43}^2 + c_1 \delta_{0.43} + c_0 \quad (5.5)$$

$$M_{g'} = \Delta M_{g'}^H + M_{g'}^H \quad (5.6)$$

Burada $\delta_{0.43}$, SDSS fotometrisinde $g'-r' = 0.43$ kadirine karşılık gelen normalleştirilmiş mor-ötesi artığını, $M_{g'}^H$ Hyades anakol mutlak parlaklığını ve $\Delta M_{g'}^H$ yıldızın *Hipparcos* trigonometrik paralakslarından (ESA, 1997) hesaplanmış mutlak parlaklığıyla Hyades anakol mutlak parlaklığının farkını ve $M_{g'}$ de yıldızın g' bandındaki mutlak parlaklığını ifade eder. Ayrıca

bağıntı (5.5)'te verilen c katsayıları yıldızların $g'-r'$ renk indeksi aralıklarına duyarlı tayin edilmiş olup bu katsayılar Bölüm 2.4.3'te Tablo 2.7'de listelenmiştir.

Doktora tez çalışmasında elde edilen mutlak parlaklık kalibrasyonunun (bağıntı 4.8) duyarlılığını sınamak için Karaali ve diğ. (2005)'in kalibrasyonu (bağıntı 5.5) karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmada 168 kalibrasyon yıldızının mutlak parlaklıkları bağıntı (4.8) ve bağıntı (5.5) ile hesaplanarak birbirleriyle olan ilişkisi Şekil 5.4'te gösterilmiştir.



Şekil 5.4: Tez çalışmasında ve Karaali ve diğ. (2005)'nin mutlak parlaklık kalibrasyonlarının 168 kalibrasyon yıldızına uygulanması sonucunda hesaplanan metal bolluklarının karşılaştırılması (a) ve mutlak parlaklıklar arasındaki farklar (b). Kırmızı düz çizgi biri-bir doğrusunu, mavi sürekli çizgi iki kalibrasyondan hesaplanan mutlak parlaklıklar arasındaki farkların ortalamasını ve kırmızı kesikli çizgi de sıfır seviyesini göstermektedir.

Karşılaştırmadan da görüleceği gibi iki bağıntıdan hesaplanan mutlak parlaklıklar $3 < M_g < 6.5$ kadir aralığında olup birbirleriyle uyumludur. Fakat mutlak parlaklıklar arasındaki farklar incelendiğinde iki yöntemden hesaplanan ortalama farklar -0.1 kadir, bu farkların standart sapması da 0.08 kadir olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlar iki yöntem arasında 0.1 kadirlik bir seviye farkı bulunduğunu göstermektedir. Tez çalışmasında hesaplanan mutlak parlaklıklar Karaali ve diğ. (2005)'nin kalibrasyonlarından hesaplananlara göre daha parlak, yani daha uzak ölçüldüğü tespit edilmiştir. İki farklı kalibrasyondan hesaplanan mutlak parlaklıkların birbirinden sistematik olarak farklı olmasının nedenleri kalibrasyon yıldızlarının trigonometrik verilerinin farklı kaynaklardan alınmış olması (ESA, 1997; van Leeuwen 2007) ve *UBV* sisteminden SDSS sistemine geçişte kullanılan fotometrik dönüşüm formüllerinin (Karaali 2005; Chonis ve Gaskell, 2008) zaman içerisinde geliştirilmesidir. Çalışmamızda duyarlı tayfsal, fotometrik ve astrometrik veriler ile güncel fotometrik dönüşüm formülleri kullanıldığından bu çalışmada elde edilen mutlak parlaklık kalibrasyonun yeterince hassas olduğu söylenebilir.

5.2.2. *Gaia* DR2 Verileriyle Karşılaştırma

SDSS fotometrik verileri kullanılarak Galaktik bileşenlerdeki metal bolluğu dağılımı üzerine yapılan bu doktora tez çalışmasının son evresinde 19 Aralık 2013 tarihinde uzay gönderilen *Gaia* uydu verileri iki farklı zamanda astronomların kullanımına açılmıştır. *Gaia* uydu verileri fotometrik, tayfsal ve astrometrik olarak ilk kez 14 Eylül 2016 tarihinde *Gaia* DR1 (Gaia çalışanları, Brown ve diğ., 2016) ve ikinci kez de 25 Nisan 2018 tarihinde *Gaia* DR2 (Gaia çalışanları, Brown ve diğ., 2018) veri sürümleri olarak yayımlanmıştır. Bu verilerin astronomların kullanıma açılması tez aşamasının son döneminde elde edilen bazı bulguların (özellikle yıldızların Güneş'e uzaklığı) bağımsız bir yöntem ile de sınanmasına olanak vermiştir.

Avrupa Uzay Ajansı (ESA; European Space Agency), 2006 yılında *Gaia* uydusunun tasarımına başlamasıyla Güneş civarının ve Galaksimizin yapısı ve kinematiki hakkında önemli bilgilere ulaşılabileceğinin yolu açılmış oldu. *Gaia* uydusunun odak düzleminde 100 CCD alıcı bulunmaktadır ve beş yıl boyunca gökyüzünü tekrar tekrar tarayarak $G \approx 20.7$ kadir sönüklüğe erişen tüm nesneleri gözlemek üzere tasarlanmıştır. *Gaia* uydusu 19 Aralık 2013 tarihinde Güneş-Dünya-Ay sisteminin ikinci Lagrange noktasına yerleştirilmiştir. *Gaia* uydusu yıldızların üç-boyutlu uzay ve hız dağılımlarını belirlemek ve etkin sıcaklık, yüzey çekim

ivmesi gibi astrofiziksel parametrelerini hesaplamak, Galaksimizin oluşumu, yapısı ve evriminin anlaşılabilmesi için tasarlanmıştır. *Gaia* uydusunun görevi boyunca yapacağı gözlemler sonucunda iki milyara yakın nesnenin mutlak astrometri (konum, özhareket ve trigonometrik paralaks), geniş-bant fotometrisi, düşük çözünürlüklü mavi (GP) ve kırmızı (RP) spektrofotometri ve *G* bandında integre edilmiş fotometrik verilerine ulaşılabilecektir. *Gaia* uydusunun DR1 veri sürümünde (Gaia çalışanları, Brown ve diğ., 2016) yaklaşık 1.1 milyar nesnenin *G*-bandı parlaklıkları ve ölçülen diğer verileri çeşitli alt-sınıflara ayrılmış biçimde ESA'nın web sayfasında yayınlanmıştır. *Gaia* DR2 veri sürümü 25 Nisan 2018 tarihinde yayımlanmıştır (Gaia çalışanları, Brown ve diğ., 2016). Bu veri setinde yaklaşık 1.7 milyar nesnenin *G*-bandı fotometrik parlaklığı ölçülmüş, yaklaşık 1.4 milyar nesnenin üç bant fotometrisi yapılmış, yedi milyondan fazla nesnenin radyal hızları hesaplanmış, yaklaşık 1.3 milyar nesnenin beş temel astrometrik parametresi (ekvatorial koordinatlar, öz hareket bileşenleri ve trigonometrik paralaks) ölçülmüştür. Bu verilere ilaveten 77 milyon ile 161 milyon yıldızın etkin yüzey sıcaklığı, sönümleme ve kızarma değerleri, yarıçap ve ışıma gücü sınıfları belirlenmiştir.

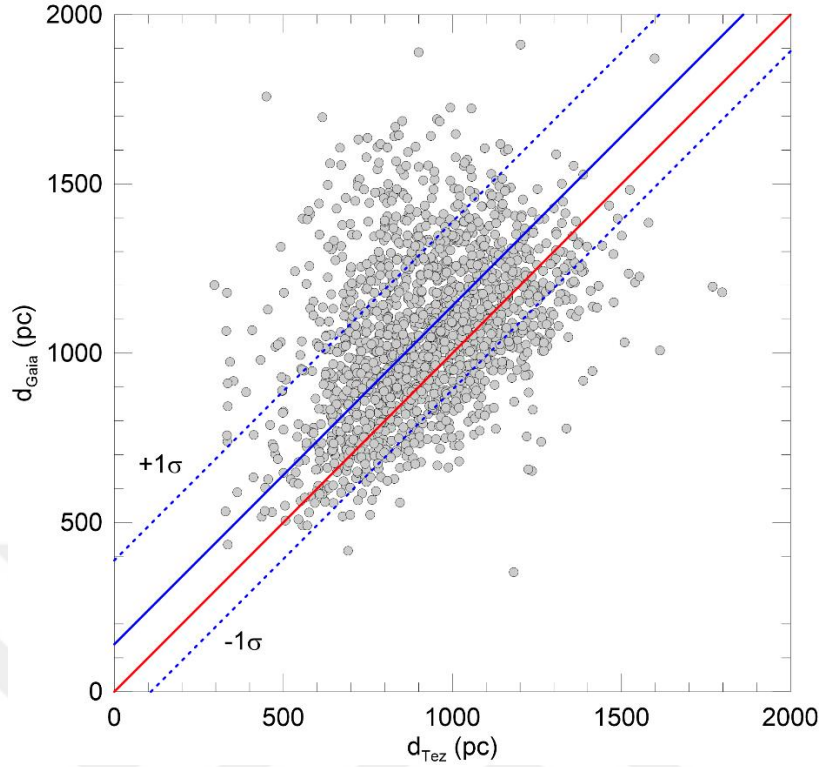
Doktora çalışması sönük yıldızların metal bollukları ve uzaklıklarının tayini üzerine yoğunlaştığı için bu çalışmada elde edilen sonuçların bağımsız ve çok duyarlı bir uzaklık ölçüm tekniğiyle de sınanması gerekliliği ortaya çıkmıştır. Bu nedenle çalışmamızda yıldızlararası ortamın etkisinin en az olduğu kuzey Galaktik kutup doğrultusunda Galaktik enlemi $b \geq 85^\circ$ olan bir yıldız alanı seçilmiştir. Bu yıldız alanı içinde bulunan SDSS F ve G tayf türündeki anakol yıldızlarının ekvatorial koordinatları, *Gaia* DR2 (Gaia çalışanları, Brown ve diğ., 2018) veri seti içinde uzaklığı $r \leq 5''$ şartını sağlayacak nesneler ile örtüştürülmüştür. Seçilen yıldız alanında SDSS ile *Gaia* veri tabanındaki eşleşen yıldız sayısı 84,340 olduğu ve bu yıldızlardan 22,992'sinin trigonometrik paralakslarının negatif değerlerde ($\pi \leq 0$ mas) ölçüldüğü tespit edilmiştir. Pozitif paralaks değerlerinde bulunan 52,558 yıldızın da rölatif paralaks hatalarının $0 < \sigma_\pi/\pi < 3,544$ aralığında bulunduğu görülmüştür. Örnekteki yıldızların trigonometrik paralakslarının seçiminde hem duyarlı ölçümleri hem de paralaks ölçümlerindeki Lutz-Kelker (LK, 1973) yanlışlığının ortadan kaldırılması için doktora tez çalışmasında rölatif paralaks hatalarına $\sigma_\pi/\pi \leq 0.05$ sınırlaması getirilmiştir. Bu sınırlama sonucunda örnekteki yıldız sayısı 1,648 olmuştur. LK (1973) yanlışlığı $\sigma_\pi/\pi < 0.175$ değerine kadar olan nesnelere uygulanabilir

ve bu yanlışlık Smith (1987) tarafından analitik olarak çözümlenmiş ve aşağıdaki bağıntıda tanımlanmıştır:

$$\pi_0 = \pi \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \sqrt{1 - 16(\sigma_\pi/\pi)^2} \right) \quad (5.7)$$

Burada π_0 LK düzeltmesi yapılmış trigonometrik paralaksı, π gözlenmiş paralaksı ve σ_π/π rölatif paralaks hatasını gösterir. Tez çalışmasında rölatif paralaks hatasının $\sigma_\pi/\pi \leq 0.05$ alınması, gözlenmiş paralakslara en büyük %1 mertesinde bir düzeltmenin uygulanması gerektiğini ortaya koyar ki bu çalışmada SDSS ile *Gaia* uzaklıklarının karşılaştırılmasına etki etmez. Bu nedenle çalışmada seçilen 1,648 *Gaia* yıldızının trigonometrik paralaksıları $d \text{ (pc)} = 1000/\pi \text{ (mas)}$ formülüyle uzaklıklara çevrilmiştir. Bu yıldızların SDSS fotometrik verilerinin tez çalışmasında oluşturulan mutlak parlaklık kalibrasyonu ve Pogson bağıntısıyla hesaplanan uzaklıklarıyla *Gaia* trigonometrik paralakslarından tayin edilen uzaklıkları Şekil 5.5'te gösterilmiştir. Yıldızların SDSS ve *Gaia* verilerinden hesaplanan uzaklıklarının, sırasıyla, $0.3 < d < 1.8 \text{ kpc}$ ve $0.3 < d < 2 \text{ kpc}$ aralıklarında yer aldığı görülmektedir. İki farklı uzaklık tayin yönteminden hesaplanan uzaklık farklarının ortalamaları ve standart sapmaları da, sırasıyla, 140 ve 249 pc'tir. Bu istatistiksel sonuçlar, mutlak parlaklık kalibrasyonundan hesaplanan uzaklıkların *Gaia* verilerine göre daha yakın ölçüldüğünü ve sistematik bir yanlışlığın da bulunduğunu göstermektedir (bkz Şekil 5.5).

SDSS sistemi için geliştirilen yeni mutlak parlaklık kalibrasyonu *Hipparcos* trigonometrik paralakslarına (ESA, 1997), *Gaia* verileri (*Gaia* çalışanları, Brown ve diğ., 2018) de doğrudan trigonometrik paralakslara bağlı olmasına karşın yıldızların hesaplanan uzaklıklarında sistematik bir farklılığın bulunduğu görülmüştür. Bu sorunun *çift yıldız etkisinden* kaynaklandığı düşünülerek bir takım ek analizlerin tez çalışmasında yapılması planlanmıştır. Seçilen yıldız örneği içinde çift yıldız etkisi bir yıldızın daha büyük ışıma gücünde ve daha kırmızı renkte görülmesine yol açar. Ayırt edilemeyen çift sistemin normalden daha kırmızı görülmesinin sebebi sistemindeki bileşen yıldızların kütle oranlarının $q = 1$ değerinden küçük olmasıdır. Bununla birlikte, ayırt edilemeyen çift yıldız sistemlerinin daha parlak olmasının nedeni bileşen yıldızlarının ışıma güçlerinin bir arada gözlenmesidir ve bu etki en büyük kütle oranı $q = 1$ olan çift yıldız sisteminde görünen parlaklığı 0.75 kadir arttırmaktadır.

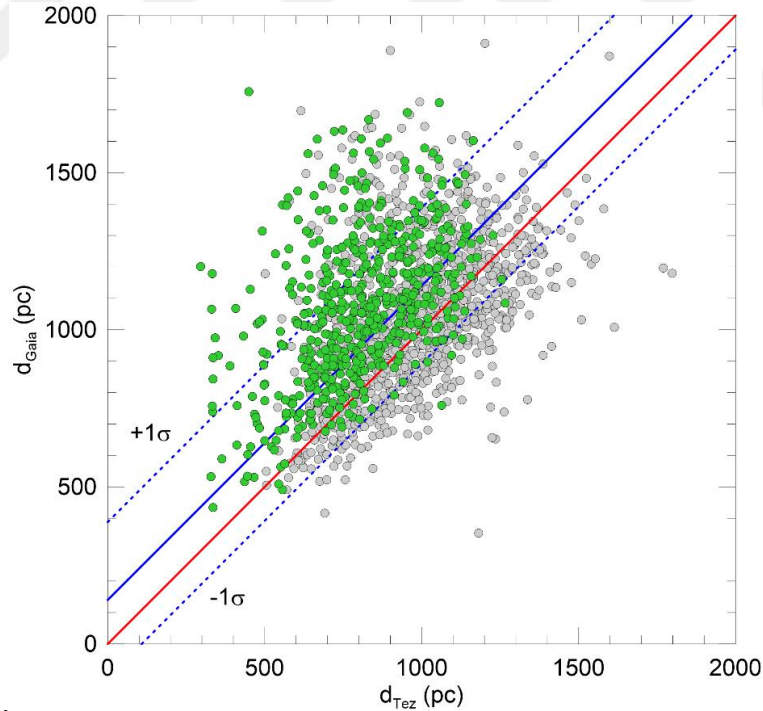


Şekil 5.5: SDSS fotometrik verilerinin tez çalışmasında oluşturulan mutlak parlaklık kalibrasyonu ve Pogson bağıntısıyla hesaplanan uzaklıklarının *Gaia* trigonometrik paralakslarından hesaplanan uzaklıklarıyla karşılaştırılması. Kırmızı çizgi bire-bir doğrusunu, mavi çizgi iki veri setinden hesaplanan uzaklık farklarının eşit olduğu düzlemi ve mavi kesikli çizgiler de örnekteki yıldızların $\pm 1\sigma$ standart sapmalarını göstermektedir.

Alan yıldızları içinde çift yıldız etkisinin ortaya konamaması yıldızların hem parlaklık hem de renk indekslerini etkiler. Tez çalışmasında yıldızların $[\text{Fe}/\text{H}]$ metal bollukları ve M_g mutlak parlaklıkları, SDSS fotometrik sisteminde ölçülen $(u-g)_0$, $(g-r)_0$ renk indeksleri ve g_0 parlaklığından itibaren hesaplandığından söz konusu parametreler çift yıldız etkisine maruz kalabilir ve bu etki fotometrik ölçümleri yapılmış bu yıldızların tayfsal gözlemleri olmadan tespit edilemez. Tez çalışmasının Bölüm 2.5 kısmında bahsedildiği gibi SDSS gözlemlerinin neredeyse tümü fotometrik olarak *ugriz* bandlarında gözlenmesine karşın tayfsal gözlemler SDSS'in alt çalışma gruplarının belirlediği kıstaslar altında gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle fotometrik gözlemleri yapılan tüm nesnelerin tayfsal gözlemleri bulunmaz. Ayrıca SDSS'te yapılan tayfsal gözlemler genellikle tek epoklu olduğundan bu gözlemlerden çift yıldızların belirlenmesi oldukça zordur.

Tez çalışmasında SDSS yıldızların metal bollukları ve mutlak parlaklıkları mor-ötesi artıklarına duyarlı olarak hesaplanmıştır. İncelenen yıldızlardan biri, çift yıldız etkisine maruz kalmışsa

mor-ötesi artık değeri daha büyük tayin edilecektir. Bu durum yıldızın metal bolluğunun daha fakir, mutlak parlaklığının ise daha büyük belirlenmesine neden olacaktır. Kuzey Galaktik kutup doğrultusunda seçilen yıldızların Güneş'e uzaklıkları yıldızların Galaktik düzlemde dik uzaklıklarına hemen hemen eşittir. Bu da yıldızların popülasyon türlerinin belirlenmesine olanak vermektedir. İki farklı yöntemden hesaplanan yıldız uzaklıkları 0.3 ile 2 kpc aralığında bulunduğundan yıldızların büyük kısmı yaşlı ince disk veya kalın disk popülasyonundadır (bkz Bölüm 3.8). İnce disk popülasyonundaki yıldızların metal bollukları $-0.5 < [\text{Fe}/\text{H}] < 0.5$ dex aralığında bulunmaktadır. Yani seçilen yıldız örneğinde $d = 2$ kpc uzaklığına gidildikçe yıldızların ortalama metal bolluklarının $[\text{Fe}/\text{H}] = -0.5$ dex'e ulaşması beklenir. Ama bu uzaklıkta hem yaşlı ince disk hem de kalın disk yıldızlarının bulunacağı söz konusu olduğundan metal bolluklarının $[\text{Fe}/\text{H}] \geq -0.75$ dex olması gerekir. Seçilen yıldız örneğinde metalce fakir yıldızların ($[\text{Fe}/\text{H}] < -0.75$ dex) çift yıldız etkisine maruz kaldığı düşünülerek bu yıldızlar için ortalama bir metal bolluğu değeri atfedilmiş, yeniden uzaklıklarının hesaplanması ve *Gaia* uzaklıklarıyla tekrar karşılaştırılması planlanmıştır.

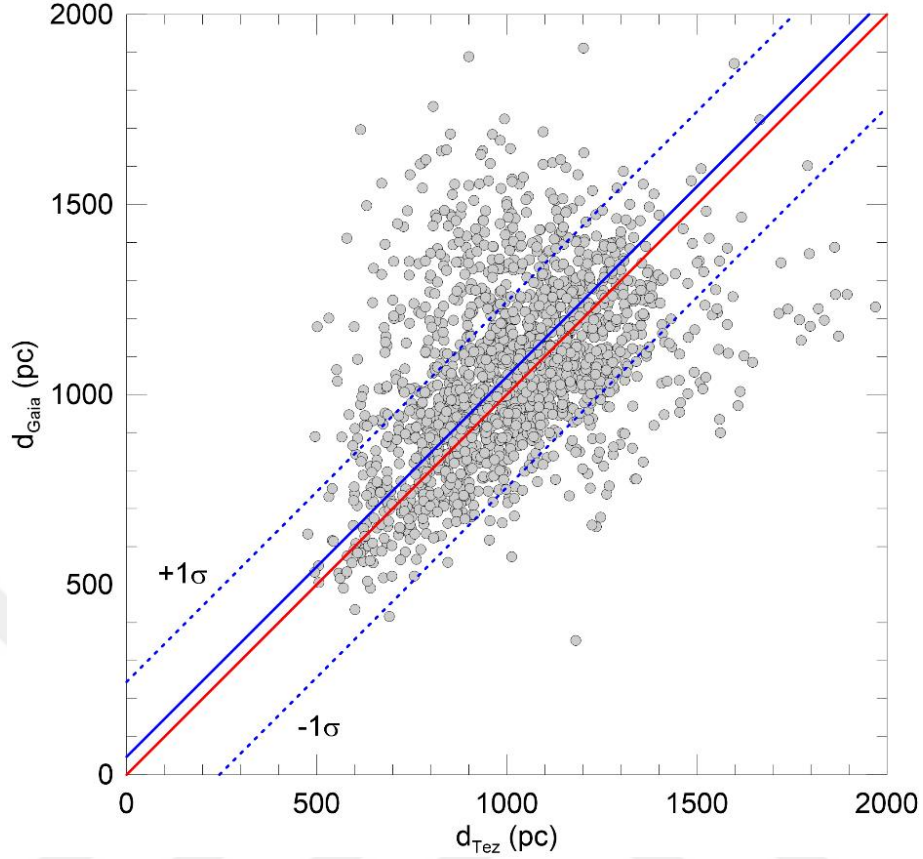


Şekil 5.6: Seçilen 1,648 anakol yıldızı (gri daire) ile metalce fakir ($[\text{Fe}/\text{H}] < -0.75$ dex) yıldızların (yeşil daire) SDSS ve *Gaia* verilerinden hesaplanan uzaklıklarının karşılaştırılması. Şekil üzerinde farklı renkte gösterilen çizgilerin tanımları Şekil 5.5'te verilmiştir.

Yıldız örneği içinde metal bollukları $[Fe/H] < -0.75$ dex olan yıldızların sayısı 535 olarak tespit edilmiş ve bu yıldızlar Şekil 5.6'da yeşil daire, tüm örnek ise gri daire sembolüyle gösterilmiştir. Şekil 5.6'dan da görüleceği gibi metalce fakir yıldızların ($[Fe/H] < -0.75$ dex) büyük kısmının bire-bir çizgisinin üst kısmında yer almış olması metalce fakir yıldızların çift yıldız etkisine maruz kaldığı iddiamız desteklemektedir.

Güneş komşuluğundaki ince disk yıldızlarının ortalama metal bolluğu $\langle [Fe/H] \rangle = 0$ dex'tir. $0 < Z < 2$ kpc uzaklık aralığındaki ince disk yıldızları için de Galaktik düzlemden dik doğrultudaki metal bolluğu gradyenti için literatürde genellikle $d[Fe/H]/dZ \approx -0.3$ dex/kpc değeri verilmektedir (Soubiran ve diğ., 2008; Yaz ve Karaali, 2010; Hayden ve diğ., 2014). Örneğimizdeki seçilmiş yıldızların ortalama uzaklıkları $\langle d \rangle = 1$ kpc olarak alındığında literatürdeki metal bolluğu gradyent değerine ($d[Fe/H]/dZ \approx -0.3$ dex/kpc) göre incelenen bölgenin ortalama metal bolluğu $\langle [Fe/H] \rangle = -0.3$ dex olur. Metalce fakir seçilen ($[Fe/H] < -0.75$ dex) 575 yıldızın ortalama metal bolluğu $\langle [Fe/H] \rangle = -0.3$ dex kabul edilerek, tez çalışması için hazırlanan fotometrik metal bolluğu kalibrasyonunda (bağıntı 5.1) mor-ötesi artık değeri $\delta_{0.41} = 0.073$ kadir olarak hesaplanmıştır. Buradan da yıldızların mutlak parlaklıkları bağıntılar (5.5) ve (5.6) kullanılarak hesaplanmış ve Pogson bağıntısıyla uzaklıkları tayin edilmiştir. Böylece seçilen yıldız örneğinde metalce fakir 575 anakol yıldızının uzaklıkları yukarıda bahsedilen yöntem ile yeniden tayin edilirken, geri kalan 1,073 anakol yıldızın uzaklıkları değiştirilmemiştir. Elde edilen bu uzaklıklar yine *Gaia* uzaklıklarıyla karşılaştırılarak çift yıldız etkisi incelenmiştir. 1,648 yıldızın SDSS verilerinden hesaplanan uzaklıklarıyla *Gaia* trigonometrik paralakslarından belirlenen uzaklıkları Şekil 5.7'de gösterilmiştir. İki farklı uzaklık tayin yönteminden hesaplanan uzaklık farklarının ortalamaları ve standart sapmaları da, sırasıyla, 47 ve 244 pc'tir.

Çift yıldız etkisine maruz kaldığı düşünülen metalce fakir 575 yıldızın yeniden uzaklıklarının hesaplanmasıyla bu yıldızlar Güneş'ten daha uzakta yer almış ve *Gaia* uzaklıklarıyla daha uyumlu hale gelmiştir. Bu sonuç, SDSS'de fotometrik olarak incelenen yıldızların çift yıldız olabileceğini göstermektedir. Seçilen örnekte 575 yıldızın çift yıldız olarak sınıflanması tüm örnekteki çift yıldız oranının %54 olacağını işaret eder. Bu sonuç, literatürde LAMOST tayfsal gökyüzü taramasıyla yaklaşık 150,000 Güneş benzeri anakol yıldızını inceleyen Tian ve diğ. (2018)'nin alan yıldızları içinde %50 çift yıldız oranıyla oldukça uyumludur.



Şekil 5.7: SDSS verilerinde metalce fakir 575 yıldızın yeniden belirlenen uzaklıklarıyla uzaklıkları değiştirilmeyen metalce zengin 1,073 yıldızın *Gaia* uzaklıklarıyla karşılaştırılması. Şekil üzerinde farklı renkte gösterilen çizgilerin tanımları Şekil 5.5'te verilmiştir.

5.3. LİTERATÜRDEKİ METAL BOLLUĞU GRADYENT ÇALIŞMALARI

Samanyolundaki yıldızların, gezegenimsi bulutsuların veya açık/küresel kümelerin kimyasal bollukları ve uzaklıkları arasında oluşturulan ilişkiler Galaksimizin oluşumu ve evriminin anlaşılmasında kilit rol oynar. Büyük patlama sonrası oluşan ilk nesil yıldızlar, hidrojen ve helyumca zengin yapılarıyla çekirdeklerinde ürettikleri daha ağır elementlerin süpernova patlamalarıyla yıldızlararası ortama yaymaları ikinci nesil yıldızların kimyasal bakımdan daha zengin oluşmalarına fırsat yaratır. Evrenin yaşı arttıkça kimyasal olarak zenginleşme zamanının bir fonksiyonu olarak artarak Galaksimizin evrimi boyunca devam eder. Bu da Samanyolu galaksisinin oluşumu ve zaman içerisinde evriminin anlaşılmasına dair hazırlanan kuramsal senaryoların sınanması açısından son derece önemlidir. Senaryolar ancak gözlemsel olarak elde edilen yüksek duyarlılıklı fotometrik, tayfsal ve astrometrik verilerin bir arada analiziyle sınanabilir. Galaksimiz üç farklı yıldız popülasyonundan oluştuğundan incelenen nesnelerin popülasyon türlerinin ortaya çıkartılması ve ardından Galaksi merkezinden radyal doğrultuda

ve Galaktik düzlemden dik doğrultularda yapılacak gökyüzü tarama programlarına ait verilerin analizleri sonucundan metal bolluğu gradyentlerinin hesaplanması gerekmektedir. Güncel gökyüzü tarama programlarındaki verilerden metal bolluğu gradyentlerinin varlığı ve büyüklüğü farklı popülasyonlar için hesaplanabilir ve senaryoların ön gördüğü değerler ile karşılaştırılarak senaryoların geçerlilikleri sınanabilir.

Teknolojiye paralel olarak odak düzlemi aletlerinin büyük teleskoplarda kullanılmaya başlanmasıyla birlikte metal bolluğu gradyent çalışmaları büyük bir ivme kazanmıştır. 1980’li yıllardan günümüze kadar farklı nesneleri inceleyen araştırmacılar Galaksimizdeki farklı popülasyonlar için metal bolluğu gradyentlerin hesaplamışlar ve literatüre kazandırmışlardır. Metal bolluğu gradyent hesaplamaları incelenen nesnelerin *bugünkü konumlarına*, *Galaktik yörünge parametrelerine* ve *rehber yarıçaplarına* göre yapılmaktadır (Önal Taş, 2016). Doktora tez çalışmasında metal bolluğu gradyent hesaplamaları yıldızların bugünkü konumlarına göre yapıldığından literatürden derlenen çalışmalar için bu durum dikkate alınmış ve diğer yöntemlerden hesaplananlar göz ardı edilmiştir. Bu doktora tez çalışmasında, 2000’li yılların başından günümüze kadar geçen süre içinde nesnelerin bugünkü konumlarına göre hesaplanan Galaksi merkezinden radyal doğrultuda ve Galaktik düzlemden dik doğrultudaki metal bolluğu gradyentleri derlenmiş, sırasıyla Tablo 5.1 ve Tablo 5.2’de listelenmiştir.

Tablo 5.1: Literatürde 2000 yılından günümüze kadar nesnelerin bugünkü konumlarından (R) hesaplanan radyal metal bolluğu gradyentleri. Uzaklıklar kpc birimindedir.

Yazar	Nesne	$d[Fe/H]/dR$ (dex/kpc)	Açıklama	Yayın Künyesi
Kawata ve diğ. (2018)	Anakol	0.0005 ± 0.0014	$3 < R < 13$ $ Z \leq 2$	2018MNRAS.473..867K
Anders ve diğ. (2017)	Kırmızı dev	-0.058 ± 0.008	$6 < R \leq 13$ $ Z < 0.3$	2017A&A...600A..70A
Jacobson ve diğ. (2016)	Açık küme	-0.100 ± 0.020	$6 < R < 12$	2016A&A...591A..37J
Cunha ve diğ. (2016)	Açık küme	-0.035 ± 0.007	$6 < R < 25$	2016AN....337..922C
Netopil ve diğ. (2016)	Açık küme	-0.086 ± 0.009	$5 < R < 12$	2016A&A...585A.150N
Huang ve diğ. (2015)	Kırmızı dev	-0.082 ± 0.013	$1 < \tau < 2.5$	2015RA&A....15.1240H
		-0.082 ± 0.003	$ Z \leq 0.1$	
		-0.072 ± 0.004	$0.1 < Z \leq 0.3$	
		-0.052 ± 0.005	$0.3 < Z \leq 0.5$	
		-0.041 ± 0.005	$0.5 < Z \leq 0.7$	
		-0.028 ± 0.005	$0.7 < Z \leq 0.9$	
Xiang ve diğ. (2015)	Dönüm noktası yıldızları	-0.020 ± 0.007	$0.9 < Z \leq 1.1$	2015RA&A....15.1209X
		-0.100 ± 0.003	$ Z \leq 0.1; 2 < \tau < 16$	
		-0.050 ± 0.002	$0.4 < Z \leq 0.6; 2 < \tau < 16$	
		-0.010 ± 0.002	$0.9 < Z \leq 1.1; 2 < \tau < 16$	

Tablo 5.1 (devam):

Yazar	Nesne	$d[Fe/H]/dR$ (dex/kpc)	Açıklama	Yayın Künyesi
Recio-Blanco ve diğ. (2014)	FGK anakol	-0.058±0.008 +0.006±0.008	İnce disk [M/H] Kalın disk [M/H]	2014A&A...567A...5R
Mikolaitis ve diğ. (2014)	FGK anakol	-0.044±0.009 -0.028±0.018 +0.008±0.007 +0.008±0.007	Ana ince disk Temiz ince disk Ana kalın disk Temiz kalın disk	2014A&A...572A...33M
Genovali ve diğ. (2014)	Sefeid	-0.021±0.029	5<R<19	2014A&A...566A...37G
Andreuzzi ve diğ. (2014)	Açık küme	-0.040	6<R<22	2011MNRAS.412.1265A
Hayden ve diğ. (2014)	Kırmızı dev	-0.090±0.002 -0.076±0.003 -0.057±0.003 -0.030±0.006	0< Z <0.25 R<15 0.25< Z <0.5 R<15 0.5< Z <1 0<R<15 1< Z <2 0<R<15	2014AJ....147..116H
Frinchaboy ve diğ. (2014)	Açık küme	-0.090±0.030 -0.200±0.080 -0.020±0.090	7.9 ≤ R ≤ 14.5 7.9 ≤ R ≤ 10 10 < R ≤ 14.5	2013ApJ...777L...1F
Boeche ve diğ. (2013)	FG anakol	-0.029±0.011	7.6<R<8.3	2013A&A...559A...59B
Carrell ve diğ. (2012)	FGK anakol	+0.015±0.005 +0.017±0.005	0.5< Z <1.0 eş-yaş yöntemi 0.5< Z <1 fotometrik yöntem	2012AJ....144..185C
Cheng ve diğ. (2012)	Dönüm noktası yıldızları	-0.066 ^{+0.030} _{-0.044} -0.064 ^{+0.015} _{-0.004} -0.013 ^{+0.009} _{-0.002}	0.15< Z <0.25 0.25< Z <0.5 0.5< Z <1	2012ApJ...746..149C
Yong ve diğ. (2012)	Açık küme	-0.120 ^{+0.010} _{-0.140}	τ ≥ 2.5; R<13	2012AJ....144...95Y
Luck ve Lambert (2011)	Sefeid	-0.062±0.002	4<R<17	2011AJ....142..136L
Ruchti ve diğ. (2011)	Kırmızı dev, Kırmızı yığın yıldızları, yatay kol, anakol	+0.010±0.040	5<R<10 Z <3	2011ApJ...737...9R
Luck ve diğ. (2011)	Sefeid	-0.055±0.003	4<R<16	2011AJ....142...51L
Friel ve diğ. (2010)	Açık küme	-0.076±0.018	tüm örnek	2010AJ....139.1942F
Wu ve diğ. (2009)	Açık küme	-0.070±0.011	6≤R≤13.5	2009MNRAS.399.2146W
Pedicelli ve diğ. (2009)	Sefeid	-0.051±0.004	tüm örnek	2009A&A...504...81P
Magrini ve diğ. (2009)	Açık küme	-0.053±0.029	7<R<12, τ ≤ 0.8	2009A&A...494...95M
Lemasle ve diğ. (2008)	Sefeid	-0.052±0.003	5<R<17	2008A&A...490..613L
Lemasle ve diğ. (2007)	Sefeid	-0.061±0.019	8<R<12	2007A&A...467..283L
Allende Prieto ve diğ. (2006)	FG anakol	0.008	1< Z ≤3	2006ApJ...636..804A
Chen ve diğ. (2003)	Açık küme	-0.063±0.008	6<R<15	2003AJ....125.1397C
Hou ve diğ. (2002)	Açık Küme	-0.099±0.008	6.5<R<16	2002ChJAA...2...17H
Friel ve diğ. (2002)	Açık küme	-0.060±0.010 -0.023±0.019 -0.053±0.018 -0.075±0.019	7<R<16 τ<2 2≤τ≤4 τ>4	2002AJ....124.2693F
Andrievsky ve diğ. (2002)	Sefeid	-0.130±0.030	iç disk	2002A&A...392..491A

Tablo 5.2: Literatürde 2000 yılından günümüze kadar nesnelerin bugünkü konumlarından (Z) hesaplanan Galaktik düzleme dik doğrultudaki metal bolluğu gradyentleri. Uzaklıklar kpc birimindedir.

Yazar	Nesne	$d[Fe/H]/dZ$ (dex/kpc)	Açıklama	Yayın Künyesi
Kawata ve diğ. (2018)	Anakol	-0.176 ± 0.007	$7 < R < 9$ $ Z \leq 2$	2018MNRAS.473..867K
Kawata ve diğ. (2017)	Kimyasal evrim modeli	-0.069 ± 0.115	$6 < R < 10$ $0 < r < 8$ $r > 11$	2017MNRAS.464..702K
Xiang ve diğ. (2015)	Dönüm noktası yıldızları	-0.110 ± 0.020		2015RAA....15.1209X
Huang ve diğ. (2015)	Kırmızı yığın yıldızları	-0.206 ± 0.006	$ Z \leq 1$ $7 < R \leq 8$	2015RAA....15.1240H
		-0.116 ± 0.008	$ Z \leq 1$ $8 < R \leq 9$	
		-0.052 ± 0.010	$ Z \leq 1$ $9 < R \leq 10$	
		$\sim 0.000 \pm 0.012$	$ Z \leq 1$ $10 < R \leq 11$	
		$+0.008 \pm 0.008$	$ Z \leq 1$ $11 < R \leq 12$	
		$+0.057 \pm 0.012$	$ Z \leq 1$ $12 < R \leq 13$	
		$+0.047 \pm 0.012$	$ Z \leq 1$ $13 < R \leq 14$	
Mikolaitis ve diğ. (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)	
Schlesinger ve diğ. (2014)	G anakol	$-0.243^{+0.039}_{-0.053}$	Tüm örnek	2014ApJ...791..112S
Boeche ve diğ. (2014)	Kırmızı yığın yıldızları	-0.112 ± 0.007	$0 < Z \leq 2$	2014A&A...568A..71B
Hayden ve diğ. (2014)	Kırmızı dev	-0.305 ± 0.011	$0 < Z \leq 2$	2014AJ....147..116H
Bergemann ve diğ. (2014)	F-G-K anakol	-0.068 ± 0.014	$ Z \leq 0.3$	2014A&A...565A..89B
		-0.114 ± 0.009	$0.3 < Z \leq 0.8$	
Carrell ve diğ. (2012b)	F-G-K anakol	-0.113 ± 0.010	$7 < R < 10.5$	2012AJ....144..185C
	F-G-K anakol	-0.125 ± 0.008	$7 < R < 10.5$	
Peng ve diğ. (2012)	Anakol	-0.210 ± 0.050	$0 < Z < 2$	2012MNRAS.422.2756P
Katz ve diğ. (2011)	Kırmızı Dev, Kırmızı Yığın, Yatay Kol	-0.068 ± 0.009	Kalın disk	2011A&A...525A..90K
	Alt Dev, Anakol			
Chen ve diğ. (2011)	Kırmızı yığın yıldızları	-0.120 ± 0.010	$0.5 < Z < 3$	2011AJ....142..184C
		-0.220 ± 0.070	$1 < Z < 3$	
Kordopatis ve diğ. (2011)	FGK anakol	-0.140 ± 0.050	$1 \leq Z \leq 4$	2011A&A...535A.107K
Ruchti ve diğ. (2011)	Yatay kol, kırmızı yığın, Kırmızı dev	-0.090 ± 0.050	$6 < R < 10$, $ Z < 3$	2011ApJ...737....9R
	Alt Dev, Anakol			
Yaz ve Karaali (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, Karataş ve Reid (2009)	F anakol	-0.150	$Z < 4$	2009MNRAS.395.1569S
Soubiran ve diğ. (2008)	Kırmızı yığın yıldızları	-0.300 ± 0.030	$d < 1$	2008A&A...480..91S

Tablo 5.2 (devam):

Yazar	Nesne	$d[\text{Fe}/\text{H}]/dZ$ (dex/kpc)	Açıklama	Yayın Künyesi
Ak ve diğ. (2007b)	G anakol	-0.380 ± 0.060	$3 \leq Z < 5$	2007NewA...12..605A
		-0.080 ± 0.070	$5 \leq Z < 10$	
Ak ve diğ. (2007a)	G anakol	-0.160 ± 0.020	$Z < 3$	2007AN....328..169A
		-0.220 ± 0.020	Kuzey $Z < 3$ Güney	
Allende Prieto ve diğ. (2006)	FG anakol	0.030	$1 < Z \leq 3$; [Fe/H] > -1.2	2006ApJ...636..804A
Marsakov ve Borkova (2006)	F anakol	-0.290 ± 0.060	İnce disk	2006A&AT...25..157M
Karaali ve diğ. (2003c)	G anakol	-0.200	$Z \leq 8$	2003MNRAS.343.1013K
Bartasiute ve diğ. (2003)	F anakol	-0.230 ± 0.040	$Z < 1.3$	2003BaltA..12..539B

5.4. GALAKSİ MERKEZİNDEN RADYAL DOĞRULTULARDAKİ METAL BOLLUĞU GRADYENTLERİ

Doktora tez çalışmasında, Samanyolunun oluşum ve evriminin araştırılmasında, Galaksi merkezinden radyal doğrultuda hesaplanan metal bolluğu gradyenti önemli olduğundan, yaklaşık 1.44 milyon F ve G tayf türünden anakol yıldızının yeni kalibrasyonlar ile hesaplanan fotometrik metal bolluğu ve Güneş'e uzaklıkları kullanılmıştır. Yıldızların hesaplanmış uzaklıkları bağıntı (3.25) Galaksi merkezine (R) taşınmıştır. Bu aşamadan sonra anakol yıldızları $[\text{Fe}/\text{H}] \times R$ diyagramlarına yerleştirilerek bağıntı (3.26)'da verilen doğrusal fitler ile incelenen popülasyonların radyal metal bolluğu gradyentleri hatalarıyla birlikte hesaplanmıştır. Sonuçlar EK 1'deki tablolarda listelenmiş, radyal metal bolluğu gradyentlerinin değişimleri Şekil 4.19'da gösterilmiştir.

Tez çalışmasındaki analizler sonucunda Güneş'ten $0.5 < d \leq 1$, $1 < d \leq 1.5$ ve $1.5 < d \leq 2$ kpc uzaklık aralıklarında bulunan yıldızlar için hesaplanan radyal metal bolluğu gradyentleri, sırasıyla, $d[\text{Fe}/\text{H}]/dR = -0.010 \pm 0.022$, -0.028 ± 0.013 ve -0.042 ± 0.010 dex/kpc'dir. Bununla birlikte $d = 2$ kpc uzaklıktan daha büyük 11 uzaklık aralığı için radyal metal bolluğu gradyentleri hesaplanmış ve sonuçların sıfır veya sıfıra yakın değerlerde bulunduğu, yani istatistiksel anlamlılık çerçevesinde bir metal bolluğu gradyent değişiminin olmadığı görülmüştür.

Hesaplanan metal bolluğu gradyent sonuçlarının literatür ile uyumluluğunu tartışmak için elde edilen bulgular, Tablo 5.1’de verilen çalışmalar ile karşılaştırılmıştır. Doktora tez çalışmasında yapıldığı gibi çalışmalarında F ve G tayf türündeki anakol yıldızlarını kullanan Recio-Blanco ve diğ. (2014), Mikolaitis ve diğ. (2014), Boeche ve diğ. (2013), Carrell ve diğ. (2012) ve Allende Prieto ve diğ. (2006) Galaksimizin ince disk bileşeni için Galaksi merkezinden radyal doğrultudaki metal bolluğu gradyentlerini $-0.058 \leq d[\text{Fe}/\text{H}]/dR \leq 0$ dex/kpc aralığında hesaplamışlardır. Ayrıca bu araştırmacılar içinde Allende Prieto ve diğ. (2006), Galaksimizin kalın disk bileşeni için radyal metal bolluğu gradyentini $d[\text{Fe}/\text{H}]/dR = 0.008$ dex/kpc olarak belirlemiştir. Tez çalışmasında $0.5 < d \leq 1$ kpc uzaklık aralığı için hesaplanan radyal doğrultudaki metal bolluğu gradyenti $d[\text{Fe}/\text{H}]/dR = -0.011 \pm 0.022$ dex/kpc olup bu bulgu SEGUE verilerindeki dönüm noktası yıldızlarını aynı uzaklık aralığı için tayfsal olarak inceleyen Cheng ve diğ. (2012)’nin verdiği $d[\text{Fe}/\text{H}]/dR = -0.013^{+0.009}_{-0.002}$ dex/kpc değeriyle çok uyumludur. *Gaia-ESO* taramasında tayfsal çözünürlüğü $\sim 20,000$ olan FLAMES/GIRAFFE tayfçekerisiyle yaklaşık 2,000 FGK anakol ve evrimleşmiş yıldızların tayfsal analizlerini yapan Mikolaitis ve diğ. (2014) örneklerindeki yıldızların alfa bolluklarıyla demir bollukları arasındaki ilişkiden faydalanarak yıldızların popülasyon ayırımını yapmış ve popülasyonların etkin bulundukları bölgelerden radyal metal bolluğu gradyentlerini hesaplamışlardır. Çalışmada ince disk ve kalın disk bileşenleri için hesaplanan radyal metal bolluğu gradyentleri, sırasıyla, -0.044 ± 0.009 ve $+0.008 \pm 0.007$ dex/kpc’tir. Mikolaitis ve diğ. (2014) tarafından verilen bu sonuçlar, tez çalışmasında ince disk bileşenin $1.5 < d \leq 2$ ($1.31 < Z \leq 1.74$) kpc uzaklığında hesaplanan $d[\text{Fe}/\text{H}]/dR = -0.042 \pm 0.010$ dex/kpc ile kalın disk bileşeninin $2 < d \leq 3$ ($1.74 < Z \leq 2.62$), $3 < d \leq 4$ ($2.62 < Z \leq 3.49$) ve $4 < d \leq 5$ ($3.49 < Z \leq 4.36$) kpc uzaklık aralıkları için hesaplanan radyal metal bollukları, sırasıyla, $d[\text{Fe}/\text{H}]/dR = 0.013 \pm 0.014$, $d[\text{Fe}/\text{H}]/dR = +0.011 \pm 0.012$ ve $d[\text{Fe}/\text{H}]/dR = -0.006 \pm 0.007$ dex/kpc’lik değerleriyle çok iyi uyum sağlamaktadır. *Gaia – ESO* taramasındaki FGK tayf türündeki anakol yıldızları kullanan Recio-Blanco ve diğ. (2014) kalın disk ile ince disk arasındaki geçiş bölgesini incelemiştir. GIRAFFE tayfçekeri kullanılarak 1,016 yıldızın yüksek çözünürlüklü tayfsal gözlemlerinin yapıldığı çalışmada, yıldızların popülasyon ayırımı alfa element bolluğuyla demir bollukları arasındaki ilişkiden yapılmış ve ayırım kinematik olarak sınanmıştır. Galaktik düzlemden $|Z| = 4$ kpc ve Galaksi merkezinden 2 ile 13 kpc aralığındaki yıldızlardan ince ve kalın disk için radyal metal bolluğu gradyentleri, sırasıyla, -0.058 ± 0.008 ve $+0.006 \pm 0.008$ dex/kpc olarak hesaplanmıştır. Recio-Blanco ve diğ. (2014)’nin elde ettiği bulgular doktora tez çalışmasında

ince disk için hesaplanan $d[\text{Fe}/\text{H}]/dR = -0.042 \pm 0.010$ dex/kpc değerden biraz küçük iken, kalın disk için hesaplananlarla ($-0.006 \pm 0.007 \leq d[\text{Fe}/\text{H}]/dR \leq +0.013 \pm 0.014$ dex/kpc) oldukça uyumludur.

Literatürde $Z \leq 1$ kpc uzaklık aralığı için verilen metal bolluğu gradyent çalışmalarına ait sonuçlar genel olarak tez çalışmasında elde edilen bulgulara yakındır. Kawata ve diğ. (2018) ve Allende Prieto ve diğ. (2006) ince disk için Galaksi merkezinden radyal doğrultular için hesaplanan metal bolluğu gradyentlerinin bulunmadığını gösterirken, Güneş komşuluğunda en büyük radyal metal bolluğu gradyentini $d[\text{Fe}/\text{H}]/dR = -0.20 \pm 0.09$ dex/kpc olarak Frinchaboy ve diğ. (2014) vermiştir. Literatürde (bkz Tablo 5.1), Galaksi merkezinden radyal doğrultu için hesaplanan metal bolluğu gradyentleri ince disk için $-0.2 \leq d[\text{Fe}/\text{H}]/dR \leq 0$ dex/kpc aralığında değişirken kalın disk ve halo bileşenleri için verilen metal bolluğu gradyentleri sıfıra yakın negatif veya pozitif değerlerdedir. Tez çalışmasında ince disk bileşeni için hesaplanan en büyük metal bolluğu gradyenti $d[\text{Fe}/\text{H}]/dR = -0.042 \pm 0.010$ dex/kpc olup bu değer literatürde verilenin %20'si kadardır (Frinchaboy ve diğ., 2014). Tez çalışmasında rölatif olarak daha küçük radyal metal bolluğu gradyent hesaplanmasının nedeni çalışmada seçilen yıldız alanlarının orta/yüksek Galaktik enlemlerde olmasıdır ki bu da görüş alanındaki ince disk yıldızlarının artan g görünen parlaklıklarıyla hızlı bir şekilde azaldığını göstermektedir. Ayrıca çalışmamızdaki yıldız alanlarının $b > 50^\circ$ olması, Galaksimizdeki kalın disk ve halo yıldızlarının baskın olduğunu ve bu nedenle fotometrik olarak belirlenen metal bolluğu dağılımlarının bu bileşenler için hesaplanan metal bolluğu gradyentlerinin daha duyarlı tayin edilmesine yardımcı olmaktadır.

5.5. GALAKTİK DÜZLEMDEN DİK DOĞRULTULARDAKİ METAL BOLLUĞU GRADYENTLERİ

Samanyolunun oluşumu ve evriminin incelenmesinde, Galaktik düzlemden dik doğrultudaki uzaklıklar için metal bolluğu gradyentinin bulunması ELS (1962) senaryosunda bahsedildiği gibi ilkel bir galaksi bulutunun hızlı bir şekilde çökerek Galaktik bileşenleri oluşturduğuna dair ipuçları verir. Doktora tez çalışmasında yaklaşık 1.44 milyon F ve G tayf türündeki anakol yıldızının Galaktik düzleme dik doğrultulardaki metal bolluğu gradyent hesaplamalarında, Galaksi merkezinden üç farklı radyal uzaklık ($6 < R \leq 10$, $10 < R \leq 15$ ve $15 < R \leq 20$ kpc) ve popülasyonların Galaktik düzlemden dik uzaklıklardaki yedi etkinlik bölgesi ($0.5 < Z \leq 2$, $2 < Z \leq 5$, $5 < Z \leq 5$, $5 < Z \leq 10$, $7 < Z \leq 10$, $10 < Z \leq 12$ ve $10 < Z \leq 15$), dört Galaktik çeyrek

($0^\circ < l \leq 90^\circ$, $90^\circ < l \leq 180^\circ$, $180^\circ < l \leq 270^\circ$ ve $270^\circ < l \leq 360^\circ$) ve üç Galaktik enlem ($50^\circ < b \leq 65^\circ$, $65^\circ < b \leq 80^\circ$ ve $80^\circ < b \leq 90^\circ$) aralıkları dikkate alınmıştır. Bu sınırlamalar altında 1.44 milyon yıldızdan oluşan büyük örnek 96 alt gruba ayrılmış ve her bir alt grup için hesaplanan metal bolluğu gradyentleri Tablo 4.11’de, literatürden derlenen metal bolluğu gradyentleri de Tablo 5.2’de verilmiştir.

Tez çalışmasında ince disk bileşeninin etkin olduğu $6 < R \leq 10$ ve $0.5 < Z \leq 2$ kpc uzaklık aralıklarında Galaktik düzlemden dik doğrultular için hesaplanan metal bolluğu gradyentleri Galaktik çeyreklere ve Galaktik enlemlere bağlı olmadığı ve $-0.367 \leq d[\text{Fe}/\text{H}]/dZ \leq -0.296$ dex/kpc’lik dar bir aralıkta dağılım verdiği tespit edilmiştir (bkz Tablo 4.11). Bu bulgu, APOGEE taramasında yaklaşık 20,000 kırmızı dev yıldızın tayfsal analizlerin yapan Hayden ve diğ. (2014)’nin $6 < R \leq 10$ ve $|Z| \leq 2$ kpc uzaklık aralıklarından hesapladıkları ortalama metal bolluğu gradyenti $d[\text{Fe}/\text{H}]/dZ = -0.305 \pm 0.011$ dex/kpc ile oldukça uyumludur. Karaali ve diğ. (2005) fotometrik metal bolluğu ve mutlak parlaklık bağıntılarını SDSS DR6’dan (Adelman-McCarthy ve diğ., 2008) seçilen orta Galaktik enlemlerde bulunan 20 yıldız alanında $Z < 2.5$ kpc uzaklık aralığındaki G tayf türündeki anakol yıldızlarına uygulayan Yaz ve Karaali (2010) ve ince diskte bulunan F anakol yıldızlarını inceleyen Marsakov ve Barkova (2006) Galaktik düzlemden dik doğrultulardaki metal bolluğu gradyentleri, sırasıyla, $d[\text{Fe}/\text{H}]/dZ = -0.32 \pm 0.01$ ve $d[\text{Fe}/\text{H}]/dZ = -0.29 \pm 0.06$ dex/kpc olarak hesaplamıştır. Bu sonuçlar tez çalışmasında ince disk popülasyonu için hesaplanan metal bolluğu gradyent değerleriyle uyum içerisindedir.

Literatürde ince disk bileşenindeki anakol yıldızlarını ve kimyasal evrim modeli yaparak inceleyen Kawata ve diğ. (2018; 2017) Galaktik düzlemden dik doğrultulardaki metal bolluğu gradyentlerini, sırasıyla, $d[\text{Fe}/\text{H}]/dZ = -0.176 \pm 0.007$ ve $d[\text{Fe}/\text{H}]/dZ = -0.069 \pm 0.115$ dex/kpc ve Galaktik düzlemden $Z < 2$ kpc uzaklık aralığında BATC ve SDSS taramasından seçilen yaklaşık 40,000 anakol yıldızlarını inceleyen Peng ve diğ. (2012) metal bolluğu gradyentini $d[\text{Fe}/\text{H}]/dZ = -0.21 \pm 0.05$ dex/kpc olarak vermektedirler. Literatürdeki bu sonuçlar tez çalışmasındaki bulgulara göre, Kawata ve diğ. (2017)’nin kimyasal evrim modeli dışında, yaklaşık %33 oranında daha küçük hesaplanmıştır. Çalışmalardaki uzaklık aralıklarının hemen hemen aynı olmasına karşın sonuçların istatistiksel anlamlılık düzeyinde farklı olmasının sebebi örneklerin seçimine ve araştırmacıların $0 < Z \leq 2$ kpc yerine $0.5 < Z \leq 2$ kpc aralığındaki yıldızları kullanmalarıdır. Tez çalışmasında kalın disk bileşeninin etkin olduğu $6 < R \leq 10$,

$10 < R \leq 15$ ve $2 < Z \leq 5$ kpc uzaklık aralıklarında yıldız sayıları 500'den büyük olanların Galaktik düzlemden dik doğrultular için hesaplanan metal bolluğu gradyentleri Galaktik çeyreklere ve Galaktik enlemlere bağlı olmadığı ve $-0.174 \leq d[\text{Fe}/\text{H}]/dZ \leq -0.105$ dex/kpc'lik dar bir aralıkta dağılım verdiği tespit edilmiştir (bkz Tablo 4.11). Galaktik koordinatları $l = 277^\circ$ ve $b = 47^\circ$ bir yıldız alanında VLT teleskobunun odak düzlemindeki FLAMES/GIRAFFE tayfçekerleriyle 700 FGK tayf türündeki yıldızların analizleri yapan Kordopatis ve diğ. (2011), kinematik analizlerden yıldızların popülasyon ayrımını yapmış ve kalın disk bileşeni ($1 \leq Z \leq 4$ kpc) için Galaktik düzlemden dik doğrultudaki metal bolluğu gradyentini $d[\text{Fe}/\text{H}]/dZ = -0.14 \pm 0.05$ dex/kpc hesaplamıştır. SA 141 yıldız alanındaki 368 anakol yıldızını CCD *UBVRI* filtreleriyle inceleyen Siegel, Karataş ve Reid (2009), Karataş ve Schuster (2005)'in geliştirmiş olduğu fotometrik metal bolluğu ve mutlak parlaklık kalibrasyonlarıyla alan yıldızlarının metal bolluklarını ve Galaktik düzlemden dik doğrultulardaki uzaklıklarıyla ($Z > 4$ kpc) ilişkilendirerek metal bolluğu gradyentini $d[\text{Fe}/\text{H}]/dZ = -0.15$ dex/kpc olarak tayin etmiştir. Orta Galaktik enlemleri simetrik iki yıldız alanında G tayf türündeki anakol yıldızlarının SDSS fotometrik verilerini kullanan Ak ve diğ. (2007b), Karaali ve diğ. (2005)'nin fotometrik metal bolluğu ve mutlak parlaklık kalibrasyonlarıyla yıldızların metal bolluklarını ve Galaktik düzlemden dik doğrultulardaki uzaklıklarını tayin etmişlerdir. Kuzey ve güney Galaktik yarıkürelerdeki iki yıldız alanı için hesaplanan metal bolluğu gradyentleri, sırasıyla, $d[\text{Fe}/\text{H}]/dZ = -0.16 \pm 0.20$ ve $d[\text{Fe}/\text{H}]/dZ = -0.22 \pm 0.20$ dex/kpc'dir. Literatürde farklı araştırma tekniklerini kullanarak hesaplanan metal bolluğu gradyentleri tez çalışmasındaki sonuçlar ile oldukça uyumludur.

Gaia-ESO taraması çerçevesinde tayfsal çözünürlüğü $\sim 20,000$ olan FLAMES/GIRAFFE tayfçekerleriyle incelenen yaklaşık 2,000 FGK anakol ve evrimleşmiş yıldızın tayfsal analizleri sonucu alfa ve demir element bolluklarının inceleyen Mikolaitis ve diğ. (2014), Galaksimizin disk yapısını araştırmıştır. Tayfsal analizler sonucu model atmosfer parametreleri belirlenmiş yıldızların popülasyon ayrımında yüksek/düşük alfa element bolluğu değerleri dikkate alınarak yıldızların element bolluklarıyla yüzey çekim ivmesinden hesaplanan uzaklıkları arasında kurulan ilişkiler sonucunda Galaktik düzlemden dik doğrultudaki metal bolluğu gradyentini $d[\text{Fe}/\text{H}]/dZ = -0.037 \pm 0.016$ dex/kpc hesaplamışlardır. Haute Provence ve Kanada – Fransa – Hawai gözlem evlerinde bulunan teleskoplara takılı, sırasıyla, CARELEC ve MOS-SIS tayfçekerlerini kullanarak $12 < V < 18$ görünen parlaklık aralığında bulunan yaklaşık 400

kırmızı dev kolu, kırmızı yığın, yatay kol, alt dev ve anakol yıldızlarının tayfsal analizini yapan Katz ve diğ. (2011), yıldızların model atmosfer parametrelerini hesaplamıştır. Kinematik yöntemler kullanılarak belirlenen kalın disk yıldızları için Galaktik düzlemden dik doğrultudaki metal bolluğu gradyenti $d[\text{Fe}/\text{H}]/dZ = -0.068 \pm 0.009$ dex/kpc belirlenmiştir. RAVE DR2'den (Zwitter ve diğ., 2008) seçilen metalce fakir 214 kırmızı dev kolu, 31 kırmızı yığın/yatay kol ve 74 altdev/anakol yıldızının tayfsal analizini gerçekleştiren Ruchti ve diğ. (2011), kinematik analizler sonucu uzaklıkları $Z < 3$ kpc olan kalın disk yıldızları için Galaktik düzlemden dik doğrultulardaki metal bolluğu gradyentini $d[\text{Fe}/\text{H}]/dZ = -0.09 \pm 0.05$ dex/kpc olarak belirlemişlerdir. Yukarıda bahsedilen güncel çalışmalarda kalın disk için hesaplanan metal bolluğu gradyentlerinin kabaca $d[\text{Fe}/\text{H}]/dZ = -0.10$ dex/kpc değerinden küçük olduğu tespit edilmiştir. Buna karşın literatürdeki bazı çalışmalar da $d[\text{Fe}/\text{H}]/dZ = -0.30$ dex/kpc civarında değerler vermektedir. Bunlara örnek olarak Karaali ve diğ. (2005)'nin fotometrik metal bolluğu ve mutlak parlaklık kalibrasyonlarını kullanan Yaz ve Karaali (2010) ve Ak ve diğ. (2007a) Galaktik düzlemden $3 < Z < 5.5$ kpc uzaklık aralıklarındaki F ve G tayf türündeki anakol yıldızlarından Galaktik düzlemden dik doğrultulardaki metal bolluğu gradyentleri, sırasıyla, $d[\text{Fe}/\text{H}]/dR = -0.30 \pm 0.06$ ve $d[\text{Fe}/\text{H}]/dR = -0.38 \pm 0.06$ dex/kpc vermiştir. Literatürden derlenen metal bolluğu gradyentlerinin tez çalışmasında elde edilenler ile uyumlu olmasına karşın sınır değerlerde olan bazı çalışmalarında bulunduğu görülmüştür. Artan tayfsal gökyüzü tarama programlarının *Gaia* uydusunun duyarlı trigonometrik paralaks verileriyle bir arada incelenmesi önümüzdeki yıllarda Galaksimizdeki metal bolluğu çalışmalarına daha fazla katkı sağlayarak literatürdeki farklı sonuçların ortadan kaldırılmasına fırsat verecektir.

Tez çalışmasında halo bileşeni için hesaplanan metal bolluğu gradyentleri dikkate alındığında sıfıra yakın veya pozitif değerlerde bulunduğu görülmüştür (Tablo 4.11). Bu sonuçlar literatürdeki birçok çalışmayla uyumludur. Bir karşılaştırma yapıldığında orta Galaktik enlemler ve $5 < Z \leq 10$ kpc uzaklık aralığındaki halo yıldızları için Ak ve diğ. (2007a) metal bolluğu gradyentini $d[\text{Fe}/\text{H}]/dR = -0.08 \pm 0.07$ dex/kpc verirken, Yaz ve Karaali (2010) $6 < Z \leq 10$ kpc uzaklık aralığı için $d[\text{Fe}/\text{H}]/dR = -0.01 \pm 0.01$ dex/kpc vermektedir.

5.6. GALAXIA VERİLERİYLE GÖZLEMSEL VERİLERDEN HESAPLANAN METAL BOLLUĞU GRADYENTLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Doktora tez çalışmasında SDSS DR12'den (Alam ve diğ., 2012) seçilen F ve G tayf türündeki anakol yıldızlarının yeni metal bolluğu ve mutlak parlaklık kalibrasyonlarıyla hesaplanan metal bollukları ve uzaklık verilerinden Galaksimizin farklı bileşenleri için hesaplanan Galaksi merkezinden radyal ve Galaktik düzleme dik doğrultulardaki metal bolluğu gradyent değerleri Bölüm 3.9'da detayları verilen teorik yıldız sayımı yapan *Galaxia* yazılımıyla (Sharma ve diğ., 2011) da sınanmıştır.

Doktora tez çalışmasındaki sonuçlarını *Galaxia* modeliyle karşılaştırabilmek için çalışmada incelenen yıldız alanının büyüklüğü, kullanılan tayf türü, incelenen yıldızların görünen parlaklık aralığı gibi sınırlamalar *Galaxia* modeline tanıtılmış ve bu girdi parametrelerinden sentetik yıldız sayıları elde edilmiştir. Bunun için öncelikle Galaktik enlemi $b > 50^\circ$ olan 5,280 derecelik yıldız alanı için SDSS fotometrik verileri bulunan yıldızlar üretilmiştir. Seçilen yıldız alanı içindeki F ve G tayf türündeki anakol yıldızlarını belirleyebilmek için sentetik yıldızlara ışınma gücü sınıfı $4 < \log g \text{ (cgs)} < 5$ ve yüzey sıcaklıkları $5,310 \leq T_{\text{eff}} \text{ (K)} \leq 7,310$ sınırlamaları getirilmiştir. Son olarak, tez çalışmasındaki gözlemsel SDSS fotometrik verileri $14 < g_o \leq 20$ kadir aralığında bulunduğundan üretilen yıldızlara bu sınırlama getirilerek sentetik yıldız sayısı 2,230,167 olmuştur.

Galaxia modeliyle üretilen sentetik yıldızlardan radyal metal bolluğu gradyentlerini hesaplayabilmek için 2,230,167 F ve G tayf türündeki yıldızın Güneş'e uzaklıkları bağıntı (3.25) ile Galaksi merkezine taşınmıştır. Farklı Galaktik popülasyonlarda bulunan yıldızları $[\text{Fe}/\text{H}] \times R$ diyagramlarına yerleştirerek bağıntı (3.26) verilen doğrusal fitlerin bu yıldızlara uygulanmasıyla incelenen popülasyonların radyal metal bolluğu gradyentleri hatalarıyla birlikte hesaplanmıştır. Tez çalışmasında SDSS fotometrik gözlemlerinden radyal metal bolluğu gradyent araştırmalarında izlenen yol *Galaxia* model verilerine uygulanmış ve sentetik yıldızlar 20'şer derecelik Galaktik boylam aralıklarına ($0^\circ < l \leq 20^\circ$, $20^\circ < l \leq 40^\circ$, ..., $320^\circ < l \leq 340^\circ$ ve $340^\circ < l \leq 360^\circ$) ve her bir boylam aralığındaki yıldızlar da Güneş'e uzaklıklarına göre $0.5 < d \leq 1$, $1 < d \leq 1.5$, $1.5 < d \leq 2$, ..., $14 < d \leq 16$ kpc olacak şekilde 18 alt gruba ayrılmıştır. 18 alt gruptaki ortalama $[\text{Fe}/\text{H}]$ metal bolluğu değerlerinin hesaplanması için yıldızların seçilen uzaklıkları aralıkları da dikkate alınarak metal bolluğu histogramları

oluşturulmuştur. Bu metal bolluğu histogramlarından Gauss eğrileri geçirilerek de dağılımların ortalama metal bollukları hesaplanmıştır. Sentetik yıldızlar 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 denk gelen yıldız sayısı, medyan R ve Z değerleri elde edilmiştir. Her bir alt grup için yıldızların ortalama metal bolluklarının belirlenmesinde seçilen uzaklık aralıkları dikkate alınarak metal bolluğu histogramları çizilmiş ve bu dağılımlara Gauss eğrileri fit edilmiştir. Bu şekilde her bir uzaklık aralığı için ortalama bir metal bolluğu değeri hatasıyla birlikte hesaplanmıştır.

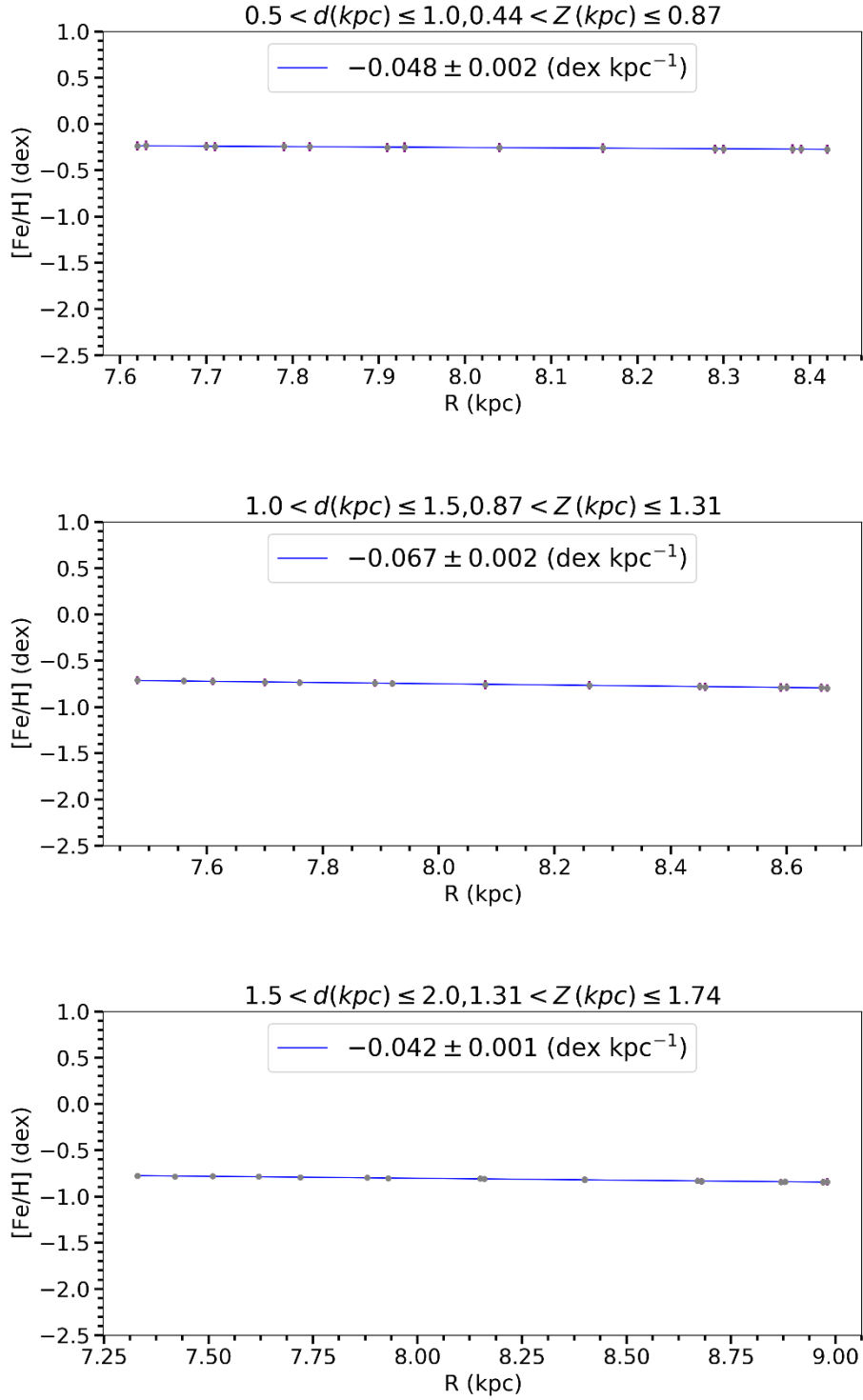
Farklı doğrultulardaki yıldız alanları için radyal metal bolluğu gradyentinin elde edilmesinde her bir yıldız alanında seçilen uzaklık aralıklarının ağırlıklandırılmış metal bollukları ($[Fe/H]$) ile Galaksi merkezinden uzaklıkları (R) arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Böylece seçilen 14 uzaklık aralığı için radyal metal bolluğu gradyent hesabı yapılmıştır. Her bir uzaklık aralığındaki yıldızların metal bolluklarıyla Galaksi merkezinden uzaklıkları arasında oluşturulan grafiklerde verilere doğrusal fitler geçirilmek suretiyle radyal metal bolluğu gradyentleri hesaplanmıştır (Şekil 5.8). Güneş civarından uzaklaştıkça yıldızların ortalama metal bolluklarının azaldığı, Galaksi merkezinden olan uzaklıklarının da arttığı görülmektedir. Güneş'ten uzaklaştıkça radyal metal bolluğu gradyentlerinin negatif değerlerden sıfıra doğru yaklaştığı Şekil 5.8'den 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 gradyentleri, sırasıyla, -0.048 ± 0.002 , -0.067 ± 0.002 ve -0.042 ± 0.001 dex/kpc'tir. Tez çalışmasında gözlemsel SDSS fotometrik verilerinden ve *Galaxia* modelinin sentetik verilerinden hesaplanan radyal metal bolluğu gradyent değerleri hatalarıyla birlikte Tablo 5.3'de listelenmiştir. Güneş'e en yakın üç uzaklık aralığında ($0.5 < d < 1$, $1 < d < 1.5$ ve $1.5 < d < 2$ kpc) hem gözlemsel hem de sentetik verilerden hesaplanan radyal metal bolluğu gradyent değerlerinin negatif oldukları ve birbirleriyle uyumlu olduğu tespit edilmiştir. Daha uzakta bulunan yıldızlardan hesaplanan radyal metal bolluğu gradyentleri de sıfıra yakındır.

Tablo 5.3: Gözlemsel ve sentetik yöntemler ile 14 uzaklık aralığı için hesaplanmış radyal metal bolluğu gradyentleri.

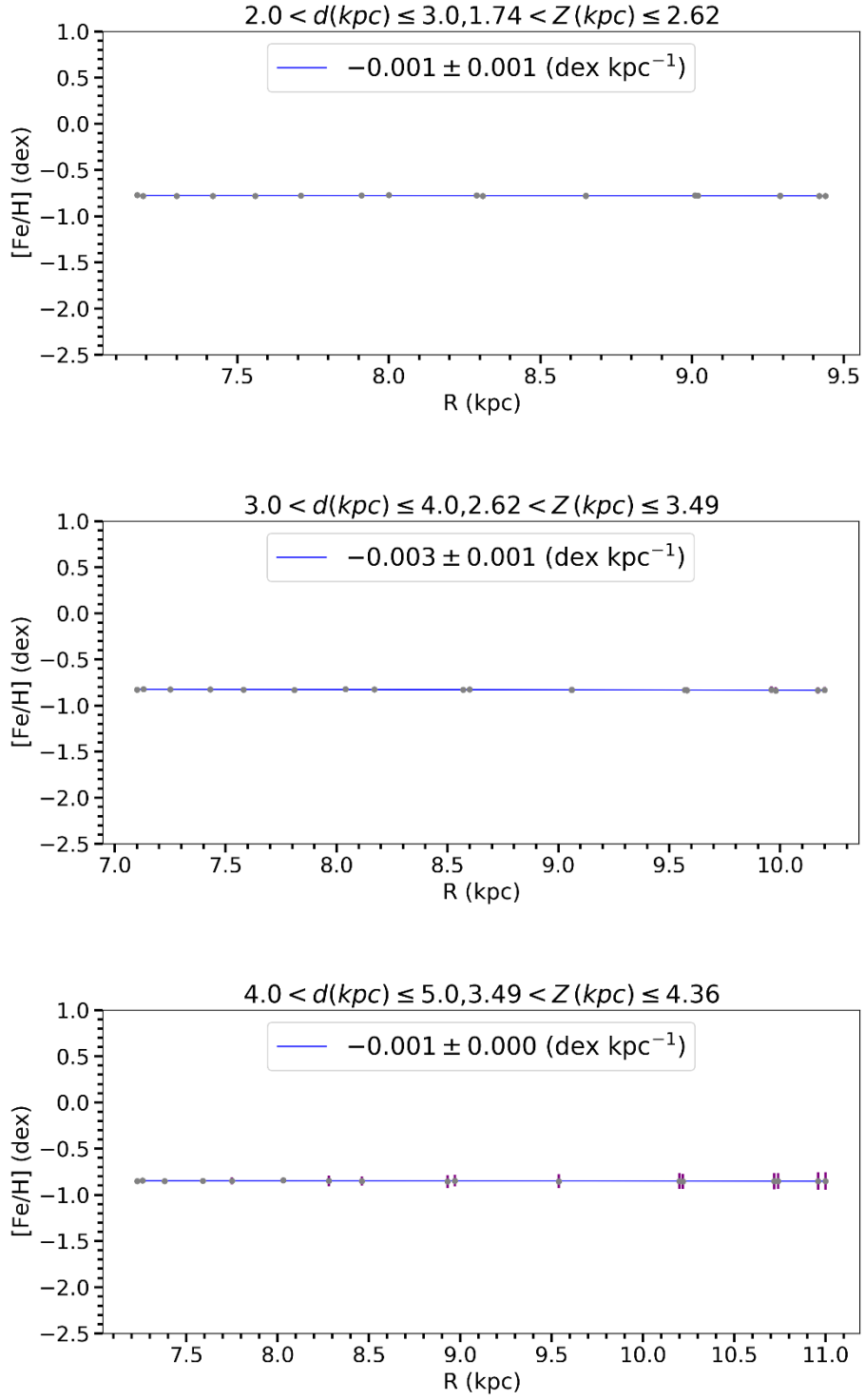
$d_1 - d_2$ uzaklık aralığı (kpc)	$Z_1 - Z_2$ uzaklık aralığı (kpc)	Gözlemsel $d[\text{Fe}/\text{H}]/dR$ (dex/kpc)	Sentetik $d[\text{Fe}/\text{H}]/dR$ (dex/kpc)
$0.5 < d \leq 1$	$0.44 < Z \leq 0.87$	-0.010 ± 0.022	-0.048 ± 0.002
$1 < d \leq 1.5$	$0.87 < Z \leq 1.31$	-0.028 ± 0.013	-0.067 ± 0.002
$1.5 < d \leq 2$	$1.31 < Z \leq 1.74$	-0.042 ± 0.010	-0.042 ± 0.001
$2 < d \leq 3$	$1.74 < Z \leq 2.62$	$+0.013 \pm 0.014$	-0.001 ± 0.001
$3 < d \leq 4$	$2.62 < Z \leq 3.49$	$+0.011 \pm 0.012$	-0.003 ± 0.001
$4 < d \leq 5$	$3.49 < Z \leq 4.36$	-0.006 ± 0.007	-0.001 ± 0.000
$5 < d \leq 6$	$4.36 < Z \leq 5.23$	-0.006 ± 0.007	-0.002 ± 0.000
$6 < d \leq 7$	$5.23 < Z \leq 6.10$	$+0.005 \pm 0.009$	-0.002 ± 0.000
$7 < d \leq 8$	$6.10 < Z \leq 6.98$	-0.002 ± 0.008	$+0.002 \pm 0.000$
$8 < d \leq 9$	$6.98 < Z \leq 7.85$	$+0.006 \pm 0.009$	-0.001 ± 0.000
$9 < d \leq 10$	$7.85 < Z \leq 8.72$	$+0.011 \pm 0.007$	$+0.001 \pm 0.000$
$10 < d \leq 12$	$8.72 < Z \leq 10.46$	$+0.015 \pm 0.007$	-0.001 ± 0.000
$12 < d \leq 14$	$10.46 < Z \leq 12.21$	$+0.009 \pm 0.008$	$+0.001 \pm 0.000$
$14 < d \leq 16$	$12.21 < Z \leq 13.95$	$+0.013 \pm 0.009$	-0.001 ± 0.000

Gözlemsel ve sentetik verilerden hesaplanan radyal metal bolluğu gradyent sonuçları $Z = 2$ kpc uzaklığına kadar negatif değerlerdeyken, bu uzaklığın ötesinde metal bolluğu gradyentleri sıfıra yakın ya da pozitif değerlerdedir. İnce disk bileşenin etkin olduğu $Z < 2$ kpc uzaklık aralığında gözlemsel verilerden hesaplanan bir radyal metal bolluğu gradyentinin elde edilmesi *Galaxia* modeliyle de desteklenmiştir. Bununla birlikte, kalın disk ve halo bileşenlerinin etkin olduğu bu uzaklığın ötesinde ise radyal metal bolluğu gradyentinin bulunmadığı görülmektedir. Tez çalışmasında ince disk popülasyonun hâkim olduğu uzaklık aralıkları için hem gözlemsel hem de sentetik verilerden hesaplanan negatif radyal metal bolluğu gradyentleri, Chiappini ve diğ. (1997) tarafından önerilen ikili çökme modelini desteklemektedir.

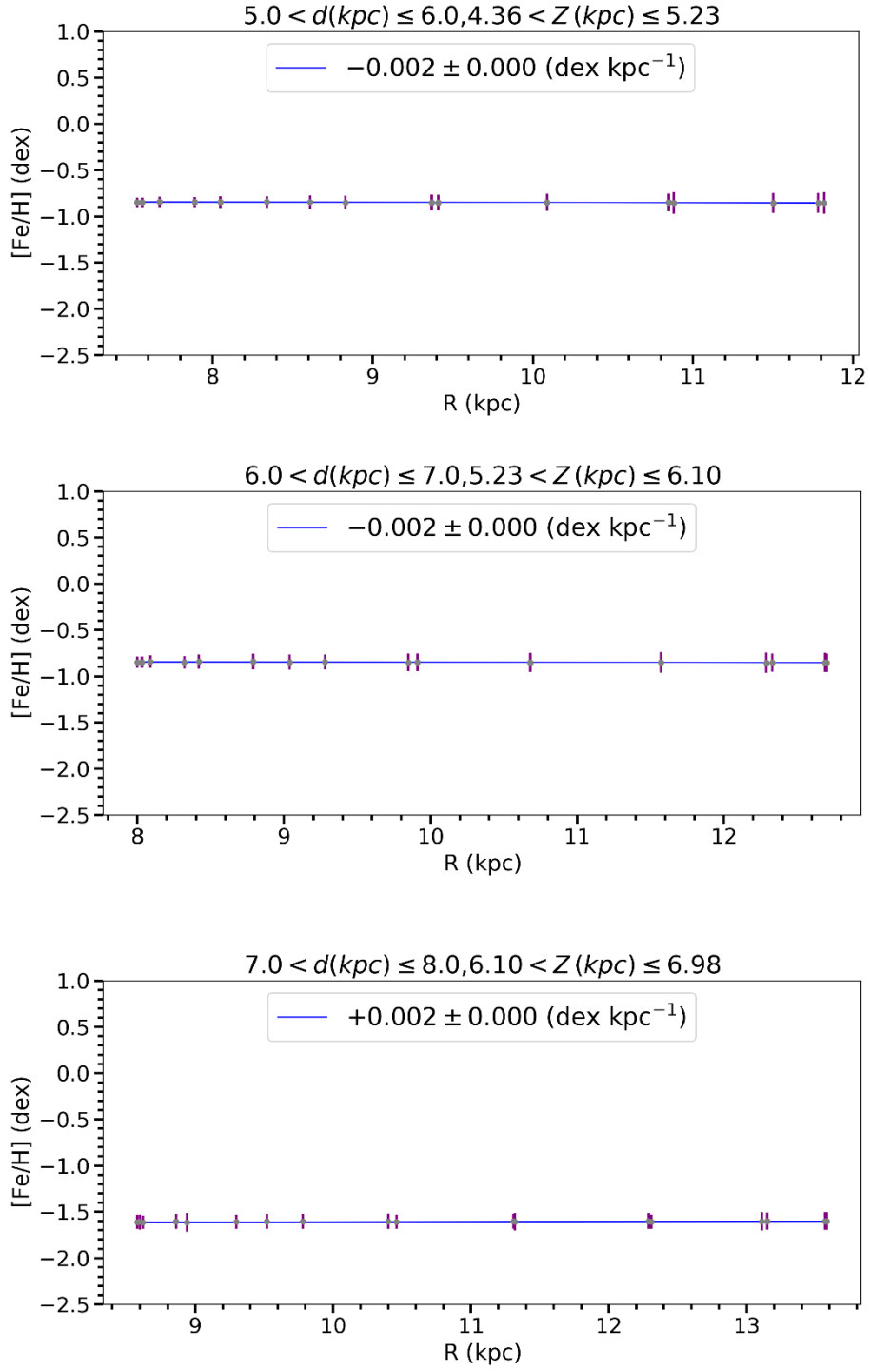
Doktora tez çalışmasında Galaktik düzlemden dik doğrultularda hesaplanan gözlemsel metal bolluğu gradyent değerlerinin karşılaştırılması için yine *Galaxia* modellerine başvurulmuştur. *Galaxia* modeliyle üretilen yıldızlar, gözlemsel verilerde yapıldığı gibi, Galaksi merkezinden radyal doğrultuda seçilen $6 < R \leq 10$, $10 < R \leq 15$ ve $15 < R \leq 20$ kpc üç uzaklık aralığına ayrılmış ve Galaktik düzlemden de farklı Z uzaklık aralıklarına bölünmüştür. Tez çalışmasında gözlemsel veriler için kullanılan sınırlamalar ile belirlenen Galaktik düzleme dik doğrultulardaki metal bolluğu gradyentleri sentetik yıldızlar için de hesaplanmıştır. Sonuçlar Şekil 5.9 ve hesaplanan metal bolluğu gradyentleri Tablo 5.4'de listelenmiştir.



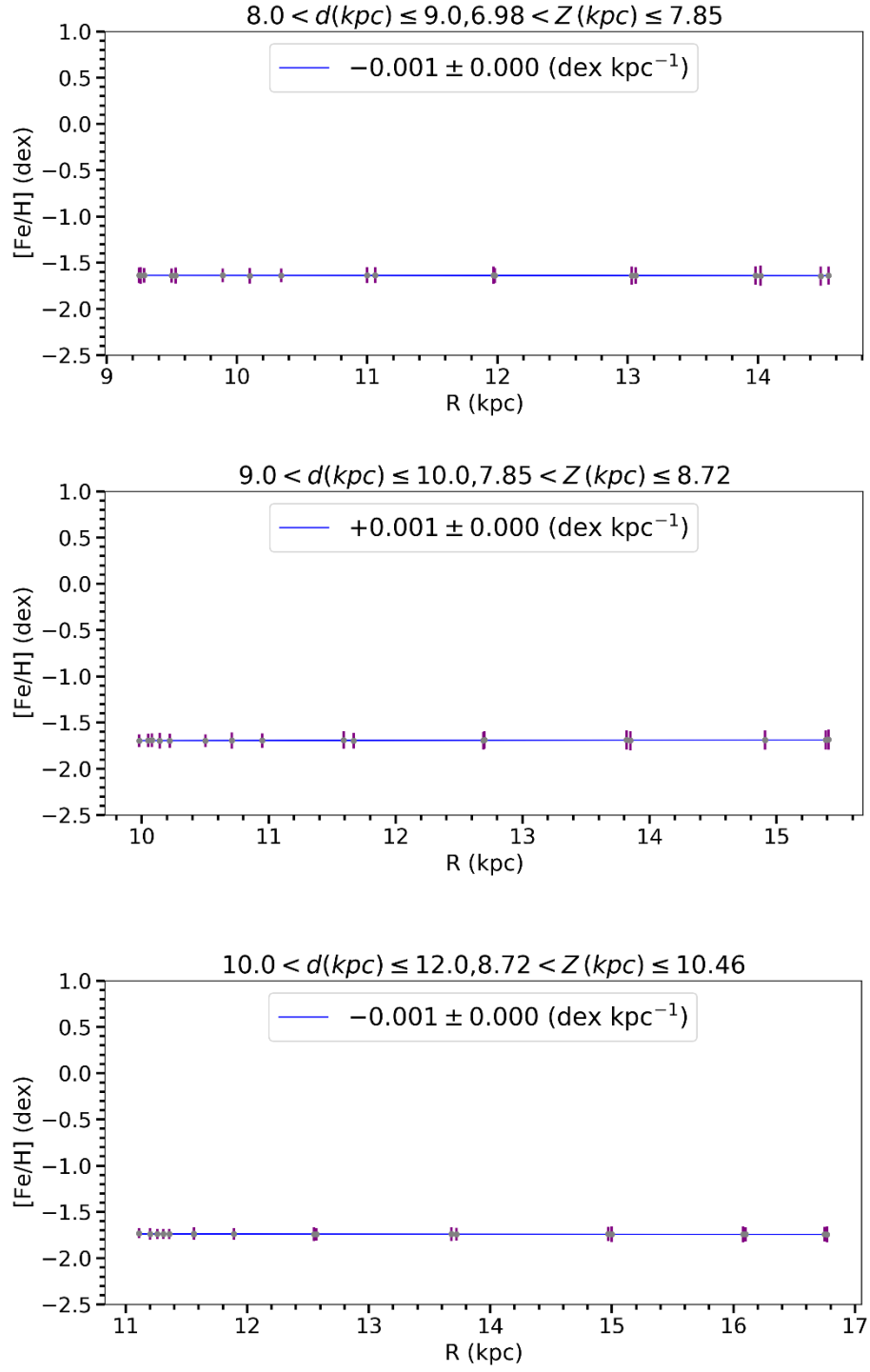
Şekil 5.8: *Galaxia* modeliyle belirlenen sentetik yıldızların, 14 alt uzaklık aralığı için hesaplanan radyal metal bolluğu gradyanları. Panellerdeki mavi çizgiler verilere uygulanan doğrusal fitleri, kırmızı çizgiler metal bolluklarına ait standart hataları göstermektedir.



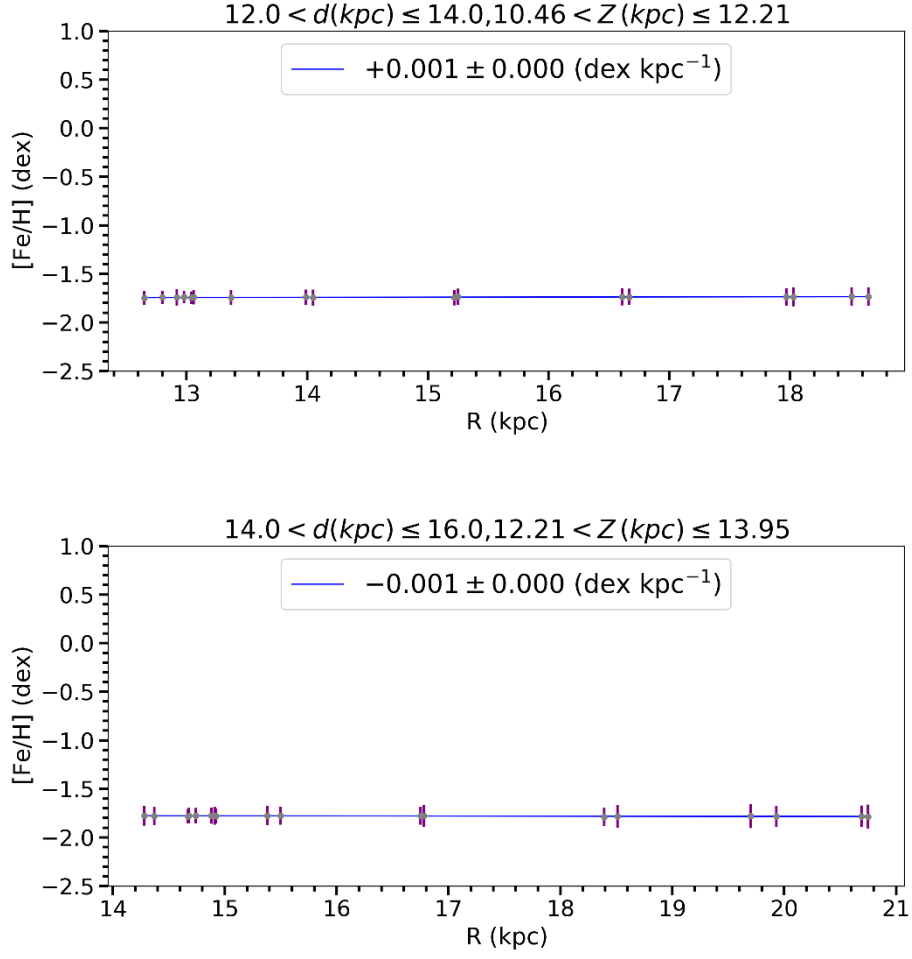
Şekil 5.8 (devam):



Şekil 5.8 (devam):



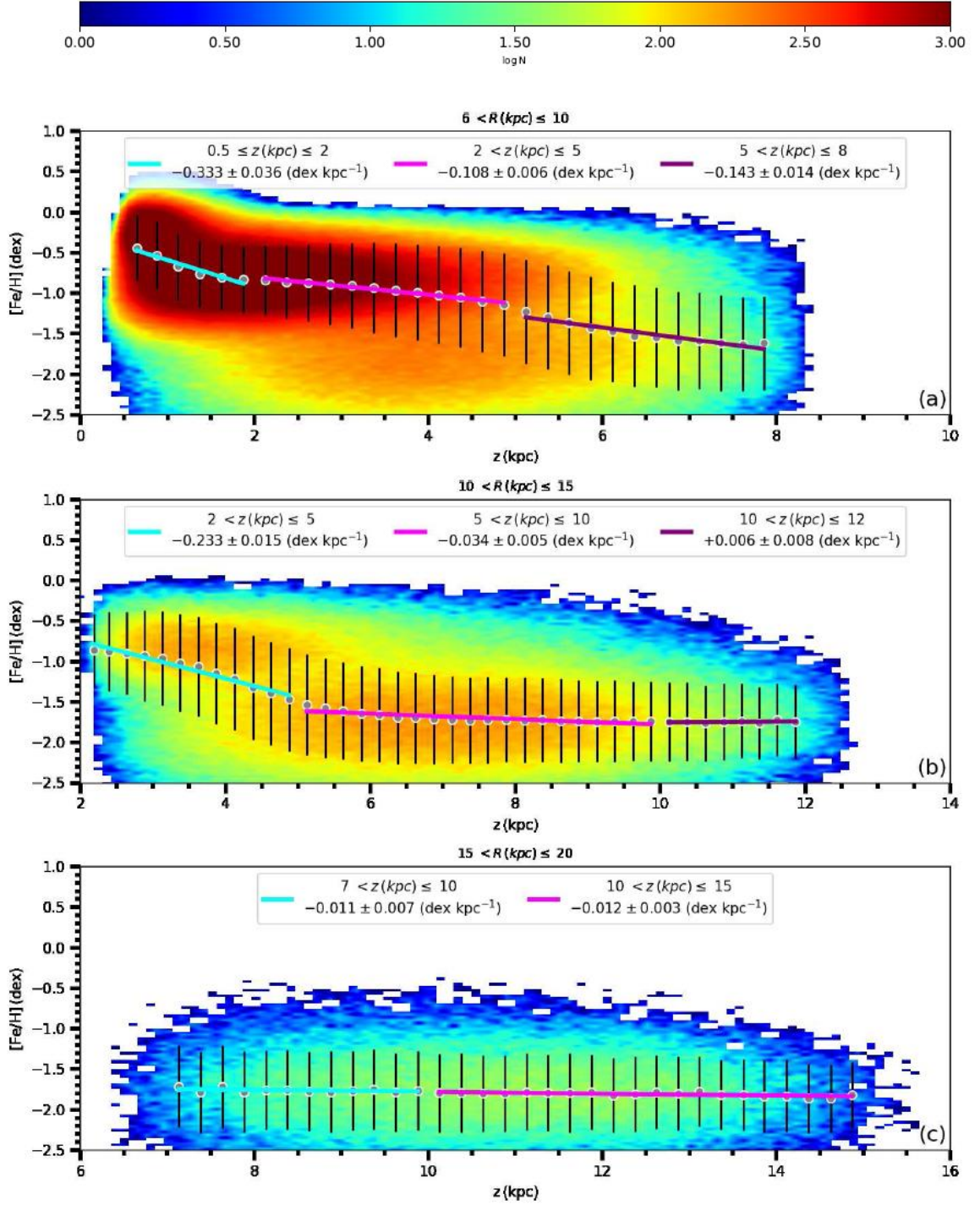
Şekil 5.8 (devam):



Şekil 5.8 (devam):

Tablo 5.4: Gözlemsel ve sentetik yıldızlardan hesaplanan metal bolluğu gradyentleri.

R (kpc)	Z (kpc)	Gözlemsel $d[\text{Fe}/\text{H}]/dZ$ (dex/kpc)	Sentetik $d[\text{Fe}/\text{H}]/dZ$ (dex/kpc)
$6 < R \leq 10$	$0.5 < Z \leq 2$	-0.308 ± 0.015	-0.333 ± 0.036
	$2 < Z \leq 5$	-0.164 ± 0.011	-0.108 ± 0.006
	$5 < Z \leq 8$	-0.023 ± 0.005	-0.143 ± 0.014
$10 < R \leq 15$	$2 < Z \leq 5$	-0.172 ± 0.012	-0.233 ± 0.015
	$5 < Z \leq 10$	-0.007 ± 0.001	-0.034 ± 0.005
	$10 < Z \leq 12$	-0.002 ± 0.007	$+0.006 \pm 0.008$
$15 < R \leq 20$	$7 < Z \leq 10$	$+0.008 \pm 0.005$	-0.011 ± 0.007
	$10 < Z \leq 15$	$+0.002 \pm 0.004$	-0.012 ± 0.003



Şekil 5.9: *Galaxia* modeliyle üretilen sentetik F ve G tayf türü anakol yıldızlarının Galaktik düzlemden dik doğrultuda hesaplanan metal bollluğu 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.

Galaksimizin çökerek oluştuğuna dair ipuçlarının elde edildiği Galaktik düzleme dik doğrultulardaki metal bolluğu gradyent sonuçları hem gözlemsel hem de *Galaxia* modelinden hesaplanmıştır. Tez çalışmasında Galaksi merkezine en yakın uzaklık aralığı olarak seçilen $6 < R \leq 10$ kpc uzaklık aralığındaki üç farklı Z uzaklık aralığında metal bolluğu gradyentleri hesaplanmıştır. İnce disk popülasyonunun etkin olduğu $0.5 < Z \leq 2$ kpc uzaklık aralığından hesaplanan metal bolluğu gradyentlerinin hem gözlemsel hem de sentetik verilerden elde edilen ile uyumlu olduğu görülmüştür. Kalın disk popülasyonunun etkin olduğu ikinci uzaklık aralığında ($2 < Z \leq 5$ kpc) ise iki veri setinden hesaplanan metal bolluğu gradyentlerinin hataları da dikkate alındığında yaklaşık 0.05 dex/kpc'lik bir fark bulunduğu tespit edilmiştir. Halo popülasyonunun etkin olduğu $5 < Z \leq 8$ kpc uzaklık aralığında ise gözlemlerden ve sentetik verilerden hesaplanan metal bolluğu gradyent değerleri, sırasıyla, -0.023 ± 0.005 ve -0.143 ± 0.014 dex/kpc olup iki metal bolluğu gradyentleri arasında 0.12 dex/kpc'lik beklenmedik bir fark göze çarpmaktadır. Halo popülasyonu için sentetik verilerden hesaplanan -0.143 ± 0.014 dex/kpc'lik değer literatürdeki en büyük değerlerden bile daha fazladır (Ak ve diğ., 2007a; Yaz ve Karaali, 2010). Sentetik verilerden hesaplanan metal bolluğu gradyentinin göreceli olarak büyük olması *Galaxia* modelinde (Sharma ve diğ., 2011) kullanılan farklı yapısal parametrelerden kaynaklanabilir.

$10 < R \leq 15$ kpc uzaklık aralığında ince ve kalın disk popülasyonları için hesaplanan metal bolluğu gradyentlerinin birbirine çok yakın olduğu görülmüştür. Benzer durum $10 < Z \leq 12$ kpc uzaklık aralığındaki gözlemsel ve sentetik verilerden hesaplanan metal bolluğu gradyentleri için de geçerlidir.

Son olarak, $10 < R \leq 15$ kpc uzaklık aralığında seçilen yıldızların halo popülasyonuna ait olduğu görülmektedir. Her iki veri setinden hesaplanan metal bolluğu gradyentleri sıfıra yakın olmakla birlikte gözlemsel verilerden pozitif, sentetik verilerden de negatif değerler hesaplanmıştır. Metal bolluğu gradyentlerindeki hatalar da dikkate alındığında halo popülasyonu için hesaplanan gradyent değerleri hem birbirleriyle hem de literatür ile uyumludur (Ak ve diğ., 2007a; Yaz ve Karaali, 2010).

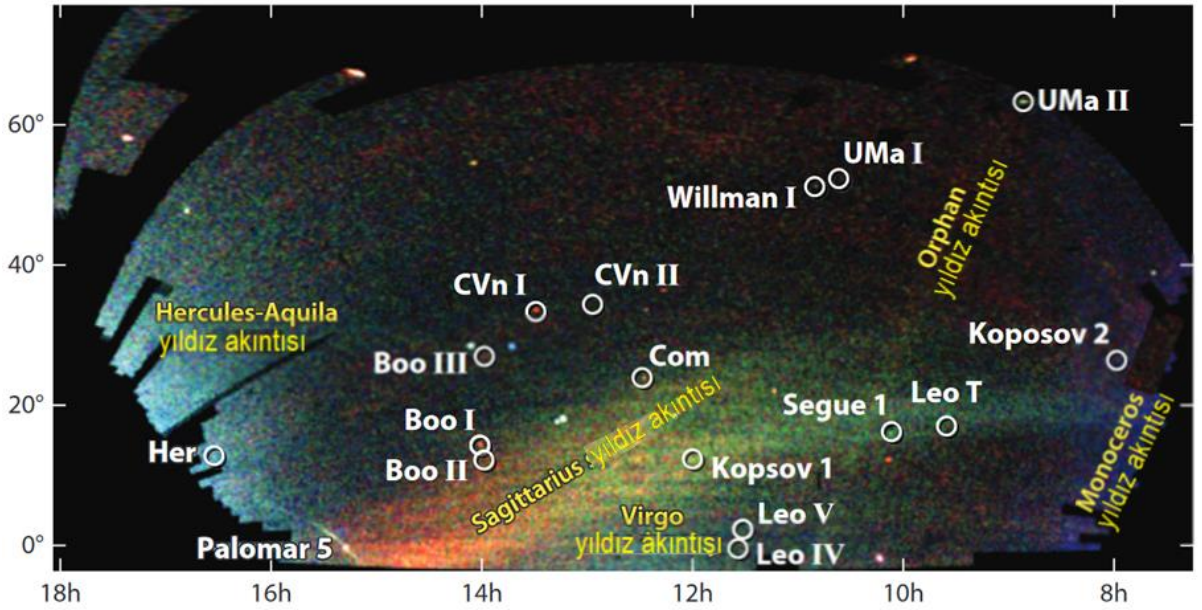
5.7. YILDIZ AKINTILARININ METAL BOLLUĞU GRADYENT ÇALIŞMASINA ETKİSİ

Yıldız popülasyonlarındaki metal bolluğu dağılımının anlaşılmasında *yıldız akıntılarının* önemli bir yeri vardır. Yıldız akıntısı, galaksi içindeki nesnelerin çekimsel tedirginliklerden veya galaksilerin birbirleriyle etkileşmelerinin sonucunda yıldız alanlarına karışmalarından meydana gelir. Bu durum galaksideki yıldız popülasyonlarına farklı türden nesnelerin karışmasına yol açar. Bunun sonucu yıldız popülasyonu metal bolluğu, yaş ve kinematik açıdan kirlenir. Galaksinin oluşumu ve evrimi üzerine yapılan araştırmalarda metal bolluğu dağılımı önemli bir parametre olduğundan, varsa, yıldız akıntılarının etkisinin ortaya çıkartılması ve bu etkinin ortadan kaldırılması gerekmektedir. Yıldız akıntılarının keşfedilebilmesi için fotometrik veya tayfsal gökyüzü tarama programlarına ihtiyaç duyulur. Tarama programlarıyla gökyüzünün üç boyutlu haritası çıkartılarak nesnelerin sayı yoğunlukları veya bulundukları gökyüzünün yüzey parlaklığına yapmış oldukları katkılar sayesinde yıldız akıntıları belirlenebilir (Ivezic, Beers ve Juric, 2012).

Hiyerarşik galaksi oluşumu çerçevesinde (Freeman ve Bland-Hawthorn, 2002) Samanyolu yıldız halosundaki nesneler, Galaksimizin izole bir sistem olmamasından dolayı, yıldız akıntıları, kuyruklar gibi alt bileşenlerden meydana gelmiştir (Johnston, Hernquist ve Bolte, 1996; Helmi ve White 1999, Bullock, Kravtsov ve Weinberg 2001; Harding ve diğ. 2001). Halodaki alt bileşenlerin dinamik zaman ölçeklerinin yeterince uzun olmasından dolayı söz konusu yapıların, Galaksi merkezinden yaklaşık 15 – 20 kpc uzaklıklardaki dış halo bölgesinde bulunması beklenmektedir (Johnston, Hernquist ve Bolte, 1996; Mayer ve diğ., 2002). 2000’li yıllarda başlayan gökyüzü tarama programları sayesinde çok sayıda *akıntı alanları* keşfedilmiş (Belokurov ve diğ., 2006) ve bunlar Şekil 5.10’da gösterilmiştir. Günümüze kadar 21 yıldız akıntısı farklı gökyüzü tarama programlarıyla belirlenmiştir (Ibata ve diğ., 2007).

Doktora tez çalışmasında kuzey Galaktik kutup merkezli, Galaktik enlemi $b > 50^\circ$ olan 5,280 derece karelik gökyüzü alanında sönük parlaklık limiti $g = 20$ kadir olan F ve G tayf türündeki anakol yıldızlarının metal bolluğu dağılımları incelenmiştir. Samanyolundaki farklı popülasyonlar için Güneş’e $d = 16$ kpc uzaklığındaki yıldızların Galaksi merkezinde radyal ve Galaktik düzlemde dik doğrultulardaki metal bolluğu gradyentleri araştırıldığından hesaplamalarda Galaksimizde keşfedilen yıldız akıntılarının konumları dikkate alınmıştır. Tez çalışmasında incelenen gökyüzü bölgesi içinde beş yıldız akıntısının bulunduğu tespit edilmiş

ve bunlar Tablo 5.5’de listelenmiştir. Bu tablodaki yıldız akıntılarının Galaktik koordinatları (l, b), Güneş’ten uzaklıkları (d) ve uzanımları (L) yayın künyeleriyle birlikte verilmiştir. Tez çalışmasındaki yıldızların konumları dikkate alındığında üç yıldız akıntısının (Sagittarius, Virgo ve Hercules-Aquila) potansiyel olarak metal bolluğu analizlerini etkileyebileceği görülmüştür. Galaktik koordinatları (l, b) = (350°, 50°) olan Sagittarius yıldız akıntısını en uzak parçalarından birindeki evrimleşmiş yıldızları ayrıntılı inceleyen Ibata ve diğ. (2001) akıntının Güneş’ten $d = 46$ kpc uzaklıkta bulunduğunu tespit etmiştir. Sagittarius’un bulunduğu bu gökyüzü parçası, doktora tez çalışmasında da yer almasına karşın incelenen nesnelerin ışıma güçlerinin (dev/cüce) farklı olması aynı uzaklıkta bulunmayacaklarını göstermektedir. Sagittarius yıldız akıntısının bu parçası çalışmamızdaki metal bolluğu dağılımını etkilememektedir.



Şekil 5.10: Samanyolunun kuzey gökyüzünde SDSS ile keşfedilmiş yıldız akıntı bölgelerinin ekvatorial koordinatlardaki konumları. Şekildeki kırmızı ve mavi renk ile gösterilen yıldızlar, sırasıyla, uzak ve yakın olanları, daire içindeki nesneler de SDSS ile keşfedilen cüce galaksi ve küresel kümeleri ifade eder (Belokurov ve diğ., 2006).

Sagittarius yıldız akıntısının $180^\circ < l < 230^\circ$ ve $b = 50^\circ$ Galaktik koordinatlarındaki parçasını anakolun dönüm noktasındaki yıldızların SDSS’in DR5’deki (Adelman-McCarthy ve diğ., 2007) fotometrik verileriyle inceleyen Belokurov ve diğ. (2006) akıntının uzantısını ve Güneş’ten ortalama uzaklığını, sırasıyla, 45 ve 15 kpc olarak vermiştir. Sagittarius yıldız akıntısının bu parçası doktora tez çalışmasındaki yıldız alanlarının Galaktik boylamlarıyla

uyumluysen, Galaktik enlemi açısından sınır değerlerde bulunmaktadır. Ayrıca akıntıdaki anakol yıldızlarının görünen parlaklıkları kabaca $g = 19.8$ kadir civarında etkin olmaya başlamaktadır. Sagittarius yıldız akıntısının Galaktik koordinatlardaki konumu, uzanımı ve bu bölgede yer alan yıldızların Güneş'e uzaklıkları (görünen parlaklık) dikkate alındığında tez çalışmasındaki yıldızların metal bolluğu dağılımına önemli bir katkısının olmadığı görülmektedir.

Tablo 5.5: Doktora tez çalışmasındaki olası yıldız akıntıları. Yıldız akıntılarının isimleri, Galaktik koordinatları, uzanım ve Güneş'ten uzaklıkları inceleyen araştırmacıların yayın künyesiyle birlikte verilmiştir.

Yıldız akıntısı	l (°)	b (°)	L (kpc)	d (kpc)	Yayın Künyesi
Sagittarius	350	50	50	46	Ibata ve diğ. (2001)
Sagittarius	$180 < l < 230$	50	45	15	Belokurov ve diğ. (2006)
Sagittarius	$180 < l < 350$	$20 < b < 70$	---	10-60	Koposov ve diğ. (2012)
Virgo	$265 < l < 283$	$50 < b < 68$	---	14	Carlin ve diğ. (2012)
Hercules-Aquila	$ l < 30$	50	1-6	10-20	Simion ve diğ. (2014)

Koposov ve diğ. (2012) anakol dönüm noktasındaki yıldızların SDSS DR8'deki (Aihara ve diğ., 2011) fotometrik verilerini kullanarak Sagittarius yıldız akıntısının yapısını ayrıntılı bir şekilde incelemiştir. Yaklaşık 13 milyon yıldızın Galaktik koordinatlardaki uzanımları $180^\circ < l < 350^\circ$ ve $20^\circ < b < 70^\circ$ inceleyen Koposov ve diğ. (2012) yıldızların sayı yoğunluklarını analiz ederek Sagittarius yıldız akıntısının Güneş'ten 10 ile 60 kpc uzaklık aralığına yayılan kuyruğunu keşfetmişlerdir. Sagittarius yıldız akıntısının bu kuyruğu, doktora tez çalışmasında incelenen yıldız alanlarıyla hem Galaktik koordinatlar hem de uzaklık açısından örtüşmektedir. Tez çalışmasındaki yıldız örneği Güneş'ten 0.5 ile 16 kpc uzaklık aralığındaki yıldızları içerdiğinden Sagittarius yıldız akıntısının kuyruğu ancak 10 ile 16 kpc uzaklık aralığındaki yıldızları kirletebilir. Etkilenen bu yıldızlar da Galaksimizin halo bileşenine aittir ve Galaksimizin ince ve kalın disk bileşenleri için hesaplanan metal bolluğu gradyentlerini etkilemez.

Carlin ve diğ. (2012), SDSS'deki yıldızların fotometrik, tayfsal ve astrometrik verilerini kullanarak Virgo yıldız akıntısının Galaktik koordinatlardaki uzanımını, Güneş'e ortalama uzaklığını ve metal bolluğunu belirlemişlerdir. Yıldız sayı yoğunluklarına göre keşfedilen Virgo yıldız akıntısının Galaktik koordinatlardaki uzanımının $265^\circ < l < 283^\circ$ ve $50^\circ < b < 68^\circ$ ve Güneş'e ortalama uzaklığının 14 kpc olduğu hesaplanmıştır (Tablo 5.5). Virgo yıldız akıntısı

için elde edilen bulgular doktora tez çalışmasında incelenen yıldız alanlarıyla birlikte değerlendirildiğinde doğrultuların sınırları da Galaksideki yıldızlar ile Virgo yıldız akıntısının birbirleriyle örtüşmesi söz konusudur. Bu durum Samanyolunun disk bileşenleri için hesaplanan metal bolluğu gradyentlerini etkilememektedir.

Doktora tez çalışmasında incelenen yıldız alanları içinde metal bolluğu dağılımlarını etkileyebilecek son yıldız akıntısı da Hercules-Aquila'dır. Simion ve diğ. (2014), Hercules-Aquila yıldız akıntısının yapısal dağılımının ortaya çıkartılmasında Catalina ve SDSS gökyüzü tarama programlarındaki RR Lyr türü değişenler ile anakol yıldızlarını kullanmışlardır. Yıldız sayı yoğunluğu ve incelenen yıldızların uzaklıklarını hesaplayan araştırmacılar Hercules-Aquila yıldız akıntısının Galaktik koordinatlardaki uzanımının $|l| < 30^\circ$ ve $b = 50^\circ$, fiziksel büyüklüğünün 1 ile 6 kpc aralığında ve Güneş'ten uzaklığının da 10 ile 60 kpc aralığında bulunduğunu göstermişlerdir. Simion ve diğ. (2014) elde etmiş olduğu sonuçlar ile tez çalışmasındaki bulgular karşılaştırıldığında, yıldız akıntısının Galaktik enlemde en büyük uzantısının $b = 50^\circ$ ulaştığı buna karşın tez çalışmasındaki yıldızların bu Galaktik enlemden başlayarak kuzey Galaktik kutba doğru artması Hercules-Aquila yıldız akıntısının metal bolluğu gradyent hesaplarını etkilemeyeceğini göstermektedir.

Sonuç olarak, tez çalışmasında incelenen yıldız alanları doğrultusunda keşfedilen yıldız akıntılarının çoğunun ortalama olarak Güneş'ten $d = 15$ kpc uzaklıkta bulunması çalışmada incelenen F ve G tayf türündeki anakol yıldızlarının söz konusu yıldız akıntılarından etkilenmeyeceğini göstermektedir. Az sayıdaki yıldız akıntısının da çalışmada incelenen yıldız alanlarının sınırlarında etkili olabileceği gösterilmiştir. Fakat bu etki Galaksimizin halo popülasyonu için söz konusu olduğundan Galaksimizin ince ve kalın diskleri için hesaplanan metal bolluğu gradyentlerinin yıldız akıntılarından etkilenmeyeceğini göstermektedir. Bu nedenle çalışmamızda yıldız akıntılarının yıldız popülasyonlarına ait metal bolluğu dağılımına doğrudan etkisinin bulunmadığı söylenebilir.

5.8. KALIN DİSK BİLEŞENİNDEKİ METAL BOLLUĞU GRADYENTLERİ

Doktora tez çalışmasında Galaksimizin kalın disk bileşeni için farklı Galaktik boylam ($0^\circ < l \leq 360^\circ$), enlem ($50^\circ < b \leq 90^\circ$) aralıklarında ve uzaklıklarda ($2 < Z < 5$ kpc) metal bolluğu gradyentleri araştırılmıştır. Elde edilen bulgulara göre kalın disk bileşeninin Galaktik düzlemden 2 ile 5 kpc uzaklık aralığında *radyal metal bolluğu* gradyenti $d[\text{Fe}/\text{H}]/dR \approx 0$

dex/kpc, Galaktik düzleme *dik doğrultuda metal bolluğu* gradyentleri de $d[\text{Fe}/\text{H}]/dZ \approx -0.17$ dex/kpc olarak hesaplanmıştır. Bu bulgular ışığında Galaktik düzleme dik doğrultuda bir metal bolluğu gradyentinin belirlenmiş olması, kalın diskin Galaksimizi oluşturan ilkel bulutun çökmesiyle oluştuğunu desteklemektedir (ELS, 1962). Kalın disk için hesaplanan radyal metal bolluğu gradyentinin bulunmaması ise radyal göç senaryosunun desteklememektedir. Sonuç olarak tez çalışmasında orta tayf türündeki anakol yıldızlarının bugünkü konumları ve metal bollukları dikkate alınarak yapılan bu araştırmada kalın diskin *radyal göç senaryosu* dışında kalan diğer senaryolarca oluşabileceğini göstermektedir. Tüm senaryoların sınanabilmesi için Güneş civarı dışında çok sayıda kalın disk yıldızının fotometrik, tayfsal ve astrometrik verilerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu doktora tez çalışmasında elde edilen sonuçlar, üç makaleye çevrilerek SCI kapsamındaki iki dergide yayımlanmıştır. İlk iki makale (Tunçel Güçtekin ve diğ., 2016; 2017) tez çalışmasında üretilen kalibrasyonları, son makale de (Tunçel Güçtekin ve diğ., 2018) yeni kalibrasyonların SDSS fotometrik verilerine uygulanarak Galaktik bileşenlerin metal bolluğu dağılımları ve metal bolluğu gradyentlerinin hesabını içermektedir.

Yeni nesil gökyüzü tarama programının devreye girmesiyle daha sönük yıldızların detaylı tayfsal analizleri yapılabileceğinden yıldızların radyal hız ve kimyasal bollukları üzerine daha detaylı bilgilere ulaşılabilecektir. Ayrıca *Gaia* uydusundan elde edilecek astrometrik verilerin farklı dönemler içerisinde astronomi literatürüne kazandırılmasıyla, kalın disk yıldızlarının kimyasal özellikleriyle kinematik verilerinin bir arada analizlerine fırsat verecektir. Bu da Galaksimizin kalın disk bileşeni için gözlemsel bilgilerin artmasına ve bugüne kadar oluşturulan kalın disk modellerinin sınanmasına katkı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- Abadi, M. G., Navarro, J.F., Steinmetz, M., Eke, V. R., 2003, Simulations of Galaxy Formation in a Λ Cold Dark Matter Universe. I. Dynamical and Photometric Properties of a Simulated Disk Galaxy, *The Astrophysical Journal*, 591, 499-514.
- Abazajian, K., Adelman-McCarthy, J. K., Agüeros, M. A., ve diğ., 2003, The First Data Release of the Sloan Digital Sky Survey, *The Astronomical Journal*, 126, 2081-2086.
- Abazajian, K., Adelman-McCarthy, J. K., Agüeros, M. A., ve diğ., 2004, The Second Data Release of the Sloan Digital Sky Survey, *The Astronomical Journal*, 128, 502-512.
- Abazajian, K., Adelman-McCarthy, J. K., Agüeros, M. A., ve diğ., 2005, The Third Data Release of the Sloan Digital Sky Survey, *The Astronomical Journal*, 129, 1755-1759.
- Abe, F., Bond, I. A., Carter, B. S., ve diğ., 1999, Observation of the Halo of the Edge-On Galaxy IC 5249, *The Astronomical Journal*, 118, 261-272.
- Adibekyan, V. Zh., Sousa, S. G., Santos, N. C., Delgado Mena, E., González Hernández, J. I., Israelian, G., Mayor, M., Khachatryan, G., 2012, Chemical Abundances of 1111 FGK Stars from the HARPS GTO Planet Search Program. Galactic Stellar Populations and Planets, *Astronomy and Astrophysics*, 545, id.A32, 15.
- Adibekyan, V. Zh., Figueira, P., Santos, N. C., 2013, Kinematics and Chemical Properties of the Galactic Stellar Populations. The HARPS FGK Dwarfs Sample, *Astronomy and Astrophysics*, 554, id.A44, 8.
- Aihara, H., Allende Prieto, C., An, D., ve diğ., 2011, The Eighth Data Release of the Sloan Digital Sky Survey: First Data from SDSS-III, *The Astrophysical Journal Supplement*, 193, article id. 29, 17.
- Ahn, C. P., Alexandroff, R., Allende Prieto, C., ve diğ., 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, 605-612.
- Alam, S., Albareti, F. D., Allende Prieto, C., ve diğ., 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.
- Albareti, F. D., Comparat, J., Gutierrez, C. M., Prada, F., Paris, I., Schlegel, D., Lopez-Corredoira, M., Schneider, D. P., Manchado, A., Garcia-Hernandez, D. A., Petitjean, P., Ge, J., 2016, VizieR Online Data Catalog: SDSS DR12 QSOs [OIII] Doublet (Albareti+, 2015), *VizieR On-line Data Catalog: J/MNRAS/452/4153*.

- Allende Prieto, C., Beers, T. C., Wilhelm, R., Newberg, H. J., Rockosi, C. M., Yanny, B., Lee, Y. S., 2006, A Spectroscopic Study of the Ancient Milky Way: F- and G-Type Stars in the Third Data Release of the Sloan Digital Sky Survey, *The Astrophysical Journal*, 636, 804-820.
- Allende Prieto, C., Majewski, S. R., Schiavon, R., ve diğ., 2008, APOGEE: The Apache Point Observatory Galactic Evolution Experiment, *Astronomische Nachrichten*, 329, 1018.
- Anders, F., Chiappini, C., Minchev, I., ve diğ., 2017, Red Giants Observed by CoRoT and APOGEE: The Evolution of the Milky Way's Radial Metallicity Gradient, *Astronomy and Astrophysics*, 600, id.A70, 16.
- 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, 1265-1282.
- Andrievsky, S. M., Kovtyukh, V. V., Luck, R. E., Lépine, J. R. D., Maciel, W. J., Beletsky, Y. V., 2002, Using Cepheids to Determine the Galactic Abundance Gradient. III. First Results for the Outer Disc, *Astronomy and Astrophysics*, 392, 491-499.
- Argast, D., Samland, M., Gerhard, O. E., Thielemann, F.-K., 2000, Metal - poor Halo Stars as Tracers of ISM Mixing Processes During Halo Formation, *Astronomy and Astrophysics*, 356, 873-887.
- Baade, W., 1944, NGC 147 and NGC 185, Two New Members of the Local Group of Galaxies, *Astrophysical Journal*, 100, 147.
- Babusiaux, C., 2012, Stellar Populations in the Galactic Bulge, *Proceedings of the Annual Meeting of the French Society of Astronomy and Astrophysics*, 77-82.
- Bahcall, J. N., Soneira, R. M., 1980, The Universe at Faint Magnitudes. I - Models for the Galaxy and the Predicted Star Counts, *Astrophysical Journal Supplement Series*, 44, 73-110.
- Bartasiute, S., 1995, The Transition from Disk to Halo As Seen from Correlations between Kinematics and Metallicity, *Stellar populations proceedings of the 164th symposium of the International Astronomical Union, held in the Hague, the Netherlands*, Editors Pieter C. van der Kruit, Gerry Gilmore. International Astronomical Union. Symposium No. 164, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 391.
- 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, 539-546.
- Beers, T. C., Rossi, S., Norris, J. E., Ryan, S. G., Shefler, T., 1999, Estimation of Stellar Metal Abundance. II. A Recalibration of the Ca II K Technique, and the Autocorrelation Function Method, *The Astronomical Journal*, 117, 981-1009.
- Beguin, A., Glas, C. A. W., 2001, MCMC Estimation and Some Fit Analysis of Multidimensional IRT Models, *Psychometrika*, 66, 471-488.
- Bekki, K., Chiba, M., 2001, Formation of the Galactic Stellar Halo. I. Structure and Kinematics, *The Astrophysical Journal*, 558, 666-686.
- Belokurov, V., Zucker, D. B., Evans, N. W., ve diğ., 2006, The Field of Streams: Sagittarius and Its Siblings, *The Astrophysical Journal*, 642, L137-L140.

- Bensby, T., Feltzing, S., Lundström, I., 2003, Elemental Abundance Trends in the Galactic Thin and Thick Disks As Traced by Nearby F and G Dwarf Stars, *Astronomy and Astrophysics*, 410, 527-551.
- Bensby, T., Feltzing, S., Lundström, I., Ilyin, I., 2005, α -, r-, and s-process Element Trends in the Galactic Thin and Thick Disks, *Astronomy and Astrophysics*, 433, 185-203.
- Bensby, T., Alves-Brito, A., Oey, M. S., Yong, D., Meléndez, J., 2010, The First Chemical Abundance Analysis of K Giants in the Inner Galactic Disc, *Astronomy and Astrophysics*, 516, id.L13, 4.
- 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., ve diğ., 2014, The Gaia-ESO Survey: Radial Metallicity Gradients and Age-metallicity Relation of Stars in the Milky Way Disk, *Astronomy and Astrophysics*, 565, id.A89, 11.
- Bertin, E., Arnouts, S., 1996, SExtractor: Software for Source Extraction, *Astronomy and Astrophysics Supplement*, 117, 393-404.
- Bilir, S., Karaali, S., Tunçel, S., 2005, Absolute Magnitudes for Late-Type Dwarf Stars for Sloan Photometry, *Astronomische Nachrichten*, 326, 321-331.
- Bilir, S., Karaali, S., Ak, S., Yaz, E., Hamzaoğlu, E., 2006a, Galactic Longitude Dependent Galactic Model Parameters, *New Astronomy*, 12, 234-245.
- Bilir, S., Karaali, S., Gilmore, G., 2006b, Investigation of the ELAIS Field by Vega Photometry: Absolute Magnitude-Dependent Galactic Model Parameters, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 366, 1295-1309.
- Bilir, S., Cabrera-Lavers, A., Karaali, S., Ak, S., Yaz, E., López-Corredoira, M., 2008, Estimation of Galactic Model Parameters in High Latitudes with SDSS, *Publications of the Astronomical Society of Australia*, 25, 69-84.
- Bilir, S., Karaali, S., Ak, S., Dağtekin, N. D., Önal, Ö., Yaz, E., Coşkunoğlu, B., Cabrera-Lavers, A., 2011, Transformations between the WISE, 2MASS, SDSS and BVRI Photometric Systems -I. Transformation Equations for Dwarfs, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 417, 2230.
- Bienayme, O., Robin, A. C., Creze, M., 1987, The Mass Density in Our Galaxy, *Astronomy and Astrophysics*, 180, 94-110.
- Binney, J., Merrifield M., 1998, *Galactic Astronomy*, Galactic Astronomy / James Binney and Michael Merrifield. Princeton, NJ: Princeton University Press, 1998.
- 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). Published by Princeton University Press, Princeton, NJ USA.
- Binney, J., 2010, Distribution Functions for the Milky Way, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 401, 2318-2330.
- Bland-Hawthorn, J., Gerhard, O., 2016, The Galaxy in Context: Structural, Kinematic, and Integrated Properties, *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 54, 529-596.

- Bobylev, V. V., Bajkova, A. T., 2016, Estimating the Vertical Disk Scale Height Using Young Galactic Objects, *Baltic Astronomy*, 25, 261-266.
- Boeche, C., Siebert, A., Piffl, T., ve diğ., 2013, Chemical Gradients in the Milky Way from the RAVE Data. I. Dwarf Stars, *Astronomy and Astrophysics*, 559, id.A59, 12.
- Boeche, C., Siebert, A., Piffl, T., ve diğ., 2014, Chemical Gradients in the Milky Way from the RAVE Data. II. Giant Stars, *Astronomy and Astrophysics*, 568, id.A71, 13.
- Bosma, A., Goss, W. M., Allen, R. J., 1981, The Giant Spiral Galaxy M101. VI - The Large Scale Radial Velocity Field, *Astronomy and Astrophysics*, 93, 106-112.
- Bovy, J., Rix, H. W., Hogg, D. W., 2012, The Milky Way has no Distinct Thick Disk, *The Astrophysical Journal*, 751, article id. 131, 6.
- Bovy, J., Rix, H. W., Liu, C., Hogg, D. W., Beers, T. C., Lee, Y. S., 2012b, The Spatial Structure of Mono-abundance Sub-populations of the Milky Way Disk, *The Astrophysical Journal*, 753, article id. 148, 25.
- Brook, C. B., Kawata, D., Gibson, B. K., Freeman, K. C., 2004, The Emergence of the Thick Disk in a Cold Dark Matter Universe, *The Astrophysical Journal*, 612, 894-899.
- Brook, C. B., Gibson, B. K., Martel, H., Kawata, D., 2005, The Emergence of the Thick Disk in a CDM Universe. II. Colors and Abundance Patterns, *The Astrophysical Journal*, 630, 298-308.
- Brook, C. B., Stinson, G. S., Gibson, B. K., ve diğ., 2012, Thin Disc, Thick Disc and Halo in a Simulated Galaxy, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 426, 690-700.
- Bromm, V., Larson, R. B., 2004, The First Stars, *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 42, 79-118.
- Bullock, J. S., Kravtsov, A. V., Weinberg, D. H., 2001, Hierarchical Galaxy Formation and Substructure in the Galaxy's Stellar Halo, *The Astrophysical Journal*, 548, 33-46.
- Burke, B. F., 1957, Systematic Distortion of the Outer Regions of the Galaxy, *Astronomical Journal*, 62, 90.
- Burstein, D., 1979, Structure and Origin of S0 Galaxies. II - Disk-to-Bulge Ratios, *Astrophysical Journal*, 234, 435-447.
- Buser, R., Fenkart, R. P., 1990, Basic Calibrations of the Photographic RGU System. III - Intermediate and Extreme Population II Dwarf Stars, *Astronomy and Astrophysics*, 239, 243-259.
- Buser, R., Rong, J., Karaali, S., 1998, The New Basel High-Latitude Field Star Survey of the Galaxy. I. General Introduction, Methodology and First Analysis, *Astronomy and Astrophysics*, 331, 934-948.
- Buser, R., Rong, J., Karaali, S., 1999, The New Basel High-Latitude Field Star Survey of the Galaxy. II. The Thick Disk Component: Density Structure, Luminosity Function, and Metallicity Distribution, *Astronomy and Astrophysics*, 348, 98-112.
- Cabrera-Lavers, A., Garzón, F., Hammersley, P. L., 2005, The Thick Disc Component of the Galaxy from near Infrared Colour-Magnitude Diagrams, *Astronomy and Astrophysics*, 433, 173-183.

- Cabrera-Lavers, A., ve diğ., 2007, Tracing the Long Bar with Red-Clump Giants, *Astronomy and Astrophysics*, 465, 825-838.
- Canterna, R., 1976, Broad-band Photometry of G and K Stars - The C, M, T/1/, T/2/ Photometric System, *Astronomical Journal*, 81, 228-244.
- Camargo, D., Bonatto, C., Bica, E., 2015, Tracing the Galactic Spiral Structure with Embedded Clusters, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 450, 4150-4160.
- Cameron, L. M., 1985, Metallicities and Distances of Galactic Clusters as Determined from UBV-Data. I - The Effects of Metallicity and Reddening on the Colors of Main-sequence Stars, *Astronomy and Astrophysics*, 146, 59-66.
- Cameron, E., Carollo, C. M., Oesch, P. A., Bouwens, R. J., Illingworth, G. D., Trenti, M., Labbé, I., Magee, D., 2011, Active and Passive Galaxies at $z \sim 2$: Rest-frame Optical Morphologies with WFC3, *The Astrophysical Journal*, 743, article id. 146, 18.
- Cardelli, J. A., Clayton, G.C., Mathis, J. S., 1989, The Relationship between Infrared, Optical, and Ultraviolet Extinction, *Astrophysical Journal*, 345, 245-256.
- Carlin, J. L., Yam, W., Casetti-Dinescu, D. I., Willett, B. A., Newberg, H. J., Majewski, S. R., Girard, T. M., 2012, The Origin of the Virgo Stellar Substructure, *The Astrophysical Journal*, 753, article id. 145, 19.
- Carollo, D., Beers, T. C., Lee, Y.S., ve diğ., 2007, Two Stellar Components in the Halo of the Milky Way, *Nature*, 450, 7172, 1020-1025.
- Carollo, D., Beers, T. C., Lee, Chiba, M., ve diğ., 2010, Structure and Kinematics of the Stellar Halos and Thick Disks of the Milky Way Based on Calibration Stars from Sloan Digital Sky Survey DR7, *The Astrophysical Journal*, 712, 692-727.
- Carney, B. W., 1979, Subdwarf Ultraviolet Excesses and Metal Abundances, *Astrophysical Journal*, 233, 211-225.
- 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.
- Carney, B. W., Laird, J. B., Latham, D. W., Aguilar, L. A., 1996, A Survey of Proper Motion Stars. XIII. The Halo Population, *Astronomical Journal*, 112, 668.
- Carrell, K., Wilhelm, R., Chen, Y., 2012a, Red Clump Stars in the Sagittarius Tidal Streams, *The Astronomical Journal*, 144, article id. 18, 13.
- Carrell, K., Chen, Y., Zhao, G., 2012b, Metallicity Gradients of Thick Disk Dwarf Stars, *The Astronomical Journal*, 144, article id. 185, 9.
- Casetti-Dinescu, D. I., Girard, T. M., Korchagin, V. I., van A., William F., 2011, The Three-Dimensional Velocity Structure of the Thick Disk from SPM4 and RAVE DR2, *The Astrophysical Journal*, 728, article id. 7, 18.
- Castander, F. J., Nichol, R. C., Merrelli, A., ve diğ., 2001, The First Hour of Extragalactic Data of the Sloan Digital Sky Survey Spectroscopic Commissioning: The Coma Cluster, *The Astronomical Journal*, 121, 2331-2357.
- Cayrel, R., Depagne, E., Spite, M., ve diğ., 2004, First Stars V - Abundance Patterns from C to Zn and Supernova Yields in the Early Galaxy, *Astronomy and Astrophysics*, 416, 1117-1138.

- Chen, B., Stoughton, C., Smith, J. A., ve diğ., 2001, Stellar Population Studies with the SDSS. I. The Vertical Distribution of Stars in the Milky Way, *The Astrophysical Journal*, 553, 184-197.
- Chen, 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, 1397-1406.
- 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., ve diğ., 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, *The Astrophysical Journal*, 477, 765-780.
- Chiba, M., Beers, T. C., 2000, Kinematics of Metal-poor Stars in the Galaxy. III. Formation of the Stellar Halo and Thick Disk as Revealed from a Large Sample of Nonkinematically Selected Stars, *The Astronomical Journal*, 119, 2843-2865.
- Chiu, L.-T. G., 1980, Luminosity Functions of Disk and Halo Populations in SA 51, SA 57 and SA 68, *Astronomical Journal*, 85, 812-823.
- Chonis, T. S., Gaskell, C. M., 2008, Setting UBVRI Photometric Zero-Points Using Sloan Digital Sky Survey ugriz Magnitudes, *The Astronomical Journal*, 135, 264-267.
- Code, A. D., 1959, The Energy Distribution of Subdwarfs, *Astrophysical Journal*, 130, 473.
- Coldwell, G., Alonso, S., Duplancic, F., Hempel, M., Ivanov, V. D., Minniti, D., 2014, Confirmation of a Galaxy Cluster Hidden behind the Galactic Bulge Using the VVV Survey, *Astronomy and Astrophysics*, 569, id.A49, 7.
- Cole, S., Aragon-Salamanca, A., Frenk, C. S., Navarro, J. F., Zepf, S. E., 1994, A Recipe for Galaxy Formation, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 271, 781.
- Cousins, A. W. J., 1976, VRI Standards in the E Regions, *Memoirs of the Royal Astronomical Society*, 81, 25.
- Covey, K. R., Ivezić, Ž., Schlegel, D., ve diğ., 2007, Stellar SEDs from 0.3 to 2.5 μm : Tracing the Stellar Locus and Searching for Color Outliers in the SDSS and 2MASS, *The Astronomical Journal*, 134, 2398-2417.
- 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.
- Ciucă, I., Kawata, D., Lin, J., Casagrande, L., Seabroke, G., Cropper, M., 2018, The Vertical Metallicity Gradients of Mono-age Stellar Populations in the Milky Way with the RAVE and Gaia Data, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 475, 1203-1212.
- Cunha, K., Frinchaboy, P. M., Souto, D., ve diğ., 2016, Chemical Abundance Gradients from Open Clusters in the Milky Way Disk: Results from the APOGEE Survey, *Astronomische Nachrichten*, 337, 922.

- Curir, A., Serra, A. L., Spagna, A., Lattanzi, M. G., Re Fiorentin, P., Diaferio, A., 2014, The Radial Metallicity Gradients in the Milky Way Thick Disk as Fossil Signatures of a Primordial Chemical Distribution, *The Astrophysical Journal Letters*, 784, article id. L24, 5.
- 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, 2844-2854.
- Davenport, J. R. A., Bochanski, J. J., Covey, K. R., Hawley, S. L., West, A. A., Schneider, D. P., 2007, Improved Photometric Calibrations for Red Stars Observed with the SDSS Photometric Telescope, *The Astronomical Journal*, 134, 2430-2434.
- Davenport, J. R. A., Ivezić, Ž., Becker, A. C., ve diğ., 2014, The SDSS-2 MASS-WISE 10-Dimensional Stellar Colour Locus, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 440, 3430-3438.
- Dawson, K. S., Schlegel, David J., Ahn, C. P., ve diğ., 2013, The Baryon Oscillation Spectroscopic Survey of SDSS-III, *The Astronomical Journal*, 145, article id. 10, 41.
- de Jong, J. T. A., Yanny, B., Rix, H. W., Dolphin, A. E., Martin, N. F., Beers, T. C., 2010, Mapping the Stellar Structure of the Milky Way Thick Disk and Halo Using SEGUE Photometry, *The Astrophysical Journal*, 714, 663-674.
- De Silva, G. M., Freeman, K. C., Bland-Hawthorn, J., ve diğ., 2015, The GALAH Survey: Scientific Motivation, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 449, 2604-2617.
- De Vaucouleurs, G., 1948, Recherches sur les Nebuleuses Extragalactiques, *Annales d'Astrophysique*, 11, 247-287.
- Dehnen, W., Binney, J., 1998, Mass Models of the Milky Way, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 294, 429.
- Dehnen, W., Binney, J. J., 1998, Local Stellar Kinematics from HIPPARCOS Data, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 298, 387-394.
- del Rio G., Fenkart, R., 1987, RGU Three-Colour Photometric Space Densities in a Field near the Galactic Centre (PLAUT II), Compared with Different Galaxy Models, *Astronomy and Astrophysics Supplement Series*, 68, 397-417.
- Deng, L., Newberg, H. J., Liu, C., ve diğ., 2012, LAMOST Experiment for Galactic Understanding and Exploration (LEGUE) - The Survey's Science Plan, *Research in Astronomy and Astrophysics*, 12, 735-754.
- Dierickx, M., Klement, R., Rix, H. W., Liu, C., 2010, Observational Evidence from SDSS for a Merger Origin of the Milky Way's Thick Disk, *The Astrophysical Journal Letters*, 725, L186-L190.
- Dohm-Palmer, R. C., Helmi, A., Morrison, H., ve diğ., 2001, Mapping the Galactic Halo. V. Sagittarius Dwarf Spheroidal Tidal Debris 60 from the Main Body, *The Astrophysical Journal*, 555, L37-L40.
- Du, C., Zhou, X., Ma, J., ve diğ., 2003, Galactic Structure Studies with BATC Star Counts, *Astronomy and Astrophysics*, 407, 541-549.

- Du, C., Ma, J., Wu, Z., Zhou, X., 2006, Galactic Structure Studies from the Beijing-Arizona-Taiwan-Connecticut Survey, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 372, 1304-1314.
- Edvardsson, B., Andersen, J., Gustafsson, B., Lambert, D. L., Nissen, P. E., Tomkin, J., 1993, The Chemical Evolution of the Galactic Disk -Part One- Analysis and Results, *Astronomy and Astrophysics*, 275, 101.
- Eggen, O.J., Lynden-Bell, D., Sandage, A.R., 1962, Evidence from the Motions of Old Stars That the Galaxy Collapsed, *Astrophysical Journal*, 136, 748-766.
- Eisenstein, D. J., Weinberg, D. H., Agol, E., ve diğ., 2011, SDSS-III: Massive Spectroscopic Surveys of the Distant Universe, the Milky Way, and Extra-Solar Planetary Systems, *The Astronomical Journal*, 142, article id. 72, 24.
- Eker, Z., Bakış, V., Bilir, S., ve diğ., 2018, Interrelated Main-Sequence Mass-Luminosity, Mass-Radius, and Mass-effective Temperature Relations, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 479, 5491-5511.
- Elmegreen, B. G., Elmegreen, D. M., 2006, Observations of Thick Disks in the Hubble Space Telescope Ultra Deep Field, *The Astrophysical Journal*, 650, 644-660.
- Elvius, T., 1965, *Distribution of Common Stars in Intermediate and High Galactic Latitudes, Galactic Structure*, Edited by Adriaan Blaauw and Maarten Schmidt. Published by the University of Chicago Press, Chicago, ILL USA, 41.
- ESA., 1997, *The HIPPARCOS and TYCHO Catalogues. Astrometric and Photometric Star Catalogues Derived from the ESA HIPPARCOS Space Astrometry Mission*, Publisher: Noordwijk, Netherlands: ESA Publications Division, 1997, Series: ESA SP Series Vol No: 1200, ISBN: 9290923997.
- Fan, X., 1999, Simulation of Stellar Objects in SDSS Color Space, *The Astronomical Journal*, 117, 2528-2551.
- Feltzing, S., Gilmore, G., 2000, Age and Metallicity Gradients in the Galactic Bulge. A Differential Study Using HST/WFPC2, *Astronomy and Astrophysics*, 355, 949-965.
- 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.
- Feltzing, S., Bensby, T., 2008, The Galactic Stellar Disc, *Physica Scripta*, 133, id. 014031.
- Fenkart, R., Topaktas, L., Boydag, S., Kandemir, G., 1987, RGU-Three Colour Photometry in the Anticentre-Intermediate Latitude Field NGC 2420, *Astronomy and Astrophysics Supplement Series*, 67, 245-260.
- Flynn, C., Morrison, H. L., 1990, An Automated Technique for Locating Metal-deficient Red Giants from Objective-prism Spectra, *Astronomical Journal*, 100, 1181-1190.
- Freeman, K. C., 2001, *Normal Disk Galaxies*, in Galaxy Disks and Disk Galaxies, proceeding of a conference held in Rome, Italy, June 12-16, 2000 at the Pontifical Gregorian University and sponsored by the Vatican Observatory. ASP Conference Series, Vol. 230. Edited by José G. Funes, S. J. and Enrico Maria Corsini. San Francisco: Astronomical Society of the Pacific. ISBN: 1-58381-063-3, 91-100.

- Freeman, K., Bland-Hawthorn, J., 2002, The New Galaxy: Signatures of Its Formation, *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 40, 487-537.
- Friel, E. D., Janes, K. A., Tavaréz, M., Scott, J., Katsanis, R., Lotz, J., Hong, L., Miller, N., 2002, Metallicities of Old Open Clusters, *The Astronomical Journal*, 124, 2693-2720.
- 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.
- Frieman, J. A., Bassett, B., Becker, A., ve diğ., 2008, The Sloan Digital Sky Survey-II Supernova Survey: Technical Summary, *The Astronomical Journal*, 135, 338-347.
- Frinchaboy, P. M., Thompson, B., Jackson, K. M., ve diğ., 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.
- Fullbright, J.P., McWilliam, A., Rich, R. M., 2006, Abundances of Baade's Window Giants from Keck HIRES Spectra. I. Stellar Parameters and [Fe/H] Values, *The Astrophysical Journal*, 636, 821-841.
- Fuhrmann, K., 1998, Nearby Stars of the Galactic Disk and Halo, *Astronomy and Astrophysics*, 338, 161-183.
- Fukugita, M., Ichikawa, T., Gunn, J. E., Doi, M., Shimasaku, K., Schneider, D. P., 1996, The Sloan Digital Sky Survey Photometric System, *Astronomical Journal*, 111, 1748.
- Gaia Collaboration., Brown, A. G. A., Vallenari, A., Prusti, T., ve diğ., 2016, Gaia Data Release 1. Summary of the Astrometric, Photometric, and Survey Properties, *Astronomy and Astrophysics*, 595, id.A2, 23.
- Garcia, B., Claria, J. J., Levato, H., 1988, The Ratio of Total to Selective Absorption in the Carina OB2 Association, *Astrophysics and Space Science*, 143, 317-328.
- Ge, J., Mahadevan, S., Lee, B., ve diğ., 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.
- Geisler, D., Claria, J. J., Minniti, D., 1991, An Improved Metal Abundance Calibration for the Washington System, *Astronomical Journal*, 1836-1869.
- Genovali, K., Lemasle, B., Bono, G., ve diğ., 2014, On the Fine Structure of the Cepheid Metallicity Gradient in the Galactic Thin Disk, *Astronomy and Astrophysics*, 566, id.A37, 30.
- Ghez, A. M., Salim, S., Weinberg, N. N., ve diğ., 2008, Measuring Distance and Properties of the Milky Way's Central Supermassive Black Hole with Stellar Orbits, *The Astrophysical Journal*, 689, 1044-1062.
- Gilmore, G., Reid, N., 1983, New Light on Faint Stars. III - Galactic Structure Towards the South Pole and the Galactic Thick Disc, *Monthly Notices of The Royal Astronomical Society*, 202, 1025-1047.
- Gilmore, G., 1984, New Light on Faint Stars. VI - Structure and Evolution of the Galactic Spheroid, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 207, 223-240.

- Gilmore, G., Wyse, R. F. G., 1985, The Abundance Distribution in the Inner Spheroid, *Astronomical Journal*, 90, 2015-2026.
- Gilmore, G., Wyse, R. F. G., 1986, The Chemical Evolution of the Galaxy, *Nature*, 322, 806-807.
- Gilmore, G., Wyse, R. F. G., Jones, J. B., 1995, A Determination of the Thick Disk Chemical Abundance Distribution: Implications for Galaxy Evolution, *Astronomical Journal*, 109, 3, 1095-1111.
- Gilmore, G., ve diğ., 2012, The Gaia-ESO Public Spectroscopic Survey, *The Messenger*, 147, 25-31.
- 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, 895-915.
- Gratton, R. G., Fusi Pecci, F., Carretta, E., Clementini, G., Corsi, C. E., Lattanzi, M., 1997, Ages of Globular Clusters from HIPPARCOS Parallaxes of Local Subdwarfs, *The Astrophysical Journal*, 491, 749-771.
- Grenon, M., 1972, *On Metal Rich and SMR Stars*, Age des Etoiles, Proceedings of IAU Colloq. 17, held in Paris, France, Edited by G. Cayrel de Strobel and A. M. Delplace, Observatoire de Paris-Meudon, 55.
- Grenon, M., 1980, *Metal Abundances of Young Stellar Groups*, Star Cluster, Proceedings of IAU Symposium 85, Victoria, British Columbia, Canada, Edited by J. E. Hesser. Dordrecht: D. Reidel Publishing Co., 231.
- Gunn, J. E., Carr, M., Rockosi, C., ve diğ., 1998, The Sloan Digital Sky Survey Photometric Camera, *The Astronomical Journal*, 116, 3040-3081.
- Gunn, J. E., Siegmund, W. A., Mannery, E. J., ve diğ., 2006, The 2.5 m Telescope of the Sloan Digital Sky Survey, *The Astronomical Journal*, 131, 2332-2359.
- Hartwick, F. D. A., 1987, *The Structure of the Galactic Halo*, in the Galaxy, NATO ASI, EDS Gilmore, G., Carswell, R. (Dordrecht: Reidel), 281-290.
- Hayden, M. R., Holtzman, J. A., Majewski, S. R., ve diğ., 2013, Milky Way Abundance Gradients from SDSS-III/APOGEE Observations, *American Astronomical Society*, AAS Meeting #221, id.254.14
- Hayden, M. R., Holtzman, J. A., Bovy, J., ve diğ., 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, 428-439.
- 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, 440-459.
- Haywood, M., 2008, Radial Mixing and the Transition between the Thick and Thin Galactic Discs, *Monthly Notices of Royal Astronomical Society*, 388, 1175.

- Haywood, M., Di Matteo, P., Lehnert, M. D., Katz, D., Gómez, A., 2013, The Age Structure of Stellar Populations in the Solar Vicinity. Clues of a Two-Phase Formation History of the Milky Way Disk, *Astronomy and Astrophysics*, 560, id.A109, 18.
- Hawkins, K., Jofre, P., Masseron, T., Gilmore, G., 2015, Using Chemical Tagging to Redefine the Interface of the Galactic Disk and Halo, *Monthly Notices of Royal Astronomical Society*, 453, 758-774.
- Hill, V., Lecureur, A., Gomez, A., ve diğ., 2011, The Metallicity Distribution of Bulge Clump Giants in Baade's Window, *Astronomy and Astrophysics*, 534, id.A80, 20.
- Helmi, A., White, S. D. M., 1999, Building up the Stellar Halo of the Galaxy, *Monthly Notices of Royal Astronomical Society*, 307, 495-517.
- Helmi, A., Ivezić, Ž., Prada, F., ve diğ., 2003, Selection of Metal-poor Giant Stars Using the Sloan Digital Sky Survey Photometric System, *The Astrophysical Journal*, 586, 195-200.
- Hertzsprung, E., 1911, Number 63. Zweiundzwanzigsten Bandes Erstes Stuck. Über die Verwendung Photographischer Effektiver Wellenlangen zur Bestimmung von Farbaquivalenten, *Publikationen des Astrophysikalischen Observatoriums zu Potsdam*, 22, A1-A40.1.
- Hogg, D. W., Blanton, M., SDSS Collaboration., 2001, Photometric properties of galaxies in the SDSS, *American Astronomical Society*, 199th AAS Meeting, id.160.07; Bulletin of the American Astronomical Society, 34, 570.
- Holmberg, J., Nordström, B., Andersen, J., 2007, The Geneva-Copenhagen Survey of the Solar Neighbourhood II. New uvby Calibrations and Rediscussion of Stellar Ages, the G Dwarf Problem, Age-Metallicity Diagram, and Heating Mechanisms of the Disk, *Astronomy and Astrophysics*, 475, 519-537.
- Holmberg, J., Nordström, B., Andersen, J., 2009, The Geneva-Copenhagen Survey of the Solar Neighbourhood. III. Improved Distances, Ages, and Kinematics, *Astronomy and Astrophysics*, 501, 941-949.
- 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, 17-32.
- Huang, Y., Liu, X., Zhang, H., ve diğ., 2015, On the Metallicity Gradients of the Galactic Disk as Revealed by LSS-GAC Red Clump Stars, *Research in Astronomy and Astrophysics*, 15, article id. 1240.
- Ibata, R., Irwin, M., Lewis, G. F., Stolte, A., 2001, Galactic Halo Substructure in the Sloan Digital Sky Survey: The Ancient Tidal Stream from the Sagittarius Dwarf Galaxy, *The Astrophysical Journal*, 547, L133-L136.
- Ibata, R., Martin, N. F., Irwin, M., Chapman, S., Ferguson, A. M. N., Lewis, G. F., McConnachie, A. W., 2007, The Haunted Halos of Andromeda and Triangulum: A Panorama of Galaxy Formation in Action, *The Astrophysical Journal*, 671, 1591-1623.
- Ivezić, Ž., Smith, J. A., Miknaitis, G., ve diğ., 2007, A Comparison of SDSS Standard Star Catalog for Stripe 82 with Stetson's Photometric Standards, The Future of Photometric, Spectrophotometric and Polarimetric Standardization, ASP Conference Series, Vol. 364, Proceedings of a conference held 8-11 May, 2006 in Blankenberge, Belgium. Edited by C. Sterken. San Francisco: *Astronomical Society of the Pacific*, 165.

- Ivezić, Ž., Sesar, B., Juric, M., ve diğ., 2008, The Milky Way Tomography with SDSS. II. Stellar Metallicity, *The Astrophysical Journal*, 684, 40.
- Ivezić, Ž., Beers, T. C., Jurić, M., 2012, Galactic Stellar Populations in the Era of the Sloan Digital Sky Survey and Other Large Surveys, *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 50, 251-304.
- Jacobson, H. R., Friel, E. D., Jílková, L., ve diğ., 2016, The Gaia-ESO Survey: Probes of the Inner Disk Abundance Gradient, *Astronomy and Astrophysics*, 591, id.A37, 8.
- Jia, Y., Du, C., Wu, Z., ve diğ., 2014, Estimation of Absolute Magnitude-dependent Galactic Model Parameters in Intermediate Latitude with SDSS and SCUSS, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 441, 503-512.
- Johnson, H. L., Morgan, W. W., 1953, Fundamental Stellar Photometry for Standards of Spectral Type on the Revised System of the Yerkes Spectral Atlas, *Astrophysical Journal*, 117, 313.
- Johnson, H. L., Harris, D. L., 1954, Three-Color Observations of 108 Stars Intended for Use As Photometric Standards, *Astrophysical Journal*, 120, 196.
- Johnston, K. V., Hernquist, L., Bolte, M., Fossil Signatures of Ancient Accretion Events in the Halo, *Astrophysical Journal*, 465, 278.
- Jordi, K., Grebel, E. K., Ammon, K., 2006, Empirical Color Transformations between SDSS Photometry and Other Photometric Systems, *Astronomy and Astrophysics*, 460, 339-347.
- Jurić, M., Ivezić, Ž., Brooks, A., ve diğ., 2008, The Milky Way Tomography with SDSS. I. Stellar Number Density Distribution, *The Astrophysical Journal*, 673, 864-914.
- Kant, I., 1755, *Allgemeine Naturgeschichte und Theorie des Himmels*, Zeitz, Bei W. Webel, Neue aufl.
- Karaali, S., Bilir, S., Karataş, Y., Ak, S. G., 2003a, New Metallicity Calibration Down to $[\text{Fe}/\text{H}] = -2.75$ dex, *Publications of the Astronomical Society of Australia*, 20, 165-172.
- Karaali, S., Karataş, Y., Bilir, S., Ak, S. G., Hamzaoğlu, E., 2003b, A New Procedure for the Photometric Parallax Estimation, *Publications of the Astronomical Society of Australia*, 20, 270-278.
- Karaali, S., Ak, S. G., Bilir, S., Karataş, Y., Gilmore, G., 2003c, A Charge-coupled Device Study of High-latitude Galactic Structure: Testing the Model Parameters, *Monthly Notice of the Royal Astronomical Society*, 343, 1013-1024.
- Karaali, S., Bilir, S., Hamzaoğlu, E., 2004, A Different Approach for the Estimation of Galactic Model Parameters, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 355, 307-320.
- Karaali, S., Bilir, S., Buser, R., 2004, Comprehensive Analysis of RGU Photometry in the Direction to M5, *Publications of the Astronomical Society of Australia*, 21, 275-283.
- 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, 24-28.
- Karaali, S., Bilir, S., Yaz, E., Hamzaoğlu, E., Buser, R., 2007, Volume-Limited Dependent Galactic Model Parameters, *Publications of the Astronomical Society of Australia*, 24, 208-219.

- 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, 95-106.
- Karataş, Y., Schuster, W. J., 2006, Metallicity and Absolute Magnitude Calibrations for UBV Photometry, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 371, 1793-1812.
- Kashlinsky, A., Rees, M. J., 1983, Formation of Population III Stars and Pregalactic Evolution, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 205, 955-971.
- 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.
- Katz, N., 1992, Aspects of Hierarchical Galaxy Formation Involving Gas Dynamics, *Astronomical Society of the Pacific*, 104, 852-856.
- Kawata, D., Grand, R. J. J., Gibson, B. K., Casagrande, L., Hunt, J. A. S., Brook, C. B., 2017, Impacts of a Flaring Star-Forming Disc and Stellar Radial Mixing on the Vertical Metallicity Gradient, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 464, 1, 702-712.
- Kawata, D., Allende Prieto, C., Brook, C. B., 2018, Metallicity Gradient of the Thick Disc Progenitor at High Redshift, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 473, 867-878.
- Kellogg, K., Metchev, S., Miles-Páez, P. A., Tannock, M. E., 2017, A Statistical Survey of Peculiar L and T Dwarfs in SDSS, 2MASS, and WISE, *The Astronomical Journal*, 154, article id. 112, 19.
- Kerr, F. J., 1957, A Magellanic Effect on the Galaxy, *Astronomical Journal*, 62, 93-93.
- Kimeswenger, S., Lederle, C., Richichi, A., ve diğ., 2004, J - K DENIS Photometry of a VLTI-Selected Sample of Bright Southern Stars, *Astronomy and Astrophysics*, 413, 1037-1043.
- Koch, A., Hansen, T. T., Kunder, A., 2018, Detailed Chemical Abundance Analysis of the Thick Disk Star Cluster Gaia 1, *Astronomy and Astrophysics*, 609, id.A13, 11.
- Kollmeier, J. A., Gould, A., Rockosi, C., ve diğ., 2010, SEGUE-2 Limits on Metal-rich Old-population Hypervelocity Stars in the Galactic Halo, *The Astrophysical Journal*, 723, 812-817.
- Kollmeier, J. A., Zasowski, G., Rix, H., ve diğ., 2017, SDSS-V: Pioneering Panoptic Spectroscopy, *eprint arXiv:1711.03234*.
- Koposov, S. E., Belokurov, V., Evans, N. W., ve diğ., 2012, The Sagittarius Streams in the Southern Galactic Hemisphere, *The Astrophysical Journal*, 750, article id. 80, 9.
- Kordopatis, G., Recio-Blanco, A., de Laverny, P., ve diğ., 2011, A Spectroscopic Survey of Thick Disc Stars Outside the Solar Neighbourhood, *Astronomy and Astrophysics*, 535, id.A107, 18.
- Kron, R. G., 1980, Photometry of a Complete Sample of Faint Galaxies, *Astrophysical Journal Supplement Series*, 43, 305-325.
- Kuijken, K., Gilmore, G., 1989, The Mass Distribution in the Galactic Disc - Part III - the Local Volume Mass Density, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 239, 651-664.

- Laird, J. B., Rupen, M. P., Carney, B. W., Latham, D. W., 1988, A Survey of Proper-Motion Stars. VII - The Halo Metallicity Distribution Function, *Astronomical Journal*, 96, 1908-1917.
- La Rosa, G., Gianotti, F., Fazio, G., Segreto, A., Stephen, J., Trifoglio, M., 2000, The EGSE Science Software of the IBIS Instrument On-Board INTEGRAL Satellite, *THE FIFTH COMPTON SYMPOSIUM*, AIP Conference Proceedings, 510, 693-697.
- Larsen, J. A., 1996, Galactic Structure from the APS Catalog of POSS I, American Astronomical Society, 189th AAS Meeting, id.61.03, *Bulletin of the American Astronomical Society*, 28, 1350.
- Larsen, J. A., Humphreys, R. M., 2003, Fitting a Galactic Model to an All-Sky Survey, *The Astronomical Journal*, 125, 1958-1979.
- Landolt, A. U., 1992, UBVRI Photometric Standard Stars in the Magnitude Range 11.5-16.0 around the Celestial Equator, *Astronomical Journal*, 104, 340-371.
- Lee, Y. S., Beers, T. C., Sivarani, T., ve diğ., 2008a, The SEGUE Stellar Parameter Pipeline. I. Description and Comparison of Individual Methods, *The Astronomical Journal*, 136, 2022-2049.
- Lee, Y. S., Beers, T. C., Sivarani, T., ve diğ., 2008b, The SEGUE Stellar Parameter Pipeline. II. Validation with Galactic Globular and Open Clusters, *The Astronomical Journal*, 136, 5, 2050-2069.
- 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., Pedicelli, S., Bono, G., Laney, C. D., Primas, F., Romaniello, M., 2008, Galactic Abundance Gradients from Cepheids. On the Iron Abundance Gradient Around 10-12 kpc, *Astronomy and Astrophysics*, 490, 613-623.
- Lopez-Corredoira, M., Cabrera-Lavers, A., Mahoney, T. J., Garzon, F., Hammersley, P. L., González-Fernández, C., 2006, The Long Bar in the Milky Way. Corroboration of an Old Hypothesis, *Exploiting Large Surveys for Galactic Astronomy*, 26th meeting of the IAU, Joint Discussion 13, Prague, Czech Republic.
- Luck, R. E., Lambert, D. L., 2011, The Distribution of the Elements in the Galactic Disk. III. A Reconsideration of Cepheids from $l = 30^\circ$ 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.
- Lupton, R., Gunn, J. E., Ivezić, Z., Knapp, G. R., Kent, S., 2001, The SDSS Imaging Pipelines, *Astronomical Data Analysis Software and Systems X*, ASP Conference Proceedings, Vol. 238. Edited by F. R. Harnden, Jr., Francis A. Primini, and Harry E. Payne. San Francisco: Astronomical Society of the Pacific, ISSN: 1080-7926, 269.
- Luri, X., Brown, A. G. A., Sarro, L. M., ve diğ., 2018, Gaia Data Release 2. Using Gaia Parallaxes, *Astronomy and Astrophysics*, 616, id.A9, 19.

- Lütticke, R., Dettmar, R. J., Pohlen, M., 2000, Box - and Peanut - Shaped Bulges. I. Statistics, *Astronomy and Astrophysics Supplement*, 145, 405-414.
- Lütticke, R., Dettmar, R. J., Pohlen, M., 2000, Box - and Peanut - Shaped Bulges. II. NIR Observations, *Astronomy and Astrophysics*, 362, 435-446.
- Lütticke, R., Dettmar, R. J., Pohlen, M., 2000, Structural Parameters of Peanut Shaped Bulges, *Astronomische Gesellschaft Abstract Series*, 17, 18-23.
- Mackereth, J.T., Bovy, J., Schiavon, R. P., ve SDSS-IV/APOGEE Collaboration, 2018, The Age-Metallicity Structure of the Milky Way Disc with APOGEE, *Rediscovering our Galaxy*, Proceedings of the International Astronomical Union, IAU Symposium, 334, 265-268.
- 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., 1992, A Complete, Multicolor Survey of Absolute Proper Motions to B of about 22.5 - Galactic Structure and Kinematics at the North Galactic Pole, *Astrophysical Journal Supplement Series*, 78, 87-152.
- Majewski, S. R., 1993, Galactic Structure Surveys and the Evolution of the Milky Way, *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 31, 575-638.
- Majewski, S. R., Law, D. R., Hasselquist, S., Damke, G., 2015, Lessons from the Sagittarius dSph Tidal Stream, Lessons from the Local Group: A Conference in honour of David Block and Bruce Elmegreen, ISBN 978-3-319-10613-7. *Springer International Publishing Switzerland*, 231
- Marsakov, V. A., Borkova, T. V., 2005, Formation of Galactic Subsystems in Light of the Magnesium Abundance in Field Stars: The Thick Disk, *Astronomy Letters*, 31, 515-527.
- Marsakov, V. A., Borkova, T. V., 2006, Magnesium Abundance in the Galactic Thin-Disk Stars and Subsystem Formation History, *Astronomical and Astrophysical Transactions*, 25, 157-159.
- Matteucci, F., Francois, P., 1989, Galactic Chemical Evolution - Abundance Gradients of Individual Elements, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 239, 885-904.
- Melbourne, W. G., 1960, Line-Blanketing Effects on A-G Dwarfs, *Astrophysical Journal*, 132, 101.
- Mermilliod, J.-C., Mermilliod, M., Hauck, B., 1997, The General Catalogue of Photometric Data (GCPD). II., *Astronomy and Astrophysics Supplement Series*, 124, 349-352.
- Mikolaitis, Š., Hill, V., Recio-Blanco, A., ve diğ., 2014, The Gaia-ESO Survey: The Chemical Structure of the Galactic Discs from the First Internal Data Release, *Astronomy and Astrophysics*, 572, id.A33, 22.
- Minchev, I., Martig, M., Streich, D., Scannapieco, C., de Jong, R. S., Steinmetz, M., 2015, On the Formation of Galactic Thick Disks, *The Astrophysical Journal Letters*, 804, article id. L9, 5.
- Mo, H. J., Mao, S., White, S. D. M., 1998, The Formation of Galactic Discs, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 295, 319-336.

- Moni Bidin, C., Carraro, G., Méndez, R. A., 2012, Kinematical and Chemical Vertical Structure of the Galactic Thick Disk. I. Thick Disk Kinematics, *The Astrophysical Journal*, 747, article id. 101, 13.
- Moni Bidin, C., Carraro, G., Méndez, R. A., Smith, R., 2012, Kinematical and Chemical Vertical Structure of the Galactic Thick Disk. II. A Lack of Dark Matter in the Solar Neighborhood, *The Astrophysical Journal*, 751, article id. 30, 14.
- Morgan, W. W., Keenan, P. C., Kellman, E., 1943, *An Atlas of Stellar Spectra, with an Outline of Spectral Classification*, Chicago, Ill., The University of Chicago Press.
- Morrison, H. L., Flynn, C., Freeman, K. C., 1990, Where Does The Disk Stop and The Halo Begin? Kinematics in a Rotation Field, *Astronomical Journal*, 100, 1191-1222.
- Morrison, H. L., Mateo, M., Olszewski, E. W., Harding, P., Dohm-Palmer, R. C., Freeman, K. C., Norris, J. E., Morita, M., 2000, Mapping the Galactic Halo. I. The “Spaghetti” Survey, *The Astronomical Journal*, 119, 2254-2273.
- Mould, J., 2005, Red Thick Disks of Nearby Galaxies, *The Astronomical Journal*, 129, 698-711.
- Murray, C. A., 1983, *Vectorial Astrometry*, Bristol: Adam Hilger.
- Najarro, F., Figer, D. F., Hillier, D. J., Geballe, T. R., Kudritzki, R. P., 2009, Metallicity in the Galactic Center: The Quintuplet Cluster, *The Astrophysical Journal*, 691, 1816-1827.
- Nataf, D. M., Gould, A., Fouqué, P., ve diğ., 2013, Reddening and Extinction toward the Galactic Bulge from OGLE-III: The Inner Milky Way's $R_V \sim 2.5$ Extinction Curve, *The Astrophysical Journal*, 769, article id. 88, 23.
- Navarro, J. F., Frenk, C. S.; White, S. D. M., 1997, A Universal Density Profile from Hierarchical Clustering, *The Astrophysical Journal*, 490, 493-508.
- Navarro, J. F., Abadi, M. G., Venn, K. A., Freeman, K. C.; Anguiano, B., 2011, Through Thick and Thin: Kinematic and Chemical Components in the Solar Neighbourhood, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 412, 1203-1209.
- 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.
- Newberg, H. J., Yanny, B., 1997, Three-dimensional Parameterization of the Stellar Locus with Application to QSO Color Selection, *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 113, 89-104.
- Ng, Y. K., Bertelli, G., Chiosi, C., Bressan, A., 1997, Probing the Galaxy. I. The Galactic Structure Towards the Galactic Pole, *Astronomy and Astrophysics*, 324, 65-79.
- Nissen, P. E., 2003, *CNO at the Surface of Low and Intermediate MS Stars (Invited Review)*, CNO in the universe, Proceedings of a conference held in Saint-Luc, Valais, Switzerland, 10-14 September 2002. Edited by Corinne Charbonnel, Daniel Schaerer, and Georges Meynet. ASP Conference Series, 304. Astronomical Society of the Pacific, 60.
- Nissen, P. E., Schuster, W. J., 2010, Two Distinct Halo Populations in the Solar Neighborhood. Evidence from Stellar Abundance Ratios and Kinematics, *Astronomy and Astrophysics*, 511, id.L10, 9.

- Nordström, B., Mayor, M., Andersen, J., ve diğ., 2004, The Geneva-Copenhagen survey of the Solar neighbourhood. Ages, Metallicities, and Kinematic Properties of 14 000 F and G Dwarfs, *Astronomy and Astrophysics*, 418, 989-1019.
- O'Connell, D. J. K., 1958, Stellar Populations, *Ricerche Astronomiche*, 5, Specola Vaticana, Proceedings of a Conference at Vatican Observatory, Castel Gandolfo, May 20-28, 1957.
- Odenkirchen, M., Grebel, E. K., Harbeck, D., Dehnen, W., ve diğ., 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, 2538-2553.
- Oey, M. S., 2000, A New Look at Simple Inhomogeneous Chemical Evolution, *The Astrophysical Journal*, 542, L25-L28.
- Ojha, D. K., Bienayme, O., Robin, A. C., Creze, M., Mohan, V., 1996, Structure and Kinematical Properties of the Galaxy at Intermediate Galactic Latitudes, *Astronomy and Astrophysics*, 311, 456-469.
- 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, 945-953.
- Ojha, D. K., 2001, Radial Scalelengths of the Galactic Thin and Thick Disc with 2MASS Data, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 322, 426-432.
- Olsen, E. H., 1980, Estimation of Spectral Classifications for Bright Northern Stars with Interesting Stromgren Indices, *Astronomy and Astrophysics Supplement Series*, 39, 205-214.
- 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, 55-134.
- Olsen, E. H., 1984, Preliminary UVBY Calibrations for G and K Type Dwarf Stars, *Astronomy and Astrophysics Supplement Series*, 57, 443-466.
- Olsen, E. H., 1988, The Intrinsic Colour Calibration of Stromgren Photometry for F-Type Stars, *Astronomy and Astrophysics*, 189, 173-178.
- Oort, J. H., 1960, Note on the Determination of K_z and on the Mass Density near the Sun, *Bulletin of the Astronomical Institutes of the Netherlands*, 15, 45.
- Oswalt, T. D., Gilmore, G., 2013, *Planets, Stars and Stellar Systems*, Springer Dordrecht Heidelberg New York London, Set ISBN 978-90-481-8818-5 (eBook).
- Önal Taş, Ö., 2016, *Radyal Hız Deneyindeki Kırmızı Yığın Yıldızların Kinematik Analizi*, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Padmanabhan, N., Schlegel, D. J., Finkbeiner, D. P., ve diğ., 2008, An Improved Photometric Calibration of the Sloan Digital Sky Survey Imaging Data, *The Astrophysical Journal*, 674, 1217-1233.
- Paltoglou, G., Bell, R. A., 1994, Properties of the Washington Photometric System Derived from Synthetic Spectra, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 268, 793.
- Pardi, M. C., Ferrini, F., Matteucci, F., 1995, Evolution of Spiral Galaxies. 4: The Thick Disk in the Solar Region as an Intermediate Collapse Phase, *Astrophysical Journal*, 444, 207-221.

- Pasetto, S., Grebel, E. K., Zwitter, T., ve diğ., 2012, Thin Disk Kinematics from RAVE and the Solar Motion, *Astronomy and Astrophysics*, 547, id.A71, 13.
- Pedicelli, S., Bono, G., Lemasle, B., ve diğ., 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, 2756-2764.
- Perryman, M. A. C., 1995, Astrometric and Astrophysical Insights into the Hipparcos Data Quality, *Astronomical and Astrophysical Objectives of Sub-milliarcsecond optical: Astrometry: Proceedings of the 166th Symposium of the International Astronomical Union Held in the Hague, Netherlands, August 15-19, 1994*. Edited by E. Hog, P. Kenneth Seidelmann, International Astronomical Union. Symposium No. 166, *Kluwer Academic, Publishers*, Dordrecht, 83-86.
- Perryman, M. A. C., Brown, A. G. A., Lebreton, Y., ve diğ., 1998, The Hyades: Distance, Structure, Dynamics, and Age, *Astronomy and Astrophysics*, 331, 81-120.
- Plaut, L., 1965, *Distribution and Motions of Variable Stars*, Galactic Structure. Edited by Adriaan Blaauw and Maarten Schmidt. Published by the University of Chicago Press, Chicago, ILL USA, 267.
- Pohlen, M., Balcells, M., Lütticke, R., Dettmar, R.-J., 2004, Thick Disks of Lenticular Galaxies. 3D-Photometric Thin/Thick Disk Decomposition of Eight Edge-on s0 Galaxies, *Astronomy and Astrophysics*, 422, 465-475.
- Press, W. H., Schechter, P., 1974, Formation of Galaxies and Clusters of Galaxies by Self-Similar Gravitational Condensation, *Astrophysical Journal*, 187, 425-438.
- Quinn, P. J., Hernquist, L., Fullagar, D. P., 1993, Heating of Galactic Disks by Mergers, *Astrophysical Journal*, 403, 74-93.
- Recio-Blanco, A., de Laverny, P., Kordopatis, G., ve diğ., 2014, The Gaia-ESO Survey: The Galactic Thick to Thin Disc Transition, *Astronomy and Astrophysics*, 567, id.A5, 21.
- Reddy, R. R., Nazeer Ahammed, Y., Rama Gopal, K., Baba Basha, D., 2003, Estimation of Potential Energy Curves, Dissociation Energies, Franck-Condon Factors and r-centroids of Comet Interesting Molecules, *Astrophysics and Space Science*, 286, 419-436.
- Reddy, B. E., Tomkin, J., Lambert, D. L., Allende Prieto, C., 2003, The Chemical Compositions of Galactic Disc F and G Dwarfs, *Monthly Notice of the Royal Astronomical Society*, 340, 304-340.
- Reddy, B. E., Lambert, D. L., Allende Prieto, C., 2006, Elemental Abundance Survey of the Galactic Thick Disc, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 367, 1329-1366.
- Reddy, B. E., 2010, The Galactic Thick Disk: An Observational Perspective, Chemical Abundances in the Universe: Connecting First Stars to Planets, *Proceedings of the International Astronomical Union*, IAU Symposium, 265, 289-299.
- Reid, N., Majewski, S. R., 1993, Star Counts Redivivus. I - A New Look at the Galaxy at Faint Magnitudes, *Astrophysical Journal, Part 1 (ISSN 0004-637X)*, 409, 635-662.
- Reid, M. J., Brunthaler, A., 2004, The Proper Motion of Sagittarius A*. II. The Mass of Sagittarius A*, *The Astrophysical Journal*, 616, 872-884.

- Reyle, C., Robin, A. C., 2001, Early Galaxy Evolution from Deep Wide Field Star Counts. II. First Estimate of the Thick Disc Mass Function, *Astronomy and Astrophysics*, 373, 886-894.
- Robin, A., Creze, M., 1986, Stellar Populations in the Milky Way - A Synthetic Model, *Astronomy and Astrophysics*, 157, 71-90.
- Robin, A. C., Haywood, M., Creze, M., Ojha, D. K., Bienayme, O., 1996, The Thick Disc of the Galaxy: Sequel of a Merging Event, *Astronomy and Astrophysics*, 305, 125.
- Robin, A. C., Reyle, C., Creze, M., 2000, Early Galaxy Evolution from Deep Wide Field Star Counts. I. The Spheroid Density Law and Mass Function, *Astronomy and Astrophysics*, 359, 103-112.
- Robin, A. C., Reyl  , C., Derri  re, S., Picaud, S., 2003, A Synthetic View on Structure and Evolution of the Milky Way, *Astronomy and Astrophysics*, 409, 523-540.
- Robin, A. C., Reyl  , C., Fliri, J., Czekaj, M., Robert, C. P., Martins, A. M. M., 2014, Constraining the Thick Disc Formation Scenario of the Milky Way, *Astronomy and Astrophysics*, 569, id.A13, 26.
- Rodgers, C. T., Canterna, R., Smith, J. A., Pierce, M. J., Tucker, D. L., 2006, Improved u'g'r'i'z' to UBVR_{CIC} Transformation Equations for Main-Sequence Stars, *The Astronomical Journal*, 132, 989-993.
- Roman, N. G., 1955, A Catalogue of High-Velocity Stars, *Astrophysical Journal Supplement*, 2, 195.
- Ro  skar, R., Debattista, V. P., Quinn, T. R., Stinson, G. S., Wadsley, J., 2008, Riding the Spiral Waves: Implications of Stellar Migration for the Properties of Galactic Disks, *The Astrophysical Journal Letters*, 684, L79.
- Ruchti, G. R., Fulbright, J. P., Wyse, R. F. G., ve di  ., 2010, Origins of the Thick Disk as Traced by the Alpha Elements of Metal-Poor Giant Stars Selected from RAVE, *The Astrophysical Journal Letters*, 721, L92-L96.
- Ruchti, G. R., Fulbright, J. P., Wyse, R. F. G., ve di  ., 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.
- Russell, H. N., 1913, "Giant" and "Dwarf" Stars, *The Observatory*, 36, 324-329.
- Sako, M., Bassett, B., Becker, A., ve di  ., 2008, The Sloan Digital Sky Survey-II Supernova Survey: Search Algorithm and Follow-up Observations, *The Astronomical Journal*, 135, 348-373.
- Sales, L. V., Helmi, A., Abadi, M. G., ve di  ., 2009, Orbital Eccentricity As a Probe of Thick Disc Formation Scenarios, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society: Letters*, 400, L61-L65.
- Sandage, A. R., Eggen, O. J., 1959, On the Existence of Subdwarfs in the (M_{Bol} , $\log T_{\text{e}}$)-Diagram, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 119, 278.
- 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.
- Schlegel, D. J., Finkbeiner, D. P., Davis, M., 1998, Maps of Dust Infrared Emission for Use in Estimation of Reddening and Cosmic Microwave Background Radiation Foregrounds, *The Astrophysical Journal*, 500, 525-553.
- Schlesinger, K. J., Johnson, J. A., Rockosi, C. M., ve diğ., 2012, The Metallicity Distribution Functions of SEGUE G and K Dwarfs: Constraints for Disk Chemical Evolution and Formation, *The Astrophysical Journal*, 761, article id. 160, 37.
- Schlesinger, K. J., Johnson, J. A., Rockosi, C. M., ve diğ., 2014, The Vertical Metallicity Gradient of the Milky Way Disk: Transitions in $[\alpha/\text{Fe}]$ Populations, *The Astrophysical Journal*, 791, article id. 112, 23.
- Schmidt-Kaler, Th., 1982, *In Landolt-Bornstein: Numerical Data and Functional Relationships in Science and Technology*, 2b, eds Schaifers, K., Voigt, H. H., Springer: Berlin.
- Schönrich, R., Binney, J., 2009, Origin and Structure of the Galactic Disc(s), *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 399, 1145-1156.
- Searle, L., Zinn, R., 1978, Compositions of Halo Clusters and the Formation of the Galactic Halo, *Astrophysical Journal*, 225, 357-379.
- Seth, A. C., Dalcanton, J. J., de Jong, R. S., 2005, A Study of Edge-On Galaxies with the Hubble Space Telescope Advanced Camera for Surveys. II. Vertical Distribution of the Resolved Stellar Population, *The Astronomical Journal*, 130, 1574-1592.
- Sharma, S., Bland-Hawthorn, J., 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.
- Shaw, M. A., Gilmore, G., 1989, The Luminosity Distributions of Edge-on Spiral Galaxies. I - A Two-dimensional Model and its Application to NGC 891 and 4565, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 237, 903-927.
- Siegel, M. H., Majewski, S. R., Reid, I. N., Thompson, I. B., 2002, Star Counts Redivivus. IV. Density Laws through Photometric Parallaxes, *The Astrophysical Journal*, 578, 151-175.
- 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, 1569-1578.
- Simion, I. T., Belokurov, V., Irwin, M., Koposov, S. E., 2014, Strong RR Lyrae Excess in the Hercules-Aquila Cloud, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 440, 161-171.
- Skrutskie, M. F., Cutri, R. M., Stiening, R., ve diğ., 2006, The Two Micron All Sky Survey (2MASS), *The Astronomical Journal*, 131, 1163-1183.
- Smith, J., Harper, D. A., Loewenstein, R. F., 1987, Dust Reradiation from M43, *Astrophysical Journal*, 314, 76-87.
- Smith, J. A., Tucker, D. L., Kent, S., ve diğ., 2002, The u'g'r'i'z' Standard-Star System, *The Astronomical Journal*, 123, 2121-2144.

- Soubiran, C., Bienaymé, O., Siebert, A., 2003, Vertical Distribution of Galactic Disk Stars. I. Kinematics and Metallicity, *Astronomy and Astrophysics*, 398, 141-151.
- Soubiran, C., Bienaymé, O., Mishenina, T. V., Kovtyukh, V. V., 2008, Vertical Distribution of Galactic Disk Stars. IV. AMR and AVR from Clump Giants, *Astronomy and Astrophysics*, 480, 91-101.
- Soubiran, C., Le Campion, J.-F., Cayrel de Strobel, G., Caillo, A., 2010, The PASTEL Catalogue of Stellar Parameters, *Astronomy and Astrophysics*, 515, id.A111, 5.
- Spagna, A., Lattanzi, M. G., Lasker, B. M., McLean, B. J., Massone, G., Lanteri, L., 1996, Galactic Structure Along the Main Meridional Section of the Galaxy. I. The North Galactic Pole (N321) Field, *Astronomy and Astrophysics*, 311, 758-777.
- Steinmetz, M., Navarro, J. F., 1999, The Cosmological Origin of the Tully-Fisher Relation, *The Astrophysical Journal*, 513, 555-560.
- Steinmetz, M., Navarro, J. F., 2002, The Hierarchical Origin of Galaxy Morphologies, *New Astronomy*, 7, 155-160.
- Steinmetz, M., Zwitter, T., Siebert, A., ve diğ., 2006, The Radial Velocity Experiment (RAVE): First Data Release, *The Astronomical Journal*, 132, 1645-1668.
- Stobie, R. S., Ishida, K., 1987, UBV Star-Count Data in the Region of the North Galactic Pole, *Astronomical Journal*, 93, 624-633.
- Stoughton, C., Lupton, R. H., Bernardi, M., ve diğ., 2002, Sloan Digital Sky Survey: Early Data Release, *The Astronomical Journal*, 123, 485-548.
- 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., 1966, Spectral Classification Through Photoelectric Narrow-Band Photometry, *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 4, 433.
- Strömgren, B., 1987, *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*, IN: The Galaxy; Proceedings of the NATO Advanced Study Institute, Cambridge, England, Aug. 4-15, 1986 (A88-28081 10-90). Dordrecht, D. Reidel Publishing Co., 229-246.
- Tayson, J. A., Jarvis, J. F., 1979, Evolution of Galaxies - Automated Faint Object Counts to 24th Magnitude, *Astrophysical Journal*, 230, L153-L156.
- Tian, Z., Liu, X., Yuan, H., ve diğ., 2018, Binary Star Fractions from the LAMOST DR4, *Research in Astronomy and Astrophysics*, 18, article id. 052.
- Tikhonov, N. A., Galazutdinova, O. A., Drozdovsky, I. O., 2005, Thick Disks and Halos of Spiral Galaxies M 81, NGC 55 and NGC 300, *Astronomy and Astrophysics*, 431, 127-142.
- Tritton, K. P., Morton, D. C., 1984, A Deep Optical Survey of a Small Region in Aquarius. I. Stellar Photometry and Galactic Structure, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 209, 429-447.

- Trefzger, Ch. F., Pel, J. W., Gabi, S., 1995, Walraven VBLUW Photometry in Basel Halo Fields. II. Metallicity Distribution of F- and G-Stars in the Direction of SA 141 (South Galactic Pole), *Astronomy and Astrophysics*, 304, 381.
- Tsikoudi, V., 1979, Photometry and Structure of Lenticular Galaxies. I - NGC 3115, *Astrophysical Journal*, 234, 842-853.
- Tsikoudi, V., 1980, Photometry and Structure of Lenticular Galaxies. II - NGC 4111 and NGC 4762, *Astrophysical Journal Supplement Series*, 43, 365-377.
- Tsujimoto, T., Shigeyama, T., Yoshii, Y., 1999, Chemical Evolution of the Galactic Halo through Supernova-induced Star Formation and Its Implication for Population III Stars, *The Astrophysical Journal*, 519, L63-L67.
- 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.
- Tunçel Güçtekin, S., Bilir, S., Karaali, S., Plevne, O., Ak, S., 2018, “Vertical and Radial Metallicity Gradients in High Latitude Galactic Field with SDSS”, *Advances in Space Research*, (hakem aşamasında).
- Upgren, A. R., 1963, Space Distribution of stars of Intermediate Spectral Type in a North Galactic Pole Region, *Astronomical Journal*, 68, 194-206.
- Xiang, M., Liu, X., Yuan, H., ve diğ., 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 der Kuruit, P. C., Searle, E., 1981, Surface Photometry of Edge-on Spiral Galaxies. I - A Model for the Three-dimensional Distribution of light in Galactic Disks, *Astronomy and Astrophysics*, 95, 105-115.
- van der Kuruit, P. C., Searle, E., 1981, Surface Photometry of Edge-On Spiral Galaxies. II - The Distribution of Light and Colour in the Disk and Spheroid of NGC 891, *Astronomy and Astrophysics*, 95, 116.
- van der Kuruit, P. C., 1984, A Comparison of our Galaxy to NGC 891 and NGC 4565 and the Structure of Their Spheroids, *Astronomy and Astrophysics*, 140, 470-475.
- van Leeuwen, F., 2007, Validation of the New Hipparcos Reduction, *Astronomy and Astrophysics*, 474, 653-664.
- Veltz, L., Bienaymé, O., Freeman, K. C., ve diğ., 2008, Galactic Kinematics with RAVE Data. I. The Distribution of Stars towards the Galactic Poles, *Astronomy and Astrophysics*, 480, 753-765.
- Venn, K. A., Irwin, M., Shetrone, M. D., Tout, C. A., Hill, V., Tolstoy, E., 2004, Stellar Chemical Signatures and Hierarchical Galaxy Formation, *The Astronomical Journal*, 128, 1177-1195.
- Vilalobos, A., Helmi, A., 2008, Simulations of Minor Mergers - I. General Properties of Thick Discs, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 391, 1806-1827.

- von Hippel, T., Bothun, G. D., 1993, A Method for Obtaining the Age and Scale Height of the Thick Disk from Faint Stromgren Photometry, *Astrophysical Journal*, 407, 115-125.
- Wallerstein, G., Carlson, M., 1960, Letter to the Editor: On the Ultraviolet Excess in G Dwarfs, *Astrophysical Journal*, 132, 276.
- Wallerstein, G., 1962, Abundances in G. Dwarfs. VI. A Survey of Field Stars, *Astrophysical Journal Supplement*, 6, 407.
- Walraven, Th., Walveren, J. H., 1960, A New Photo-Electric Method of Classification of Luminosity and Spectral Type for O-and B-Type Stars, *Bulletin of the Astronomical Institutes of the Netherlands*, 15, 67.
- White, S. D. M., Rees, M. J., 1978, Core Condensation in Heavy Halos - A Two-Stage Theory for Galaxy Formation and Clustering, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 183, 341-358.
- Wildev, R. L., Burbidge, E. M., Sandage, A. R., Burbidge, G. R., 1962, On the Effect of Fraunhofer Lines on u, b, V Measurements, *Astrophysical Journal*, 135, 94.
- 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, 848-854.
- Wilson, M. L., Helmi, A., Morrison, H. L., ve diğ., 2011, Testing Formation Mechanisms of the Milky Way's Thick Disc with RAVE, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 413, 2235-2241.
- Wright, E. L., Eisenhardt, P. R. M., Mainzer, A. K., ve diğ., 2010, The Wide-field Infrared Survey Explorer (WISE): Mission Description and Initial On-orbit Performance, *The Astronomical Journal*, 140, 1868-1881.
- Wu, H., Burstein, D., Deng, Z., ve diğ., 2002, Intermediate-Band Surface Photometry of the Edge-on Galaxy NGC 4565, *The Astronomical Journal*, 123, 1364-1380.
- 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.
- Wyse, R. F. G., 2006, Lessons from Surveys of the Galaxy, *Memorie della Società Astronomica Italiana*, 77, 1036.
- Yamagata, T., Yoshii, Y., 1992, UBV Starcounts in SA54 and Global Structure of the Galaxy, *Astronomical Journal*, 103, 117-130.
- Yanny, B., Rockosi, C., Newberg, H. J., ve diğ., 2009, SEGUE: A Spectroscopic Survey of 240,000 Stars with $g = 14-20$, *The Astronomical Journal*, 137, 4377-4399.
- Yaz, E., Karaali, S., 2010, Estimation of Galactic Model Parameters and Metallicity Distribution in Intermediate Latitudes with SDSS, *New Astronomy*, 15, 234-236.
- Yaz Gökçe, E., Karaali, S., Duran, Ş., ve diğ., 2015, Solar Space Density of the Red Clump Stars and the Scale-Length of the Thin Disc, *Publications of the Astronomical Society of Australia*, 32, id.e012, 9.
- Yoachim, P., Dalcanton, J. J., 2006, Structural Parameters of Thin and Thick Disks in Edge-on Disk Galaxies, *The Astronomical Journal*, 131, 226-249.

- 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.
- Young, P. J., 1976, Tables of Functions for a Spherical Galaxy Obeying the $7-1/1$ Law in Projection, *Astronomical Journal*, 81, 807.
- Yoshii, Y., 1982, Chemical Evolution of the Galaxy, *Astrophysical Herald*, 75, 272-284.
- 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, 323-337.
- Yoshii, Y., 2013, *Star Counts and Nature of the Galactic Thick Disk*, Planets, Stars and Stellar Systems Vol. 5, by Oswalt, Terry D.; Gilmore, Gerard, ISBN 978-94-007-5611-3. Springer Science+Business Media Dordrecht, 2013, 393.
- York, D. G., Adelman, J., Anderson, J. E., ve diğ., 2000, The Sloan Digital Sky Survey: Technical Summary, *The Astrophysical Journal*, 120, 1579-1587.
- Zhao, G., Zhao, Y., Chu, Y., Jing, Y., Deng, L., 2012, LAMOST Spectral Survey - An Overview, *Research in Astronomy and Astrophysics*, 12, 723-734.
- Zinn, R., 1985, The Globular Cluster System of the Galaxy. IV - The Halo and Disk Subsystems, *Astrophysical Journal*, 293, 424-444.
- Zoccali, M., Renzini, A., Ortolani, S., ve diğ., 2003, Age and Metallicity Distribution of the Galactic Bulge from Extensive Optical and Near-IR Stellar Photometry, *Astronomy and Astrophysics*, 399, 931-956.
- Zoccali, M., Hill, V., Lecureur, A., Barbuy, B., Renzini, A., Minniti, D., Gómez, A., Ortolani, S., 2008, The Metal Content of Bulge Field Stars from FLAMES-GIRAFFE Spectra. I. Stellar Parameters and Iron Abundances, *Astronomy and Astrophysics*, 486, 177-189.
- Zwitter, T., Siebert, A., Munari, U., ve diğ., 2008, The Radial Velocity Experiment (RAVE): Second Data Release, *The Astronomical Journal*, 136, 421-451.

EKLER

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 (kpc)	z_1-z_2 (kpc)	N	R (kpc)	Z (kpc)	[Fe/H] (dex)	l (°)	d_1-d_2 (kpc)	z_1-z_2 (kpc)	N	R (kpc)	Z (kpc)	[Fe/H] (dex)
(0, 20]	(0.5, 1]	(0.44, 0.87]	3,818	7.63	0.75	-0.44±0.01	(20, 40]	(0.5, 1]	(0.44, 0.87]	3,818	7.70	0.74	-0.53±0.01
(0, 20]	(1, 1.5]	(0.87, 1.31]	11,928	7.48	1.09	-0.57±0.00	(20, 40]	(1, 1.5]	(0.87, 1.31]	11,928	7.56	1.09	-0.65±0.00
(0, 20]	(1.5, 2]	(1.31, 1.74]	13,573	7.33	1.50	-0.65±0.00	(20, 40]	(1.5, 2]	(1.31, 1.74]	13,573	7.42	1.50	-0.70±0.00
(0, 20]	(2, 3]	(1.74, 2.62]	23,348	7.17	2.11	-0.82±0.00	(20, 40]	(2, 3]	(1.74, 2.62]	19,961	7.30	2.11	-0.75±0.00
(0, 20]	(3, 4]	(2.62, 3.49]	16,309	7.10	2.96	-1.00±0.00	(20, 40]	(3, 4]	(2.62, 3.49]	13,535	7.25	2.96	-1.15±0.00
(0, 20]	(4, 5]	(3.49, 4.36]	12,230	7.23	3.82	-1.35±0.01	(20, 40]	(4, 5]	(3.49, 4.36]	9,413	7.38	3.82	-1.35±0.01
(0, 20]	(5, 6]	(4.36, 5.23]	9,986	7.53	4.68	-1.49±0.01	(20, 40]	(5, 6]	(4.36, 5.23]	7,312	7.67	4.68	-1.53±0.01
(0, 20]	(6, 7]	(5.23, 6.10]	8,334	8.00	5.54	-1.50±0.01	(20, 40]	(6, 7]	(5.23, 6.10]	6,172	8.09	5.55	-1.65±0.01
(0, 20]	(7, 8]	(6.10, 6.98]	6,424	8.58	6.40	-1.56±0.01	(20, 40]	(7, 8]	(6.10, 6.98]	4,830	8.60	6.40	-1.63±0.01
(0, 20]	(8, 9]	(6.98, 7.85]	4,871	9.26	7.26	-1.65±0.01	(20, 40]	(8, 9]	(6.98, 7.85]	3,624	9.25	7.28	-1.63±0.01
(0, 20]	(9, 10]	(7.85, 8.72]	3,383	10.05	8.16	-1.57±0.01	(20, 40]	(9, 10]	(7.85, 8.72]	2,712	9.98	8.18	-1.65±0.01
(0, 20]	(10, 12]	(8.72, 10.46]	3,659	11.26	9.39	-1.56±0.01	(20, 40]	(10, 12]	(8.72, 10.46]	2,925	11.11	9.38	-1.70±0.01
(0, 20]	(12, 14]	(10.46, 12.21]	1,463	13.04	11.20	-1.53±0.01	(20, 40]	(12, 14]	(10.46, 12.21]	1,129	12.80	11.18	-1.65±0.02
(0, 20]	(14, 16]	(12.21, 13.95]	560	14.92	12.93	-1.53±0.02	(20, 40]	(14, 16]	(12.21, 13.95]	405	14.67	13.06	-1.75±0.05
(40, 60]	(0.5, 1]	(0.44, 0.87]	3,863	7.79	0.75	-0.46±0.01	(60, 80]	(0.5, 1]	(0.44, 0.87]	3,505	7.91	0.74	-0.43±0.01
(40, 60]	(1, 1.5]	(0.87, 1.31]	10,534	7.70	1.09	-0.59±0.00	(60, 80]	(1, 1.5]	(0.87, 1.31]	8,986	7.89	1.09	-0.58±0.00
(40, 60]	(1.5, 2]	(1.31, 1.74]	10,984	7.62	1.51	-0.70±0.00	(60, 80]	(1.5, 2]	(1.31, 1.74]	8,798	7.88	1.51	-0.70±0.00
(40, 60]	(2, 3]	(1.74, 2.62]	18,172	7.56	2.13	-0.80±0.00	(60, 80]	(2, 3]	(1.74, 2.62]	14,042	7.91	2.12	-0.80±0.00
(40, 60]	(3, 4]	(2.62, 3.49]	12,626	7.58	2.98	-1.05±0.01	(60, 80]	(3, 4]	(2.62, 3.49]	9,566	8.04	2.99	-1.05±0.01
(40, 60]	(4, 5]	(3.49, 4.36]	8,962	7.75	3.86	-1.37±0.01	(60, 80]	(4, 5]	(3.49, 4.36]	6,975	8.28	3.87	-1.40±0.01
(40, 60]	(5, 6]	(4.36, 5.23]	7,144	8.05	4.75	-1.49±0.01	(60, 80]	(5, 6]	(4.36, 5.23]	5,432	8.61	4.75	-1.46±0.01
(40, 60]	(6, 7]	(5.23, 6.10]	6,042	8.42	5.60	-1.50±0.01	(60, 80]	(6, 7]	(5.23, 6.10]	4,703	9.04	5.65	-1.50±0.01
(40, 60]	(7, 8]	(6.10, 6.98]	4,826	8.94	6.51	-1.56±0.01	(60, 80]	(7, 8]	(6.10, 6.98]	3,833	9.52	6.53	-1.48±0.01
(40, 60]	(8, 9]	(6.98, 7.85]	3,765	9.53	7.41	-1.60±0.01	(60, 80]	(8, 9]	(6.98, 7.85]	2,974	10.10	7.45	-1.40±0.01
(40, 60]	(9, 10]	(7.85, 8.72]	2,786	10.14	8.28	-1.60±0.01	(60, 80]	(9, 10]	(7.85, 8.72]	2,315	10.71	8.33	-1.51±0.01
(40, 60]	(10, 12]	(8.72, 10.46]	3,193	11.20	9.52	-1.52±0.01	(60, 80]	(10, 12]	(8.72, 10.46]	2,578	11.56	9.53	-1.47±0.01
(40, 60]	(12, 14]	(10.46, 12.21]	1,242	12.65	11.23	-1.55±0.02	(60, 80]	(12, 14]	(10.46, 12.21]	1,013	12.92	11.25	-1.53±0.02
(40, 60]	(14, 16]	(12.21, 13.95]	466	14.37	13.11	-1.71±0.03	(60, 80]	(14, 16]	(12.21, 13.95]	301	14.28	12.96	-1.52±0.04
(80-100]	(0.5, 1]	(0.44, 0.87]	3,590	8.04	0.73	-0.42±0.01	(100-120]	(0.5, 1]	(0.44, 0.87]	3,895	8.16	0.72	-0.43±0.01
(80-100]	(1, 1.5]	(0.87, 1.31]	7,911	8.08	1.08	-0.57±0.00	(100-120]	(1, 1.5]	(0.87, 1.31]	7,392	8.26	1.08	-0.60±0.00
(80-100]	(1.5, 2]	(1.31, 1.74]	7,253	8.15	1.51	-0.69±0.00	(100-120]	(1.5, 2]	(1.31, 1.74]	6,545	8.40	1.51	-0.69±0.00
(80-100]	(2, 3]	(1.74, 2.62]	11,332	8.29	2.12	-0.75±0.01	(100-120]	(2, 3]	(1.74, 2.62]	9,758	8.65	2.14	-0.84±0.00
(80-100]	(3, 4]	(2.62, 3.49]	7,783	8.57	3.01	-1.05±0.01	(100-120]	(3, 4]	(2.62, 3.49]	6,591	9.06	3.01	-1.10±0.01
(80-100]	(4, 5]	(3.49, 4.36]	5,612	8.93	3.90	-1.34±0.01	(100-120]	(4, 5]	(3.49, 4.36]	4,905	9.54	3.88	-1.34±0.01
(80-100]	(5, 6]	(4.36, 5.23]	4,521	9.37	4.77	-1.40±0.01	(100-120]	(5, 6]	(4.36, 5.23]	3,987	10.09	4.80	-1.45±0.01
(80-100]	(6, 7]	(5.23, 6.10]	3,629	9.85	5.66	-1.50±0.01	(100-120]	(6, 7]	(5.23, 6.10]	3,365	10.68	5.67	-1.50±0.01
(80-100]	(7, 8]	(6.10, 6.98]	3,092	10.40	6.55	-1.51±0.01	(100-120]	(7, 8]	(6.10, 6.98]	2,722	11.32	6.58	-1.49±0.01
(80-100]	(8, 9]	(6.98, 7.85]	2,466	11.00	7.46	-1.50±0.01	(100-120]	(8, 9]	(6.98, 7.85]	2,111	11.97	7.45	-1.53±0.01
(80-100]	(9, 10]	(7.85, 8.72]	1,772	11.59	8.33	-1.50±0.01	(100-120]	(9, 10]	(7.85, 8.72]	1,544	12.70	8.39	-1.60±0.01
(80-100]	(10, 12]	(8.72, 10.46]	2,082	12.55	9.59	-1.50±0.01	(100-120]	(10, 12]	(8.72, 10.46]	1,877	13.68	9.62	-1.55±0.01
(80-100]	(12, 14]	(10.46, 12.21]	870	13.99	11.39	-1.55±0.02	(100-120]	(12, 14]	(10.46, 12.21]	765	15.25	11.43	-1.70±0.03
(80-100]	(14, 16]	(12.21, 13.95]	316	15.38	13.10	-1.45±0.03	(100-120]	(14, 16]	(12.21, 13.95]	286	16.78	13.03	-1.55±0.03

Tablo EK 1 (devam):

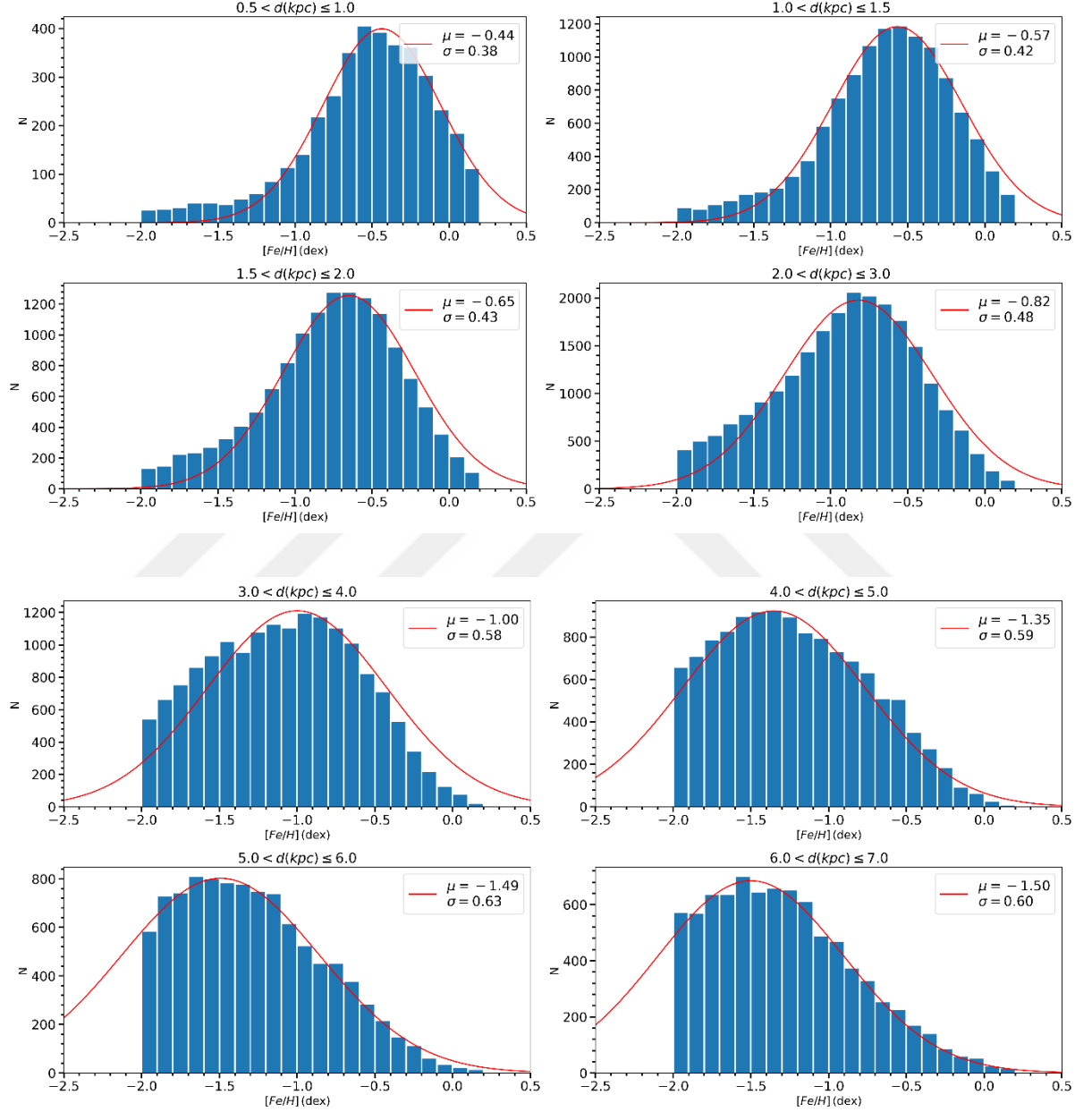
l (°)	d_1-d_2 (kpc)	z_1-z_2 (kpc)	N	R (kpc)	Z (kpc)	[Fe/H] (dex)	l (°)	d_1-d_2 (kpc)	z_1-z_2 (kpc)	N	R (kpc)	Z (kpc)	[Fe/H] (dex)
(120, 140]	(0.5, 1]	(0.44, 0.87]	4,056	8.30	0.72	-0.43±0.01	(140, 60]	(0.5, 1]	(0.44, 0.87]	3,646	8.39	0.74	-0.46±0.01
(120, 140]	(1, 1.5]	(0.87, 1.31]	7,349	8.46	1.08	-0.60±0.00	(140, 160]	(1, 1.5]	(0.87, 1.31]	7,088	8.60	1.08	-0.60±0.00
(120, 140]	(1.5, 2]	(1.31, 1.74]	6,340	8.68	1.51	-0.71±0.00	(140, 160]	(1.5, 2]	(1.31, 1.74]	6,308	8.88	1.52	-0.71±0.01
(120, 140]	(2, 3]	(1.74, 2.62]	9,131	9.02	2.13	-0.70±0.01	(140, 160]	(2, 3]	(1.74, 2.62]	9,145	9.29	2.15	-0.8±0.010
(120, 140]	(3, 4]	(2.62, 3.49]	6,251	9.58	3.01	-0.95±0.01	(140, 160]	(3, 4]	(2.62, 3.49]	6,158	9.98	3.03	-1.10±0.01
(120, 140]	(4, 5]	(3.49, 4.36]	4,644	10.22	3.92	-1.30±0.01	(140, 160]	(4, 5]	(3.49, 4.36]	4,544	10.74	3.91	-1.38±0.01
(120, 140]	(5, 6]	(4.36, 5.23]	3,756	10.85	4.79	-1.48±0.01	(140, 160]	(5, 6]	(4.36, 5.23]	3,728	11.50	4.81	-1.45±0.01
(120, 140]	(6, 7]	(5.23, 6.10]	3,220	11.57	5.67	-1.50±0.01	(140, 160]	(6, 7]	(5.23, 6.10]	3,157	12.29	5.71	-1.51±0.01
(120, 140]	(7, 8]	(6.10, 6.98]	2,512	12.29	6.58	-1.49±0.01	(140, 160]	(7, 8]	(6.10, 6.98]	2,588	13.11	6.61	-1.48±0.01
(120, 140]	(8, 9]	(6.98, 7.85]	2,048	13.03	7.50	-1.48±0.01	(140, 160]	(8, 9]	(6.98, 7.85]	2,037	14.02	7.50	-1.53±0.01
(120, 140]	(9, 10]	(7.85, 8.72]	1,476	13.82	8.42	-1.47±0.01	(140, 160]	(9, 10]	(7.85, 8.72]	1,497	14.91	8.37	-1.50±0.01
(120, 140]	(10, 12]	(8.72, 10.46]	1,639	14.97	9.64	-1.51±0.01	(140, 160]	(10, 12]	(8.72, 10.46]	1,757	16.08	9.61	-1.50±0.01
(120, 140]	(12, 14]	(10.46, 12.21]	702	16.61	11.55	-1.60±0.02	(140, 160]	(12, 14]	(10.46, 12.21]	742	17.97	11.37	-1.47±0.02
(120, 140]	(14, 16]	(12.21, 13.95]	228	18.51	13.23	-1.70±0.05	(140, 160]	(14, 16]	(12.21, 13.95]	238	19.70	13.23	-1.52±0.04
(160, 180]	(0.5, 1]	(0.44, 0.87]	3,420	8.42	0.74	-0.45±0.01	(180, 200]	(0.5, 1]	(0.44, 0.87]	3,562	8.42	0.74	-0.45±0.01
(160, 180]	(1, 1.5]	(0.87, 1.31]	7,094	8.67	1.09	-0.61±0.00	(180, 200]	(1, 1.5]	(0.87, 1.31]	6,970	8.66	1.09	-0.65±0.00
(160, 180]	(1.5, 2]	(1.31, 1.74]	6,019	8.98	1.51	-0.71±0.00	(180, 200]	(1.5, 2]	(1.31, 1.74]	5,906	8.97	1.52	-0.74±0.01
(160, 180]	(2, 3]	(1.74, 2.62]	8,866	9.44	2.15	-0.86±0.01	(180, 200]	(2, 3]	(1.74, 2.62]	8,845	9.42	2.16	-0.75±0.01
(160, 180]	(3, 4]	(2.62, 3.49]	5,890	10.20	3.03	-1.00±0.01	(180, 200]	(3, 4]	(2.62, 3.49]	5,903	10.17	3.03	-1.05±0.01
(160, 180]	(4, 5]	(3.49, 4.36]	4,404	11.00	3.92	-1.40±0.01	(180, 200]	(4, 5]	(3.49, 4.36]	4,486	10.96	3.95	-1.35±0.01
(160, 180]	(5, 6]	(4.36, 5.23]	3,679	11.78	4.85	-1.50±0.01	(180, 200]	(5, 6]	(4.36, 5.23]	3,685	11.82	4.83	-1.50±0.01
(160, 180]	(6, 7]	(5.23, 6.10]	3,143	12.70	5.72	-1.50±0.01	(180, 200]	(6, 7]	(5.23, 6.10]	3,206	12.69	5.73	-1.50±0.01
(160, 180]	(7, 8]	(6.10, 6.98]	2,623	13.58	6.64	-1.50±0.01	(180, 200]	(7, 8]	(6.10, 6.98]	2,765	13.57	6.62	-1.60±0.01
(160, 180]	(8, 9]	(6.98, 7.85]	2,027	14.54	7.49	-1.60±0.01	(180, 200]	(8, 9]	(6.98, 7.85]	2,183	14.48	7.55	-1.49±0.01
(160, 180]	(9, 10]	(7.85, 8.72]	1,525	15.39	8.47	-1.60±0.02	(180, 200]	(9, 10]	(7.85, 8.72]	1,731	15.41	8.43	-1.53±0.01
(160, 180]	(10, 12]	(8.72, 10.46]	1,745	16.75	9.67	-1.47±0.01	(180, 200]	(10, 12]	(8.72, 10.46]	1,930	16.77	9.62	-1.55±0.02
(160, 180]	(12, 14]	(10.46, 12.21]	665	18.51	11.60	-1.55±0.02	(180, 200]	(12, 14]	(10.46, 12.21]	8,13	18.65	11.38	-1.50±0.02
(160, 180]	(14, 16]	(12.21, 13.95]	280	20.69	13.25	-1.50±0.05	(180, 200]	(14, 16]	(12.21, 13.95]	322	20.75	13.30	-1.55±0.04
(200, 220]	(0.5, 1]	(0.44, 0.87]	2,745	8.38	0.76	-0.49±0.01	(220, 240]	(0.5, 1]	(0.44, 0.87]	3,152	8.29	0.75	-0.46±0.01
(200, 220]	(1, 1.5]	(0.87, 1.31]	7,090	8.59	1.09	-0.65±0.00	(220-240]	(1, 1.5]	(0.87, 1.31]	7,657	8.45	1.09	-0.63±0.00
(200, 220]	(1.5, 2]	(1.31, 1.74]	6,453	8.87	1.52	-0.78±0.00	(220-240]	(1.5, 2]	(1.31, 1.74]	6,782	8.67	1.52	-0.74±0.00
(200, 220]	(2, 3]	(1.74, 2.62]	9,797	9.29	2.15	-0.75±0.01	(220-240]	(2, 3]	(1.74, 2.62]	10,470	9.01	2.14	-0.75±0.01
(200, 220]	(3, 4]	(2.62, 3.49]	6,459	9.96	3.02	-1.05±0.01	(220-240]	(3, 4]	(2.62, 3.49]	7,403	9.57	3.01	-1.15±0.01
(200, 220]	(4, 5]	(3.49, 4.36]	4,973	10.72	3.92	-1.50±0.01	(220-240]	(4, 5]	(3.49, 4.36]	5,450	10.20	3.91	-1.40±0.01
(200, 220]	(5, 6]	(4.36, 5.23]	4,209	11.50	4.83	-1.54±0.01	(220-240]	(5, 6]	(4.36, 5.23]	4,662	10.88	4.80	-1.54±0.01
(200, 220]	(6, 7]	(5.23, 6.10]	3,666	12.33	5.69	-1.50±0.01	(220-240]	(6, 7]	(5.23, 6.10]	3,902	11.57	5.68	-1.60±0.01
(200, 220]	(7, 8]	(6.10, 6.98]	3,008	13.15	6.60	-1.63±0.01	(220-240]	(7, 8]	(6.10, 6.98]	3,302	12.31	6.54	-1.70±0.01
(200, 220]	(8, 9]	(6.98, 7.85]	2,366	13.98	7.51	-1.57±0.01	(220-240]	(8, 9]	(6.98, 7.85]	2,598	13.06	7.46	-1.55±0.01
(200, 220]	(9, 10]	(7.85, 8.72]	1,777	14.91	8.39	-1.50±0.01	(220-240]	(9, 10]	(7.85, 8.72]	2,042	13.85	8.31	-1.62±0.02
(200, 220]	(10, 12]	(8.72, 10.46]	2,189	16.10	9.61	-1.50±0.01	(220-240]	(10, 12]	(8.72, 10.46]	2,379	15.00	9.57	-1.60±0.01
(200, 220]	(12, 14]	(10.46, 12.21]	990	18.03	11.32	-1.55±0.02	(220-240]	(12, 14]	(10.46, 12.21]	1,015	16.67	11.29	-1.60±0.02
(200, 220]	(14, 16]	(12.21, 13.95]	367	19.93	13.13	-1.55±0.04	(220-240]	(14, 16]	(12.21, 13.95]	400	18.39	13.24	-1.55±0.03

Tablo EK 1 (devam):

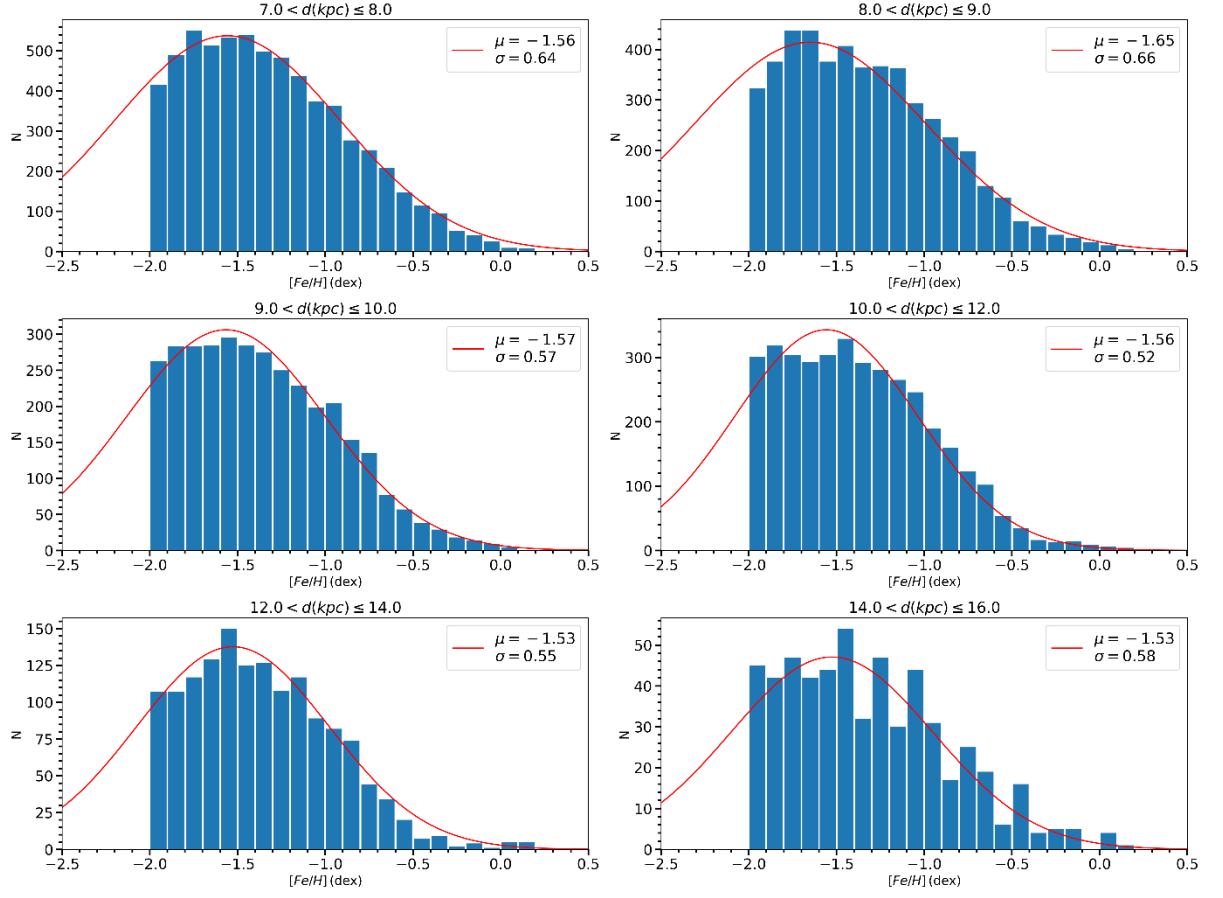
l (°)	d_1-d_2 (kpc)	z_1-z_2 (kpc)	N	R (kpc)	Z (kpc)	[Fe/H] (dex)	l (°)	d_1-d_2 (kpc)	z_1-z_2 (kpc)	N	R (kpc)	Z (kpc)	[Fe/H] (dex)
(240, 260]	(0.5, 1]	(0.44, 0.87]	3,861	8.16	0.72	-0.47±0.01	(260, 280]	(0.5, 1]	(0.44, 0.87]	3,861	8.04	0.74	-0.46±0.01
(240, 260]	(1, 1.5]	(0.87, 1.31]	7,955	8.26	1.09	-0.62±0.00	(260, 280]	(1, 1.5]	(0.87, 1.31]	7,955	8.08	1.11	-0.62±0.00
(240, 260]	(1.5, 2]	(1.31, 1.74]	7,300	8.40	1.51	-0.75±0.00	(260, 280]	(1.5, 2]	(1.31, 1.74]	7,300	8.16	1.54	-0.74±0.00
(240, 260]	(2, 3]	(1.74, 2.62]	11,443	8.65	2.14	-0.80±0.01	260-280	(2, 3]	(1.74, 2.62]	11,443	8.31	2.18	-0.80±0.01
240-260	(3, 4]	(2.62, 3.49]	8,190	9.06	3.01	-1.14±0.01	260-280	(3, 4]	(2.62, 3.49]	8,190	8.60	3.07	-1.10±0.01
240-260	(4, 5]	(3.49, 4.36]	5,955	9.54	3.89	-1.41±0.01	260-280	(4, 5]	(3.49, 4.36]	5,955	8.97	3.95	-1.40±0.01
240-260	(5, 6]	(4.36, 5.23]	4,881	10.09	4.76	-1.60±0.01	260-280	(5, 6]	(4.36, 5.23]	4,881	9.41	4.86	-1.47±0.01
240-260	(6, 7]	(5.23, 6.10]	4,338	10.68	5.63	-1.70±0.01	260-280	(6, 7]	(5.23, 6.10]	4,338	9.91	5.73	-1.60±0.01
240-260	(7, 8]	(6.10, 6.98]	3,539	11.31	6.49	-1.60±0.01	260-280	(7, 8]	(6.10, 6.98]	3,539	10.46	6.65	-1.56±0.01
240-260	(8, 9]	(6.98, 7.85]	2,834	11.98	7.40	-1.70±0.01	260-280	(8, 9]	(6.98, 7.85]	2,843	11.06	7.54	-1.50±0.01
240-260	(9, 10]	(7.85, 8.72]	2,186	12.69	8.25	-1.55±0.01	260-280	(9, 10]	(7.85, 8.72]	2,186	11.67	8.41	-1.52±0.01
240-260	(10, 12]	(8.72, 10.46]	2,588	13.72	9.50	-1.55±0.01	260-280	(10, 12]	(8.72, 10.46]	2,586	12.57	9.64	-1.45±0.01
240-260	(12, 14]	(10.46, 12.21]	1,101	15.22	11.23	-1.50±0.02	260-280	(12, 14]	(10.46, 12.21]	1,101	14.05	11.44	-1.50±0.02
240-260	(14, 16]	(12.21, 13.95]	417	16.75	13.06	-1.50±0.03	260-280	(14, 16]	(12.21, 13.95]	418	15.50	13.23	-1.50±0.03
280-300	(0.5, 1]	(0.44, 0.87]	2,935	7.93	0.76	-0.43±0.01	300-320	(0.5, 1]	(0.44, 0.87]	3,326	7.82	0.77	-0.44±0.01
280-300	(1, 1.5]	(0.87, 1.31]	5,984	7.92	1.14	-0.62±0.00	300-320	(1, 1.5]	(0.87, 1.31]	6,578	7.76	1.14	-0.62±0.00
280-300	(1.5, 2]	(1.31, 1.74]	6,166	7.93	1.58	-0.74±0.00	300-320	(1.5, 2]	(1.31, 1.74]	6,459	7.72	1.58	-0.70±0.01
280-300	(2, 3]	(1.74, 2.62]	10,232	8.00	2.23	-0.88±0.00	300-320	(2, 3]	(1.74, 2.62]	11,060	7.71	2.23	-0.85±0.00
280-300	(3, 4]	(2.62, 3.49]	7,350	8.17	3.14	-1.10±0.01	300-320	(3, 4]	(2.62, 3.49]	7,792	7.81	3.14	-1.13±0.01
280-300	(4, 5]	(3.49, 4.36]	5,729	8.46	4.05	-1.36±0.01	300-320	(4, 5]	(3.49, 4.36]	6,132	8.03	4.07	-1.40±0.01
280-300	(5, 6]	(4.36, 5.23]	4,724	8.83	4.99	-1.40±0.01	300-320	(5, 6]	(4.36, 5.23]	5,204	8.34	4.98	-1.50±0.01
280-300	(6, 7]	(5.23, 6.10]	3,986	9.28	5.88	-1.50±0.01	300-320	(6, 7]	(5.23, 6.10]	4,157	8.79	5.90	-1.52±0.01
280-300	(7, 8]	(6.10, 6.98]	3,408	9.78	6.78	-1.50±0.01	300-320	(7, 8]	(6.10, 6.98]	3,503	9.30	6.80	-1.53±0.01
280-300	(8, 9]	(6.98, 7.85]	2,718	10.34	7.68	-1.52±0.01	300-320	(8, 9]	(6.98, 7.85]	2,745	9.89	7.72	-1.49±0.01
280-300	(9, 10]	(7.85, 8.72]	2,107	10.95	8.59	-1.55±0.01	300-320	(9, 10]	(7.85, 8.72]	2,042	10.50	8.59	-1.46±0.01
280-300	(10, 12]	(8.72, 10.46]	2,506	11.89	9.83	-1.50±0.01	300-320	(10, 12]	(8.72, 10.46]	2,551	11.56	9.87	-1.52±0.01
280-300	(12, 14]	(10.46, 12.21]	1,049	13.37	11.66	-1.45±0.02	300-320	(12, 14]	(10.46, 12.21]	1,014	13.06	11.67	-1.59±0.02
280-300	(14, 16]	(12.21, 13.95]	413	14.91	13.47	-1.55±0.04	300-320	(14, 16]	(12.21, 13.95]	364	14.68	13.51	-1.70±0.04
320-340	(0.5, 1]	(0.44, 0.87]	3,755	7.71	0.76	-0.43±0.01	340-360	(0.5, 1]	(0.44, 0.87]	5,103	7.62	0.73	-0.42±0.01
320-340	(1, 1.5]	(0.87, 1.31]	9,003	7.61	1.11	-0.59±0.00	340-360	(1, 1.5]	(0.87, 1.31]	12,203	7.48	1.08	-0.57±0.00
320-340	(1.5, 2]	(1.31, 1.74]	9,179	7.51	1.55	-0.65±0.00	340-360	(1.5, 2]	(1.31, 1.74]	12,874	7.33	1.50	-0.65±0.00
320-340	(2, 3]	(1.74, 2.62]	15,704	7.42	2.18	-0.86±0.00	340-360	(2, 3]	(1.74, 2.62]	22,242	7.19	2.12	-0.75±0.00
320-340	(3, 4]	(2.62, 3.49]	11,386	7.43	3.06	-1.10±0.01	340-360	(3, 4]	(2.62, 3.49]	15,989	7.13	2.97	-1.11±0.00
320-340	(4, 5]	(3.49, 4.36]	8,704	7.59	3.96	-1.35±0.01	340-360	(4, 5]	(3.49, 4.36]	12,289	7.26	3.85	-1.40±0.01
320-340	(5, 6]	(4.36, 5.23]	7,241	7.89	4.87	-1.45±0.01	340-360	(5, 6]	(4.36, 5.23]	10,081	7.56	4.70	-1.47±0.01
320-340	(6, 7]	(5.23, 6.10]	6,255	8.32	5.75	-1.60±0.01	340-360	(6, 7]	(5.23, 6.10]	8,358	8.03	5.57	-1.52±0.01
320-340	(7, 8]	(6.10, 6.98]	4,952	8.86	6.64	-1.50±0.01	340-360	(7, 8]	(6.10, 6.98]	6,571	8.62	6.45	-1.55±0.01
320-340	(8, 9]	(6.98, 7.85]	3,665	9.50	7.55	-1.51±0.01	340-360	(8, 9]	(6.98, 7.85]	4,708	9.29	7.32	-1.55±0.01
320-340	(9, 10]	(7.85, 8.72]	2,718	10.22	8.47	-1.70±0.01	340-360	(9, 10]	(7.85, 8.72]	3,458	10.08	8.24	-1.55±0.01
320-340	(10, 12]	(8.72, 10.46]	3,050	11.36	9.74	-1.70±0.01	340-360	(10, 12]	(8.72, 10.46]	3,733	11.31	9.47	-1.55±0.01
320-340	(12, 14]	(10.46, 12.21]	1,225	12.98	11.47	-1.52±0.02	340-360	(12, 14]	(10.46, 12.21]	1,458	13.06	11.22	-1.70±0.02
320-340	(14, 16]	(12.21, 13.95]	458	14.74	13.31	-1.50±0.03	340-360	(14, 16]	(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 şekillerin sağ üst köşesinde verilmiştir.

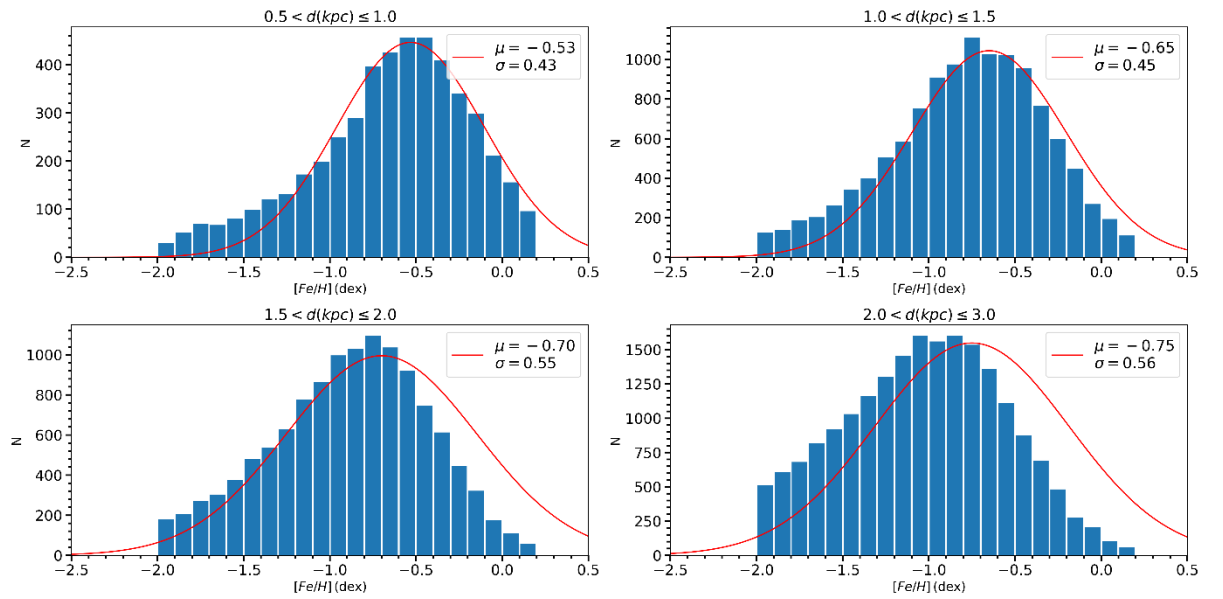
$$0^\circ < l \leq 20^\circ$$



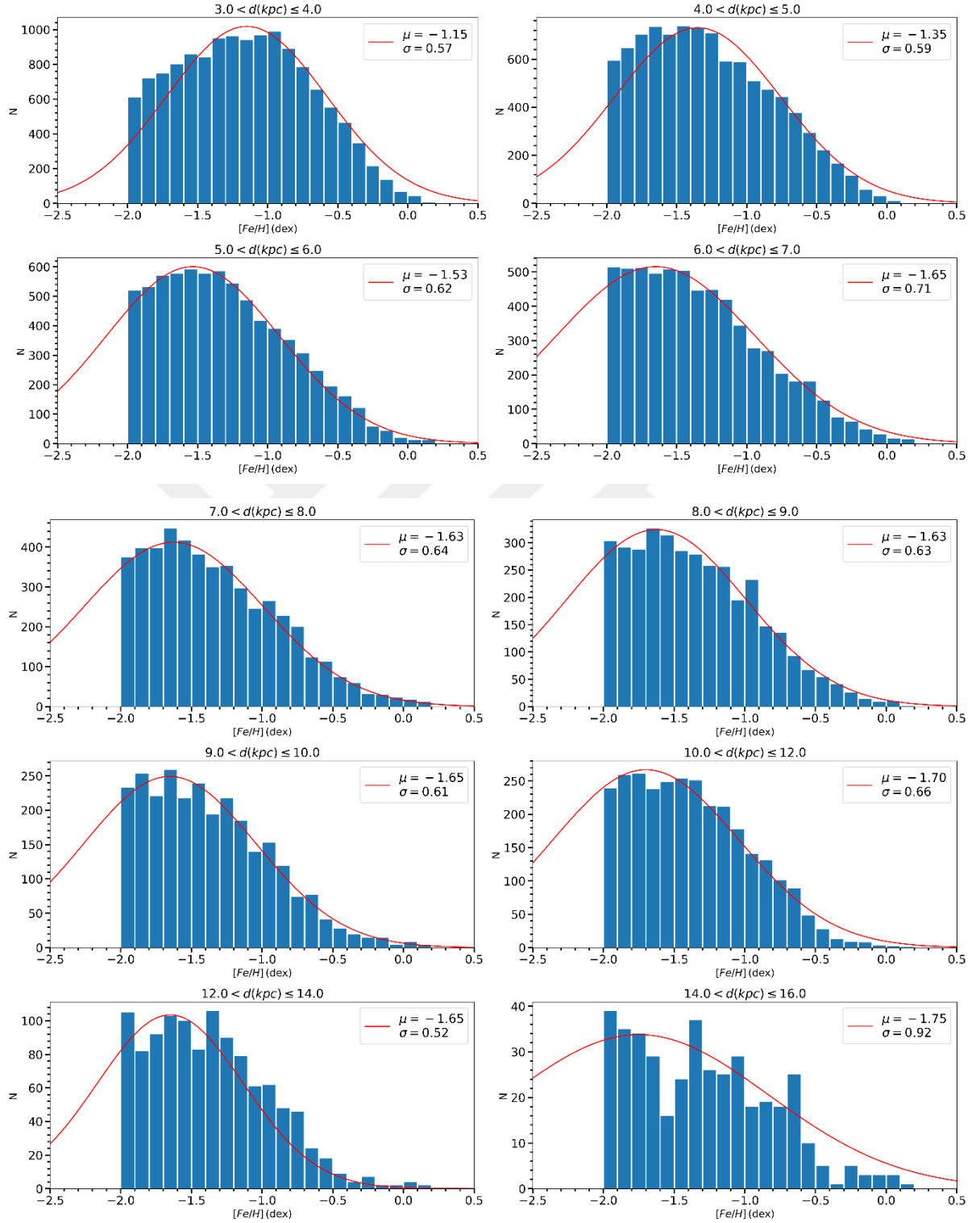
EK 2 (devam):



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

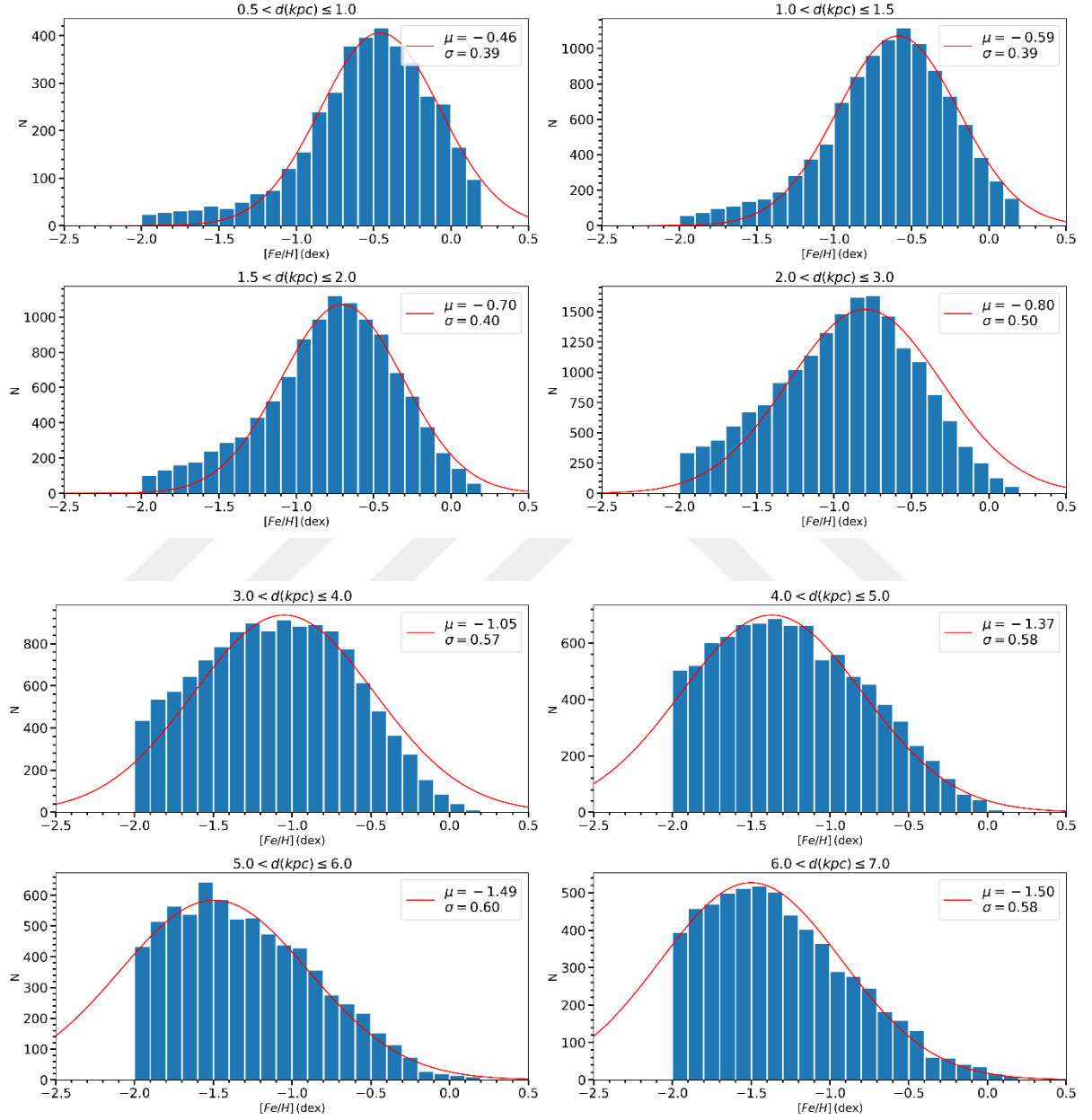


EK 2 (devam):

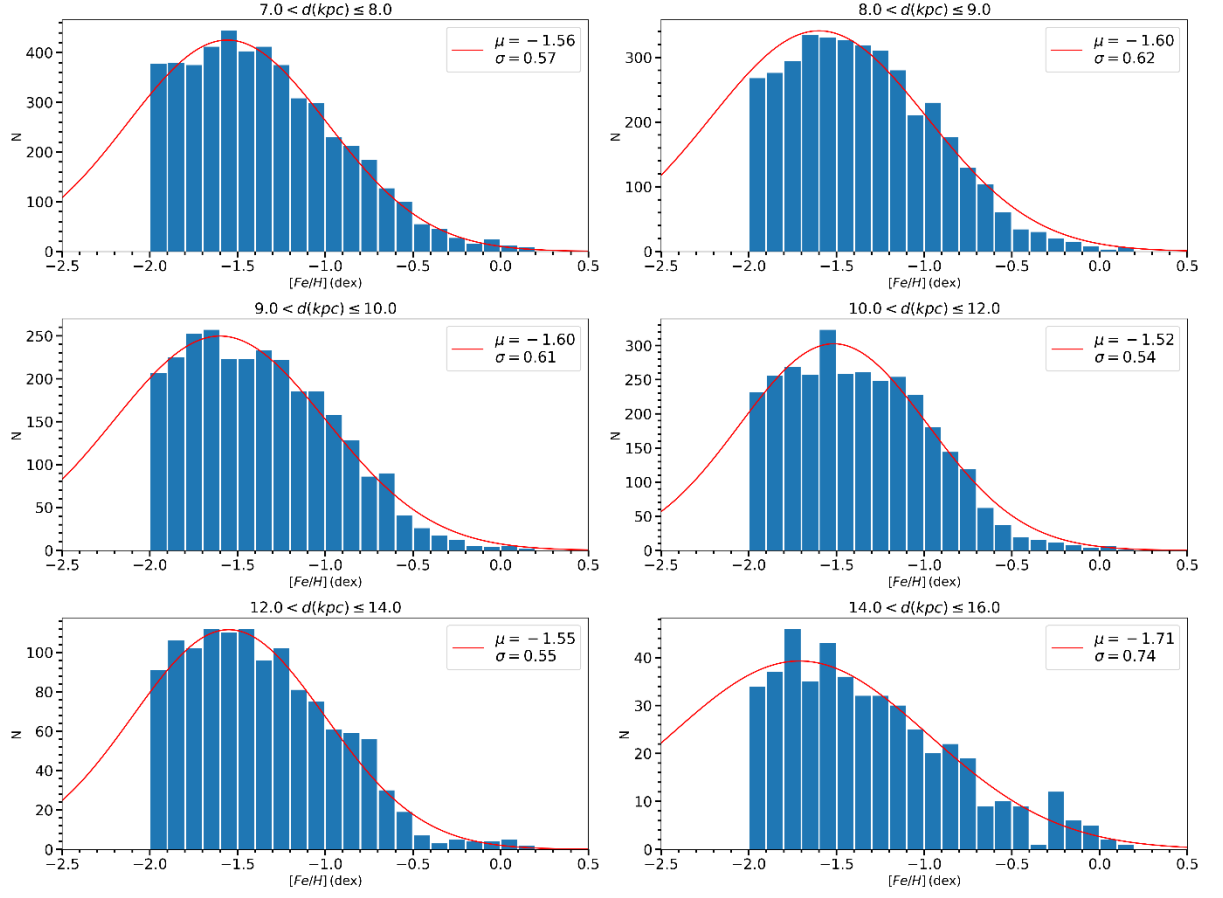


EK 2 (devam):

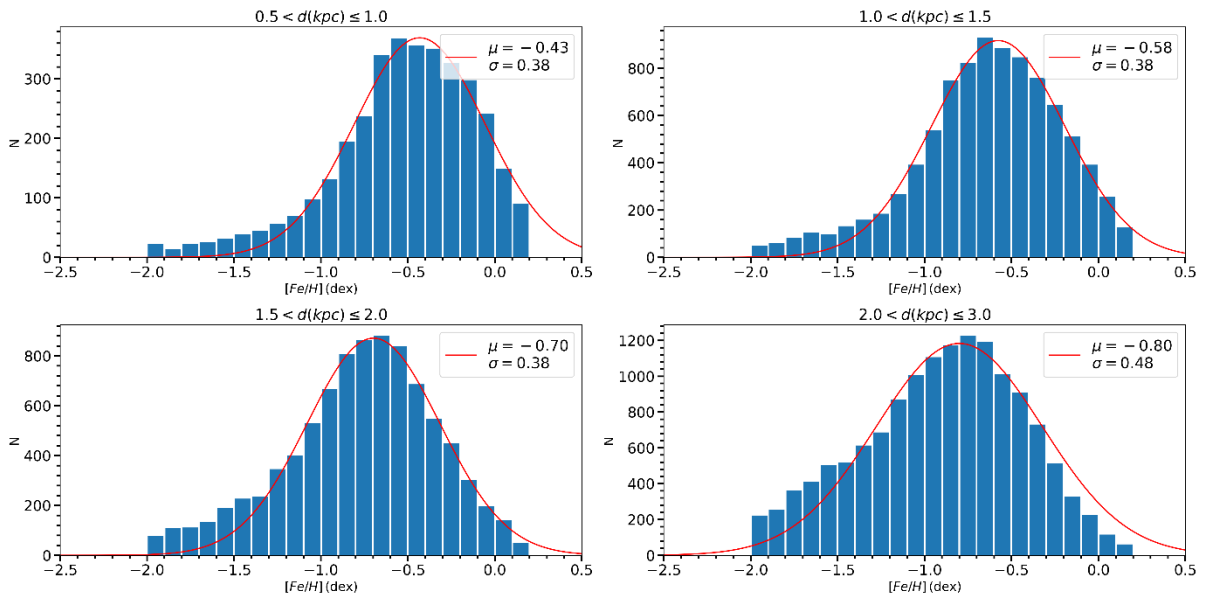
$$40^\circ < l \leq 60^\circ$$



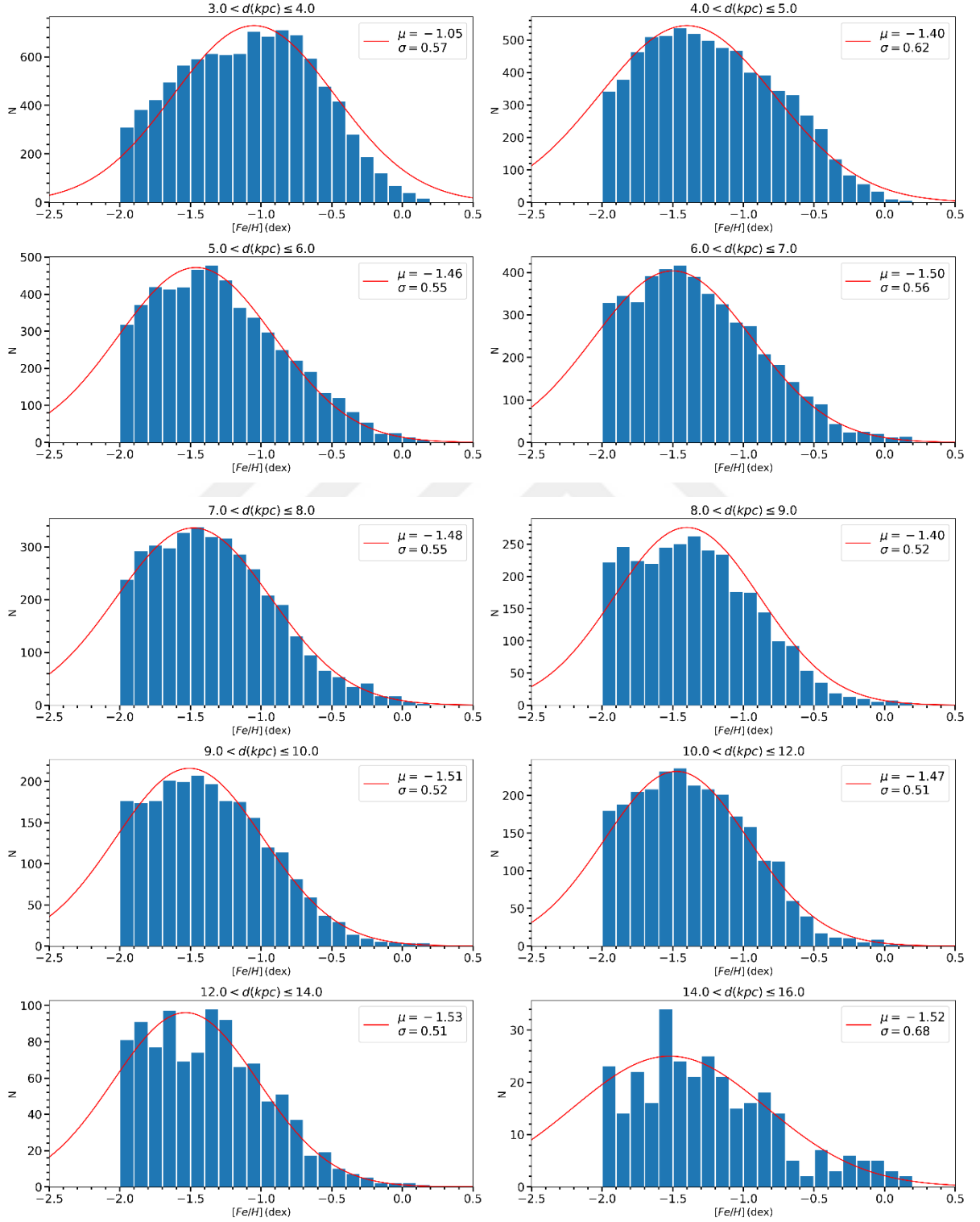
EK 2 (devam):



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

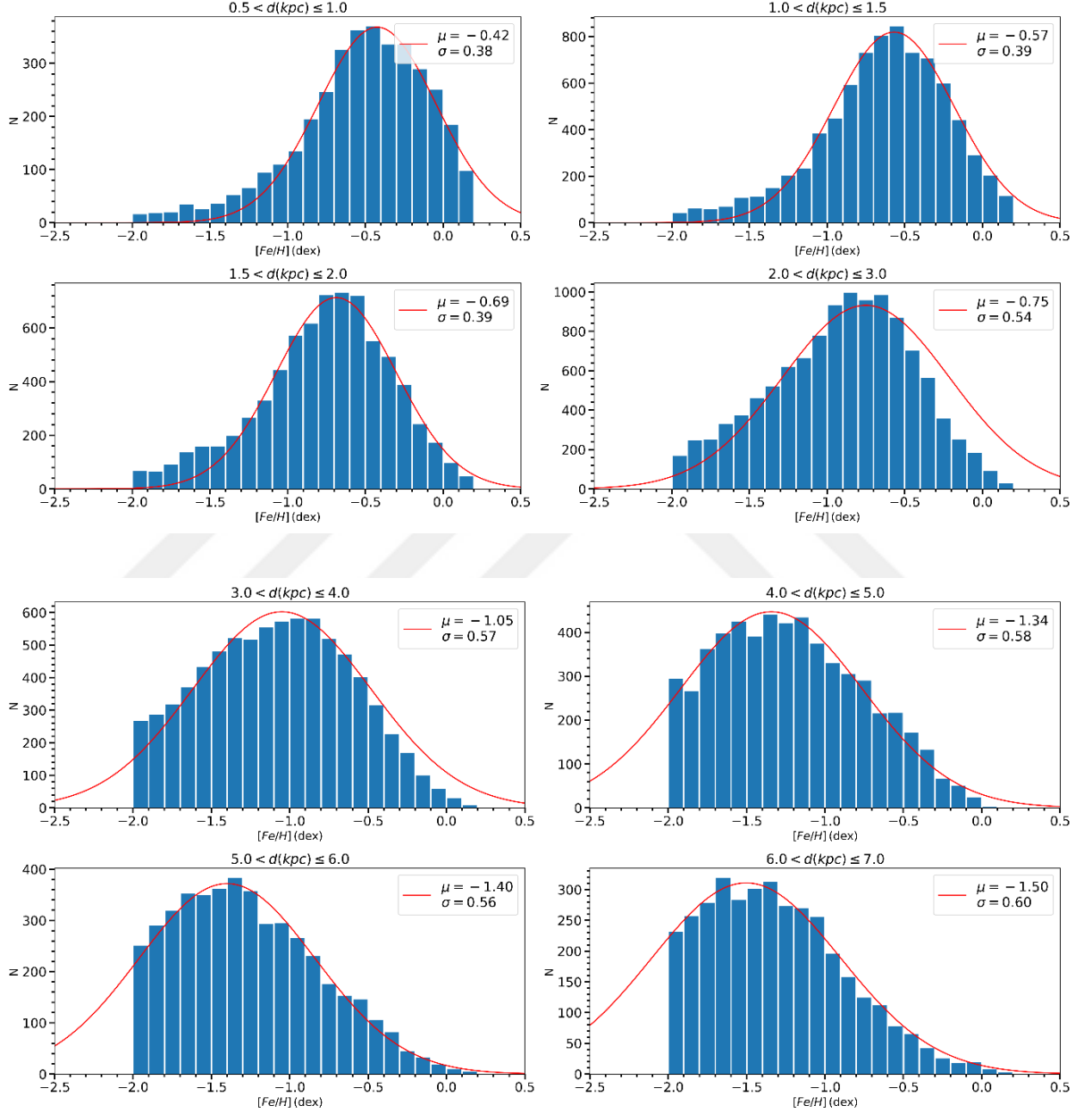


EK 2 (devam):

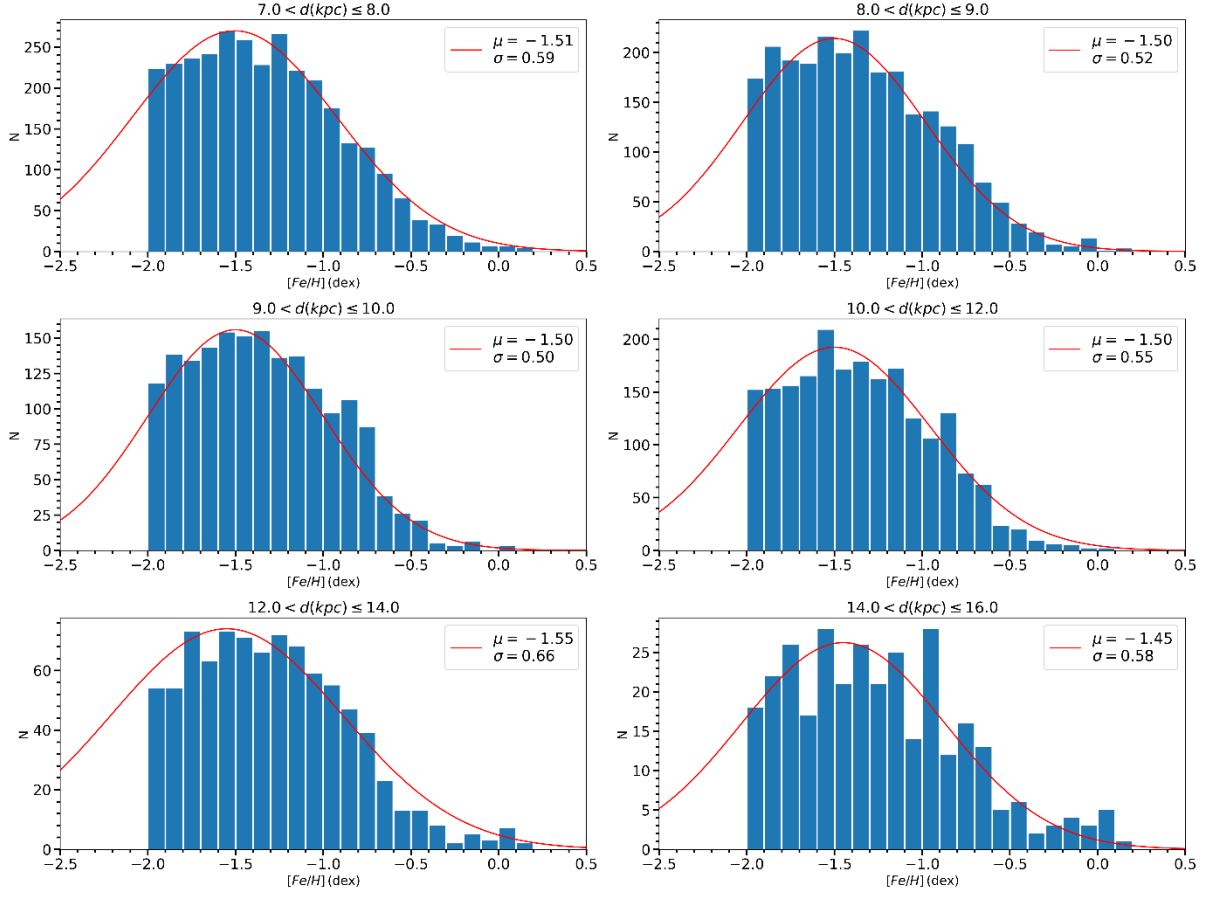


EK 2 (devam):

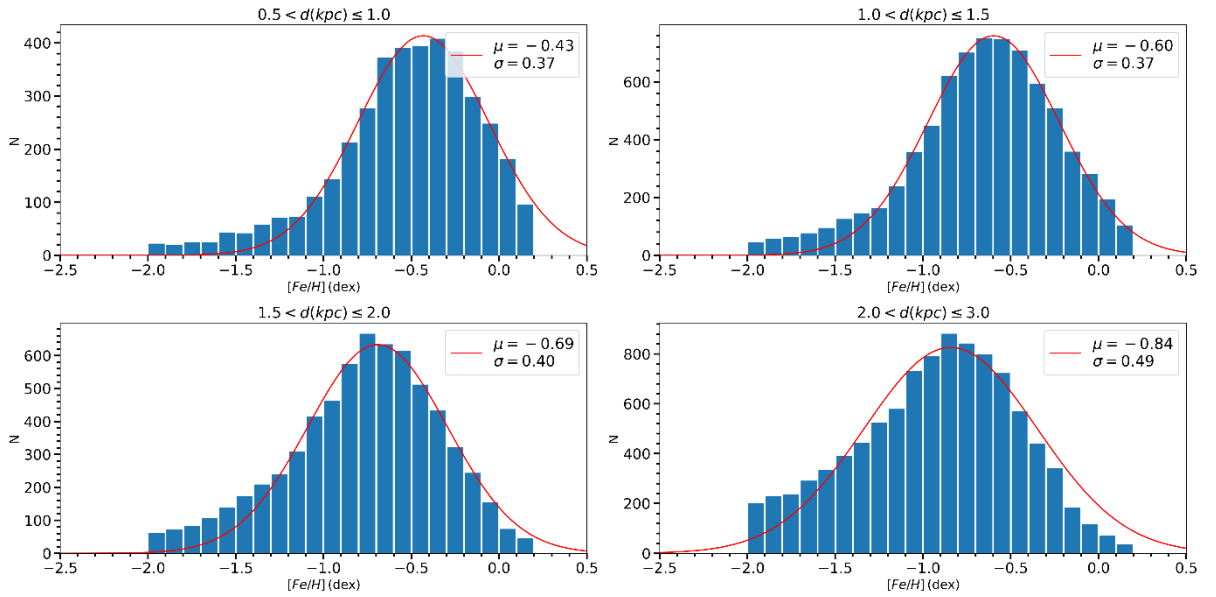
$$80^\circ < l \leq 100^\circ$$



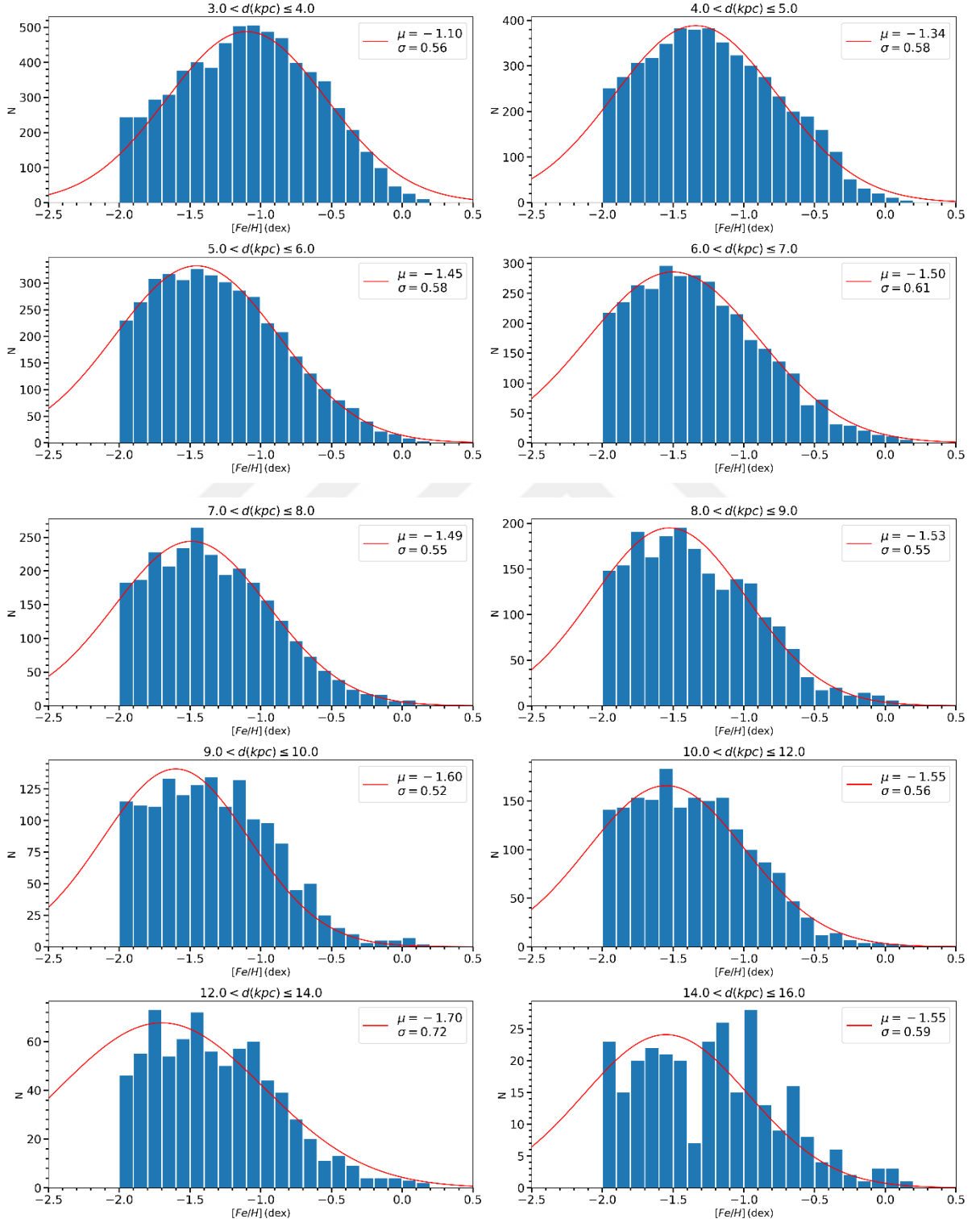
EK 2 (devam):



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

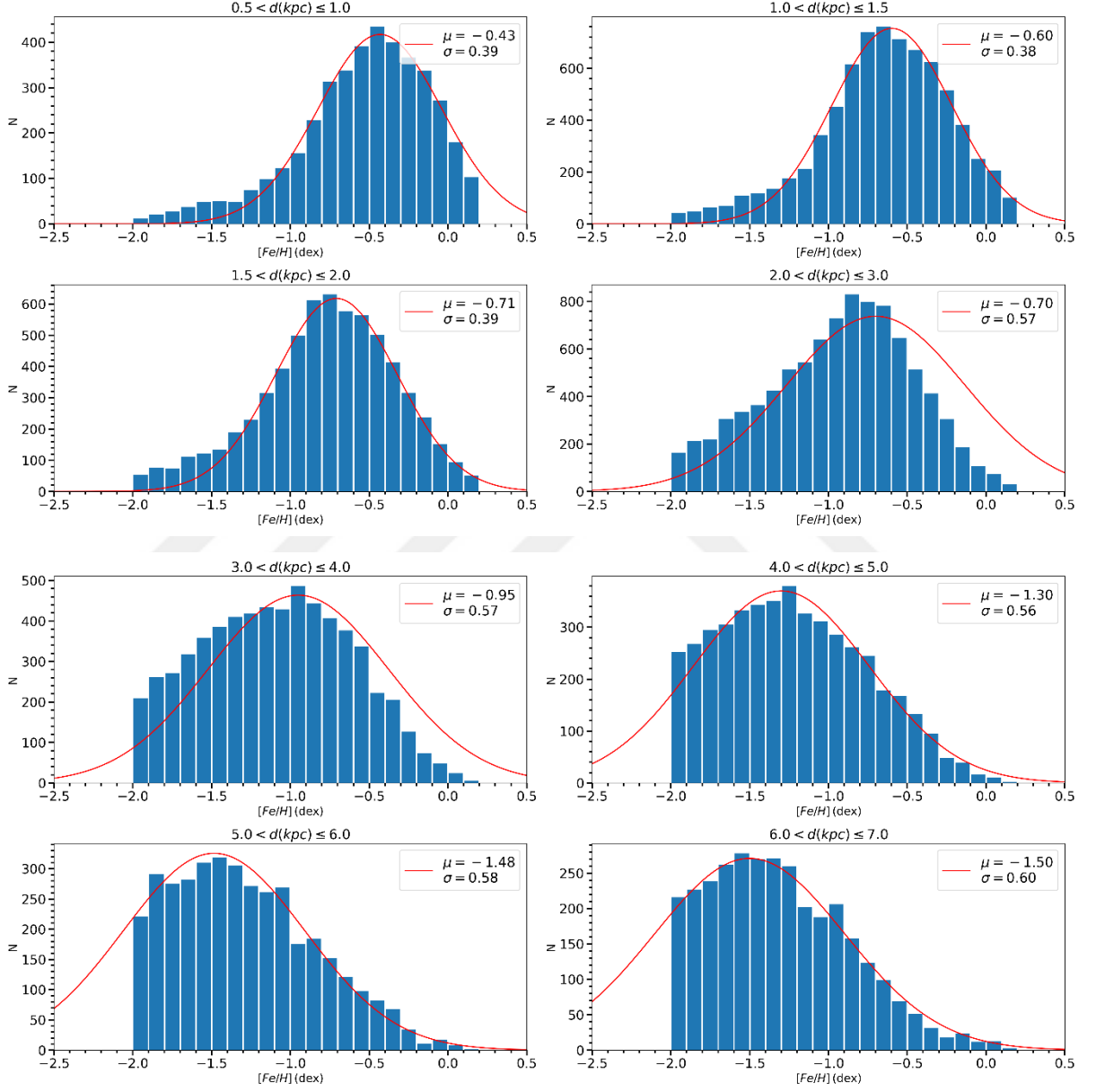


EK 2 (devam):

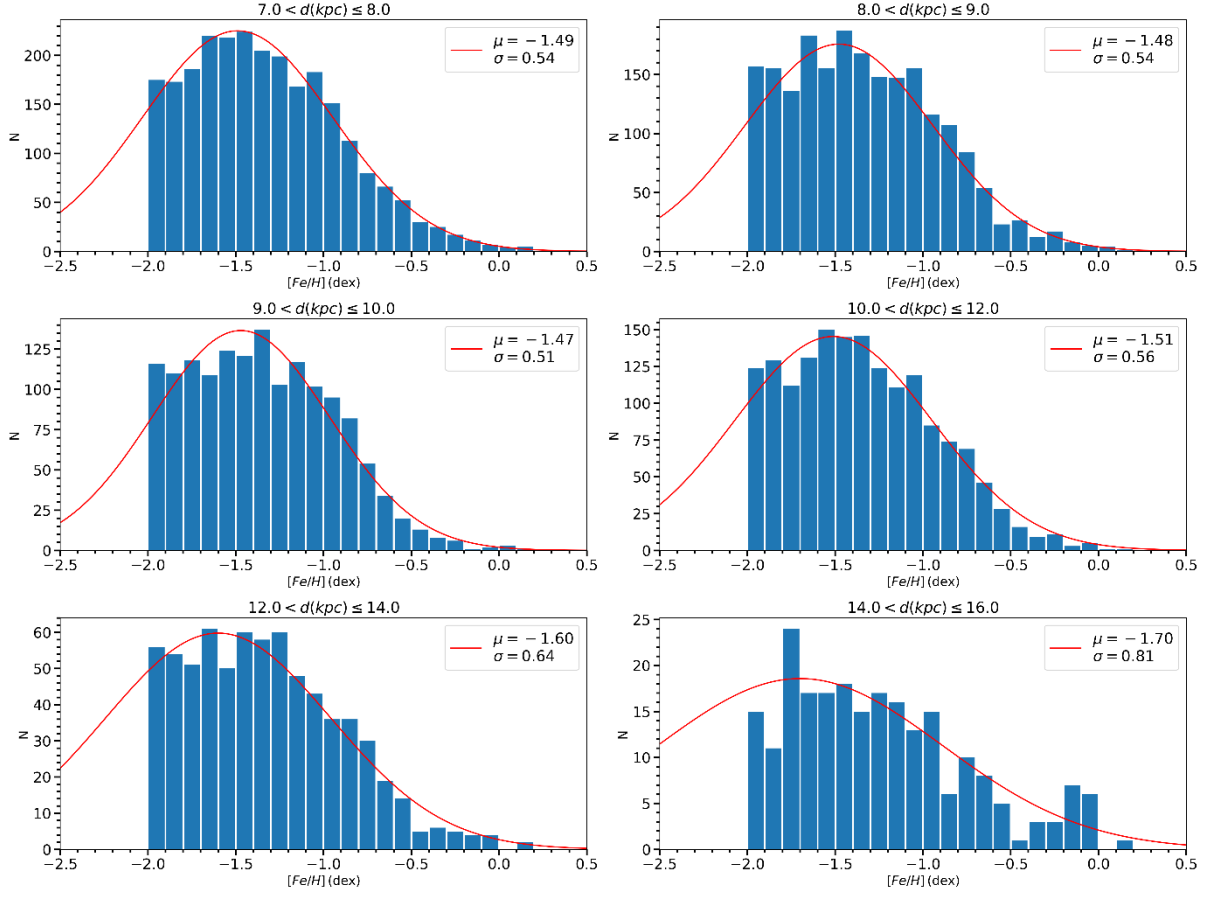


EK 2 (devam):

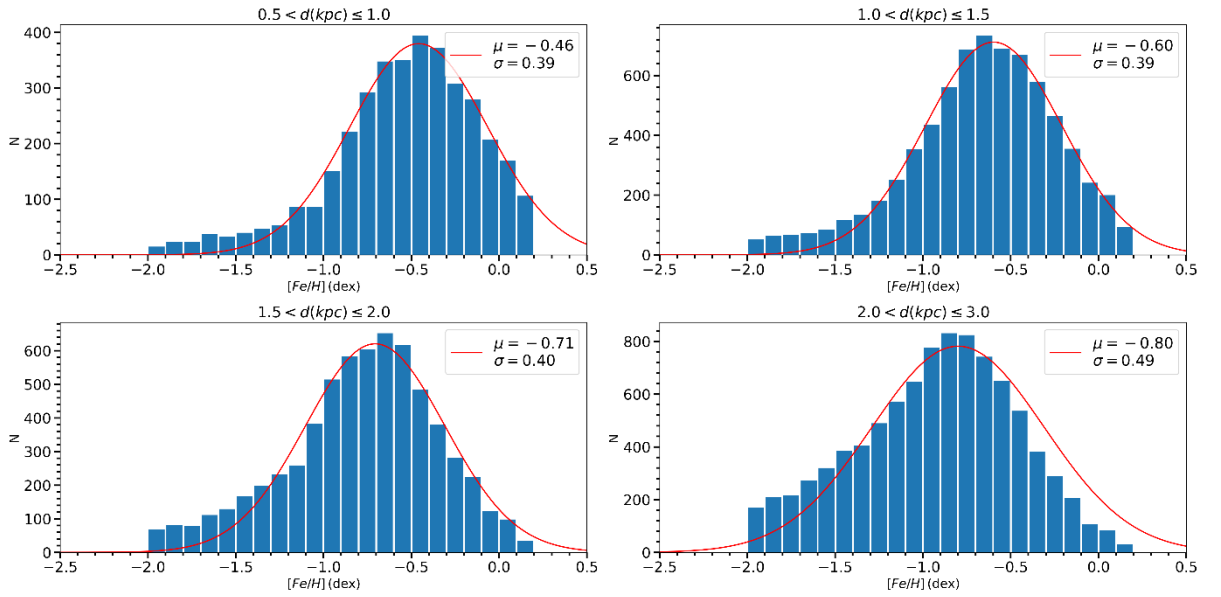
$$120^\circ < l \leq 140^\circ$$



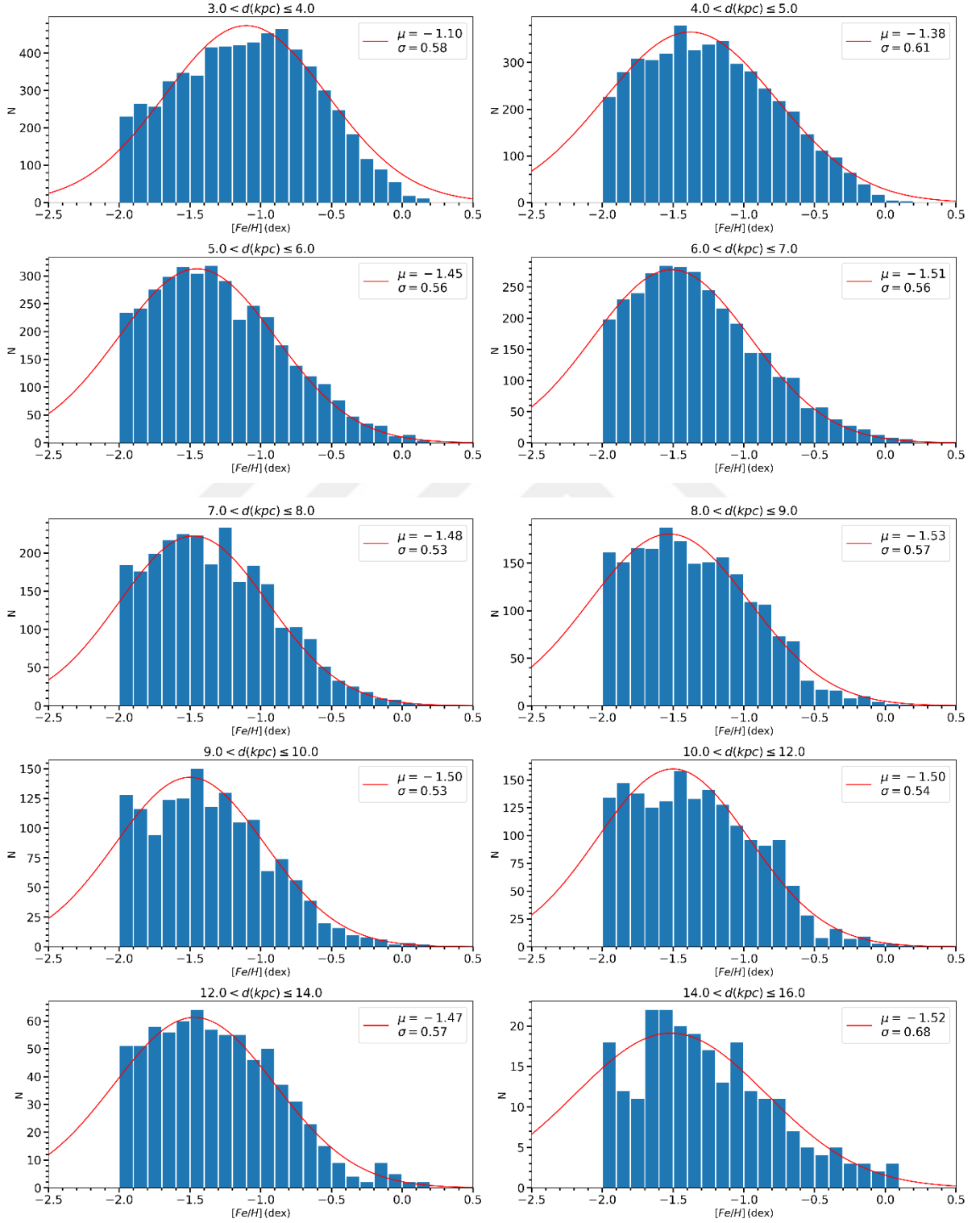
EK 2 (devam):



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

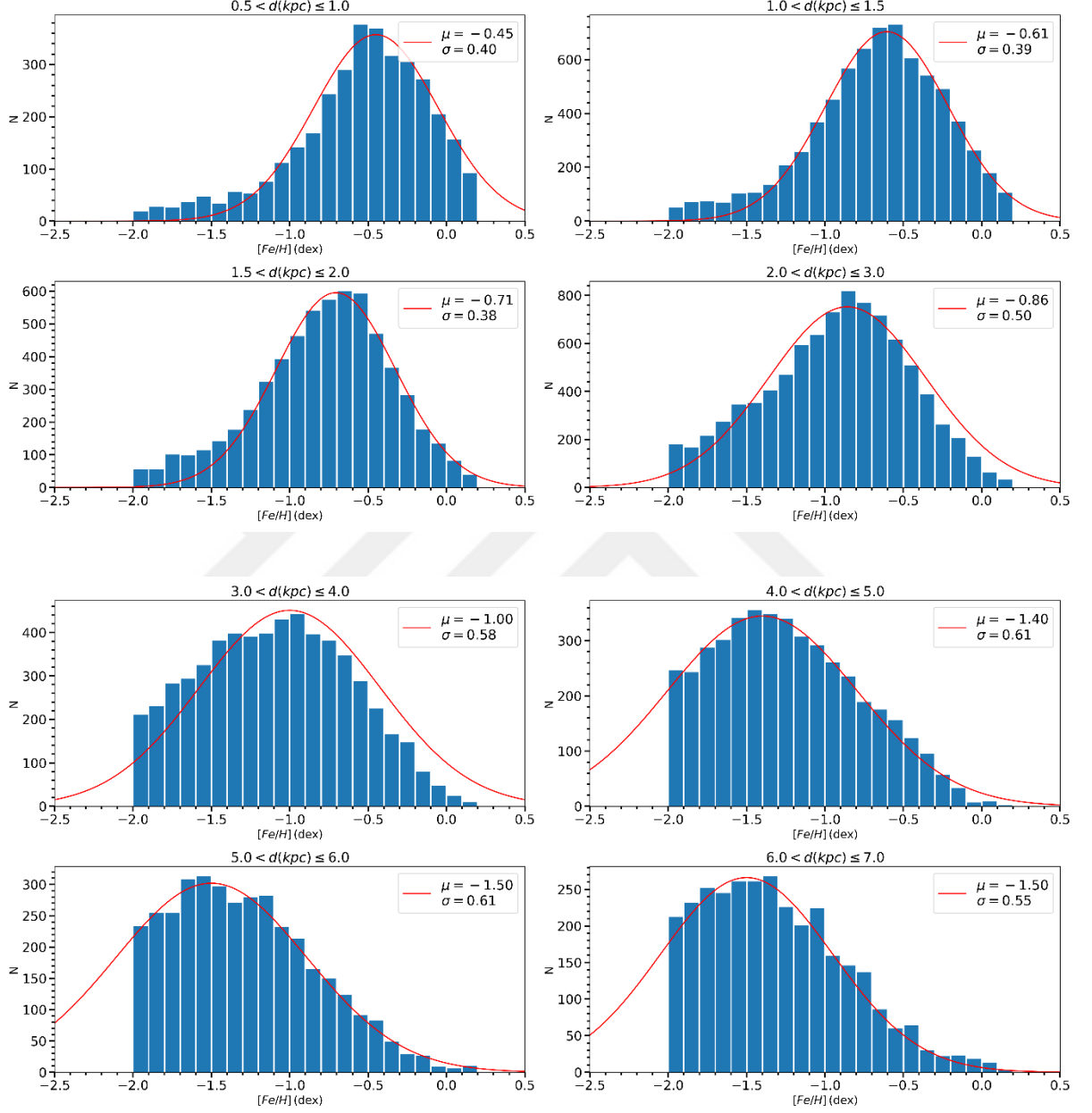


EK 2 (devam):

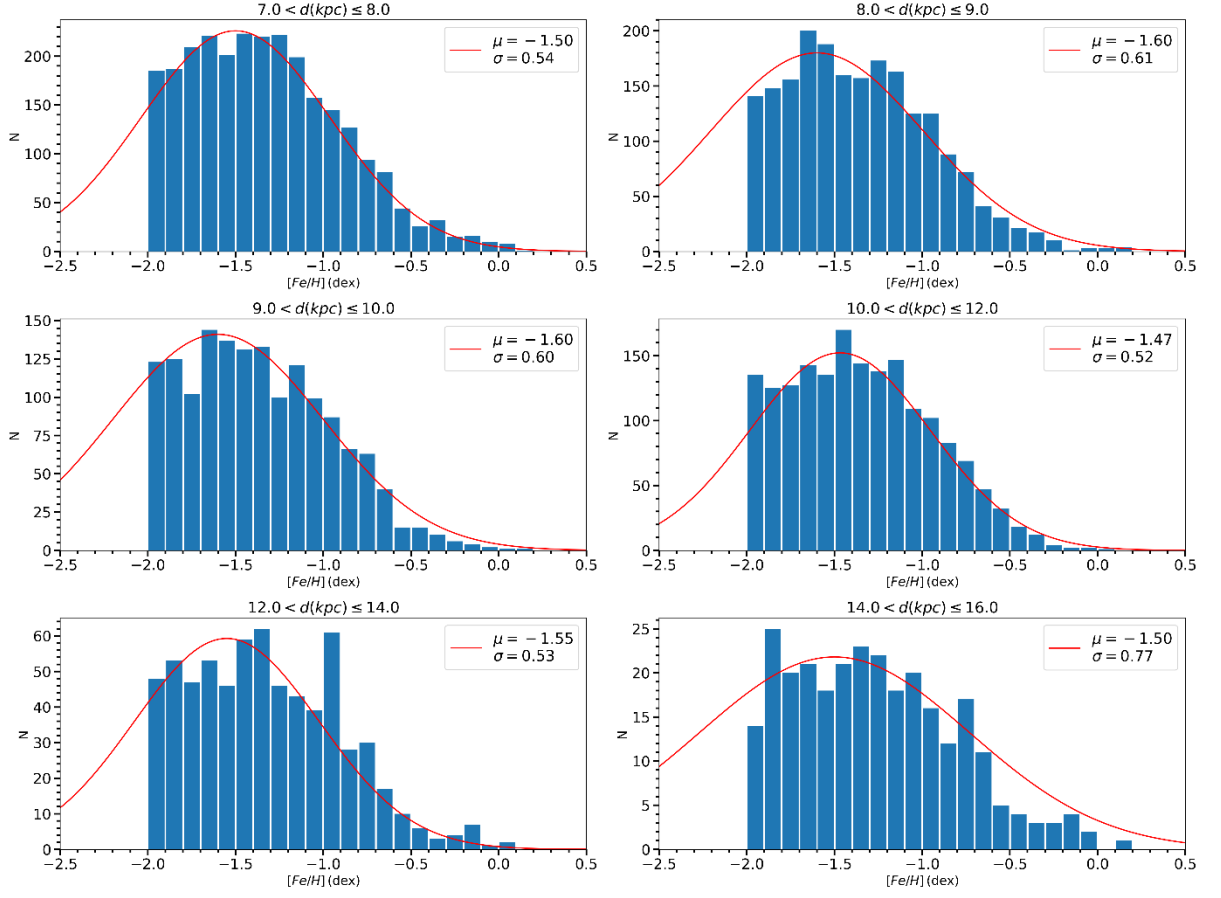


EK 2 (devam):

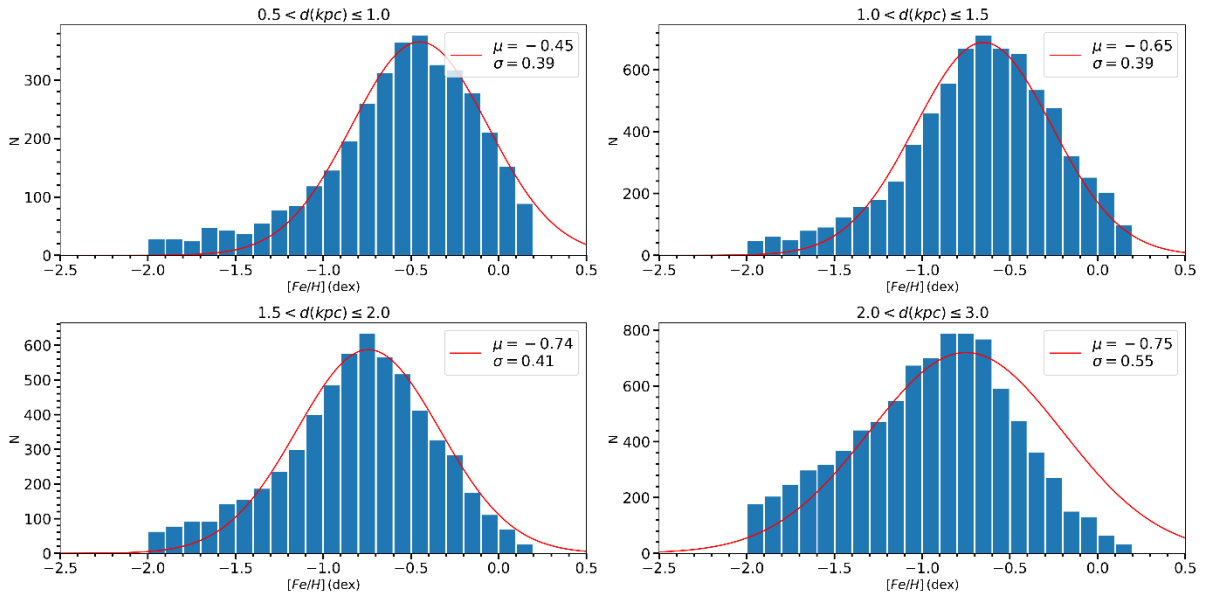
$$160^\circ < l \leq 180^\circ$$



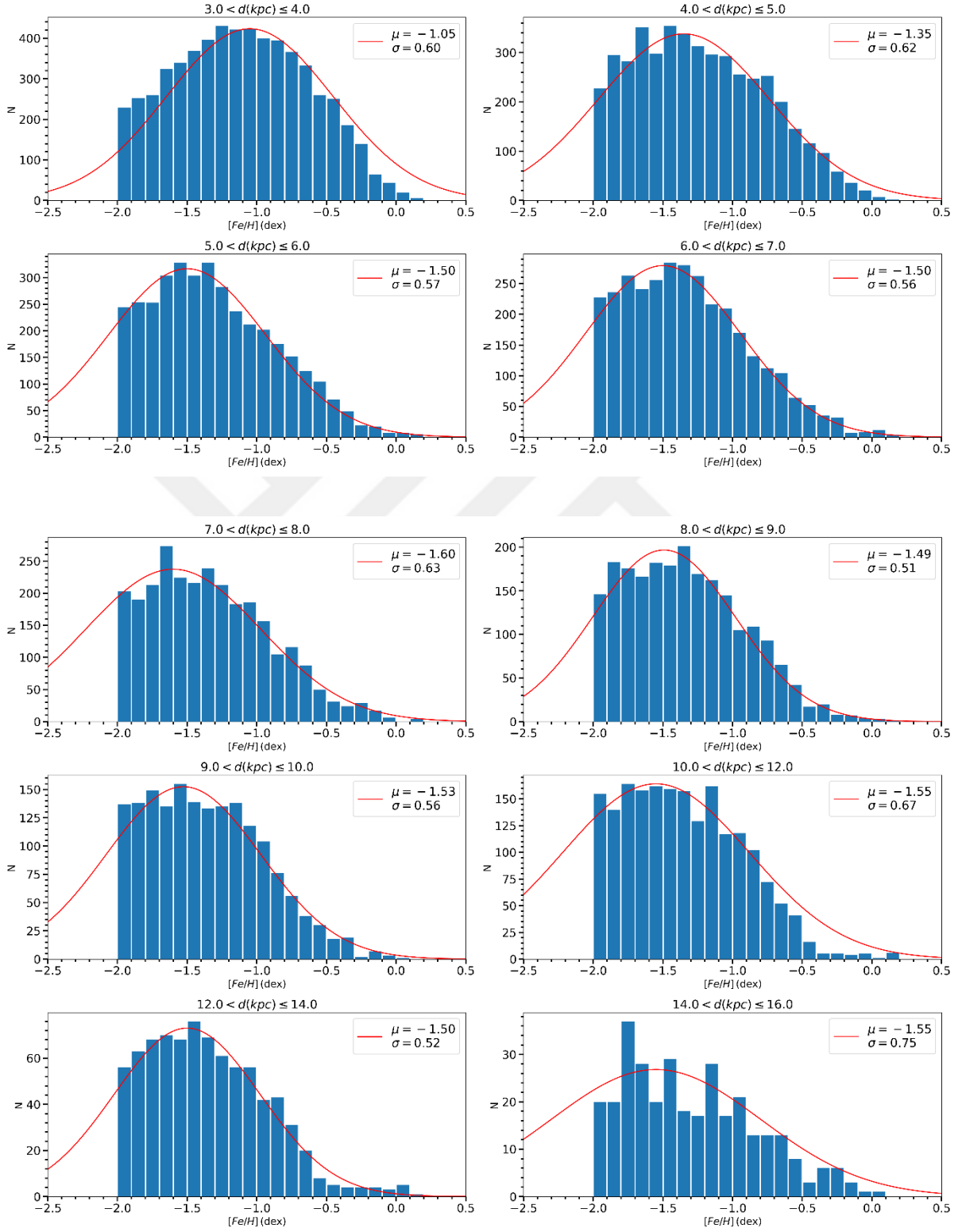
EK 2 (devam):



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

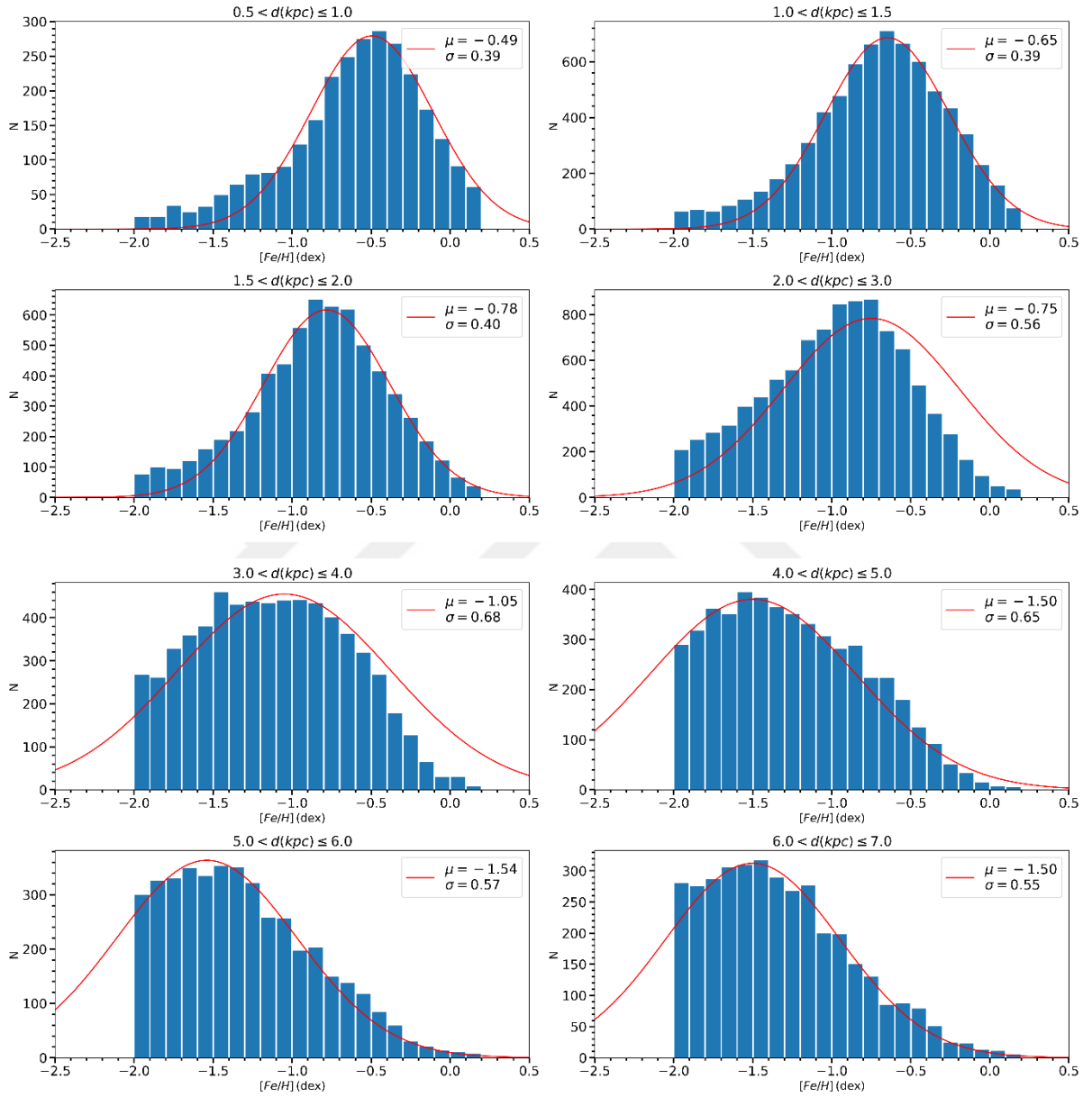


EK 2 (devam):

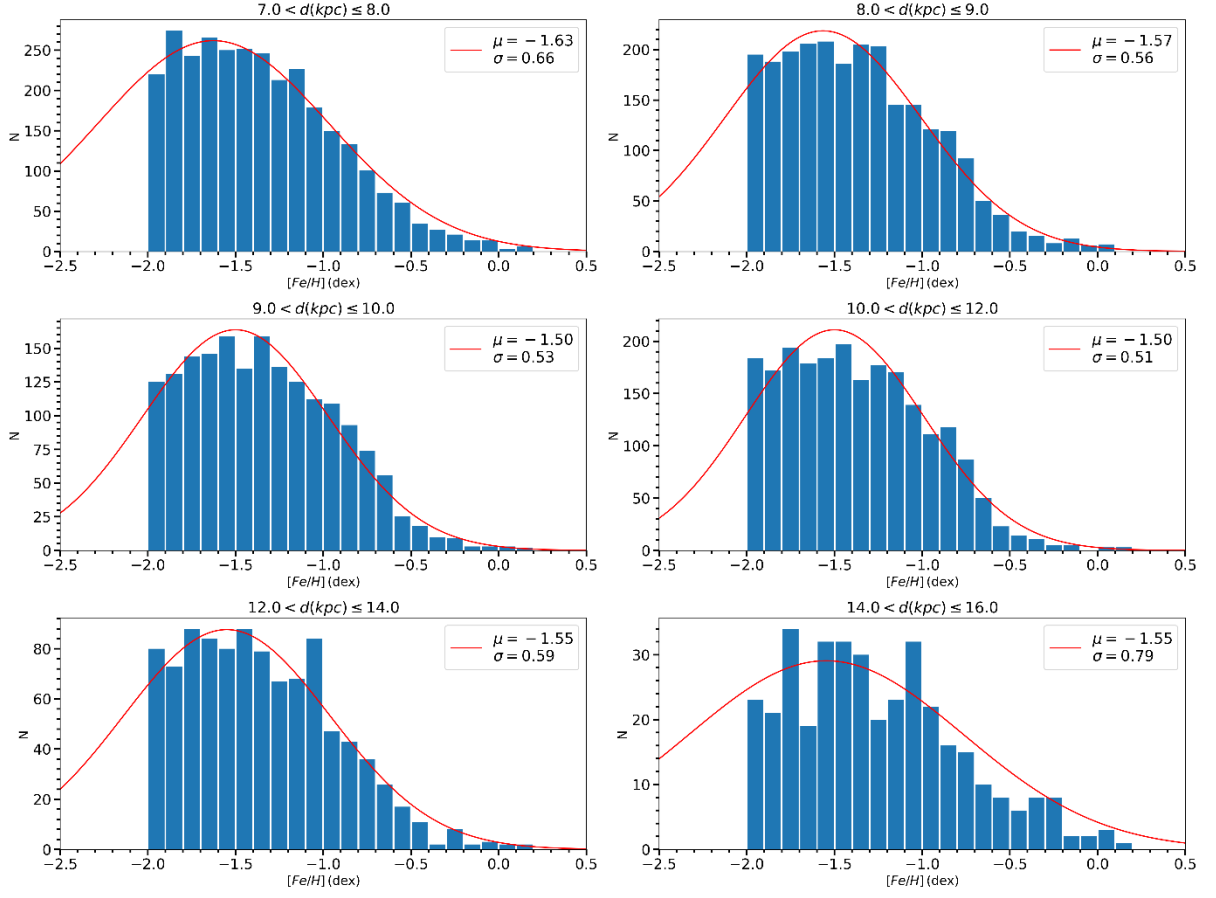


EK 2 (devam):

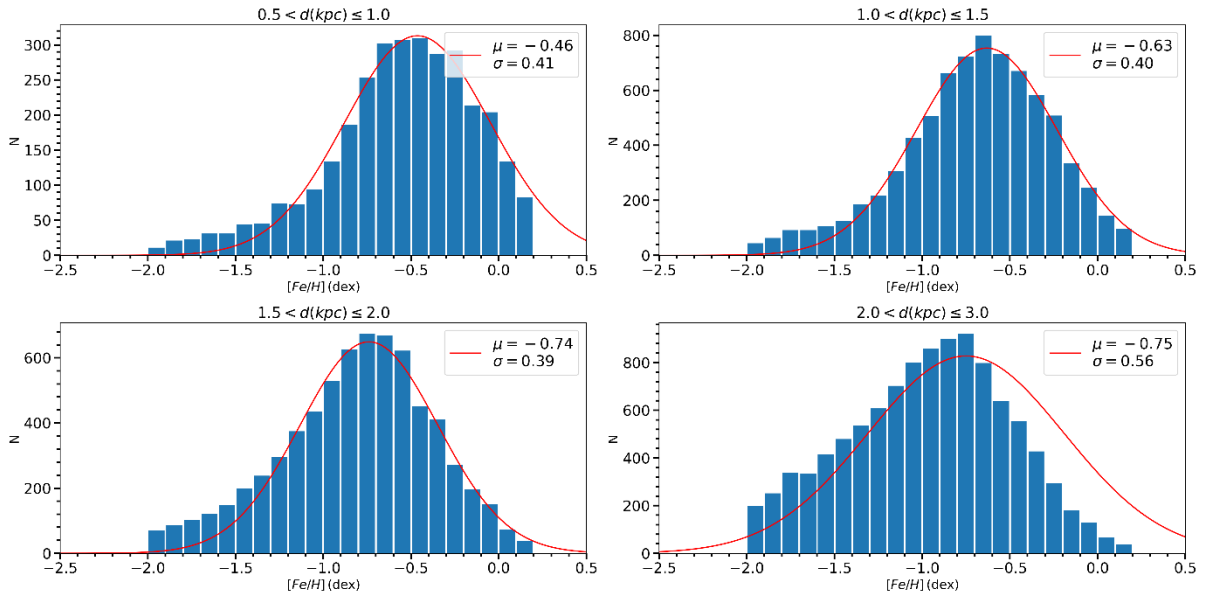
 $200^\circ < l \leq 220^\circ$



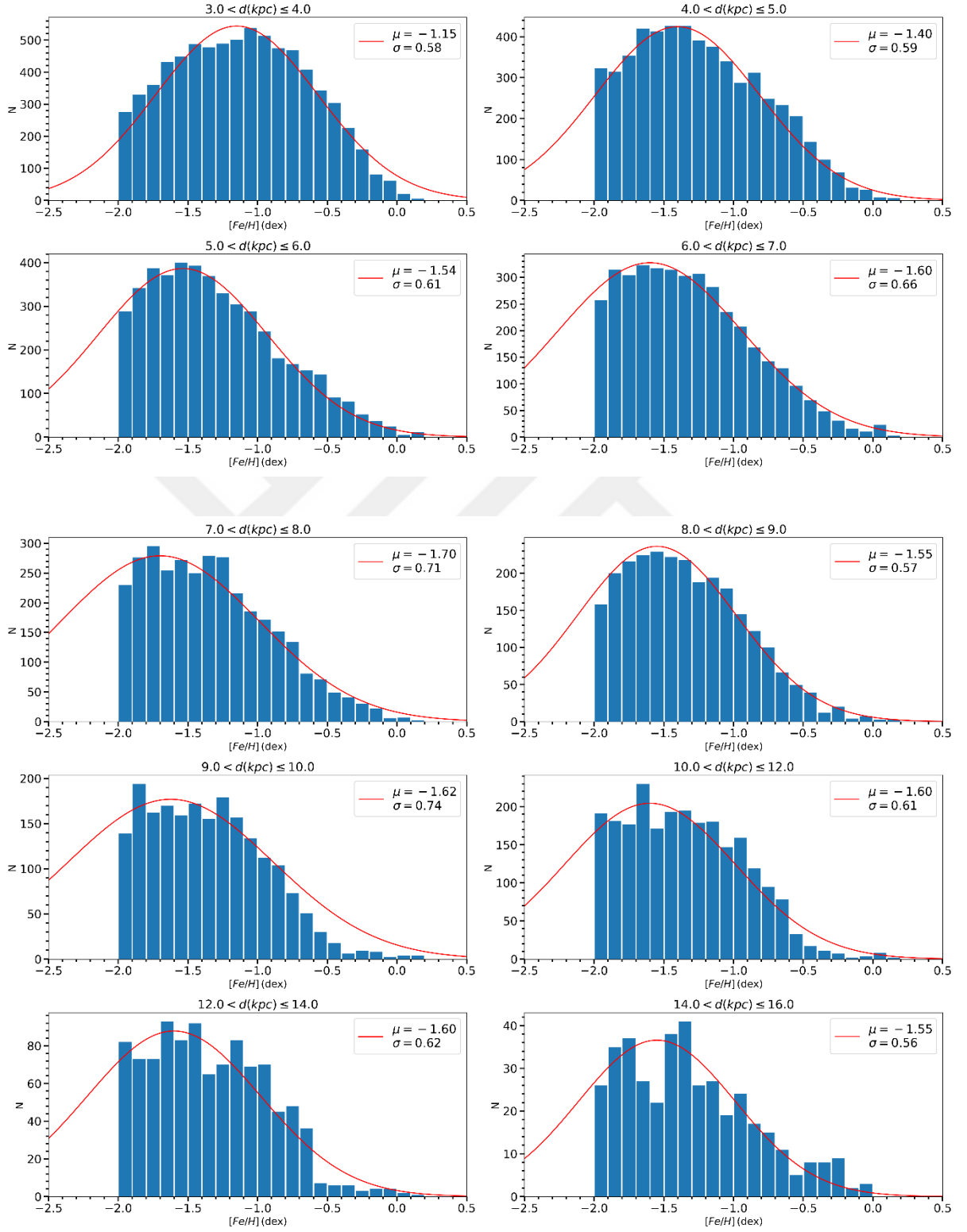
EK 2 (devam):



 $220^\circ < l \leq 240^\circ$

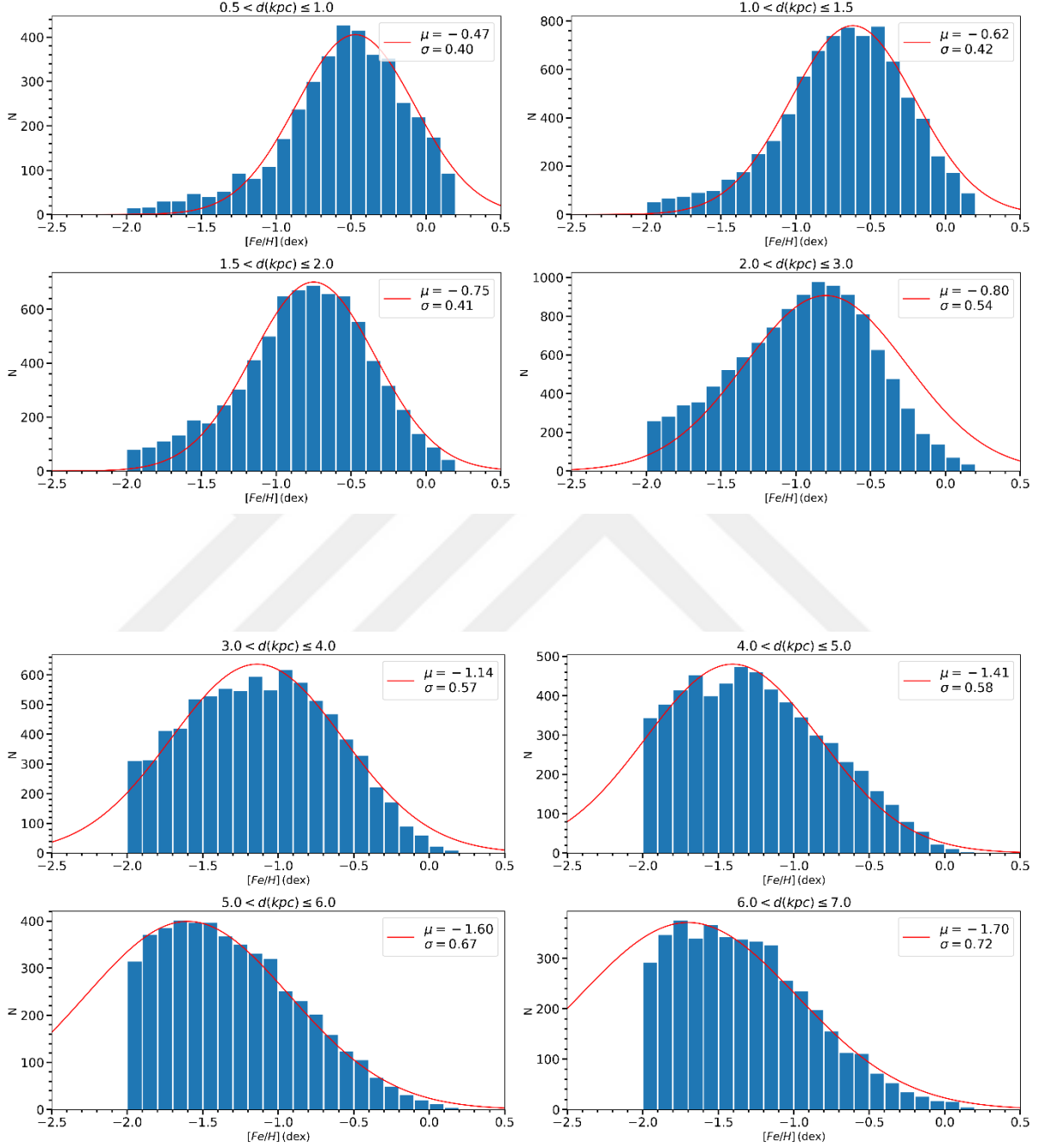


EK 2 (devam):

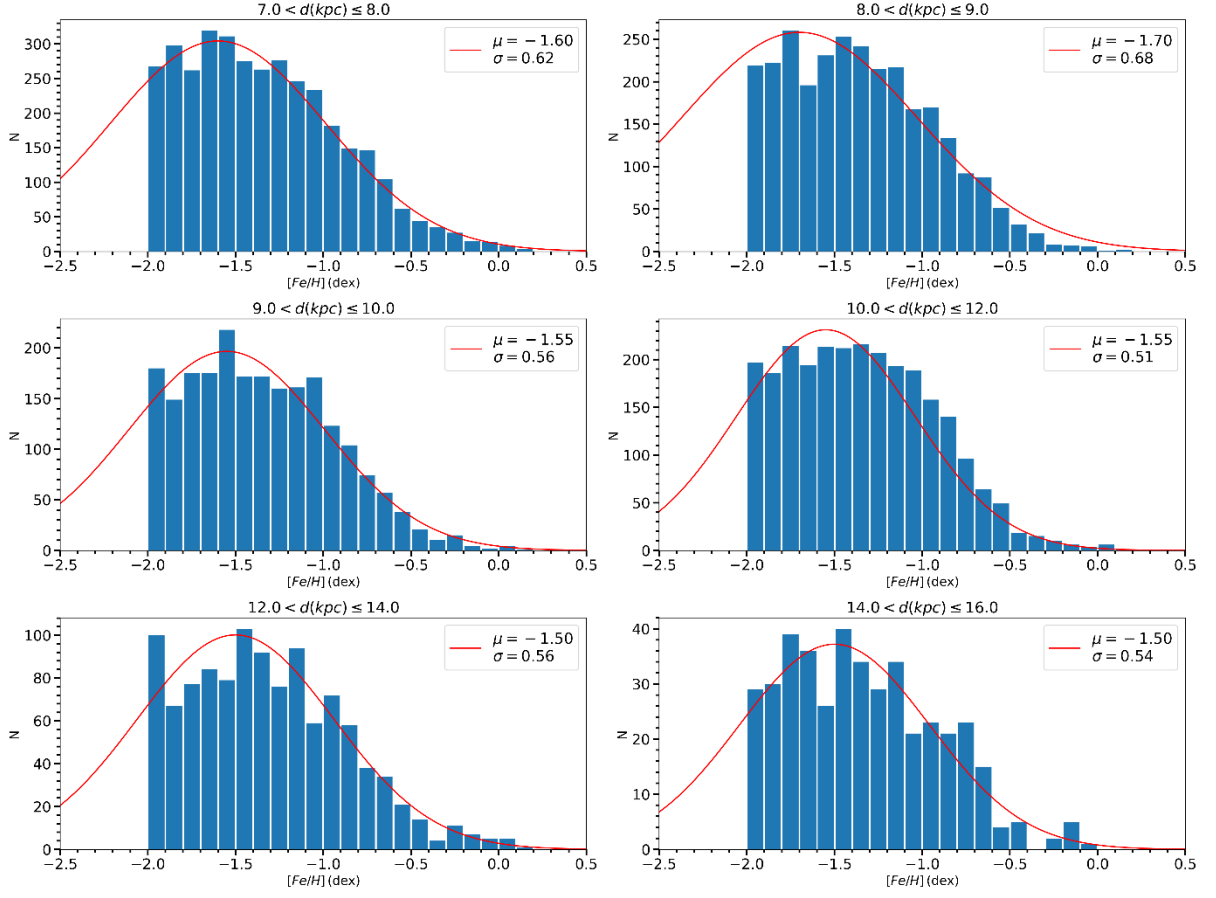


EK 2 (devam):

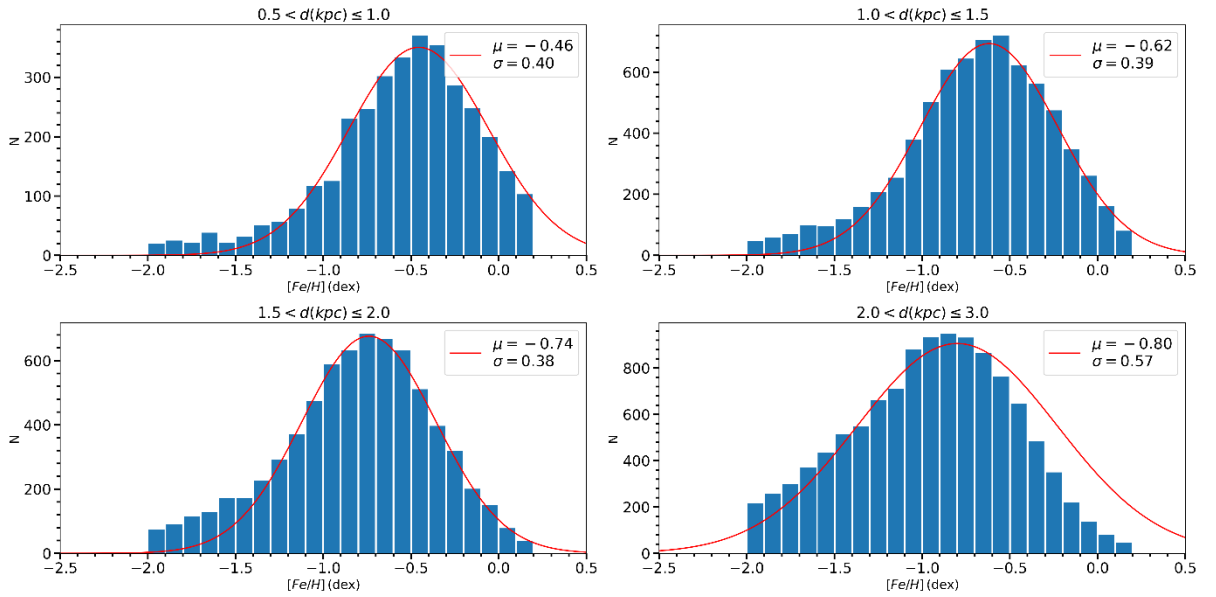
 $240^\circ < l \leq 260^\circ$



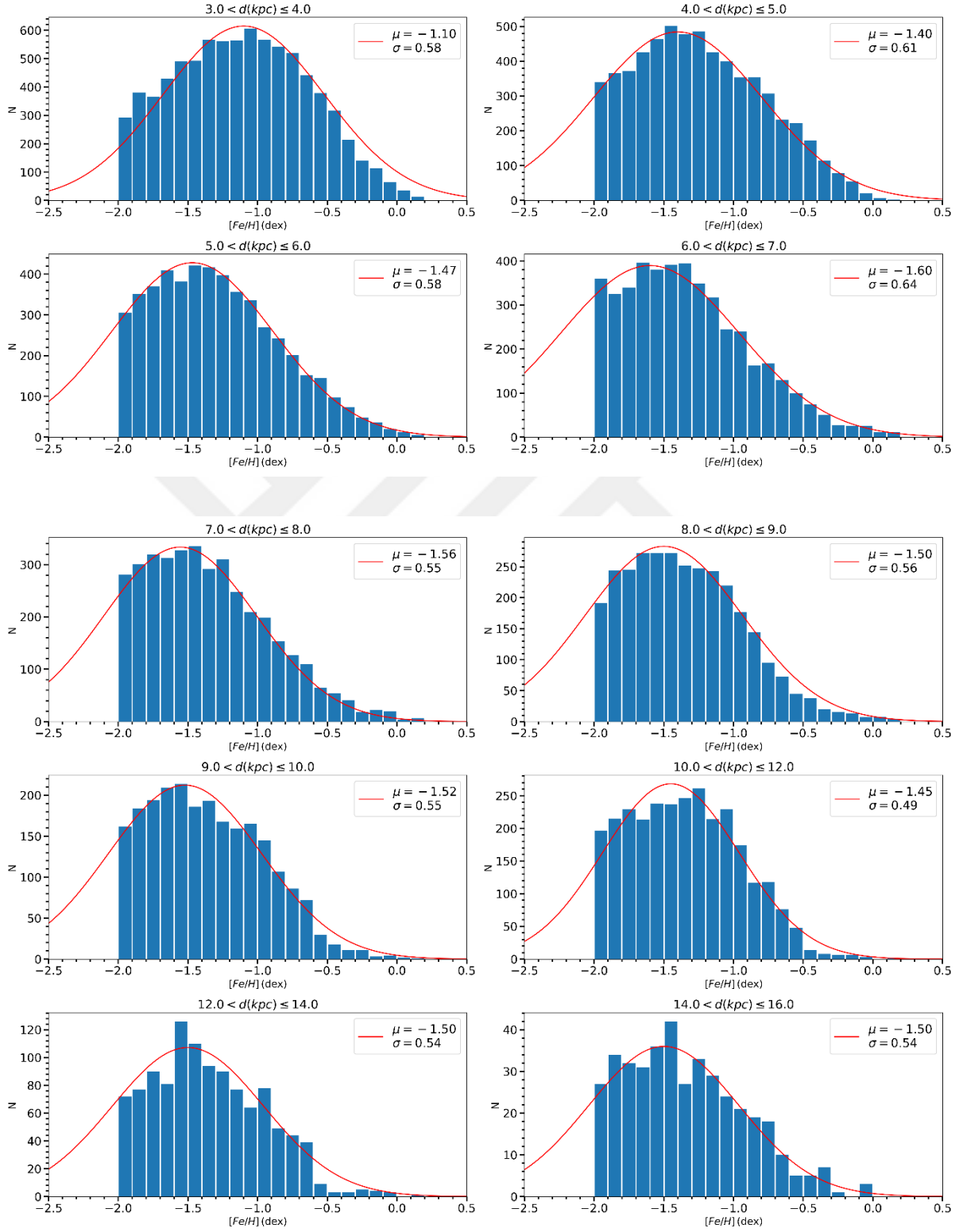
EK 2 (devam):



 $260^\circ < l \leq 280^\circ$

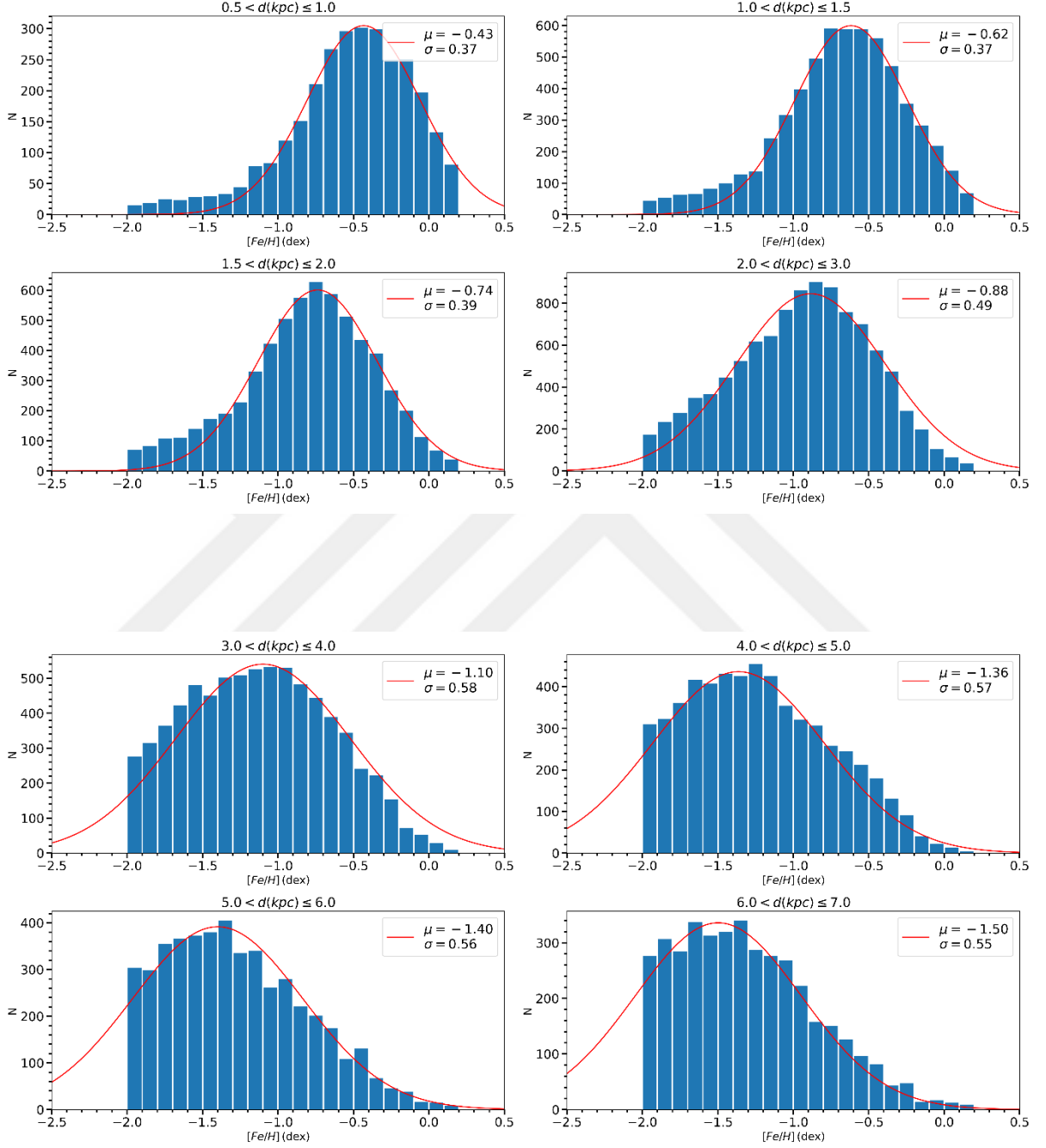


EK 2 (devam):

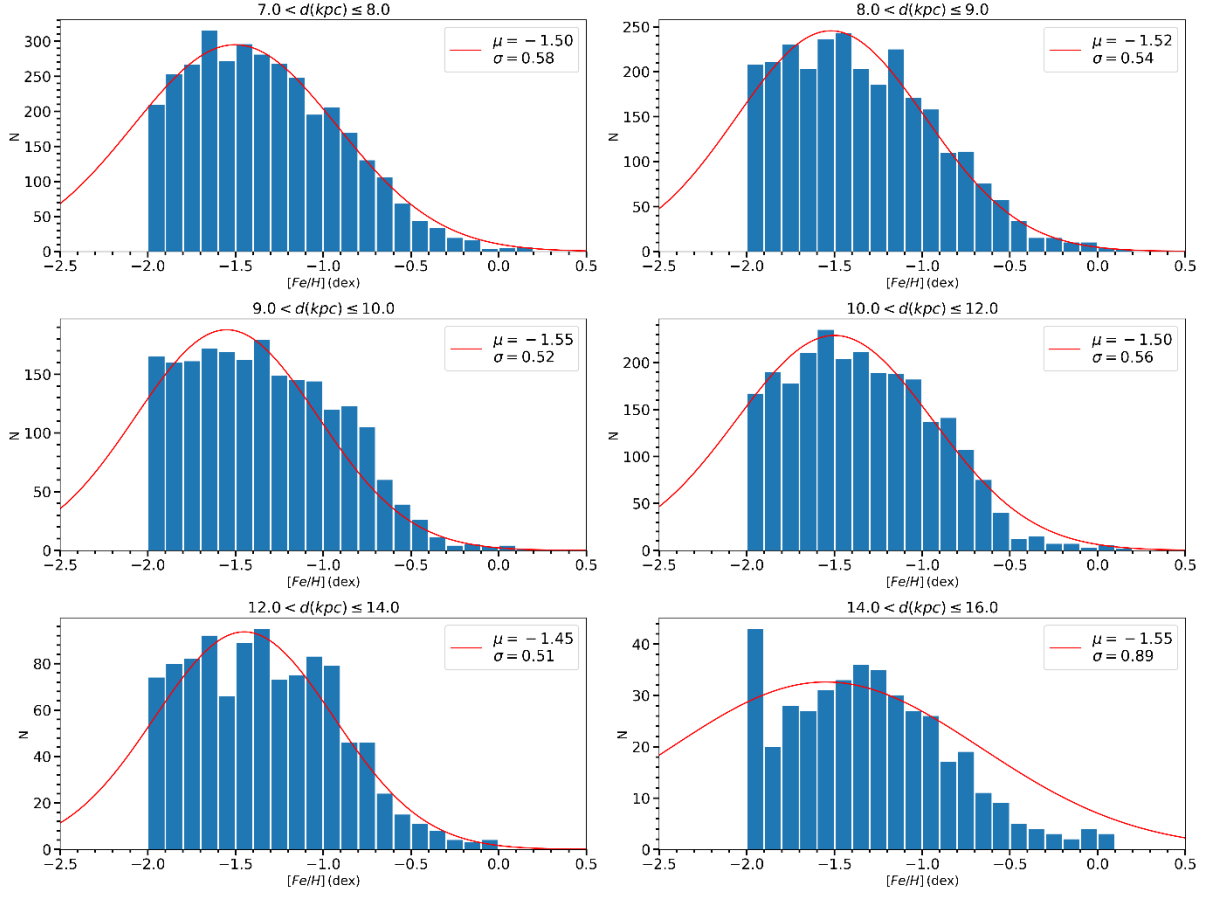


EK 2 (devam):

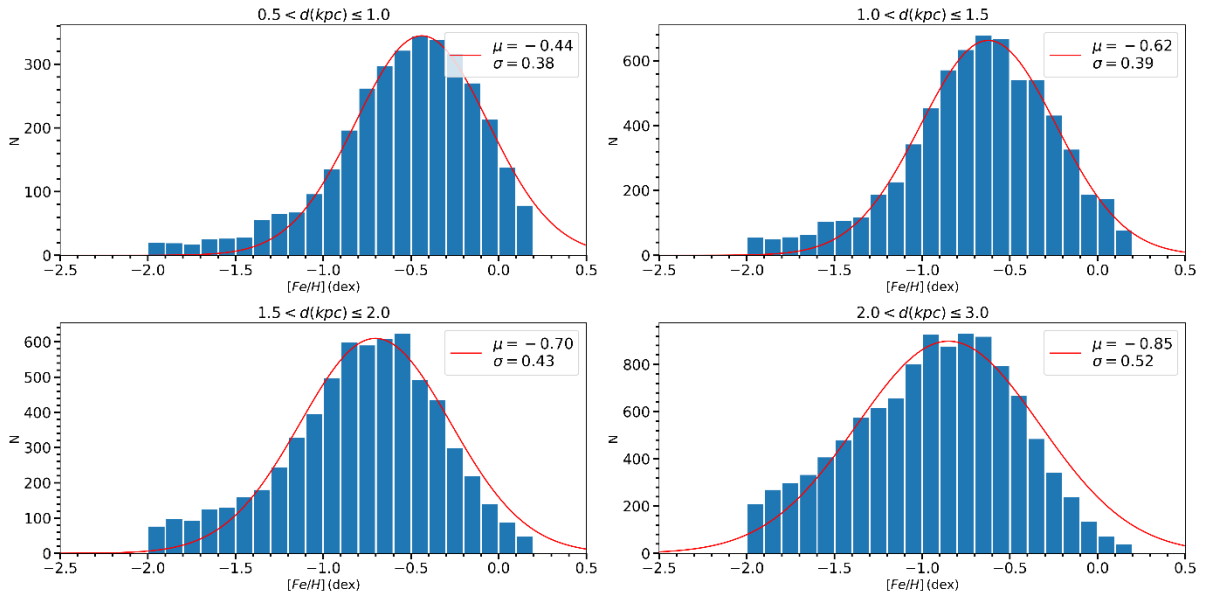
 $280^\circ < l \leq 300^\circ$



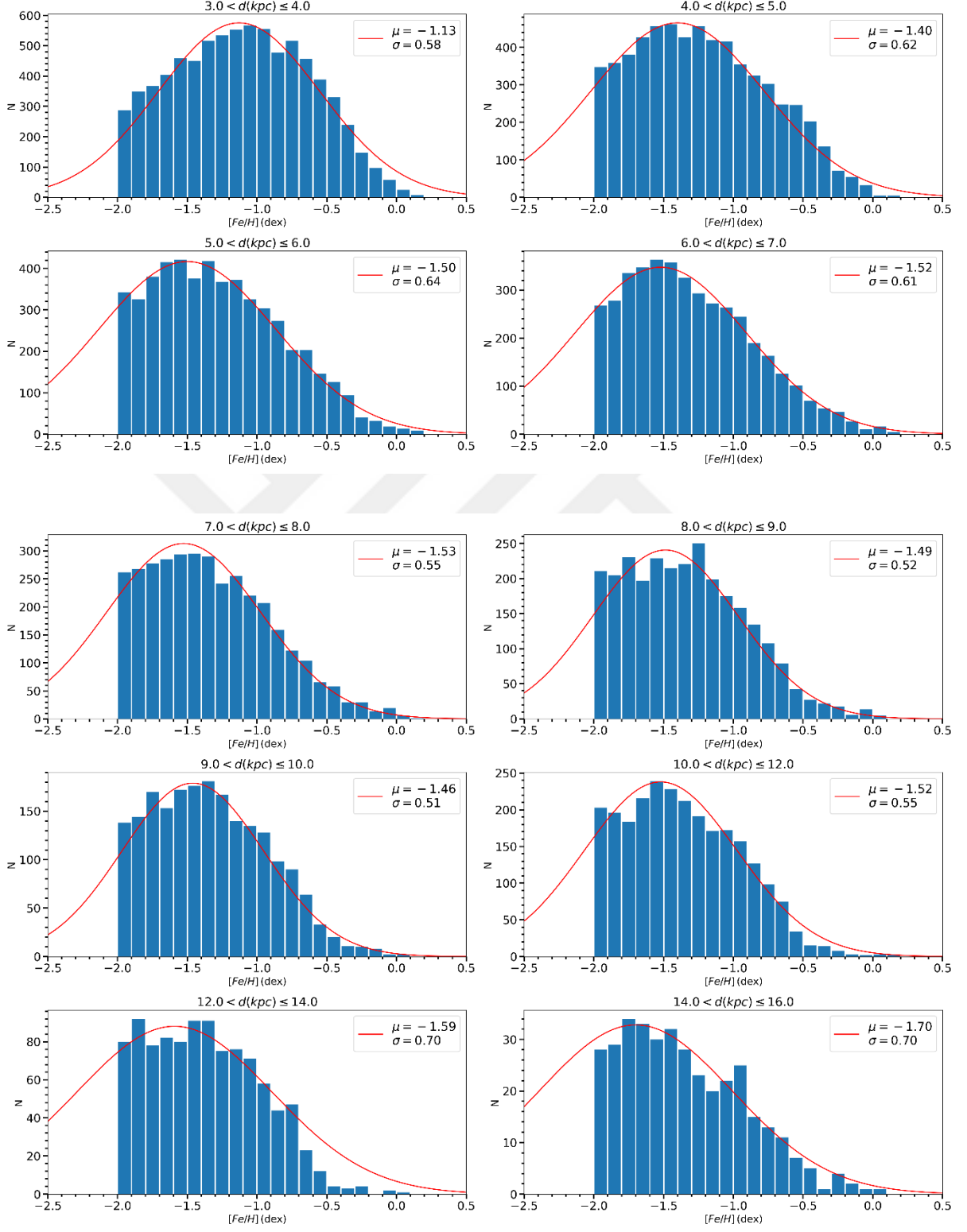
EK 2 (devam):



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

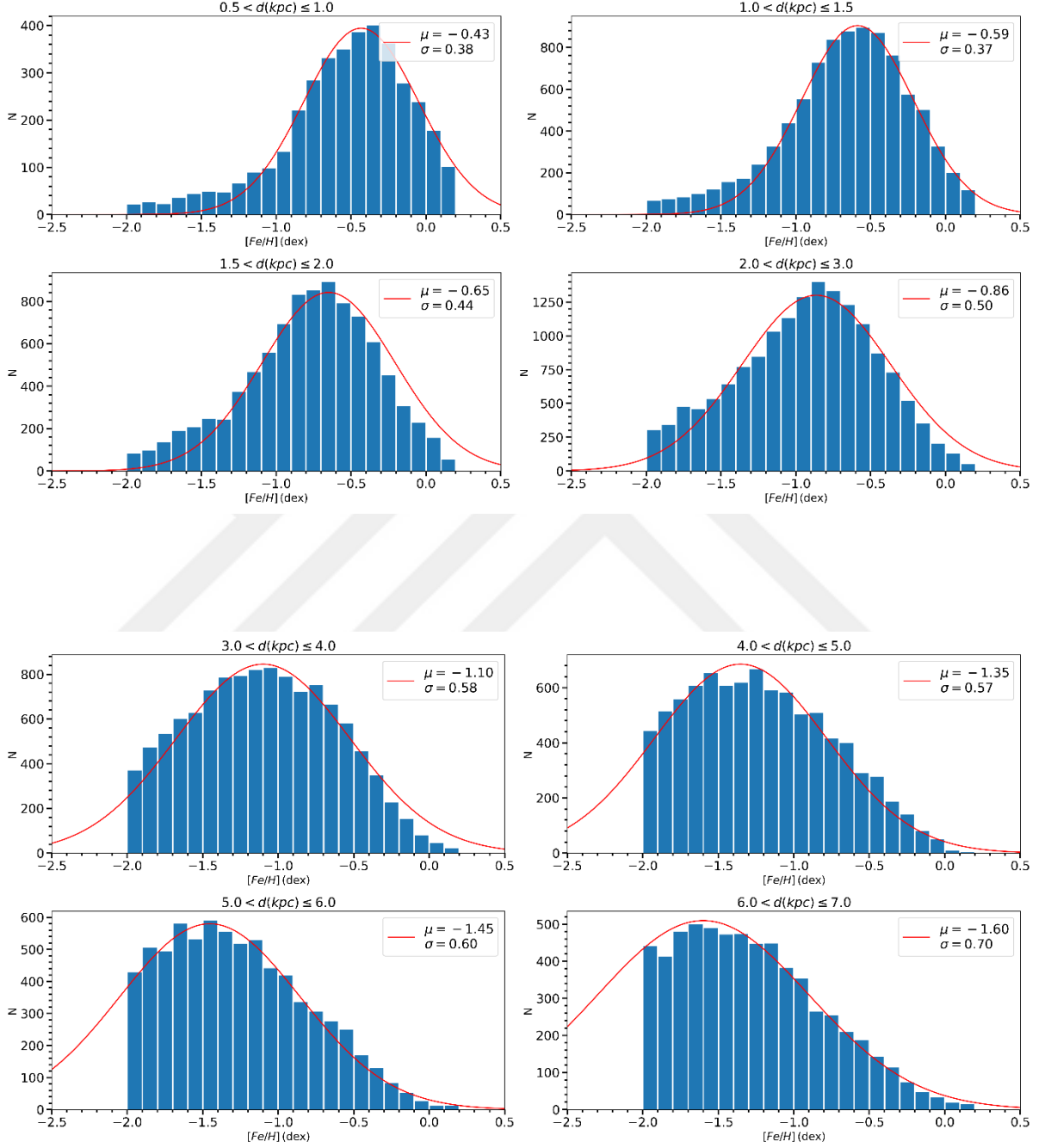


EK 2 (devam):

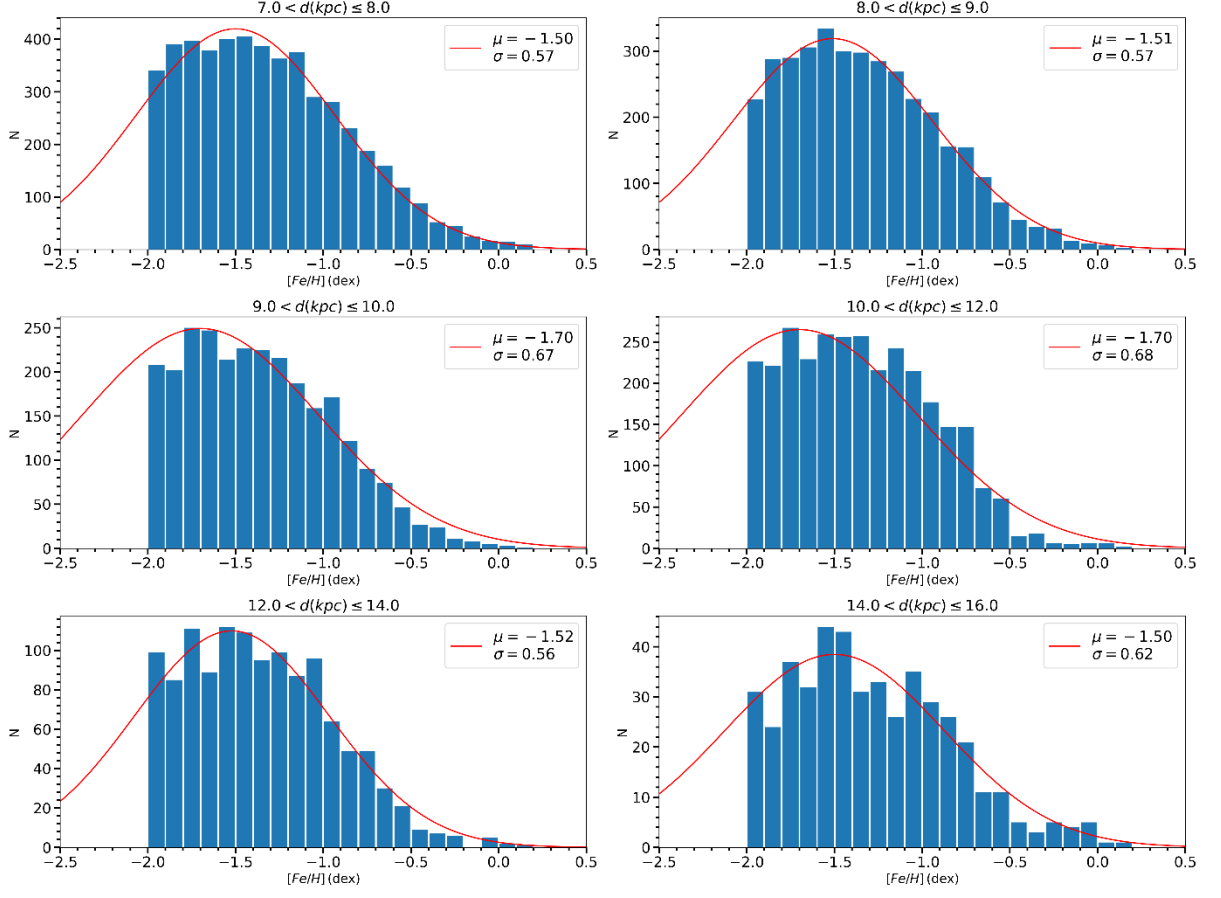


EK 2 (devam):

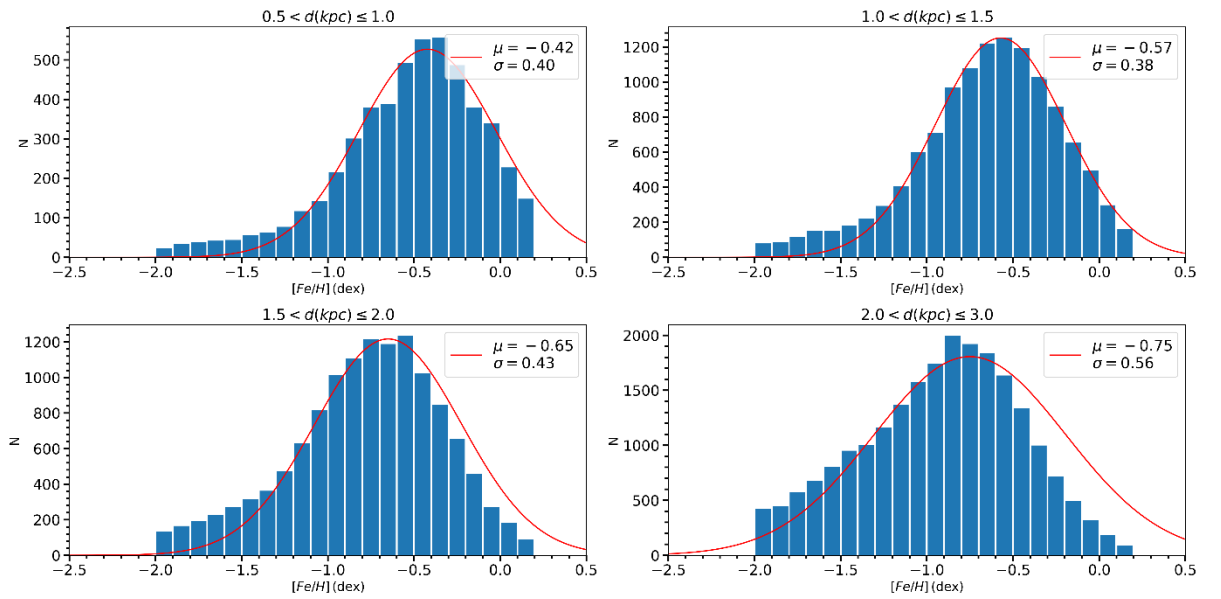
$$320^\circ < l \leq 340^\circ$$



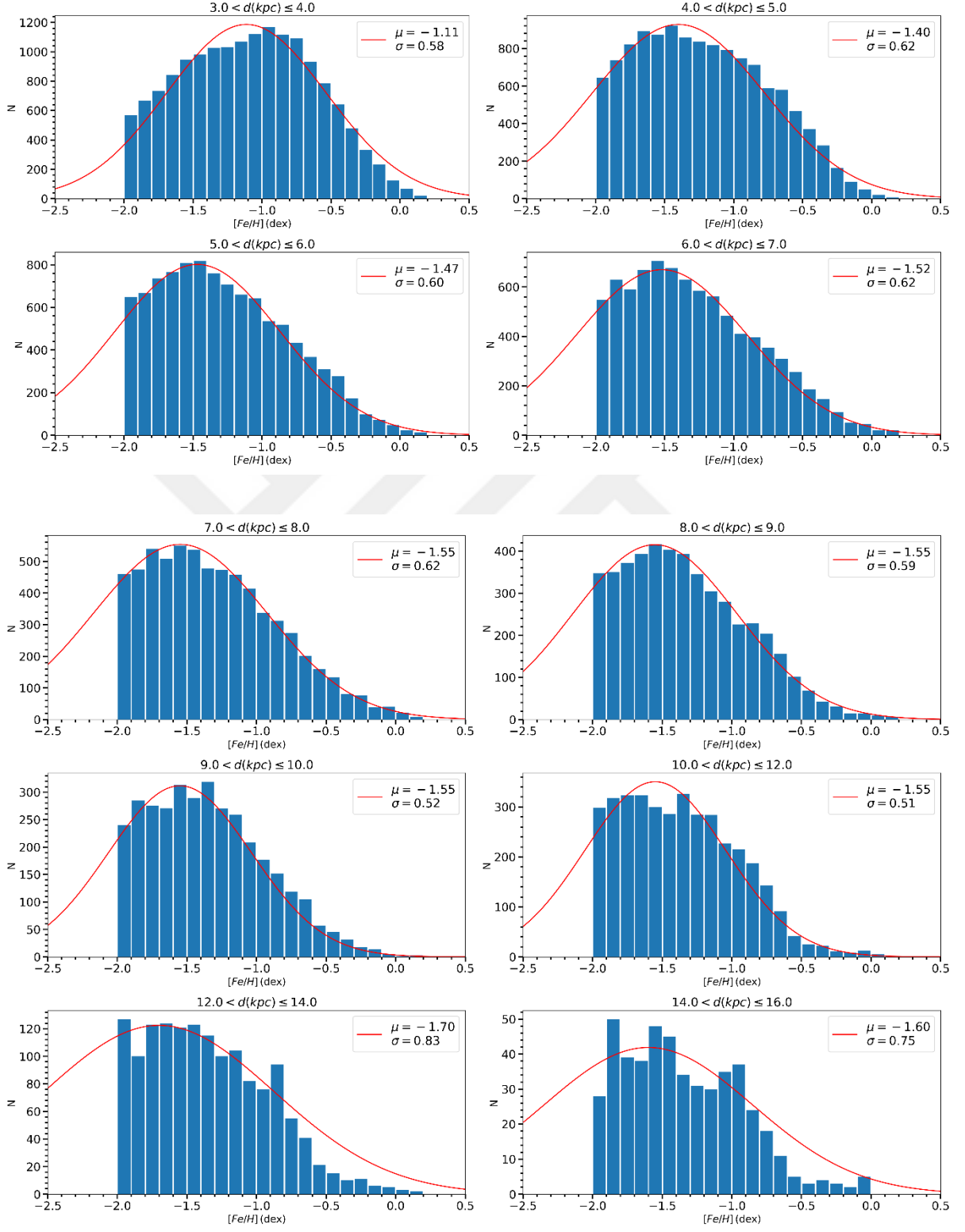
EK 2 (devam):



 $340^\circ < l \leq 360^\circ$



EK 2 (devam):



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Sabiha TUNÇEL GÜÇTEKİN
Doğum Yeri	İstanbul
Doğum Tarihi	16.12.1978
Uyruğu	☒ T.C. ☐ Diğer:
Telefon	(533) 2357273
E-Posta Adresi	sabihatuncel@gmail.com
Web Adresi	-



Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Fakülte	Fen Fakültesi
Bölümü	Astronomi ve Uzay Bilimleri Programı
Mezuniyet Yılı	08.06.2001

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

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

Makale ve Bildiriler	
Ulusal Yayınlar Tunçel, S., 2005, Pi Sayısının Hikayesi, <i>Ahşap Teknik</i>, 7, 124-126. Tunçel, S., 2004, Ay'ın Öteki Yüzü, <i>Ahşap Teknik</i>, 4, 128-130. Uluslararası Yayınlar Tunçel Güçtekin, S., Bilir, S., Karaali, S., Plevne, O., Ak, S., 2018, "Vertical and Radial Metallicity Gradients in High Latitude Galactic Field with SDSS", <i>Advances in Space Research</i>, (hakem aşamasında).	

- Tunçel Güçtekin, S., Bilir, S., Karaali, S., Ak, S., Plevne, O., 2018, "Investigation of the Vertical Metallicity Gradients in the Milky Way" *AIP Conference Proceedings*.
- 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 pp.
- 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 pp.
- Ak, S., Ak, T., Karaali, S., Bilir, S., Güçtekin, S. T., Taş, Ö. Ö., Öztürkmen, N. D., Duran, Ş., Coşkunoğlu, B., Yontan, T., Gökçe, E. Y., Eker, Z., 2014, Colour Transformations between BVR_c and g'r'i' Photometric Systems for Giant Stars, *Publications of the Astronomical Society of Australia*, 31, id.e014 12 pp.
- Karaali S., Gökçe, E. Yaz, Bilir, S., Güçtekin, S. T., 2014, Absolute Magnitude Calibration for Dwarfs Based on the Colour-Magnitude Diagrams of Galactic Clusters, *Publications of the Astronomical Society of Australia*, 31, id.e027 23 pp.
- 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, 24-28.
- Bilir, S., Karaali, S., Tunçel, S., 2005, Absolute Magnitudes for Late-type Dwarf Stars for Sloan Photometry, *Astronomische Nachrichten*, 326, 321-331.

Katıldığım Ulusal Toplantılar

- XX. Ulusal Astronomi Kongresi, 5-9 Eylül 2016, Atatürk Üniversitesi, Astronomi ve Astrofizik bölümü, Erzurum, (sözlü sunum).
- XIX. Ulusal Astronomi Kongresi, 2-6 Şubat 2015, ODTÜ, Fizik bölümü, Ankara, (sözlü sunum).
- XVIII. Ulusal Astronomi Kongresi, 27 Ağustos-1 Eylül 2012, İnönü Üniversitesi, Fizik Bölümü, Malatya, (sözlü sunum).

- XIV. Ulusal Astronomi Kongresi, 31 Ağustos-4 Eylül 2004, Erciyes Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, Kayseri, (dinleyici).
- IV. Ulusal Gökyüzü Gözlem Şenliği, 14-16 Eylül 2001, TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi, Antalya, (katılımcı).
- III. Ulusal Gökyüzü Gözlem Şenliği, 1-3 Eylül 2000, TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi, Antalya, (katılımcı).
- XI. Ulusal Astronomi Kongresi, 7-10 Ağustos 1999, Fırat Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Elazığ, (dinleyici).

Katıldığım Uluslararası Toplantılar

- “Turkish Physical Society 34th International Physics Congress TFD-34”, 5-9 Eylül 2018, Bodrum Herodot Kültür Merkezi, Muğla. *“Investigation of the Vertical Metallicity Gradients in the Milky Way”* (Sözlü sunum).
- “The Milky Way and its Environment: Gaining Insights into the Drivers of Galaxy Formation and Evolution”, 19-23 Eylül 2016, Institut d'Astrophysique de Paris, Fransa. *“New Metallicity and Absolute Magnitude Calibrations for UBV Photometry”* (Poster sunumu).

Katıldığım Proje Çalışmaları

- “Galaksimizdeki Kalın Diskin Metal Bolluğu Gradyentinin İncelenmesi”*, İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi, Doktora tez projesi: 52265, 2018.
- “Samanyolu Galaksisinin Metal Bolluğu Haritası”*, 1001 TÜBİTAK Projesi, 114F347, Bursiyer, 2018.
- “Dev Yıldızların Optik ve Kızılıötesi Renk Dönüşümleri”*, 1002 TÜBİTAK Projesi, 212T214, Bursiyer, 2014.